

# GOBIERNO DE MÉXICO



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES



# **EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS**

*Aspectos de peligro sísmico y vulnerabilidad estructural*

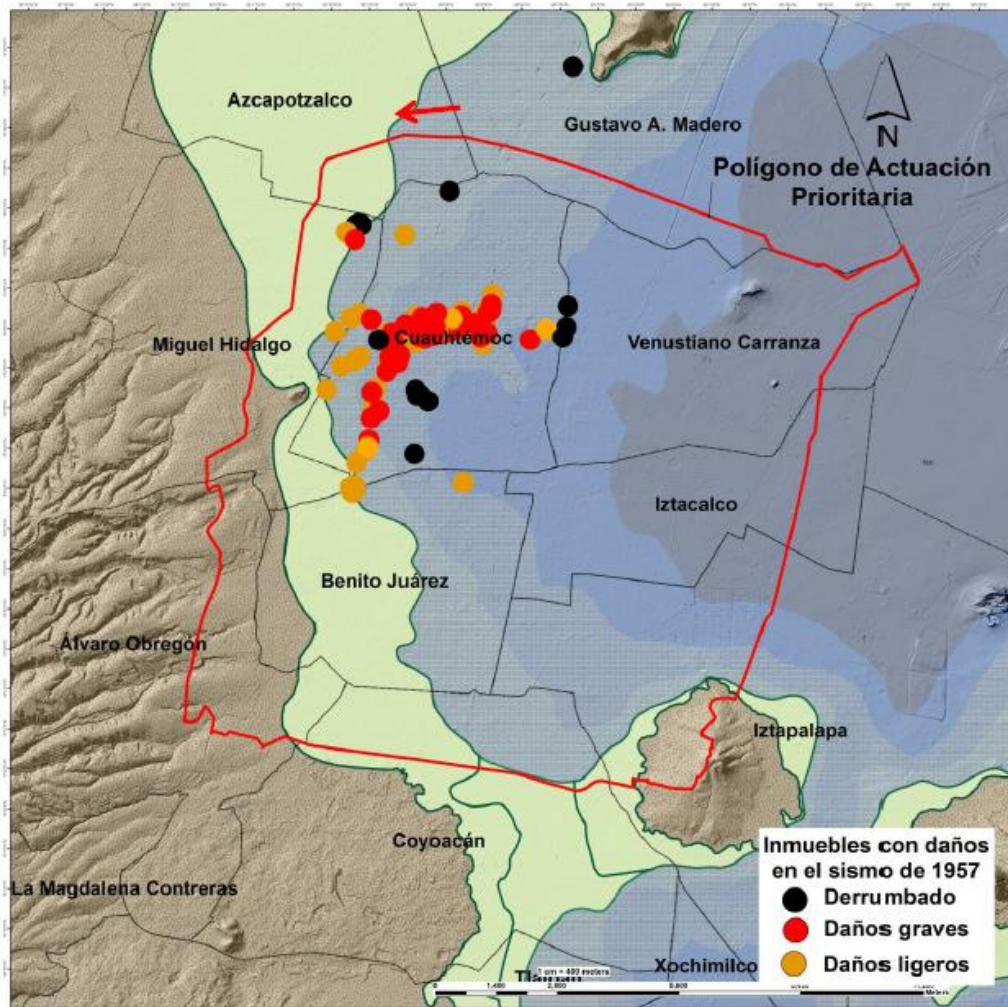
*Subdirección de Riesgos Estructurales*



## 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



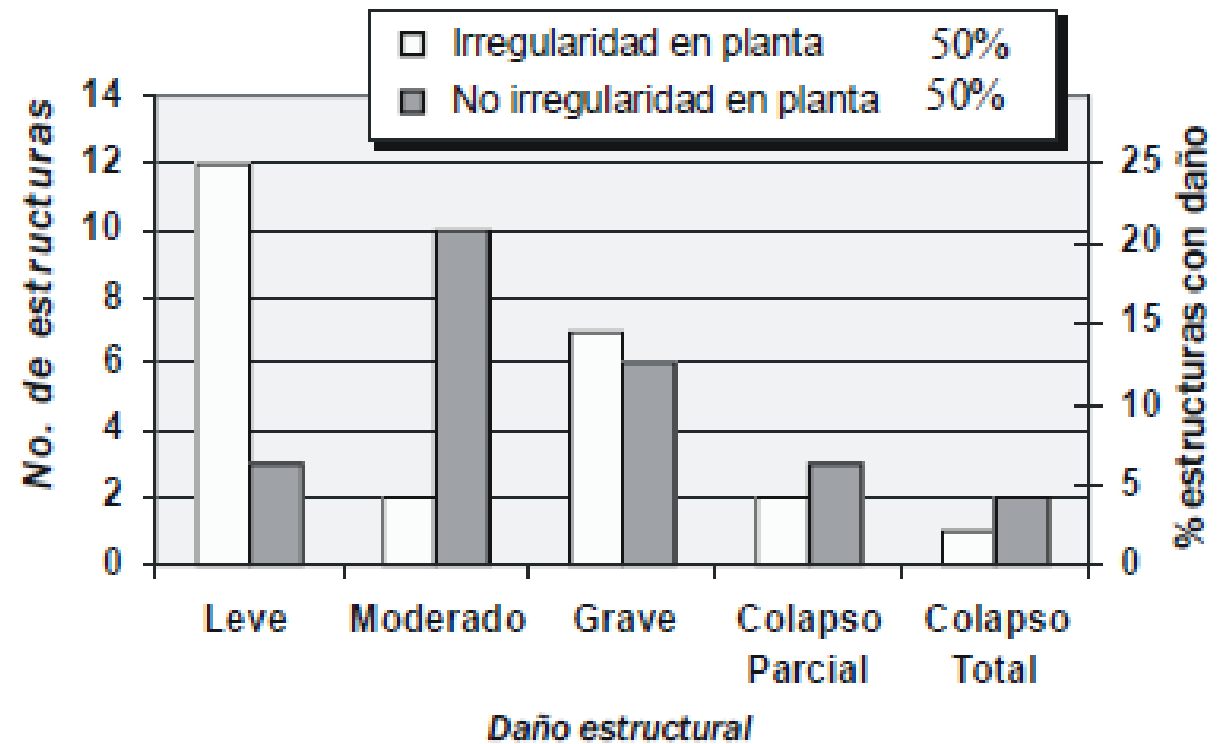
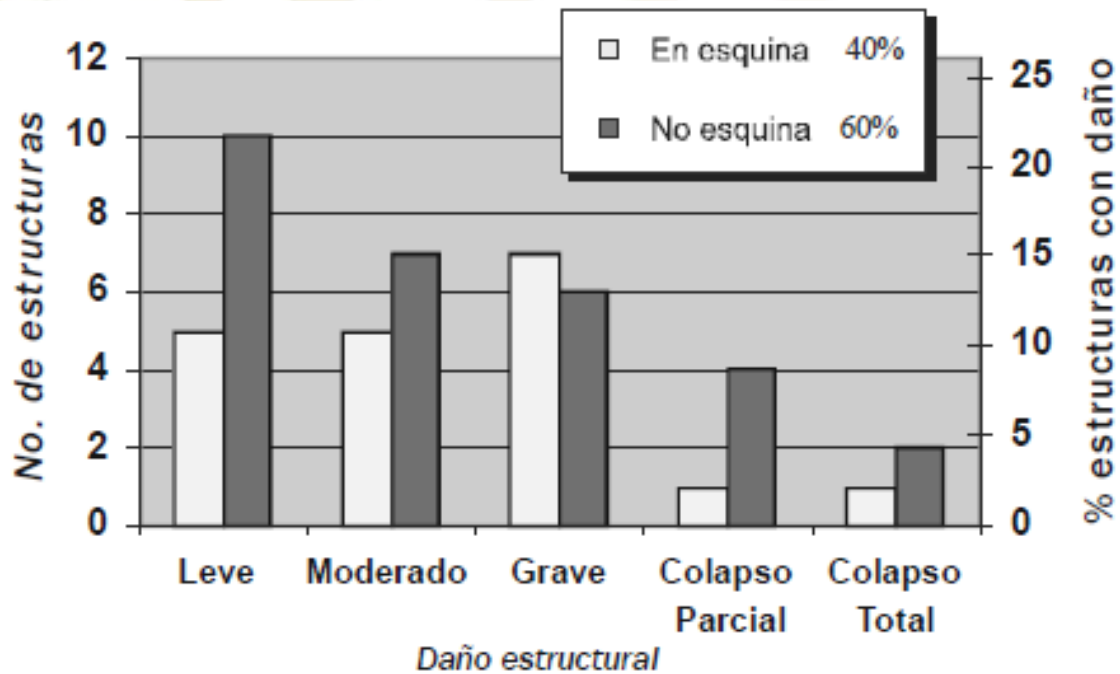
Inmuebles con daños en el sismo de 1957



**Edificio principal de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura**

Fuente: Cronología histórica 1843-2000 Instituto Politécnico Nacional. <http://www.mexicomaxico.org/IPN/CronolIPN.htm>

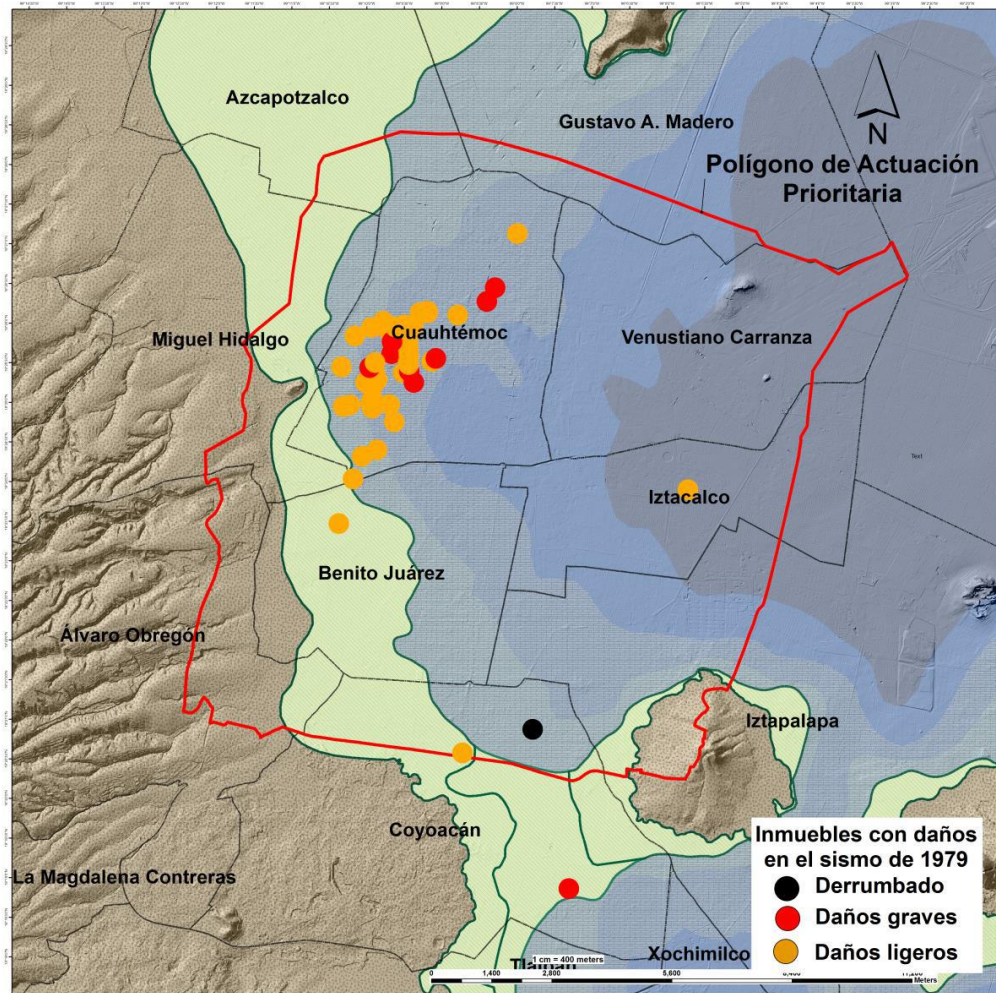
## Daños por el sismo del 28 de julio de 1957 (El sismo del Ángel), M 7.7







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



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.ibero.mx/prensa/14-de-marzo-de-1979-el-sismo-que-marco-la-historia-de-la-ibero>

**Inmuebles con daños en el sismo de 1979**





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

Numeralia:

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



Uniones viga-columna



Cortante en columnas



Adherencia en columnas





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, ¿la corrupción venció a la ingeniería?

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 PREVIAS	CAMAS PERDIDAS	% 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
TOTAL	17,406	4,387	25.2

Pérdida de vidas: 320 en tres centros hospitalarios



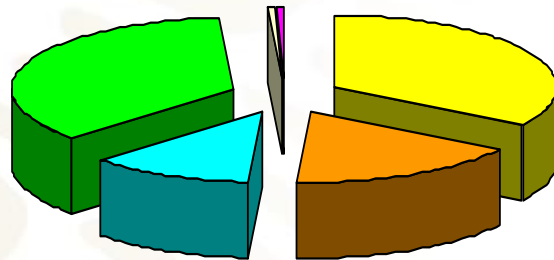
# ¿QUÉ HABÍAMOS APRENDIDO DE SISMOS RECIENTES Y PASADOS?



## Pérdidas económicas debido a los sismos de 1999

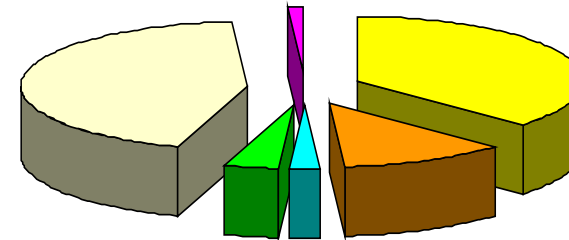
Un hecho, se presenta daño en edificaciones vitales

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

¿Dónde queda la resiliencia?



## Pérdidas económicas debido a diferentes fenómenos en 2012

Un hecho, se presenta daño en edificaciones vitales

Tabla 1.1 Resumen del impacto por fenómenos ocurridos durante 2012

Tipo de fenómeno	Muertos	Población afectada (personas) <sup>1/</sup>	Viviendas dañadas	Escuelas dañadas	Unidades de salud dañadas	Área de cultivo dañada o pastizales (ha)	Caminos afectados (km)	Total de daños (millones de pesos)	%
Geológicos	12	165,631	23,726	227	15	0.0	892.2	1,555.3	9.0
Hidrometeorológicos	140	842,744	28,433	491	13	143,453.9	886.0	15,265.9	88.2
Químicos	88	13,002	177	0	1	348,026.5	0.0	370.1	2.1
Sanitarios	4	1,908	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sociorganizativos	383	3,204	41	0	0	60.0	0.0	118.1	0.7
<b>Total</b>	<b>627</b>	<b>1,026,489</b>	<b>52,377</b>	<b>718</b>	<b>29</b>	<b>491,540.4</b>	<b>1,778.2</b>	<b>17,309.4</b>	<b>100.0</b>

<sup>1/</sup> Se considera heridos, evacuados y damnificados. Fuente: CENAPRED

**Un esquema similar se presenta en la última década, entonces surgen las preguntas:  
¿Todo el daño reportado es producto de los fenómenos naturales?,  
¿puede ser producto de programas de mantenimiento inexistentes o inadecuados?**

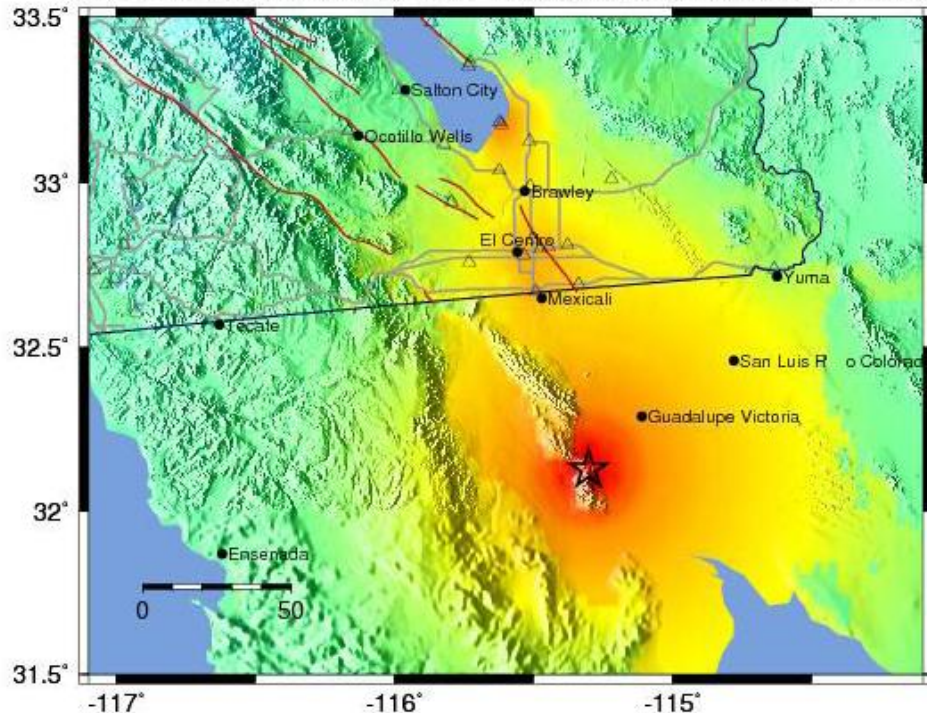




# El caso de Mexicali, 2010

CISN ShakeMap : 39.0 mi SSE of Calexico, CA

Sun Apr 4, 2010 03:40:40 PM PDT M 7.2 N32.13 W115.30 Depth: 10.0km ID:14607652



Map Version 4 Processed Sun Apr 4, 2010 04:55:27 PM PDT, -- NOT REVIEWED BY HUMAN

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	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+





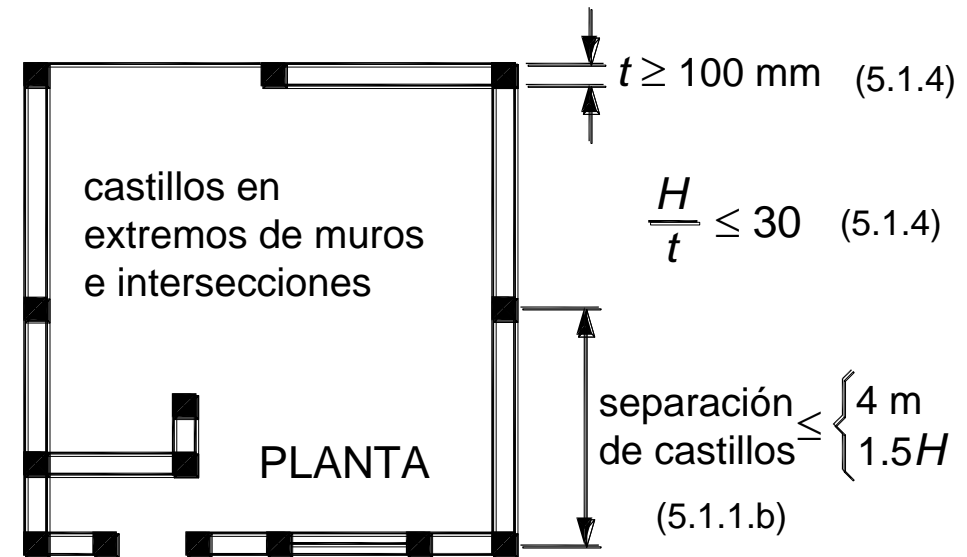
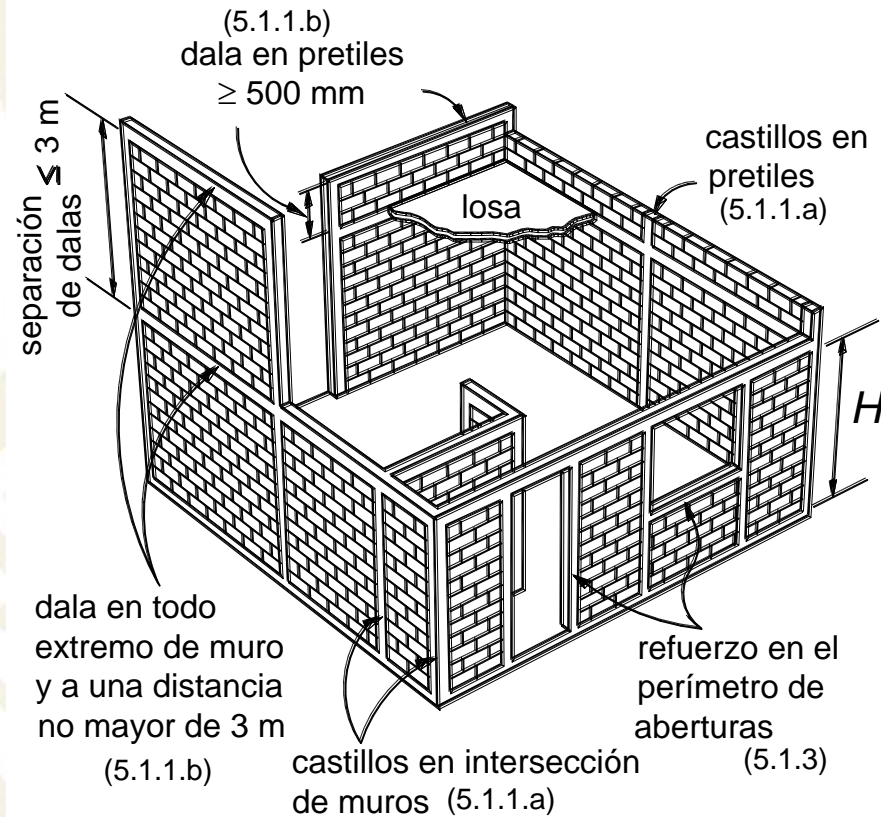
El caso de Mexicali,  
2010

¿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)**



## Conclusiones previas

- Deficiencias en el uso del reglamento
- Deficiencias en el proceso de garantizar el adecuado uso del reglamento
- Edificaciones con estructuración “sana” y respeto “suficiente” del reglamento, no presentaron problemas





**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA

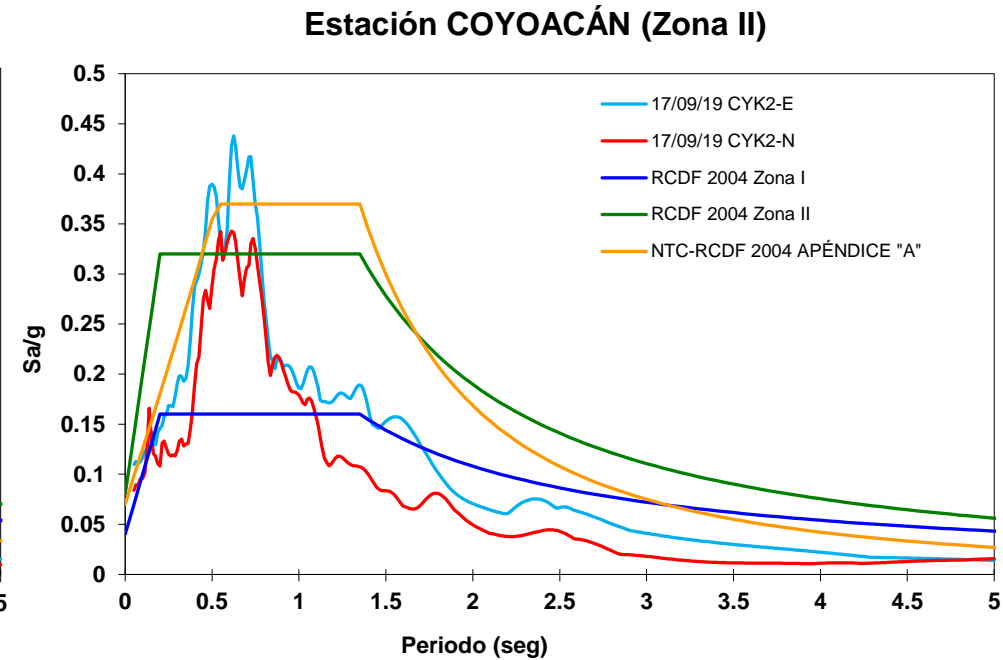
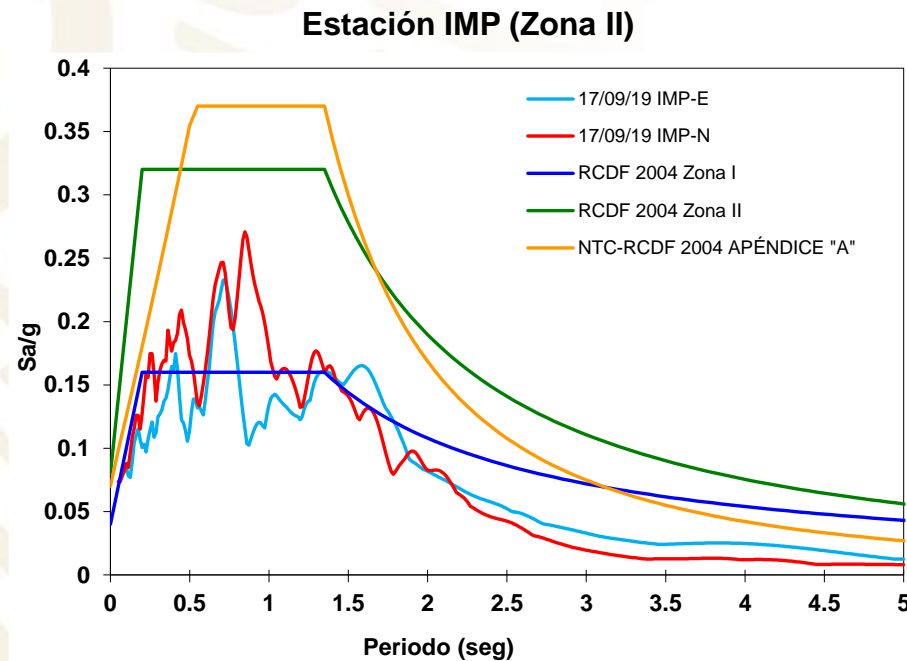


**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

¿QUÉ PASÓ EL 19/09/2017?

**Espectros de respuesta por canales Norte (N) y Este (E), del sismo del 19 de septiembre, registrados en las estaciones del CENAPRED ubicadas en la CDMX y su comparación con el reglamento RCDF-2004 Zonas I y II, cuerpo principal y las NTC- Apéndice A ( $T_s = 1.0$  s)**



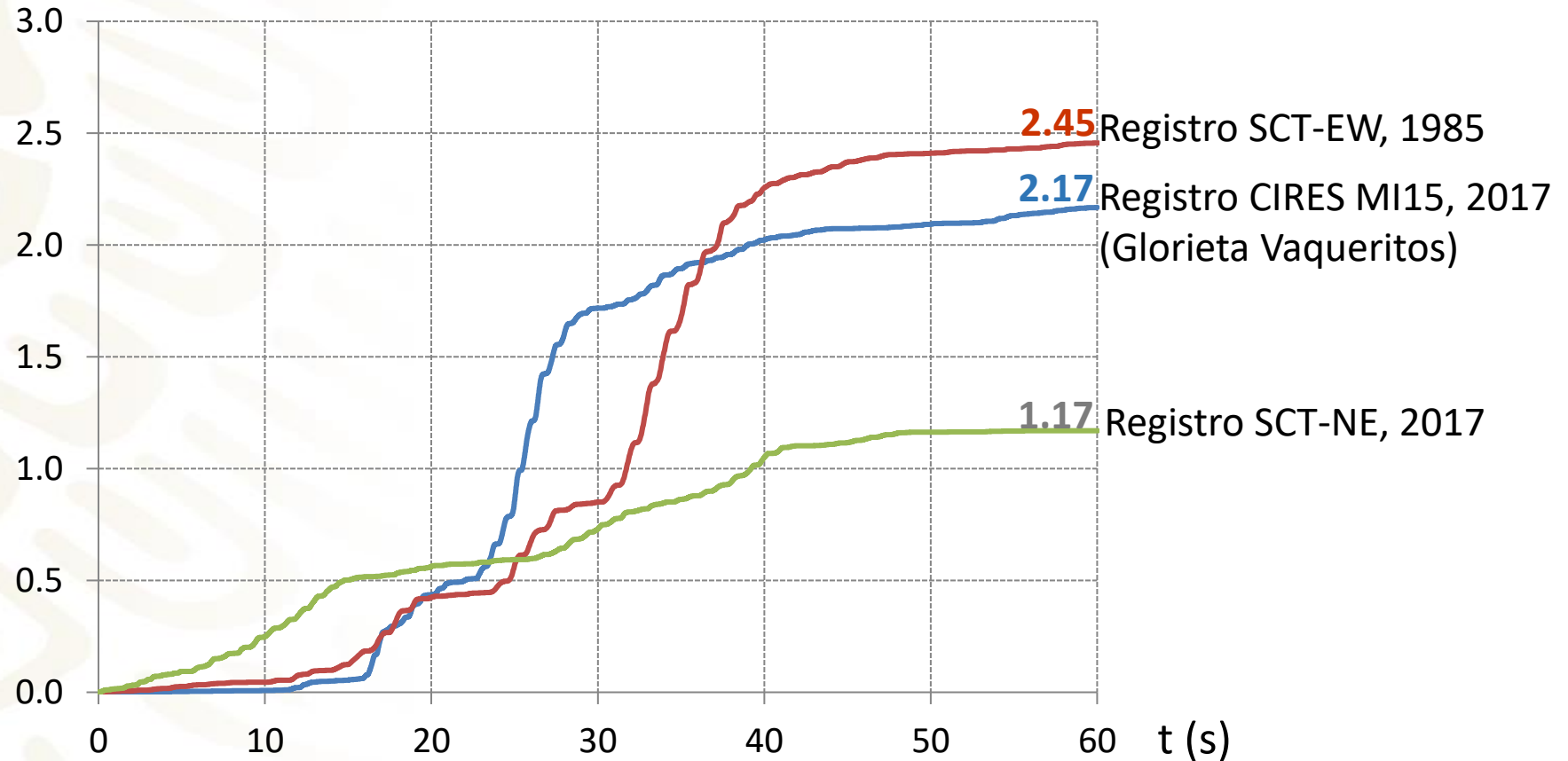
Cabe destacar que los electros están conformados con información de diferentes fuentes. En este caso solo se compara respecto al evento del 19 de septiembre.





## Estudio comparativo de la Intensidad de Arias (energía) para algunos de los registros de los sismo del 19/09/1985 y 19/09/2017. Zona III (Reglamento de Construcción del D.F.)

$$I_{Arias} = \frac{\pi}{2g} \int_0^t a^2 dt$$



El registro de la estación ubicada en Glorieta Vaqueritos presenta un nivel de energía equivalente al 89% de lo correspondiente al registro de SCT-EW-1985

## 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

Fuente: Organización Panamericana de la Salud, 22 de septiembre, 2017

## 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?

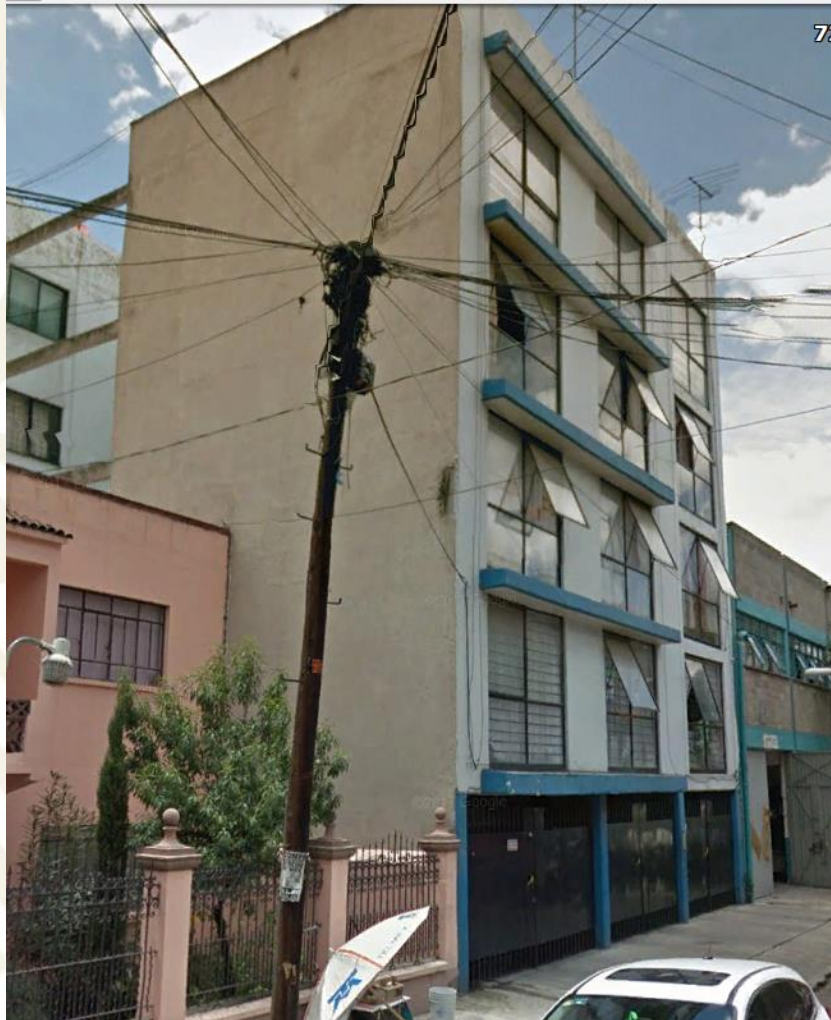


Ciudad de México, Septiembre 2017





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



Ciudad de México, Septiembre 2017



## 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



¿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**



**¿COMO IDENTIFICO QUE UN EDIFICIO ES  
ESTRUCTURALMENTE SANO, O TODAVÍA ES COMPETENTE?**

**¿LOS PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN SON SUFICIENTES?**

**¿LO PUEDE HACER CUALQUIER CIUDADANO?**

**¿QUIEN LO DEBE HACER?**





Aproximadamente una hora después del movimiento

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

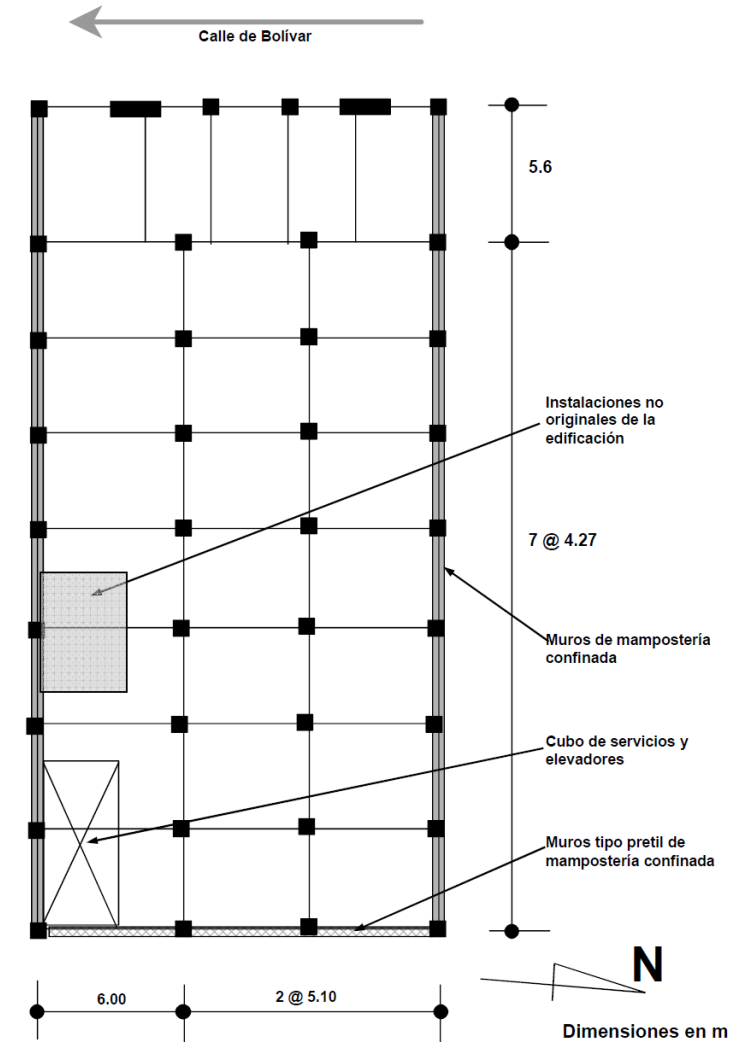


Figura 1 Vista de la planta general de la estructura del edificio





# 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.



Necesario contar con esquemas que obliguen al dueño de inmuebles a reforzarlo, cuando así se requiera.

Contar con un clasificación de inmuebles, elaborada por la autoridad, en función de la susceptibilidad de daño.



## 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





## Comentarios finales

### Atención de la emergencia:

- Protocolización y sistematización de los procesos de evaluación post-evento
- 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



Existencia y uso adecuado del reglamento =

= Reducción de la vulnerabilidad  
(mitigación del riesgo) =

= Migración a una sociedad resiliente



**SEGURIDAD**

SECRETARÍA DE SEGURIDAD  
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



**CENAPRED**

CENTRO NACIONAL DE  
PREVENCIÓN DE DESASTRES

**GRACIAS**

**Oscar López Bátiz**  
**CENAPRED – México**