



Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería,  
Departamento de Estructuras





# INGENIERÍA SÍSMICA

Prof. Pedro Rivero Rivero  
Cub. 1E36



Un recuerdo para un ser especial



Prof. Pether Edward Inglessis Varela  
Junio 1949 – 18 Abril 2008 †

Departamento de Estructuras

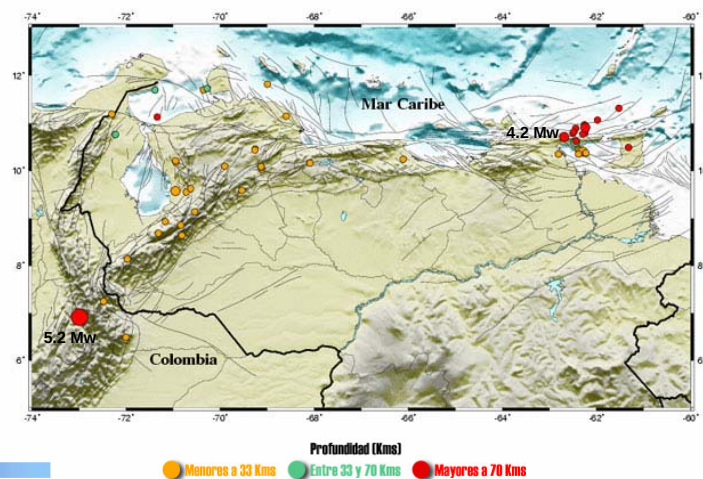
## Tips para aprobar la materia

- ➔ **ESTUDIAR** mucho para aprobar correctamente los exámenes y **HACER BIEN** las tareas y los trabajos de investigación asignados y entregarlos **a tiempo**.
- ➔ **NUNCA** llegar tarde (p.e. si es a las 4:00pm hay que estar antes, no después).
- ➔ Asistir **TODOS** los días a clases, de ser posible (>75% de asistencia).
- ➔ Tomar **APUNTES** y prestar atención, **NO** es una película de cine lo que están viendo.
- ➔ **ESCUCHAR** atentamente y **HACER CASO** a las recomendaciones del profesor.
- ➔ Que sus celulares estén **APAGADOS** para que no perturben la clase.
- ➔ Ser respetuosos de las **normas de URBANIDAD**, el salón de clases es un Templo.
- ➔ **JAMÁS** intentar copiarse en un examen.
- ➔ **Consultar** al profesor ante cualquier duda o inquietud, etc.

## Porque estamos aquí?

### Sismos ocurridos durante el mes de Marzo 2008

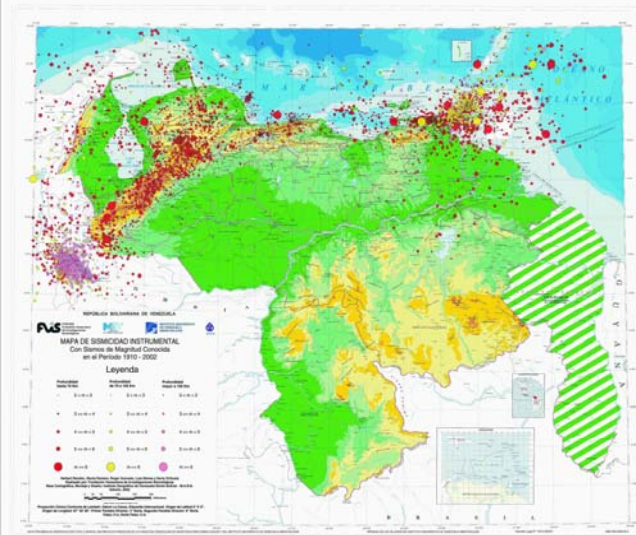
Se han registrado **50** eventos en el mes





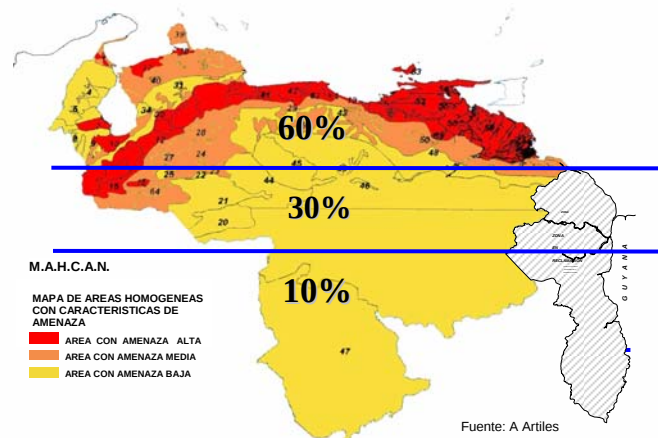
Sismicidad instrumental 1910-2002,  
sismos de magnitud conocida

Porque estamos aquí?



Concentración de población del país  
en zonas de amenazas múltiples

Porque estamos aquí?



Los principales centros de asentamientos de población y actividades económicas de Venezuela están ubicados en zona de elevada amenaza sísmica, geomorfológica, hidrometeorológica y tecnológica. El rápido crecimiento demográfico y el aumento de la densidad poblacional en las tres últimas décadas han incrementado la cantidad de personas y elementos expuestos a las mismas amenazas/peligros.

### CONTENIDO GENERAL

#### PRIMERA PARTE

##### SISMOLOGÍA Y AMENAZA SÍSMICA

#### SEGUNDA PARTE

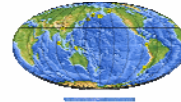
##### DINÁMICA DE ESTRUCTURAS

#### TERCERA PARTE

##### NORMATIVA SISMORRESISTENTE

### FUNDAMENTOS SOBRE SISMOLOGÍA

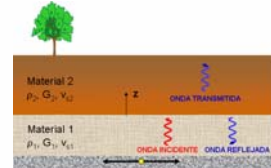
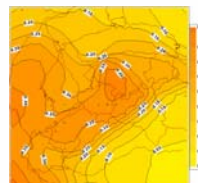
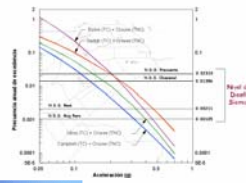
- ➔ Conceptos básicos de Sismología.
- ➔ Causas de los sismos.
  - Tectónica de placas - Sismos de origen tectónico
- ➔ Fallas geológicas.
  - Definición - Tipos de falla
- ➔ Ondas Sísmicas.
  - Ondas de cuerpo - Ondas superficiales
- ➔ Localización y ocurrencia de sismos.
- ➔ Instrumentos de medición y registros sísmicos.
  - Sismómetro - Acelerógrafo
- ➔ Medidas de los sismos.
  - Magnitud - Intensidad - Relación entre escalas
- ➔ La aceleración como parámetro de diseño.
- ➔ Atenuación de la aceleración – Fenómenos de amplificación



## INGENIERÍA SÍSMICA

### AMENAZA SÍSMICA Y RESPUESTA DINÁMICA DE SUELOS

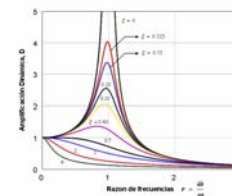
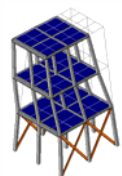
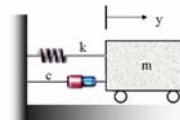
- ➔ Tipos de análisis de amenaza sísmica  
Determinísticos - Probabilísticos.
- ➔ Mapas de zonificación sísmica.
- ➔ Propagación de ondas en medios elásticos.
- ➔ Propiedades dinámicas del suelo.
- ➔ Respuesta local del suelo.  
Modelo estático equivalente – Modelo no lineal.



## INGENIERÍA SÍSMICA

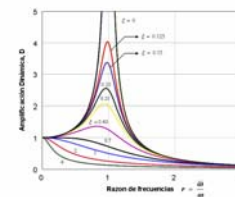
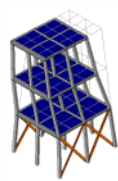
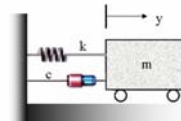
### DINÁMICA ESTRUCTURAL

- ➔ Conceptos generales en el análisis dinámico.
- ➔ Vibración libre.
- ➔ Vibración forzada con carga armónica.
- ➔ Movimiento forzado con carga impulsiva.
- ➔ Respuesta a carga dinámica general.
- ➔ Respuesta sísmica a sistemas no lineales
- ➔ Sistemas de varios grados de libertad.



### NORMAS SISMORRESISTENTES

- ➔ Conceptos básicos del diseño sísmico
- ➔ Configuración estructural.
- ➔ Norma COVENIN 1756-2001  
"Edificaciones Sismorresistentes"



### 3 EXÁMENES PARCIALES (75%)



I Examen Parcial (20%): Sismología - Amenaza Sísmica

II Examen Parcial (25%): Dinámica Estructural

III Examen Parcial (30%): Norma Sismorresistente



### TRABAJOS ESPECIALES

Trabajos "cortos" de cada Tema

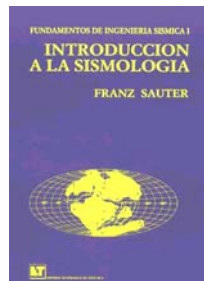
Trabajo de investigación

(25%)

(5%)

(20%)





**INTRODUCCIÓN A LA SISMOLOGÍA**

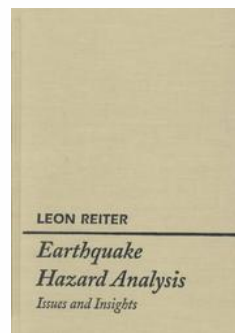
Autor: Ing. Franz Sauter  
272 p., ilus., ISBN 9977-66-038-7

**BIBLIOGRAFÍA**

**Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights**

**Leon Reiter**

ISBN: 0-231-06534-5  
May, 1991 Columbia University Press  
254 pages \$109



**CATÁLOGO DE SISMOS SENTIDOS O DESTRUCTORES - VENEZUELA 1530/1998**

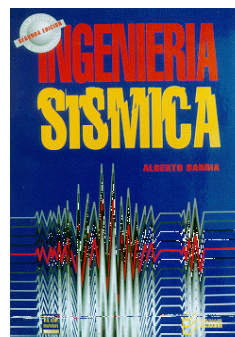
José Grases, Rogelio Altez, Miguel Lugo  
Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Caracas 1999

**BIBLIOGRAFÍA**

**INGENIERÍA SÍSMICA**

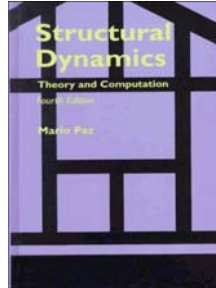
**Alberto Sarria Molina**

Ediciones Uniandes - Ecoe Ediciones. Primera edición. 1990. Segunda edición. 1995



## INGENIERÍA SÍSMICA

### Bibliografía

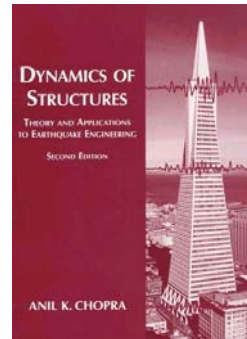


**STRUCTURAL DYNAMICS**  
Theory and Computation  
by Mario Paz

## BIBLIOGRAFÍA

**DYNAMICS OF STRUCTURES**  
Theory and Applications to Earthquake Engineering

by Anil K. Chopra  
(2nd Edition)

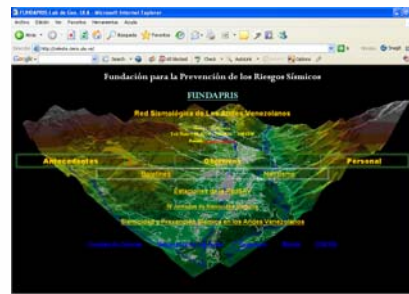


## INGENIERÍA SÍSMICA

### Páginas Internet



<http://www.funvisis.gob.ve/>



<http://celeste.ciens.ula.ve/>

## INGENIERÍA SÍSMICA



<http://lgula.ciens.ula.ve/>



<http://sismicidad.hacer.ula.ve/>

## INGENIERÍA SÍSMICA



<http://www.geophys.washington.edu/seismosurfing.html/>

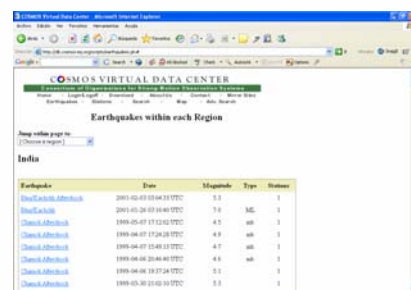


<http://galbis.org>



<http://earthquake.usgs.gov/>

# Páginas Internet

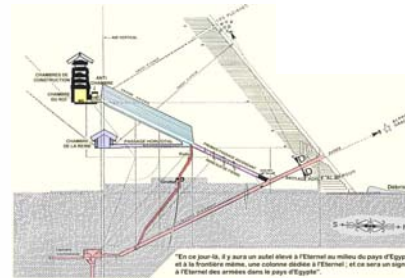


<http://db.cosmos-eq.org/scripts/earthquakes.plx#>

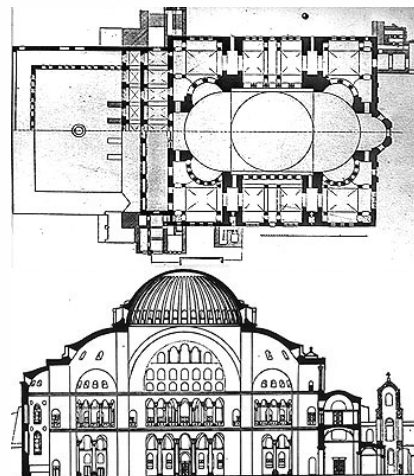
## Pirámides de Egipto



Antiguas culturas lograron erigir imponentes obras que han sobrevivido a las inclemencias y avatares de los siglos.



## Hagia Sofia, Estambul, Turquía.



Antiguas culturas lograron erigir imponentes obras que han sobrevivido a las inclemencias y avatares de los siglos.

Hagia Sophia, Istanbul (Turkey): 532-537

## Acueducto romano de Segovia, España.



Antiguas culturas lograron erigir imponentes obras que han sobrevivido a las inclemencias y avatares de los siglos.

**El acueducto romano (de más de 2.000 años de edad) pasa por el medio de la ciudad**



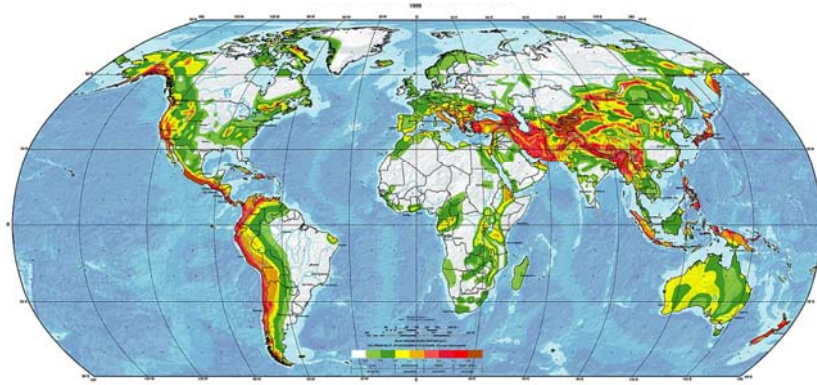
## La importancia del aspecto conceptual en el diseño

- ➔ En la estructuración de edificaciones sismorresistentes, debe prevalecer el aspecto conceptual sobre las formulaciones matemáticas y el análisis numérico.
- ➔ La percepción intuitiva del comportamiento sísmico de las edificaciones es fundamental para poder concebir una estructura capaz de resistir las solicitaciones impuestas por la violenta sacudida del terreno.
- ➔ En regiones expuestas al riesgo sísmico, olvidar el aspecto conceptual y el detalle constructivo puede tener consecuencias importantes.

El análisis y el cálculo numérico son solo instrumentos para comprobar si la forma arquitectónica concebida y el sistema resistente adoptado son adecuados para la función a que se destinan y para resistir las cargas impuestas.

## La amenaza sísmica global

Global Seismic Hazard Map



Produced by: Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)

<http://www.seismo.ethz.ch/GSHAP/>

## Daños por terremotos

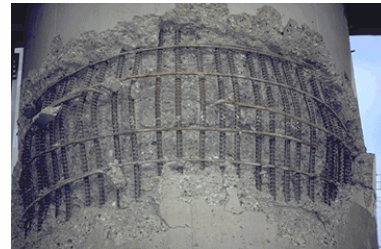


<http://geot.civil.metro-u.ac.jp/archives/eq/>

## Daños por terremotos



## Daños por terremotos



**FALLA EN COLUMNAS.** Clásico ejemplo de falla debido a la falta de confinamiento efectivo por parte de los zunchos. La falla en la columna se produce por corte debido a las fuerzas impuestas por el sismo.

## Daños por terremotos



Kocaeli, Turquía, 1999

## Daños por terremotos



Terremoto de Chi-Chi (1999), Taiwan



Terremoto de Kobe (1995). Cerca de 30 personas murieron por el deslizamiento.



Terremoto de El Centro (1979)



Terremoto de Loma Prieta (1989)

## Daños por terremotos



**Terremoto de Niigata, Japón (26 de Junio).** Sismo de 7.4 de magnitud, 26 muertes, destruyó 3018 viviendas y dejó con moderados o severos daños otras 9750 construcciones en Niigata. La fotografía muestra los daños ocasionados a varios edificios de apartamentos por la licuefacción del suelo y por el pobre comportamiento de las fundaciones.

## Daños por terremotos



Terremoto de 1997 en Jabalpur, India



Terremoto de 1996 en Nazca, Perú



Terremoto de Febrero 2001 en El Salvador



Terremoto de 1997 en Jabalpur, India

Terremoto de Cariaco,  
Julio 1997

Daños por terremotos



Edificio MIRAMAR.  
Colapso total de 6 pisos



Colegio Valentín Valiente en Cariaco. Edificio de dos pisos totalmente colapsado.



El primer piso del edificio de cuatro pisos: Liceo Raimundo Martínez en Cariaco, colapsó totalmente.

Terremoto de Caracas, 1967

Daños por terremotos



Colapso de 4 pisos en la mansión CHARAIMA, Caraballeda



Edificio MIJAGUAL, Los Palos Grandes.



Estructura de 2 pisos colapsada, cerca del edificio Laguna Beach en Caraballeda.

## Daños por terremotos

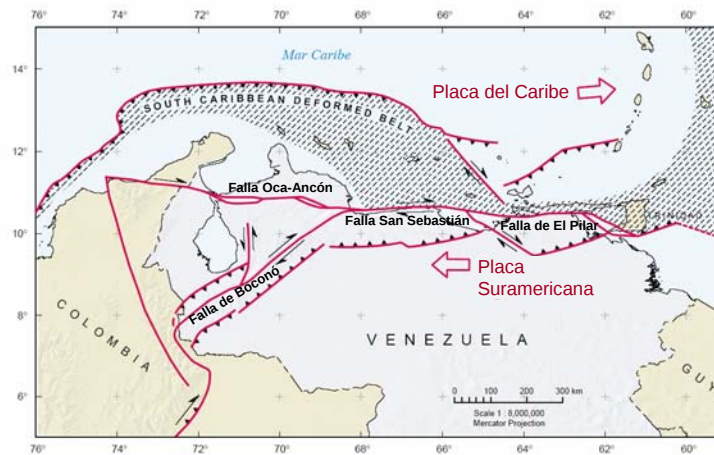
Terremoto de Mérida, 1894



## ... y como resultado

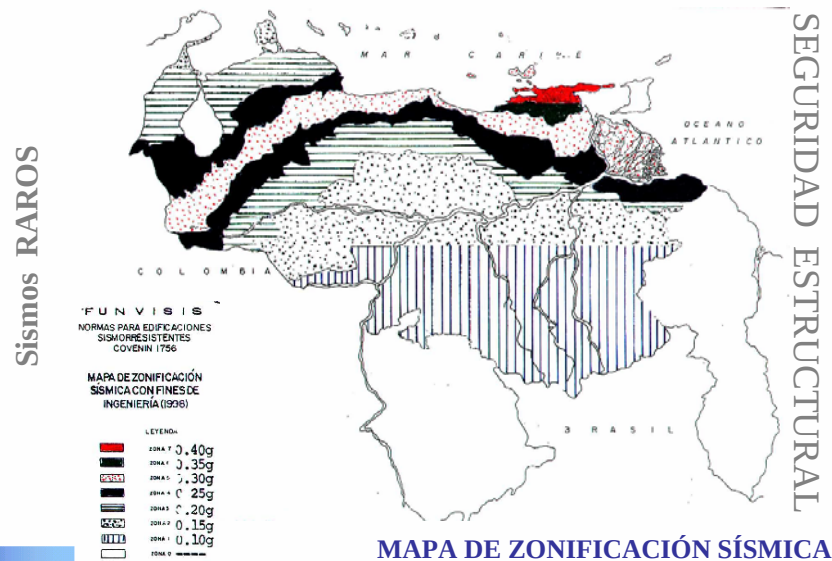


## Mapa neotectónico de Venezuela



<http://www.funvisis.gob.ve>

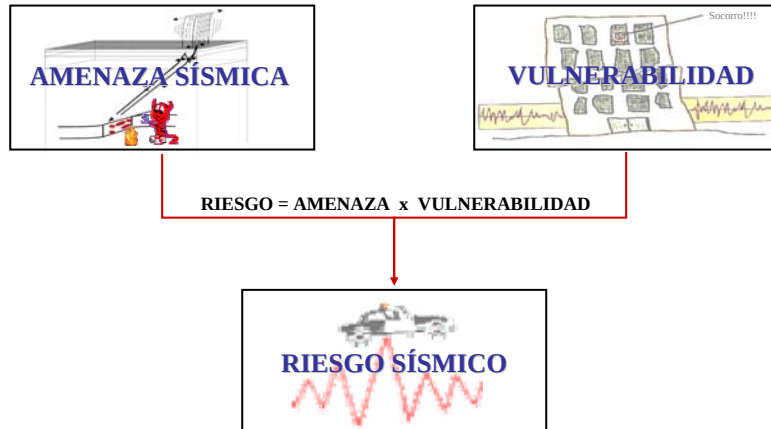
## Mapa de zonificación sísmica, 2001



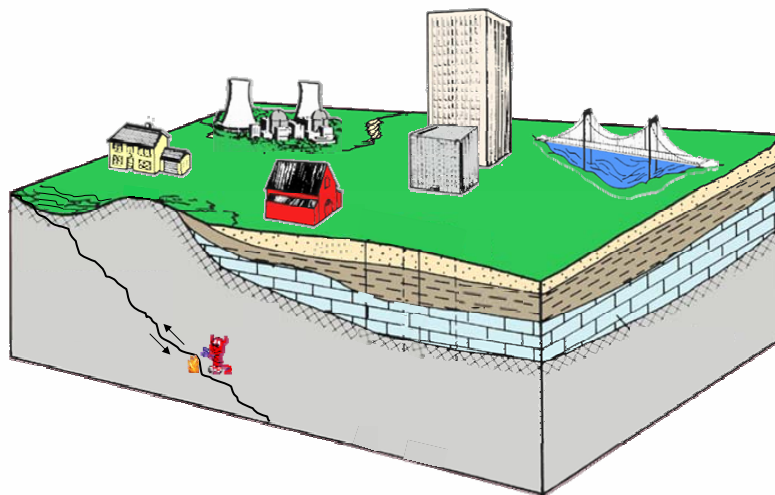
<http://www.funvisis.gob.ve>

10 % de probabilidad de excedencia en 50 años

## Estudio de estimación de pérdidas

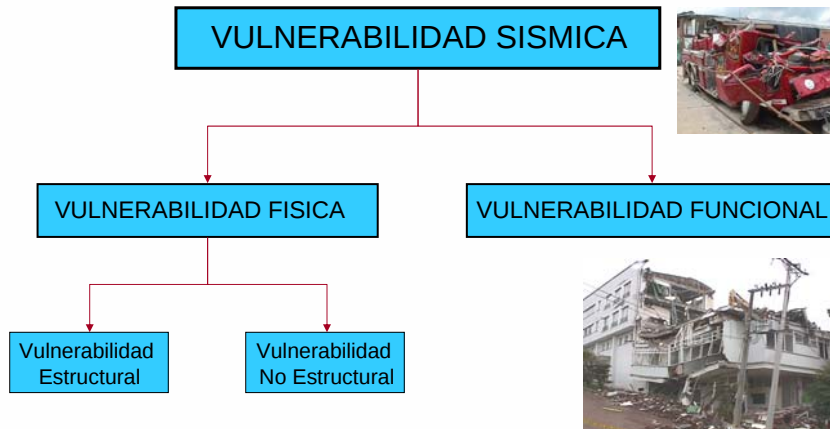


## Construcción de la vulnerabilidad



La vulnerabilidad **se construye** día a día al interior de la sociedad

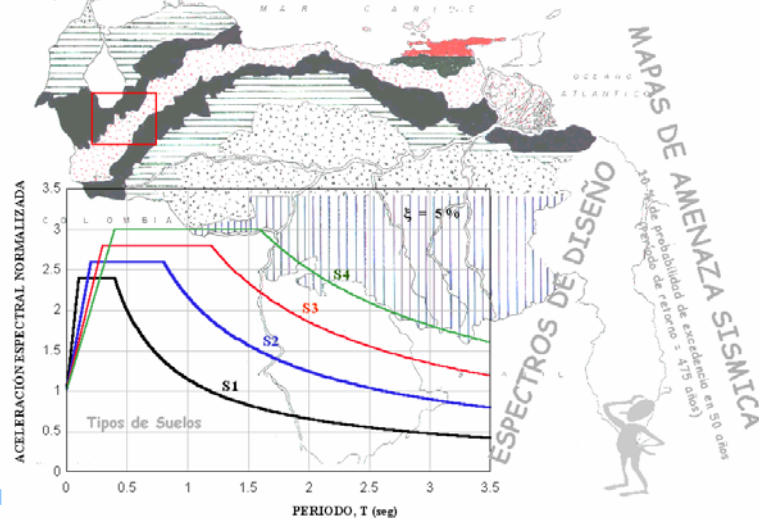
## Componentes de la vulnerabilidad sísmica



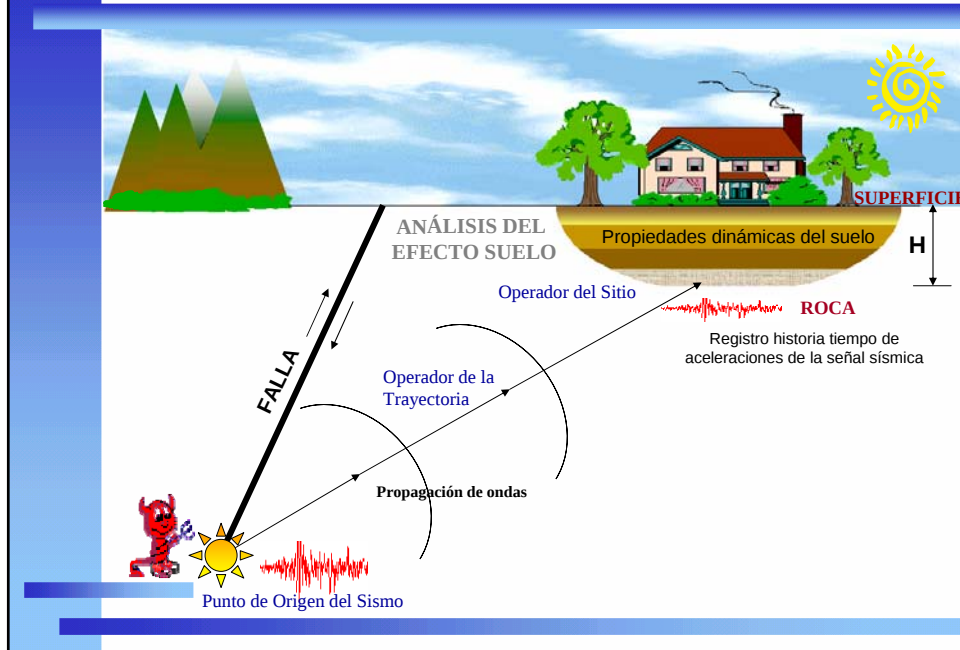
**Vulnerabilidad Sísmica:** Grado de susceptibilidad de una o un grupo de edificaciones a sufrir daños parciales o totales, por la ocurrencia de movimientos sísmicos de una intensidad y magnitud dadas, en un período de tiempo y en un sitio determinado

## Norma venezolana COVENIN 1756:2001

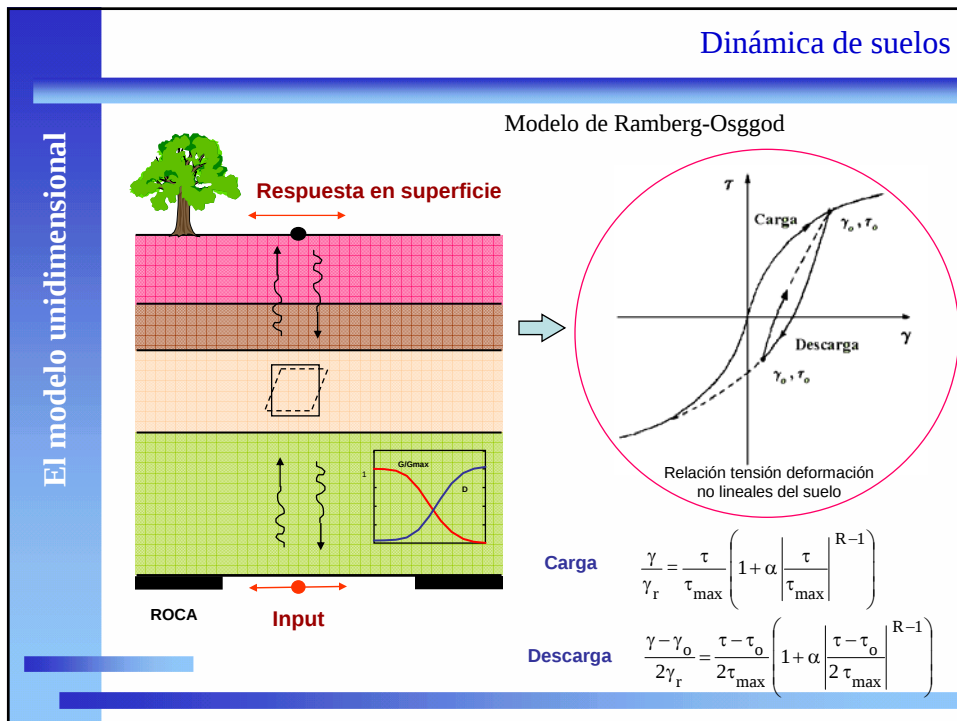
Como se toma en cuenta la acción sísmica en las normativas sismorresistentes???



## Interacción de ondas sísmicas, suelo y estructura

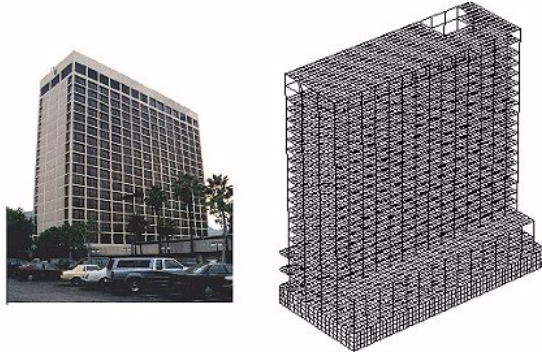


## Dinámica de suelos



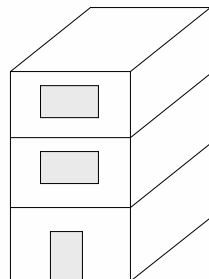
### Objetivo

Análisis de los esfuerzos y deformaciones de las estructuras sometidas a cargas dinámicas.

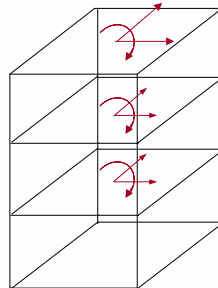


En realidad, las estructuras son sistemas continuos y como tales poseen infinitos grados de libertad. Los análisis dinámicos están sujetos a ciertas limitaciones, simplificaciones o idealizaciones que es necesario introducir para reducir el problema y encontrar una solución matemática que sea capaz de dar resultados aceptables.

La relación entre el **sistema físico** y la **posible solución matemática** se logra mediante la elaboración de un **MODELO MATEMÁTICO**.

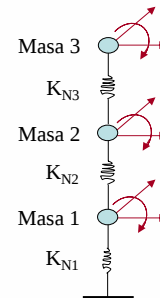


**Infinitos Grados de Libertad**



**Tres Grados de Libertad por Nivel**

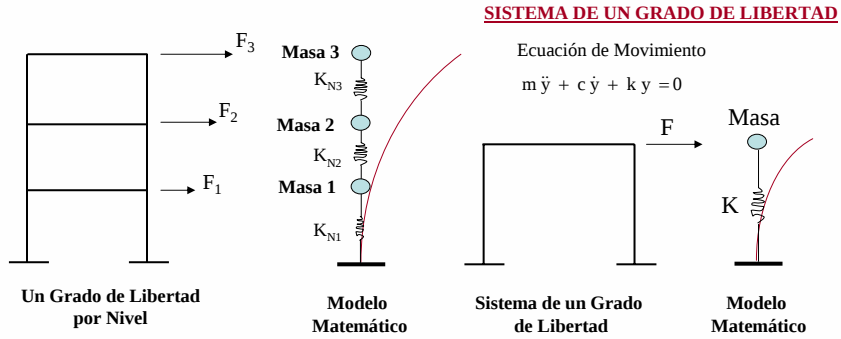
$\approx$



**Modelo Matemático**

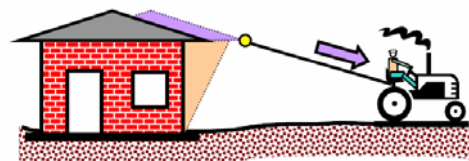
**Grados de Libertad** (Degrees of Freedom) : Número necesario de coordenadas independientes para definir completamente la posición del sistema en cualquier instante de tiempo.

**Modelo Matemático** (Mathematical Model) : Idealización de un sistema incluyendo todas las simplificaciones y suposiciones impuestas al problema físico.



**Oscilador Simple** (Simple Oscillator) : Sistema de un grado de libertad representado por una masa y un resorte.

**Amortiguación Viscosa** (Viscous Damping) : Mecanismo de disipación de energía en el cual el movimiento es resistido por una fuerza proporcional a la velocidad, pero de dirección opuesta.



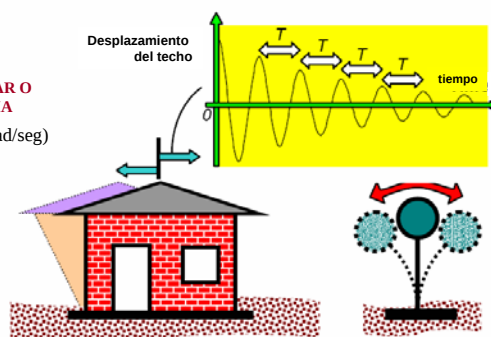
Oscilación de edificios flexibles

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

**FRECUENCIA CIRCULAR O ANGULAR DEL SISTEMA**  
 radianes por segundo (rad/seg)

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

**PERÍODO DEL MOVIMIENTO**  
 Segundos (seg)



- ☐ ANÁLISIS ESTÁTICO.
- ☐ ANÁLISIS DINÁMICO PLANO.
- ☐ ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL.
- ☐ ANÁLISIS DINÁMICO CON DIAFRAGMA FLEXIBLE.
- ☐ ANÁLISIS INELÁSTICO. 

Existen algunos métodos no cubiertos por la presente Norma, como son los de Interacción Suelo-Estructura. Si existe interés de aplicarlos se recomienda que se utilice la metodología de FEMA 1991.

La selección de los métodos de análisis depende de la regularidad de la edificación y de su altura.

**PARA EDIFICIOS REGULARES**

| ALTURA DE LA EDIFICACIÓN        | REQUERIMIENTO MÍNIMO    |
|---------------------------------|-------------------------|
| No excede 10 pisos ni 30 metros | ANÁLISIS ESTÁTICO       |
| Excede 10 pisos ó 30 metros     | ANÁLISIS DINÁMICO PLANO |

**PARA EDIFICIOS IRREGULARES**

| TIPO DE IRREGULARIDAD |                   | REQUERIMIENTO MÍNIMO                              |
|-----------------------|-------------------|---------------------------------------------------|
| Vertical              | A1 ; A2 ; A7 ; A8 | ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL                        |
|                       | A3 ; A5 ; A6      | ANÁLISIS DINÁMICO PLANO                           |
| En Planta             | B1 ; B2 ; B3      | ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL                        |
|                       | B4                | ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL CON DIAFRAGMA FLEXIBLE |

**Irregularidad Vertical**

- A1: Entrepiso blando.
- A2: Entrepiso débil.
- A3: Distribución irregular de masas de uno de los pisos contiguos.
- A4: Aumento de las masas con la elevación.
- A5: Variaciones en la geometría del sistema estructural.
- A6: Esbeltez excesiva.
- A7: Discontinuidad en el plano del sistema resistente a cargas laterales.
- A8: Falta de conexión entre miembros verticales.
- A9: Columna corta.

**Irregularidades en Planta**

- B1. Gran excentricidad.
- B2. Riesgo torsional elevado.
- B3. Sistema no ortogonal.
- B4. Diafragma flexible.

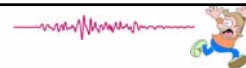
## INGENIERÍA SÍSMICA



El tren está listo a partir, pero todavía  
hay muchos puestos libres.  
¡Pasajeros a bordo!



Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería,  
Departamento de Estructuras



## INGENIERÍA SÍSMICA

Prof. Pedro Rivero Rivero  
Cub. 1E36

