

# EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS

*Subdirección de Riesgos Estructurales*



**SEGURIDAD**  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES



2023  
AÑO DE  
**Francisco VILA**  
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

# *Aspectos generales de sismicidad en México, peligro sísmico, sismos de mayor relevancia y su impacto en la normatividad.*

---



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**

COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES



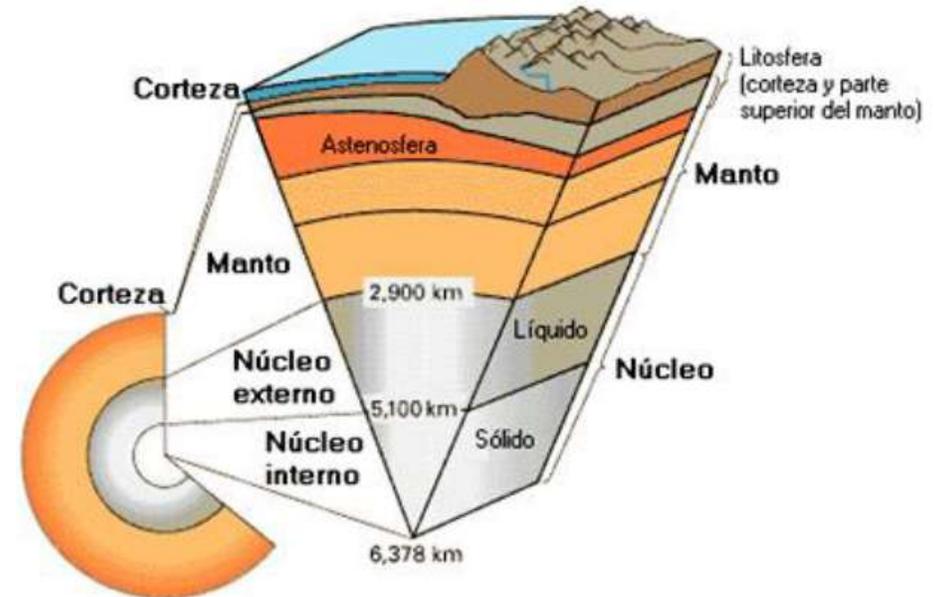
**2023**  
AÑO DE  
*Francisco*  
**VILLA**

EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

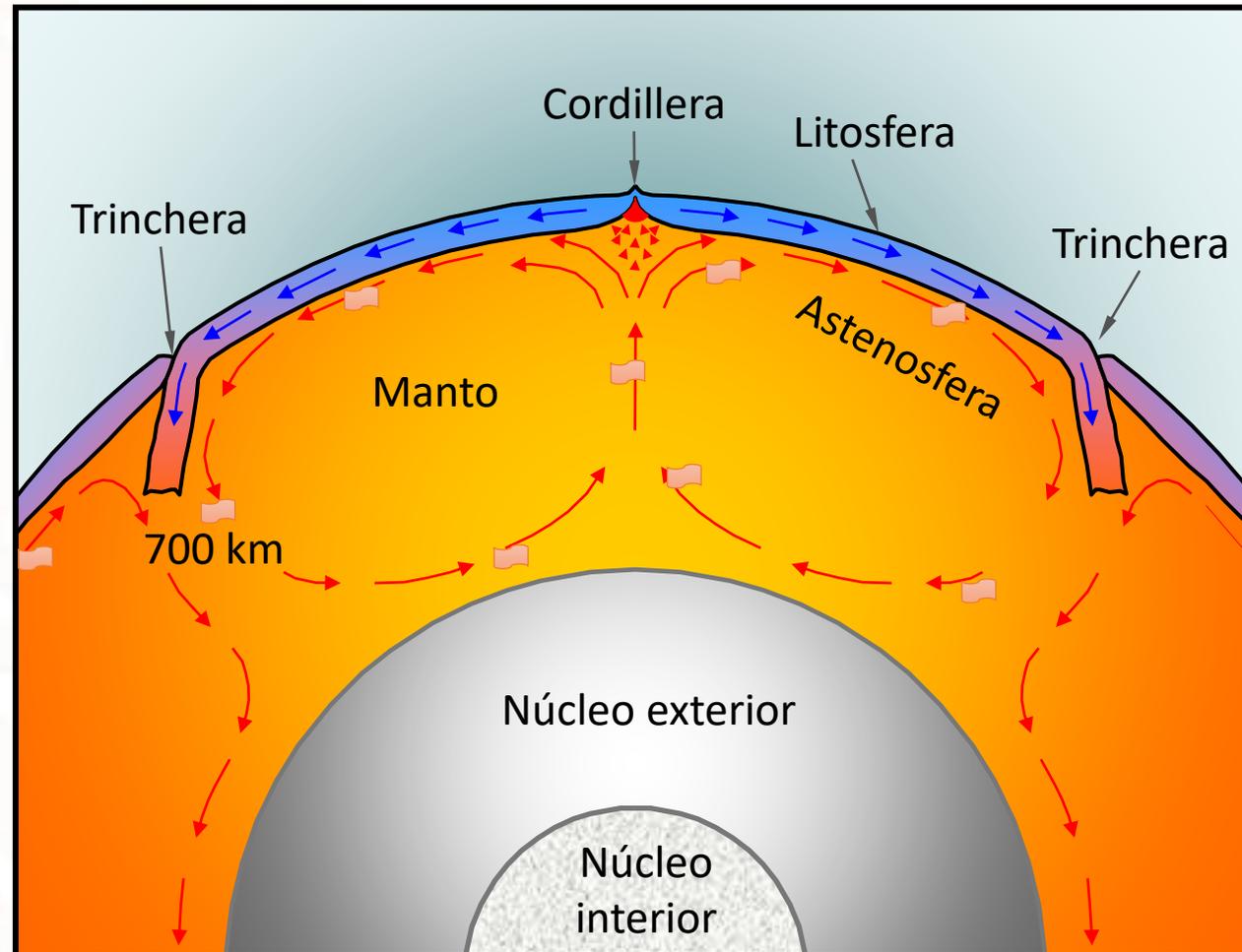
# Composición de la tierra

El diámetro promedio de la Tierra es de 12,800 km, el cual está constituido por tres capas principales:

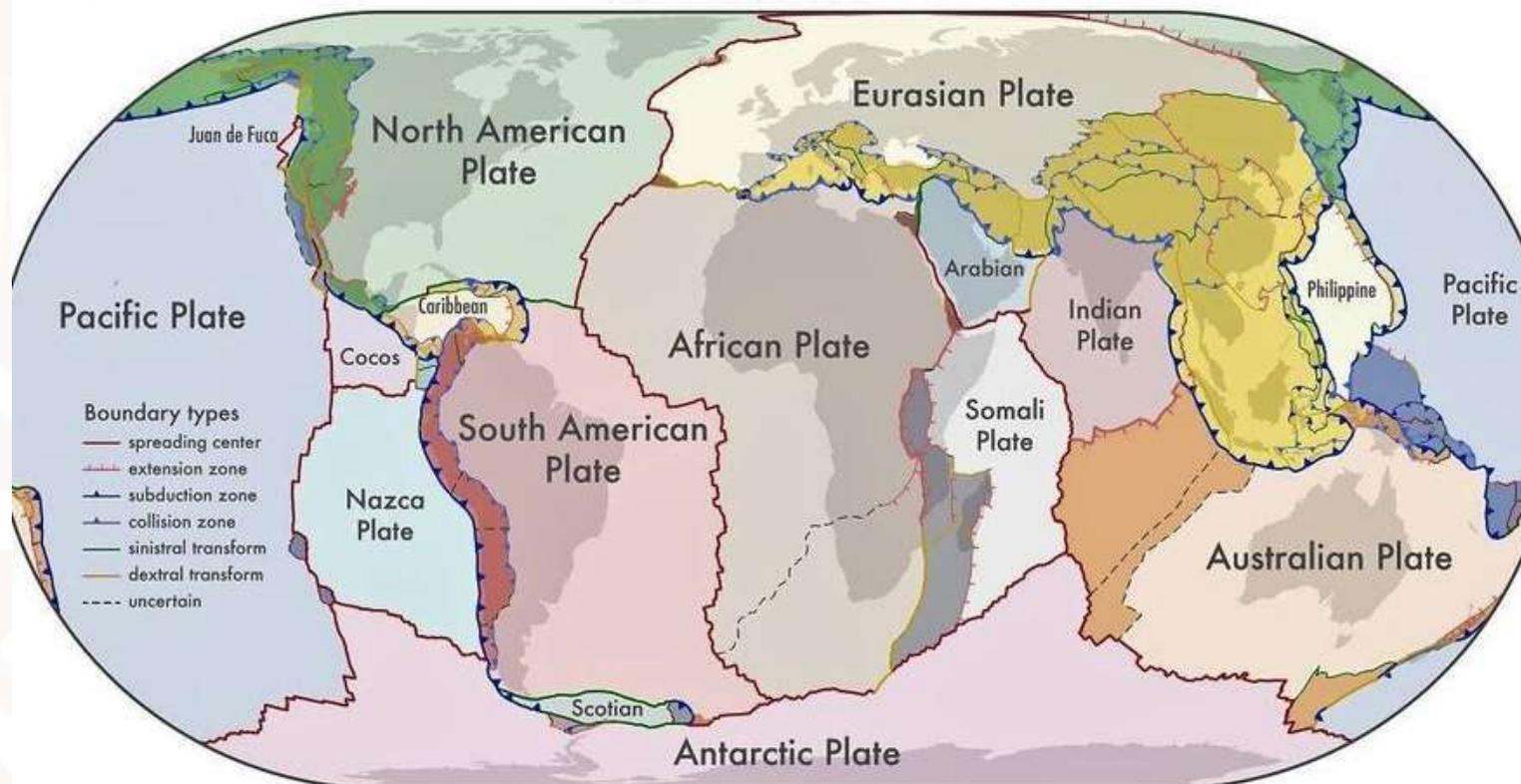
- Núcleo (interno, externo)
- Manto (interno, externo)
- Corteza



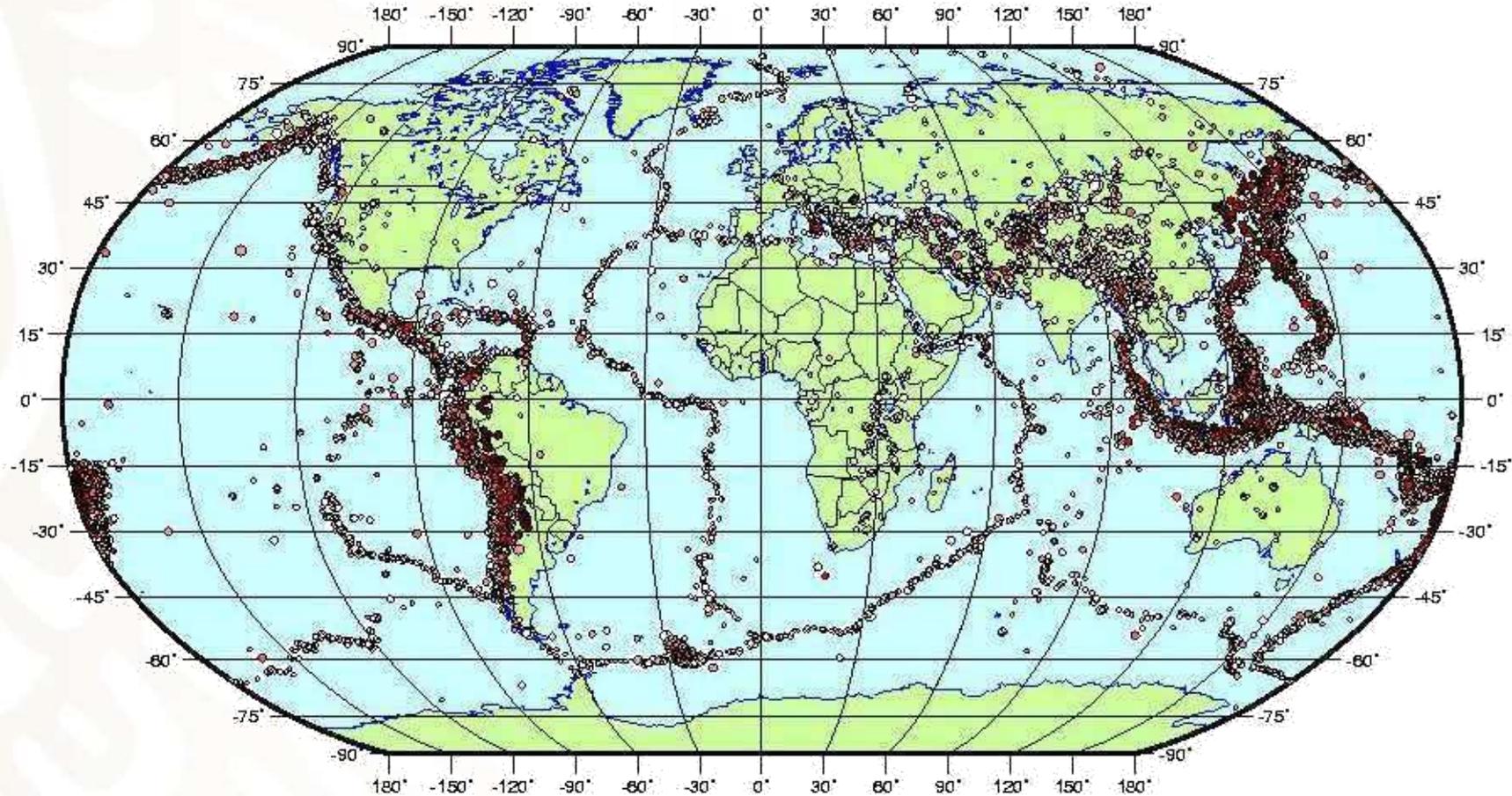
**La litósfera** es la capa sólida superficial de la Tierra, compuesta por la corteza terrestre y la capa externa del manto. Flota sobre la Astenósfera, que es una capa blanda que forma parte del manto superior.



**La litósfera** está dividida en placas, las cuales incluyen la corteza. La corteza terrestre está dividida en 17 placas principales.



Source: Hasterok et al., (Earth-Sci. Rev., 2022)

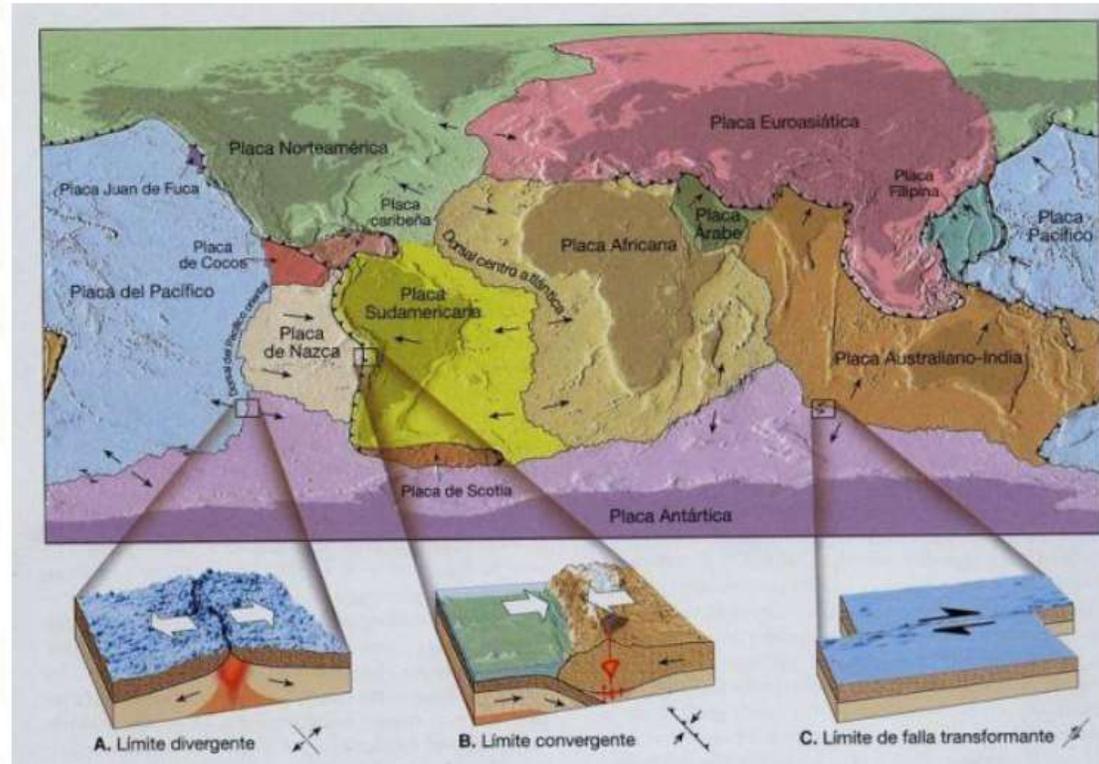


British Geological Survey



## Bordes de placa:

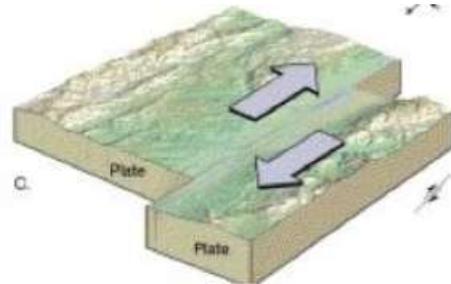
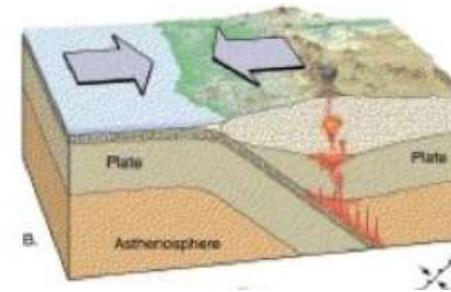
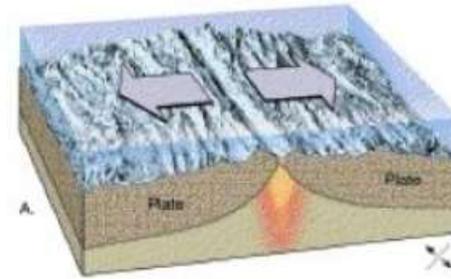
Los bordes de placa son las zonas donde dos o más placas entran en contacto e interactúan entre sí.



**Divergentes:** las placas tienden a separarse, debido a la creación de nueva corteza. Son zonas sísmicas y volcánicas.

**Convergentes:** las placas tienden a aproximarse, donde la litósfera oceánica penetra en el manto superior. Se producen sismos someros y profundos.

**Neutros:** zonas donde no se produce ni destruye litósfera. Sismos someros y medianos originados por esfuerzos de cortante



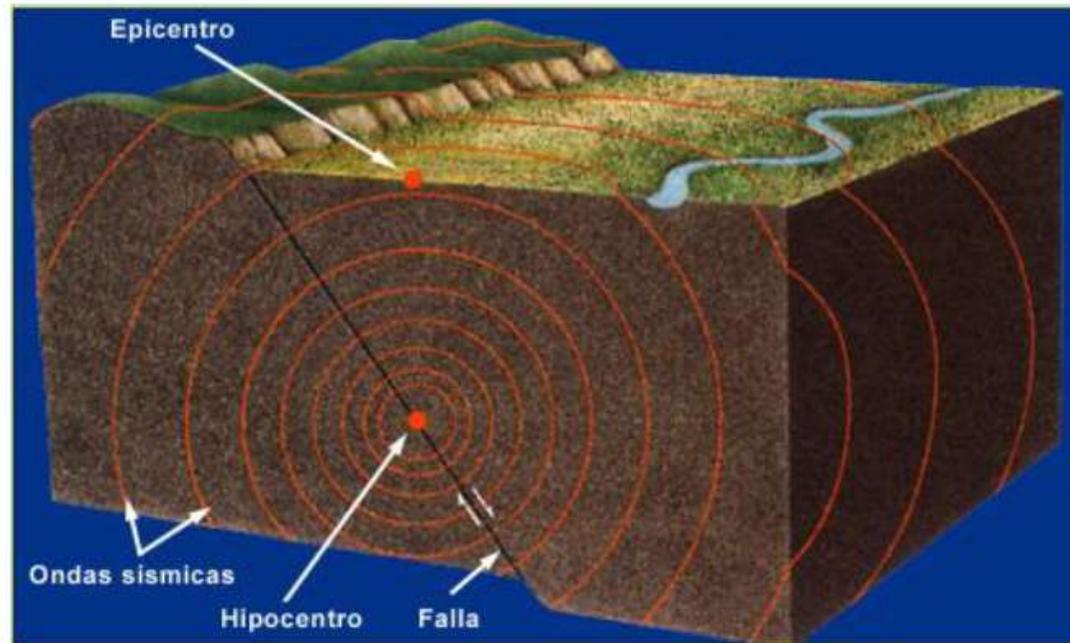


# Aspectos básicos de sismicidad

---

# ¿Por qué tiembla?

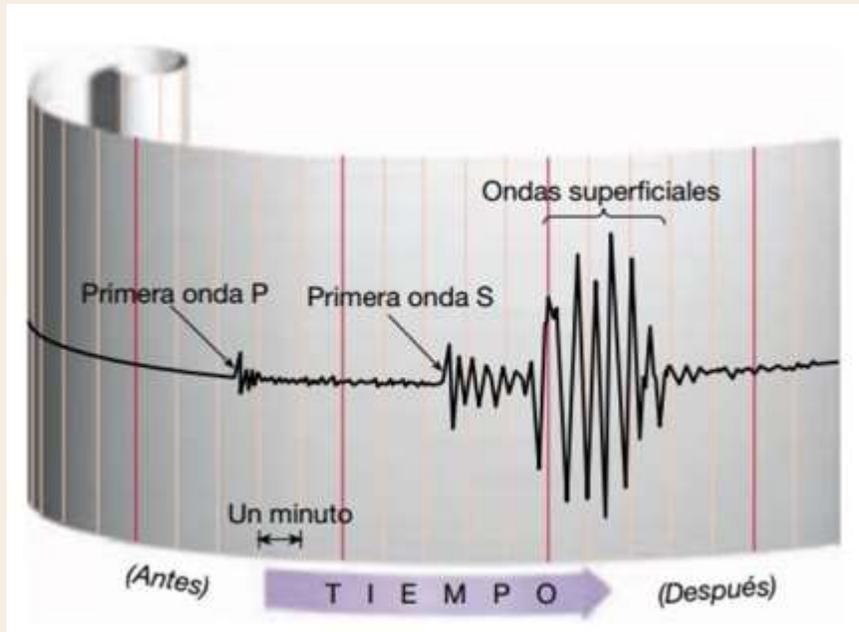
El movimiento de las placas tectónicas puede generar una liberación rápida y espontánea de energía, produciendo vibraciones en la superficie terrestre.



# ¿Por qué tiembla?



# Ondas sísmicas

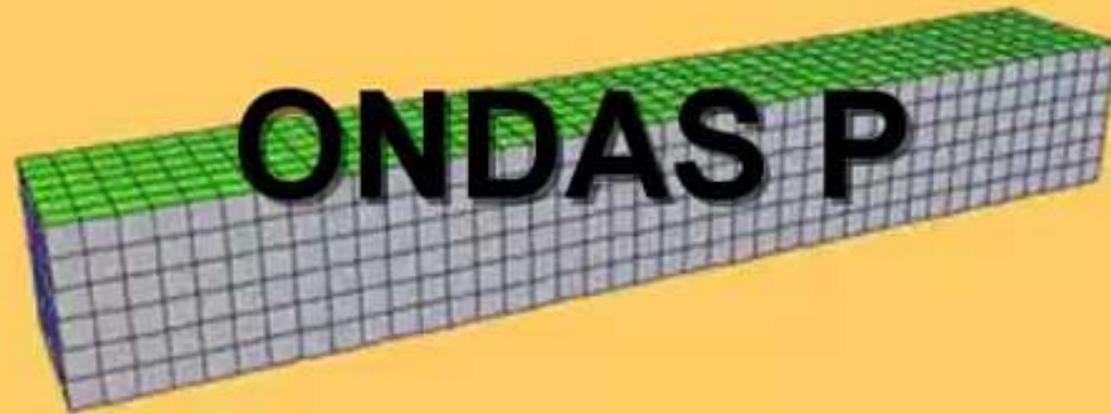


Las ondas sísmicas se pueden clasificar en dos tipos principalmente dependiendo de la forma de propagarse:

- Ondas internas o de cuerpo:
  - *Ondas P*: ondas de compresión. Pueden viajar a través de cualquier medio.
  - *Ondas S*: ondas de corte. No pueden viajar en medios líquidos.
- Ondas de superficie:
  - *Ondas Love*
  - *Ondas Rayleigh*

Fuente de la imagen: Tarbuck, E. & Lutgens, F., 2001: Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física [6ª ed.]- 540 págs. Prentice Hall, Madrid España

P wave



Los temblores se pueden clasificar como:

### **Naturales:**

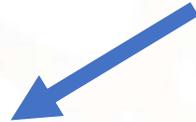
- *Tectónicos*: se generan por el movimiento de las placas tectónicas.
- *Volcánicos*: generados por la actividad volcánica.
- *Colapso*: debidos al colapso de techos y paredes de minas o cavernas.

### **Artificiales:**

- Generados por la actividad del hombre (e.g. detonaciones).  
Muy poca energía liberada comparados con los naturales.

# ¿Cómo se mide un sismo?

Existen dos formas de medir un sismo:



**Magnitud:**

Propia del sismo, indica la energía liberada en el evento

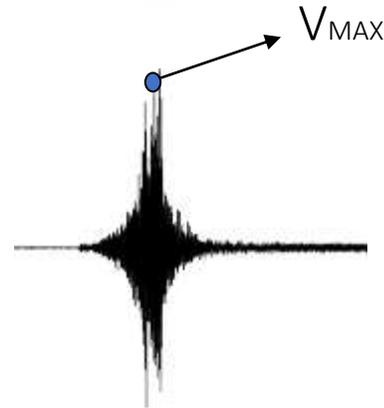
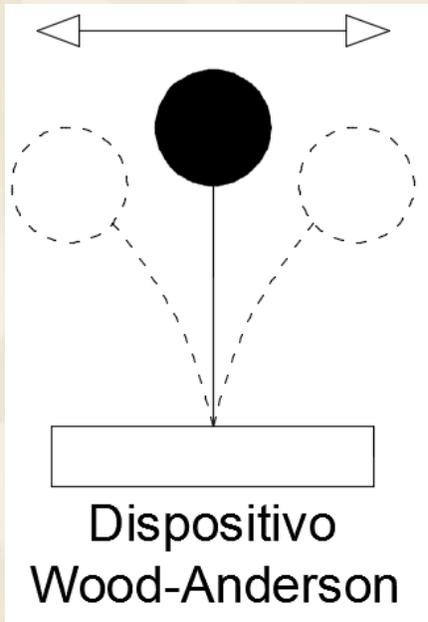


**Intensidad:**

Dependiente del lugar donde se mida. Indica el impacto que tiene un sismo en un lugar determinado.

# Magnitud (Escala de Richter)

Gutenberg y Richter, realizaron mediciones de velocidad máxima ( $V_{\text{máx}}$ ) para cada temblor. En 1935 Richter propone una escala en función de la velocidad y la distancia al epicentro.



Registro de  
velocidades

$$M_L = \log \left( \frac{V_{MAX}}{V_0} \right) + C(\Delta)$$

No representa una medida directa de la energía liberada.

La escala se satura en grandes magnitudes.

# Magnitud

## (Escala de magnitud de momento)

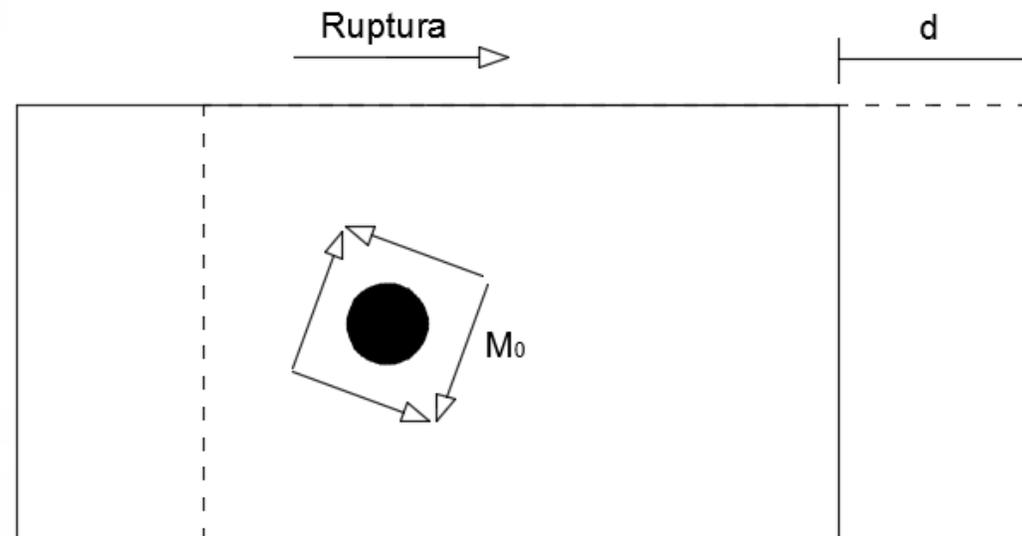
En 1979 Hanks y Kanamori proponen una medida directa de la energía liberada en los sismos, en función de las propiedades mecánicas del suelo, el área de ruptura y el desplazamiento. Con base en la energía liberada se propone la escala  $M_w$  que conocemos y se usa en la actualidad.

$$M_o = \mu A \bar{D}$$

$M_o$ : Momento sísmico

$$M_w = \frac{2}{3} (\log M_o - 16.1)$$

donde  $M_o$  esta en dina - cm  
(Hanks y Kanamori, 1979)

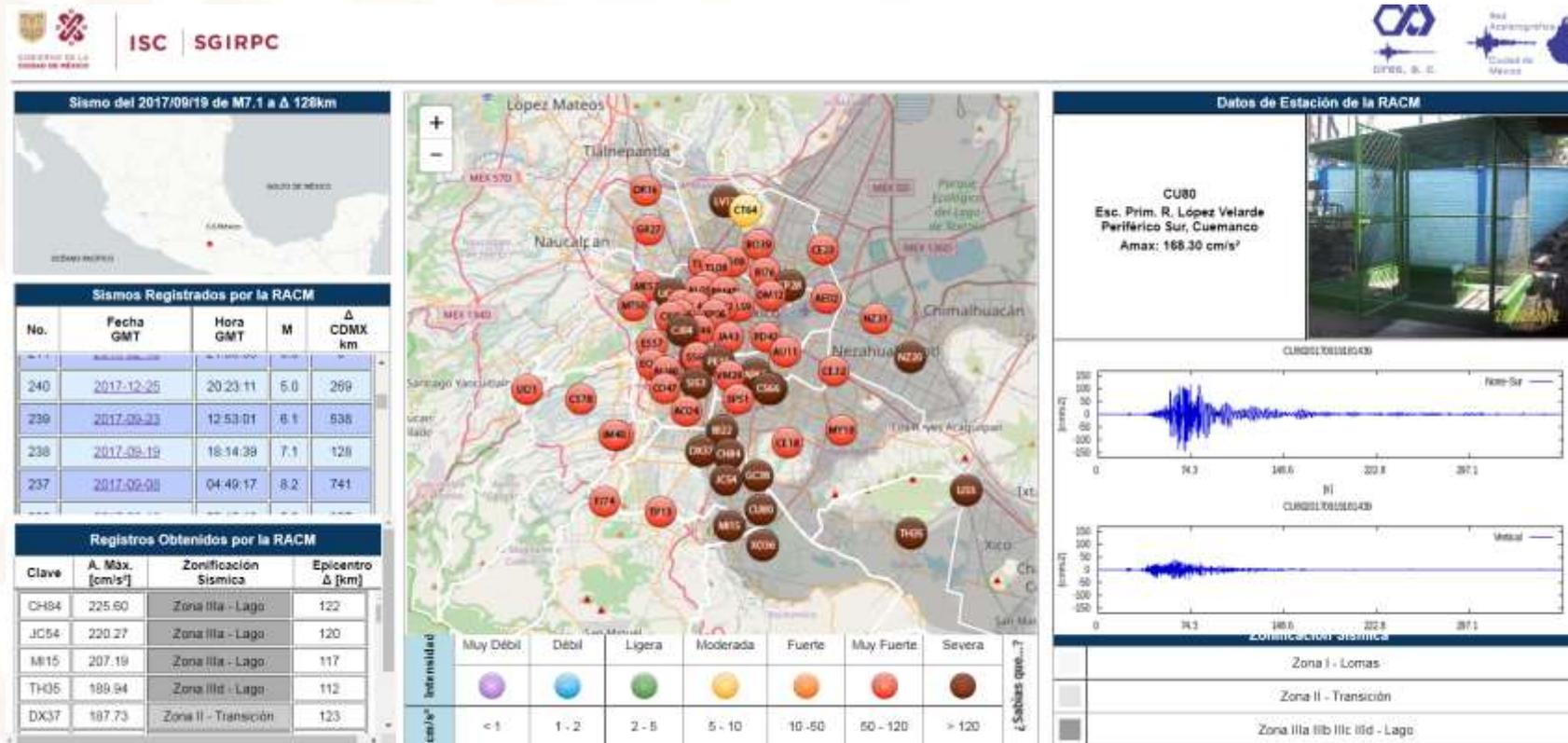


# Intensidad (Escala de Mercalli)

Escala Sísmica Modificada de Mercalli	
I. Imperceptible	Microsismo, detectado por instrumentos
II. Muy Leve	Sentido por algunas personas (generalmente en reposo)
III. Leve	Sentido por algunas personas dentro de edificios
IV. Moderado	Sentido por algunas personas fuera de edificios
V. Poco Fuerte	Sentido por casi todos
VI. Fuerte	Sentido por todos
VII. Muy Fuerte	Las construcciones sufren daño moderado
VIII. Destructivo	Daños considerables en estructuras
IX. Muy Destructivo	Daños graves y pánico general.
X. Desastroso	Destrucción en edificios bien construidos
XI. Muy Desastroso	Casi nada queda en pie
XII. Catastrófico	Destrucción total

# Intensidad

Actualmente la manera más efectiva para medir la intensidad es con las aceleraciones medidas en los instrumentos de monitoreo sísmico





## Terremotos y Tectónica del Suroeste Mexicano

El desastre causado por el terremoto de 1985 origina el sistema de alerta sísmica



IRIS  
TEACHABLE MOMENT

### Temas:

- Física de terremoto
- Geología en el Valle de México
- Resonancia de edificios

Ciudad de México



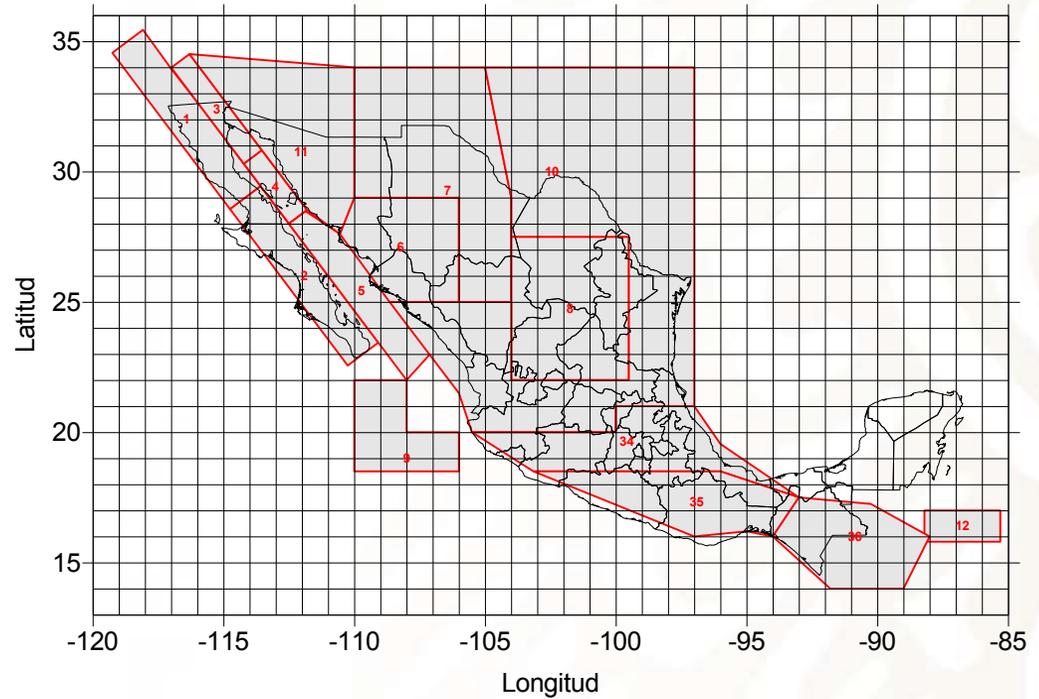
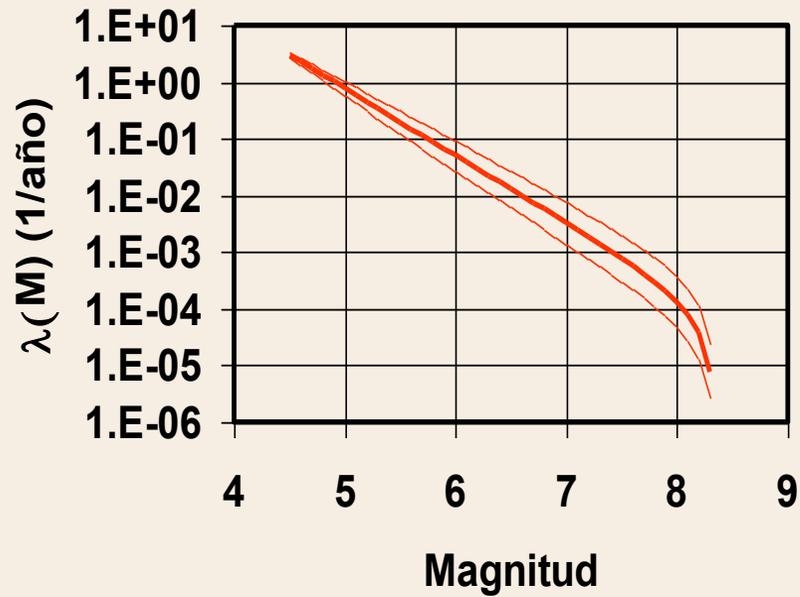
2023  
AÑO DE  
**Francisco  
VILLA**

EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO

# Caracterización del peligro sísmico en México

Magnitud geofísica que da la probabilidad de ocurrencia de sismos en un área geográfica específica durante un intervalo de tiempo.

Curva magnitud-tasa de excedencia



## Regionalización sísmica de la República Mexicana (peligro)

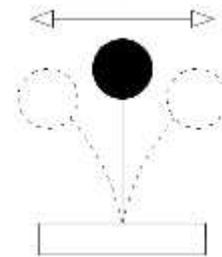


## Caracterización del peligro sísmico (demanda sísmica)

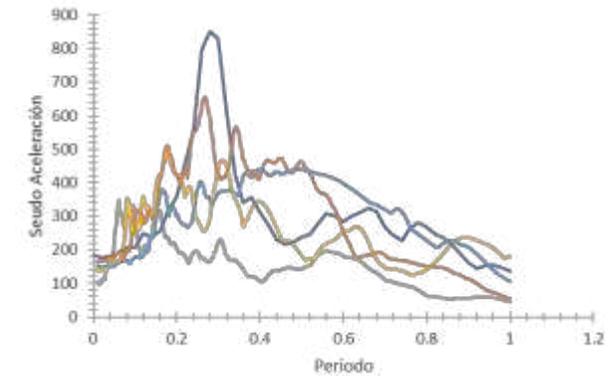
Con el registro de datos de aceleraciones y modelos matemáticos del comportamiento de las estructuras, se calculan **espectros de respuesta**.



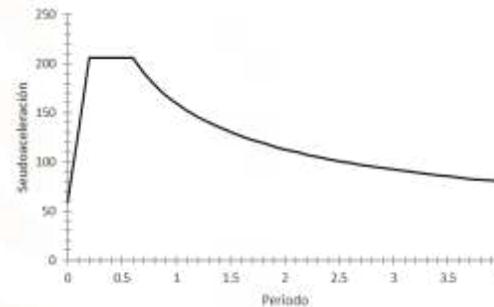
Registros sísmicos



Modelo matemático

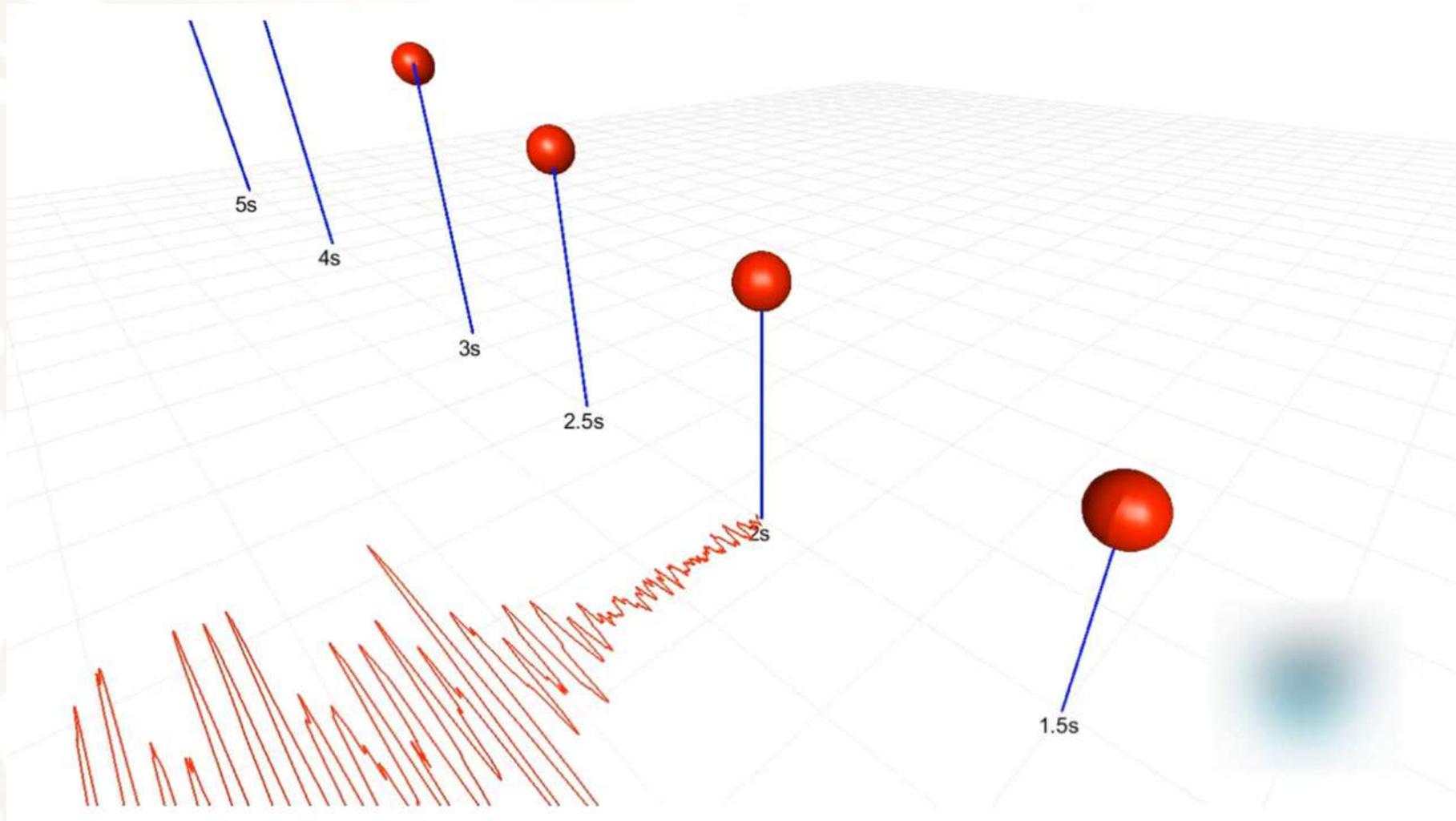


Espectros de respuesta



Espectro de diseño

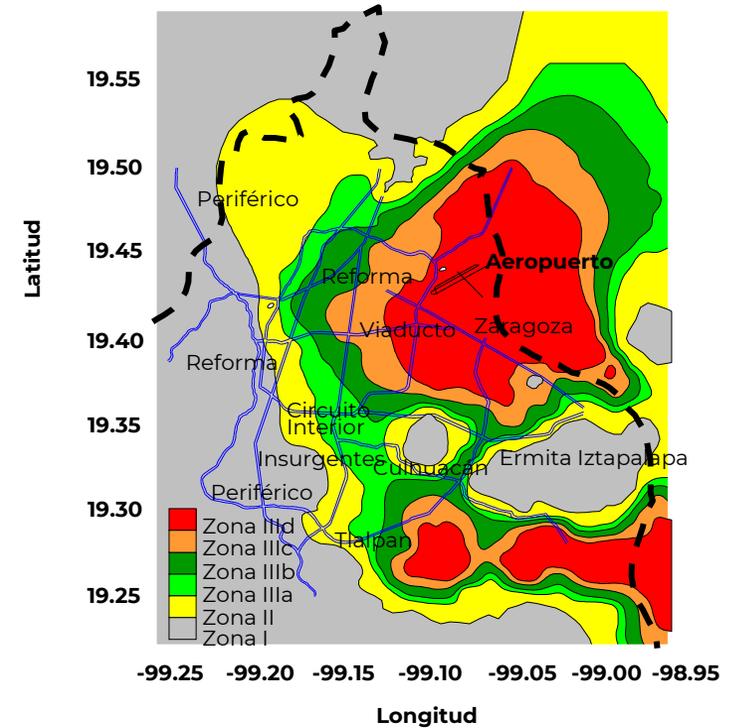




La demanda sísmica depende de muchos factores; como la distancia entre lugar de interés a las zonas sismogénicas, el tipo de suelo y los efectos de sitio.



Mapa de aceleraciones en terreno firme, CFE, 2008

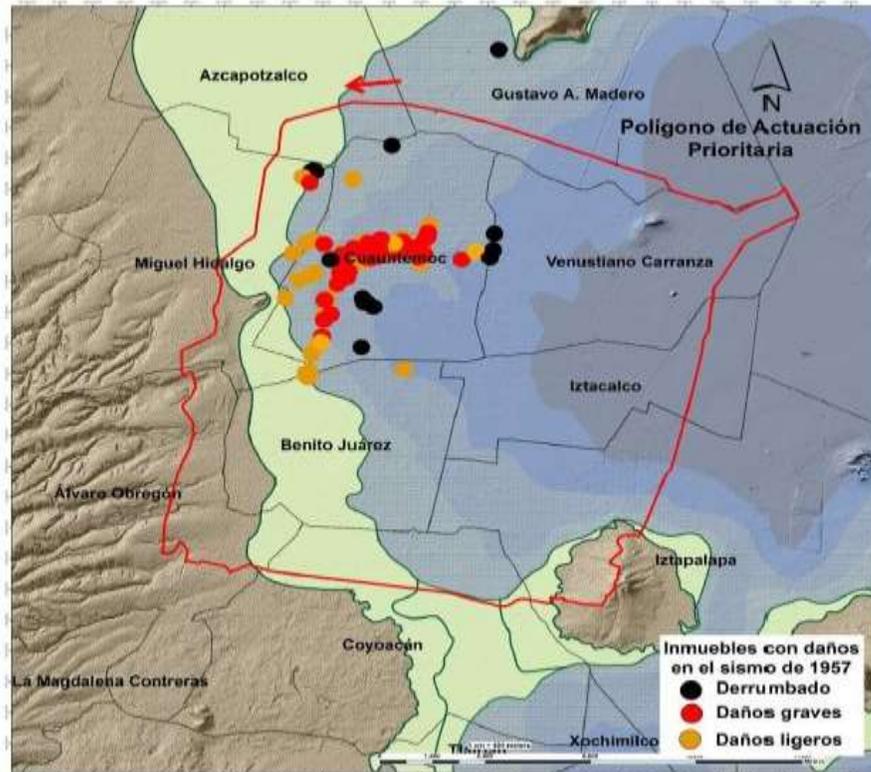


Zonificación geotécnica de la CDMX

# ¿Qué hemos aprendido de sismos recientes y pasados?

---

## Daños por el sismo del 28 de julio de 1957 (El sismo del Ángel), M 7.7



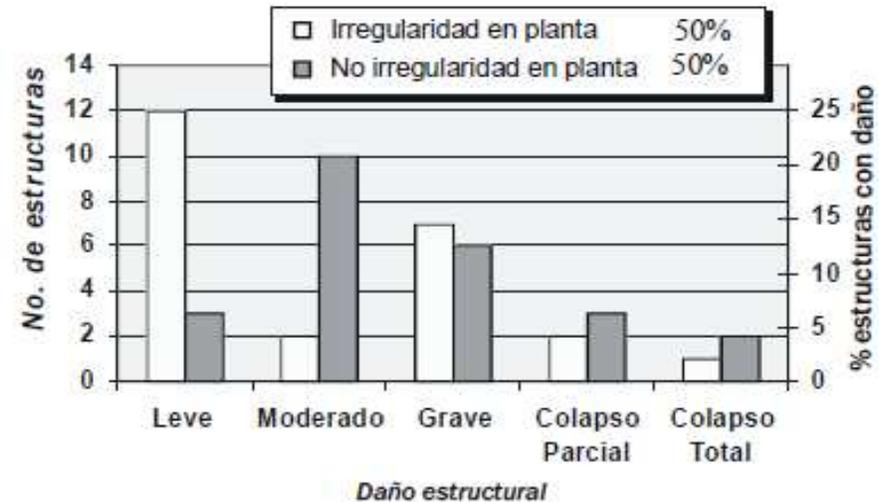
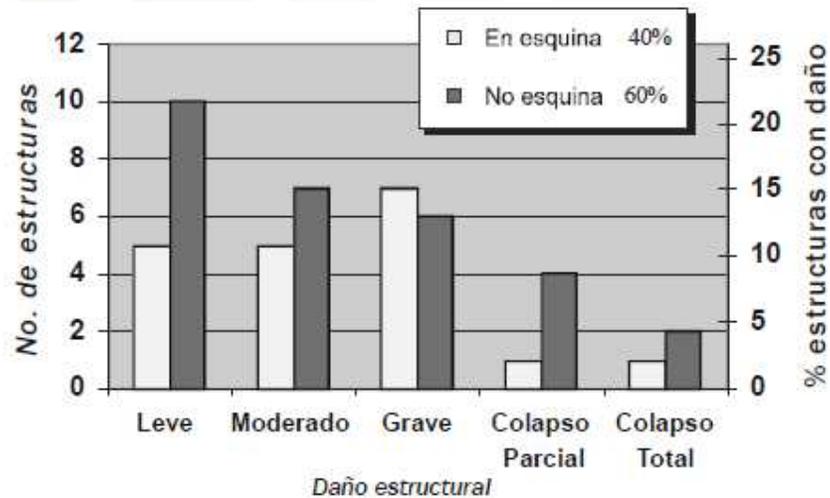
Numeralia:

- 1000 edificios dañados (incluyendo casos de bardas y estructuras con grietas en acabados)
- 4 colapsos totales y 5 colapsos parciales
- 68 muertos

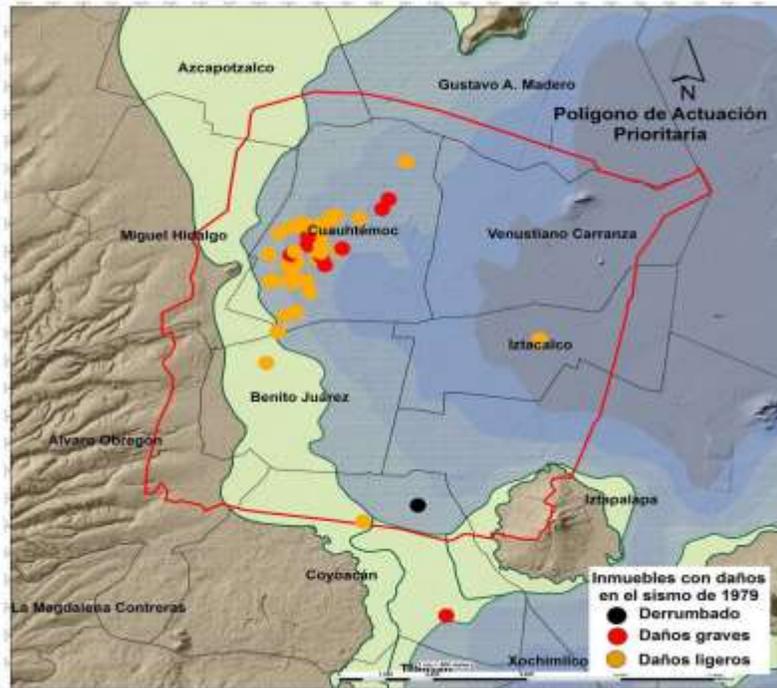


Inmuebles con daños en el sismo de 1957

## Daños por el sismo del 28 de julio de 1957 (El sismo del Ángel), M 7.7



## Daños por el sismo del 14 de marzo de 1979 (El sismo de la Ibero), M 7.6



Inmuebles con daños en el sismo de 1979



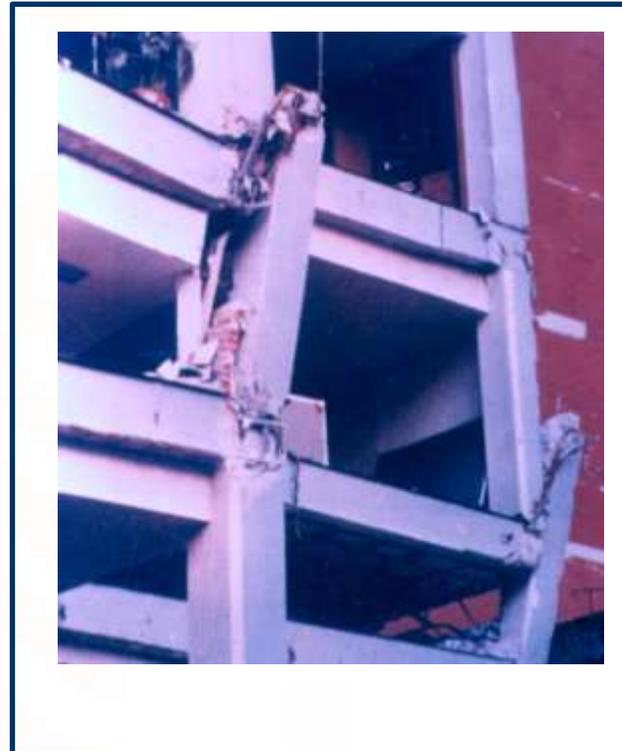
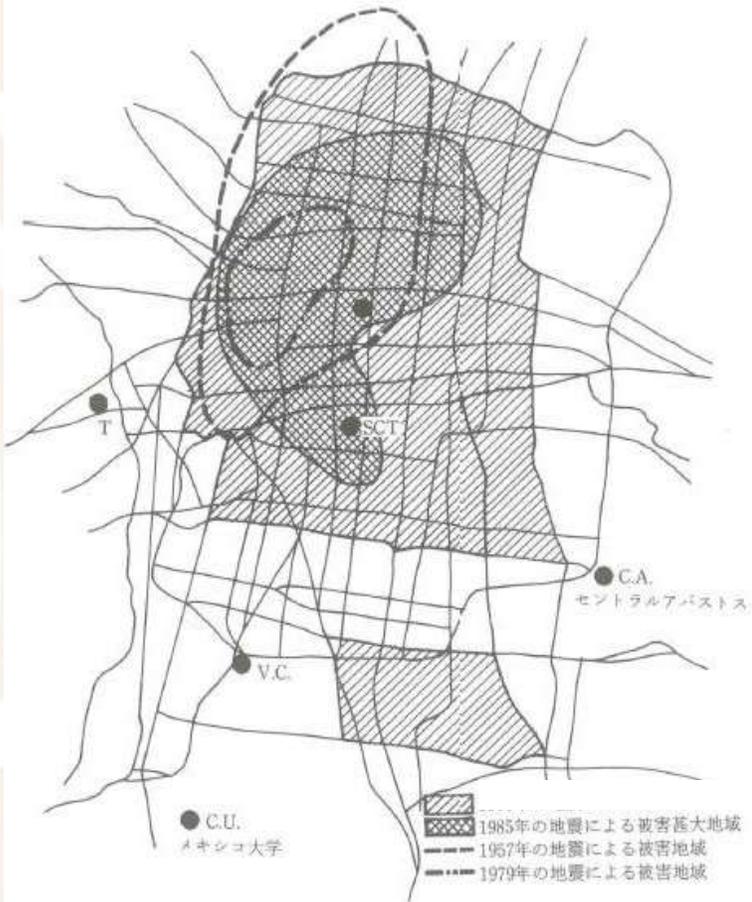
Numeralia:

- 56 edificios dañados
- 1 colapso total
- 5 muertos

Fuente: 14 de marzo de 1979: El sismo que marcó la historia e la IBERO. <http://www.iberomex.com/prensa/14-de-marzo-de-1979-el-sismo-que-marco-la-historia-de-la-iberomex>

## Daños por el sismo del 19 de septiembre de 1985, M 8.1

- 3,300 edificios dañados
- 6,000 víctimas mortales
- 4,104 MDD de pérdidas materiales



**Un hecho, se presenta daño en edificaciones vitales  
Hospital Juárez, 536 camas y 561 personas**



**Daños por el  
sismo del 19 de  
septiembre de  
1985, M 8.1**

Educación:

¿La ingeniería mexicana es notablemente mala?

Colapsa un hospital y, en la misma zona, las edificaciones no sufren gran daño.

Preparación y prevención:

No estaban preparados porque, en principio, reglamentariamente lo último que debería dañarse era un hospital.

Choque entre edificios  
vecinos Incumplimiento de  
separación



Edificios en esquina



Cambio en el uso del inmueble

**Incumplimientos reglamentarios y normativos, y características geométricas que generan condiciones de vulnerabilidad.**

## Daños por el sismo del 19 de septiembre de 1985, M 8.1

## Estadística de daños en hospitales

INSTITUCIÓN	CAMAS PREVIA S	CAMAS PERDIDA S	% DE PÉRDIDA
I.M.S.S.	8,197	2,775	33.9
I.S.S.S.T.E.	2,427	867	35.7
S.S.A.	4,975	745	15.0
D.D.F.	1,807	0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>17,406</b>	<b>4,387</b>	<b>25.2</b>

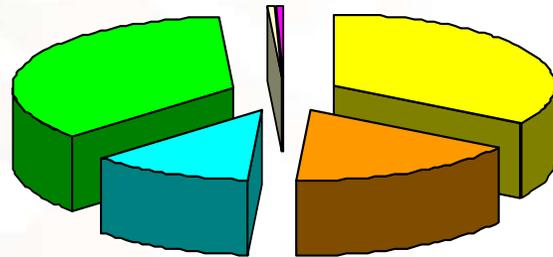
Pérdida de vidas: 320 en tres centros hospitalarios

Fuente: Centro de documentación y archivo, Secretaría de Salud. 15/12/1985

## Pérdidas económicas debido a los sismos de 1999

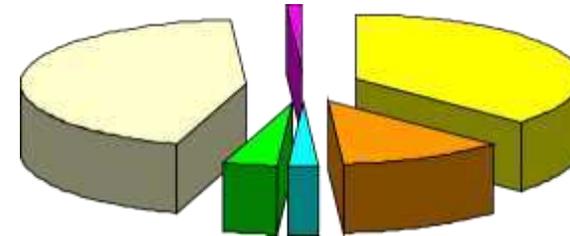
Un hecho, se presenta daño en edificaciones vitales

Tehuacán,  $M_w = 7$   
Total = 150 M USD



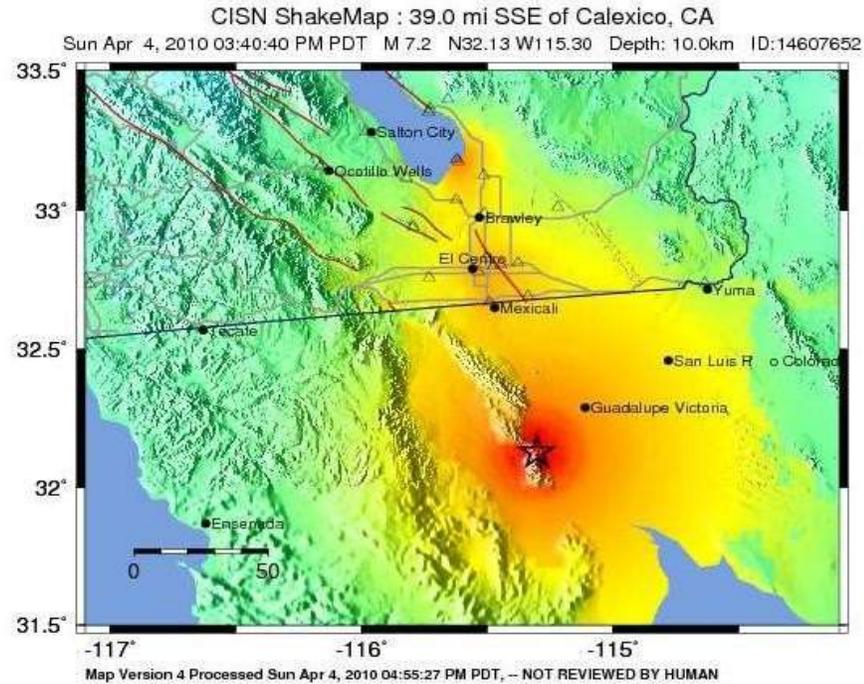
- Vivienda
- Escuelas
- Hospitales
- Monumentos históricos
- Caminos

Oaxaca,  $M_w = 7.5$   
Total = 150 M USD



Aunque el daño en edificaciones de hospitales sea “pequeño” o “bajo”, es claro que el daño **en hospitales NO DEBE EXISTIR**, cualquier nivel de daño genera el desalojo e imposibilita el uso de las instalaciones

# El caso de Mexicali, 2010



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-18	18-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+





El caso de Mexicali,  
2010

**¿Donde están los  
castillos y dalas”?**  
**¿Donde está el  
reglamento?**  
**¿Quien lo usa?**

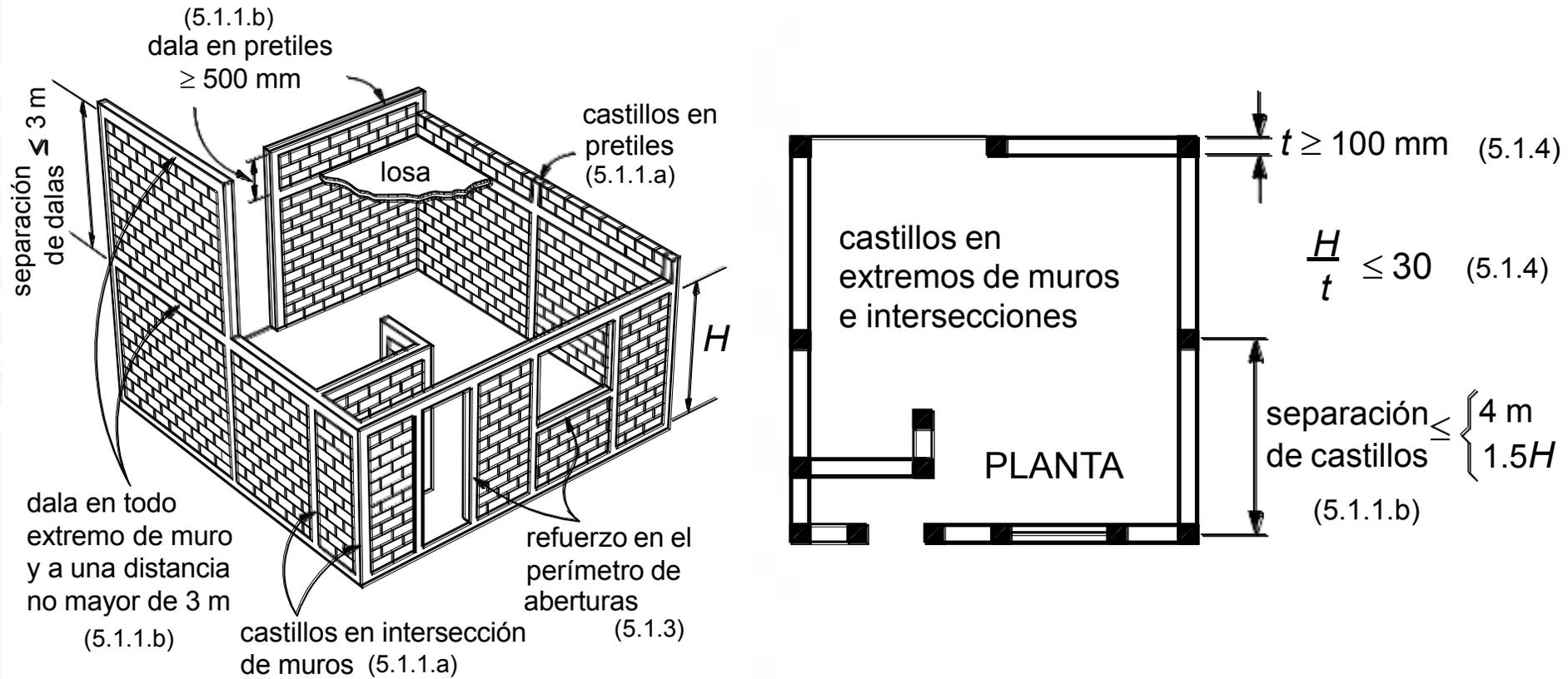


Figura que presenta la Norma Técnica Complementaria de Diseño de Mampostería del RCDF (2004)

# ¿QUÉ PASÓ EL 19/09/2017?

## Edificación Grupo A. Con daño no estructural severo y daño estructural en puentes peatonales de conexión



Fuente: animal político, Rodrigo Crespo

## Daños por los sismos de septiembre de 2017 en hospitales

		CDMX	Mor.	Tlax.	Mich	Edo. de Méx.	Gro.	Pue.	Oax.	Total
Daños	Sin daños	61	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r	s/r	61
	Leve	21	1	0	1	5	1	2	3	34
	Moderado	12	6	0	0	2	0	5	2	27
	Grave	0	4	1	0	4	0	3	0	12
	Total	94	11	1	1	11	1	10	5	134
Estado de función	Completo	80	1	0	1	3	1	2	0	88
	Parcialmente	14	5	0	0	4	0	5	5	33
	Fuera de servicio	0	5	1	0	4	0	3	0	13
	Total	94	11	1	1	11	1	10	5	134



## Daños por los sismos de septiembre de 2017 en escuelas

	Estados que reportaron mayor afectación									
Nivel de daño	CDMX	Mor.	Tlax.	Mich	Edo. de Mex.	Gro.	Pue.	Oax.	Chis.	Total
Menor %	1169	904	814	559	2127	419	1610	1879	2147	11628
	10.80	23.49	32.40	3.99	8.46	3.31	10.41	12.31	10.41	9.66
Moderado/Severo %	824	396	198	11	2747	119	585	1094	916	6890
	7.60	10.29	7.88	0.08	10.92	0.94	3.78	7.17	4.44	5.72
Grave %	9	41	1	0	25	12	77	28	4	197
	0.10	1.10	0.04	0.00	0.10	0.09	0.50	0.18	0.02	0.16
Total %	2002	1341	1013	570	4899	550	2272	3001	3067	18715
	18.50	34.88	40.32	4.07	19.48	4.34	14.69	19.66	14.87	15.54

## ¿El daño severo y colapso, se debió a insuficiencia de las normas?



Edificaciones escolares en el estado de Oaxaca, sismo del 7 de septiembre



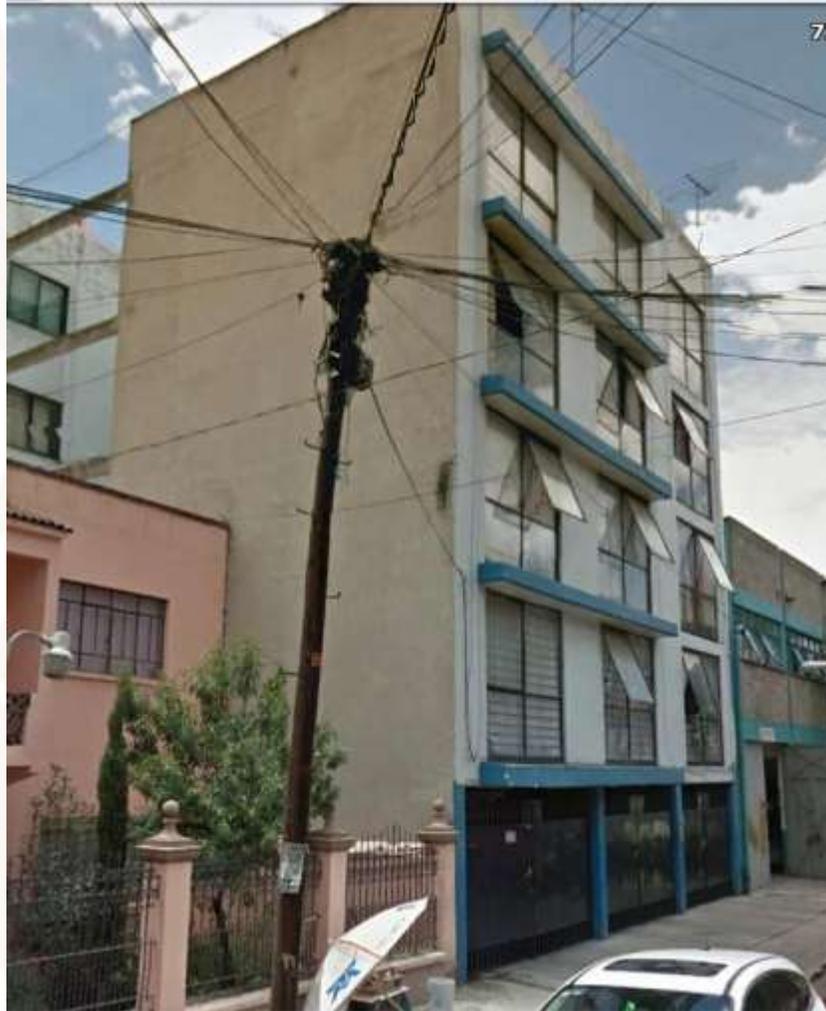
Escuela en Ciudad de México, sismo del 19 de septiembre



¿El daño severo y colapso, se debió a insuficiencia de las normas?



¿El daño severo y colapso, se debió a insuficiencia de las normas?

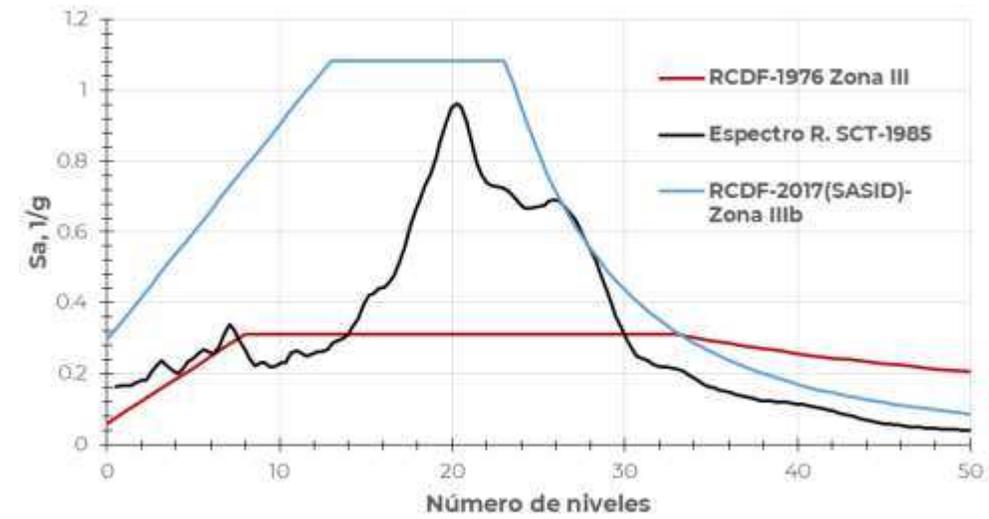
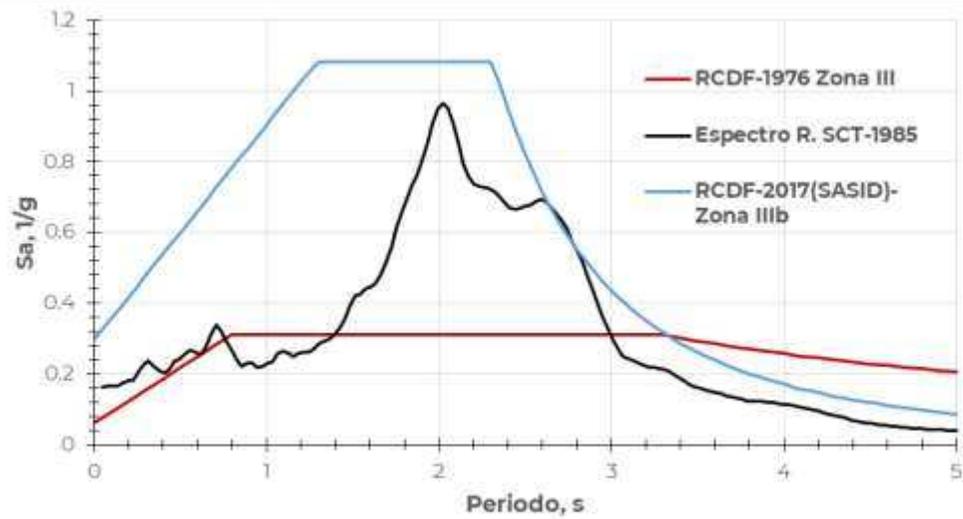


## Algunos datos estadísticos comparativos e ilustrativos

Configuración estructural	Casos (% de los edificios con daño severo y colapso)	
	Sismo 19/09/1985	Sismo 19/09/2017
Edificio en esquina	42 %	38 %
Irregularidades en planta o elevación	15 %	19 %
Planta baja flexible	8 %	50 %
Golpeteo o choque	15 %	3 %

Fuentes: Sismo 1985, Roberto Meli Piralla  
 Sismo 2017, Sergio Alcocer

## Evolución de la demanda sísmica en México.



# ¿QUÉ FALTA?

## TEMAS GENERALES

- **REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVIDAD**
  - ✓ Promover su uso en edificación normal
  - ✓ Garantizar su uso en edificación vital, **daño nulo**
- **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES EXISTENTES ANTE UN SISMO POSTULADO Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL POST- SISMO**
  - ✓ Utilidad para asegurar la preservación de la vida
  - ✓ ¿Quiénes deben ser los responsables de realizarlas?
  - ✓ ¿Hasta donde la atribución y responsabilidad de la autoridad en relación con un resultado desfavorable?
- **MANEJO DE INFORMACIÓN RESULTADO DE CAMPAÑAS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL (ESCENARIO) Y DE EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL POST-SISMO**

## Evaluación de vulnerabilidad, previa a ocurrencia de sismo Año: 2004

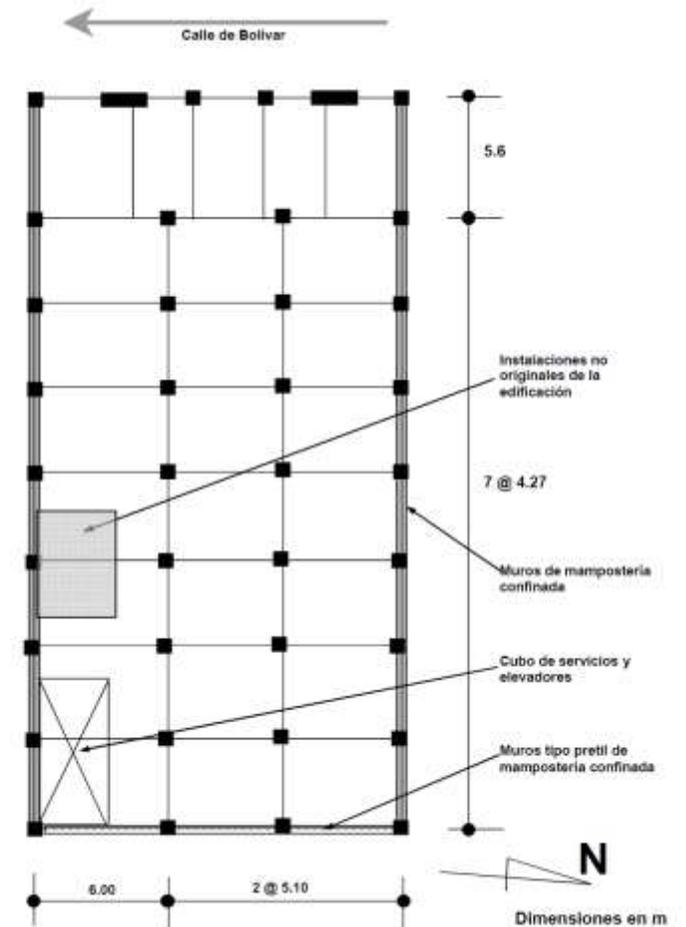


Figura 1 Vista de la planta general de la estructura del edificio

# Levantamiento de datos. Evaluación tipo Etapa II

## Criterios e hipótesis para análisis simplificado

### Información de documento presentado en 2004

- Se consideró un peso por unidad de superficie en cada nivel de 1.0 ton/m<sup>2</sup>.
- Se consideró que las columnas cuentan con una cuantía de refuerzo longitudinal de 0.03 (valor medio entre el máximo y el mínimo que se establecen en las Normas Técnicas Complementarias para estructuras de concreto en el Reglamento del Distrito Federal en su versión vigente de 1993).
- Se supone un mecanismo de falla en columnas en el cual se presenta una distribución antisimétrica de momentos (configuración deformada de doble curvatura con el punto de inflexión al centro de la altura de la columna), y a partir de esto se determina el cortante asociado a la formación del mecanismo (generalmente se le denomina mecanismo de cortante).
- La resistencia del entrepiso será la suma de las resistencias individuales de todas las columnas.
- Se revisa la dirección más desfavorable del comportamiento de esta estructura (en la dirección corta).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De lo observado durante la visita al edificio se derivan los siguientes comentarios:

1. La estructura guarda un nivel de daño ligero ante las demandas generadas por la incidencia de la mayoría de los eventos naturales que han afectado a la ciudad de México.
2. Los elementos no estructurales, como los acabados de los techos y muros de la zona de cubo de servicios y elevadores, presentan niveles de deterioro importantes. Esto puede devenir en un desprendimiento de material que, por la altura de los entrepisos de estas dos edificaciones, pudiera provocar algún tipo de lesión en los usuarios del inmueble.
3. En general se aprecia insuficiencia en los alcances de los programas de mantenimiento de la edificación.
4. Las trabes presentan indicios de diseño inadecuado, por la presencia de agrietamiento por tensión diagonal previo a la aparición del agrietamiento por flexión, lo cual podría redundar en un comportamiento frágil de los elementos.
5. Los valores del coeficiente de resistencia ante cargas laterales calculados para el primer entrepiso resultan menores que el valor propuesto como ordenada espectral de diseño normalizada respecto al peso total de la estructura. Esto implica la necesidad de gran demanda de ductilidad en la estructura (superior a dos) y los elementos componentes (superior a cuatro).

Se recomienda:

1. Plantear programas de mantenimiento de la edificación, contemplando la remoción completa de todos los elementos de acabados inestables.
2. Solicitar al dueño del inmueble el reporte de una evaluación del nivel de seguridad estructural desarrollado por un Director Responsable de Obra o un Corresponsable en Seguridad Estructural, debidamente autorizados para el Distrito Federal. Este requisito surge debido a lo indicado en los puntos 4 y 5 de los párrafos anteriores.

## Ciudad de México, Septiembre 2017



# COMENTARIOS FINALES

- **ASIGNATURAS PENDIENTES PARA LOGRAR RESILIENCIA**
  - ✓ Existencia de reglamentación y normatividad
  - ✓ Uso adecuado de la misma
  - ✓ Ética en el servicio profesional y honestidad en el ejercicio de los recursos públicos
- **ATENCIÓN DE LA EMERGENCIA**
  - ✓ Protocolización y sistematización de los procesos de evaluación post-evento
  - ✓ Necesidad de contar con cuadros de profesionales calificados en procedimientos
  - ✓ Necesidad de contar con cuadros de profesionales calificados en procedimientos de evaluación de vulnerabilidad y seguridad estructural
- **ACTIVIDADES DE PREVENCIÓN**
  - ✓ Necesidad de contar con profesionales calificados en relación con el Reglamento de Construcción y sus Normas Técnicas Complementarias, dentro de las instancias públicas (servidores públicos o entes coadyuvantes)
  - ✓ **Herramientas para que la autoridad obligue a revisión y refuerzo de edificaciones potencialmente vulnerables, aunque no hayan mostrado daño evidente**

***Gracias por su atención***

---

Oswaldo Contreras Reyes  
ocontreras@cenapred.unam.mx

***Subdirección de Riesgos Estructurales***



**SEGURIDAD**  
SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CNPC**  
COORDINACIÓN NACIONAL  
DE PROTECCIÓN CIVIL



**CENAPRED**  
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN  
DE DESASTRES



**2023**  
AÑO DE  
**Francisco**  
**VILLA**  
EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO