



REPORTE

de la misión de evaluación post sismo sobre el sismo
de México del 19 de septiembre de 2017

Marzo 2018



Association Française du Génie Parasismique
French Association for Earthquake Engineering

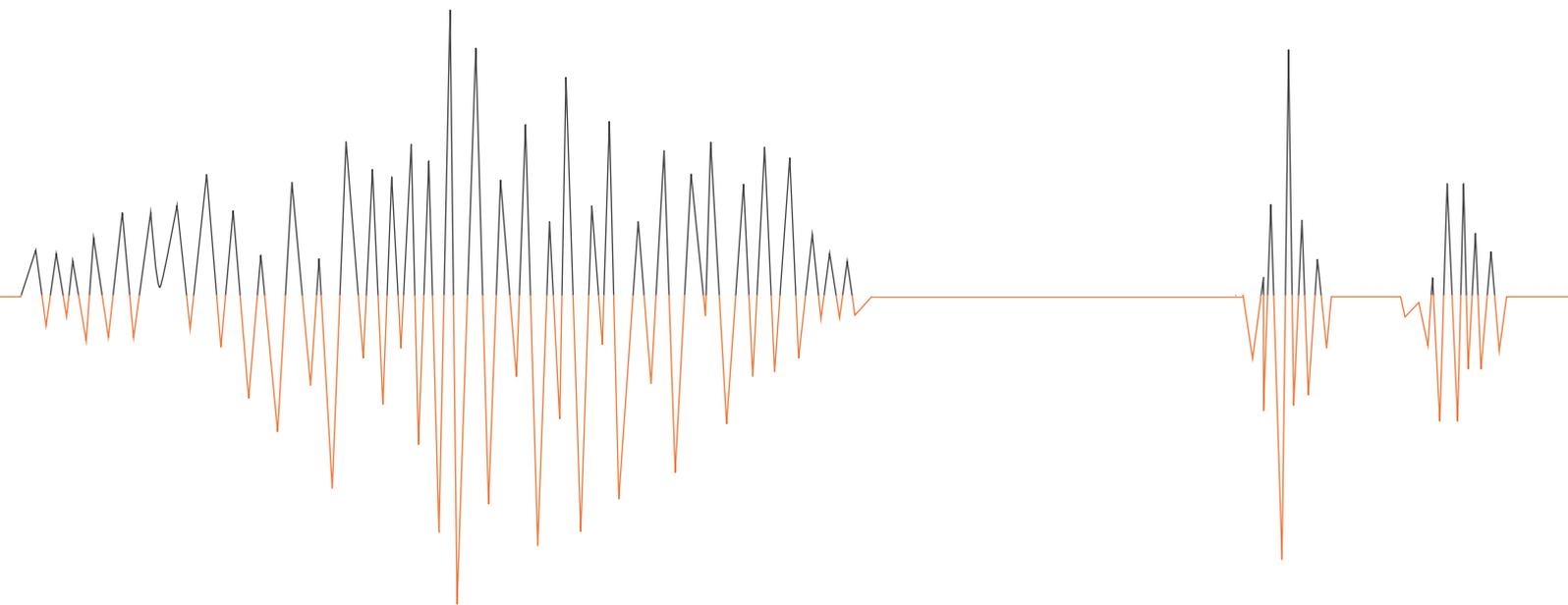


Foto de cubierta :
México, modernización y refuerzo de la torre
de la secretaría de economía.



CDMX : logo de la Ciudad de México 2017 : Centenario de la Constitución mexicana

Índice

0	Introducción	2
1	Presentación de la misión	3
2	Sismología	6
3	Normativa	15
4	Terreno y geotecnia	20
5	Cimentaciones	25
6	Edificios dañados	29
7	Edificios Reforzados	40
8	Redes de utilidad pública	48
9	El Simulacro	51
10	Gestion de crisis	53
11	Diagnósticos de urgencia	56
12	Sistemas de información geográfica	59
13	El terremoto en los medios de comunicación	61
14	Arquitectura	63
15	Monumentos históricos	69
16	Los edificios franceses de México	72
17	Reflexiones de urbanismo	74
18	Conclusiones	78
19	Agradecimientos	79

0 Introducción

El 19 de septiembre de 1985, a las 7:17 a.m., la Ciudad de México fue afectada por un sismo que causó daños considerables y más de 10 000 víctimas.

En esa época, la Asociación Francesa de Ingeniería Para sísmica (AFPS por sus siglas en francés) envió una brigada a la capital mexicana. La brigada se conformó por Víctor Davidovici, Christian Duretz, Bernard Etchepare, Alain Pecker y Pierre Sollogoub.

Las enseñanzas de esta misión han sido muy importantes. Como en la mayoría de los países donde el riesgo sísmico está presente, la reglamentación en Francia referente al tema sísmico han evolucionado paulatinamente: las recomendaciones de la AFPS 92, luego las reglas de la PS 92, reemplazando después de 1992 las reglas de la PS 69 que datan de 1969.

Desde entonces, dentro de la comunidad de la ingeniería sísmica, el terremoto de México de 1985 se ha convertido en un evento de referencia.

Treinta y dos años después, el 19 de septiembre de 2017, a las 13:34, un gran terremoto azotó nuevamente a la ciudad de México y los medios de comunicación dieron imágenes de daños significativos. Sabiendo esto, la comunidad francesa de especialistas en ingeniería sísmica y la AFPS decidieron enviar una nueva misión para tratar de responder cuatro preguntas principales:

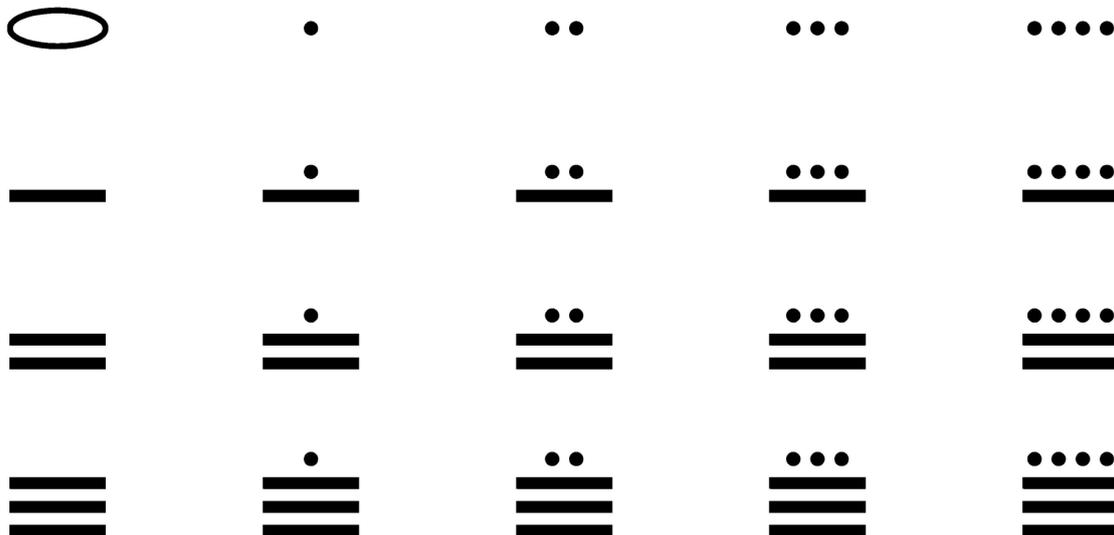
- ¿fue el terremoto de 2017 más o menos impactante para la ciudad de México que el terremoto de 1985?
- ¿Se comportaron adecuadamente los edificios construidos después de 1985?
- ¿Se comportaron adecuadamente los edificios reforzados luego del evento de 1985?
- Ya sean reconstruidos o reforzados desde 1985 ¿Cómo fue el comportamiento de los edificios franceses en México?

Este informe, con ochenta páginas divididas en 20 secciones, intenta responder a estas preguntas ¹.

De igual manera, se intenta presentar la riqueza de todos los problemas que podrían abordarse durante la misión.

Con el mismo alcance que el informe AFPS de 1985, este informe general es deliberadamente conciso y sintético. Su intención es de ser leído por un gran público no necesariamente iniciado a los problemas de riesgo sísmico. Para el uso de especialistas, se complementará con varios anexos que estarán disponibles en el sitio web de la AFPS (www.afps-seisme.org).

Figura 0-1 – Veinte primeras cifras en números maya



¹Los celtas, al igual que los mayas, contaban en el sistema vigesimal (base 20). En la Edad Media, en Francia, el sistema vigesimal era más utilizado que el sistema decimal. Se decía « veinte y diez » para treinta, « dos veintes » para cuarenta, « dos veintes y diez » para cincuenta... En la actualidad aún se mantiene "cuatro veintes" para ochenta.

1 Presentación de la misión

1.1 Objetivos

Los objetivos que la AFPS le dio al equipo los siguientes 4 ejes:

1. Riesgo sísmico y geotécnico: El estudio abarcará el análisis de contexto sismo tectónico de la región y los mecanismos asociados con el evento. Se realizará una síntesis de mediciones (redes acelerométricas, GPS, satélite, etc.) y observaciones in situ. Los efectos de sitio también se analizarán con la información recopilada durante esta misión;
2. Comportamiento estructural: observaciones sobre el comportamiento de las estructuras de concreto armado, acero estructural, puentes así como redes subterráneas y aéreas será sintetizada mediante la identificación de casos susceptibles a ser objeto de estudios después de la misión. Se prestará especial atención al comportamiento de estructuras reforzadas antes del evento así como a las técnicas de refuerzo utilizadas;
3. Gestión de Crisis y Emergencia: las herramientas de diagnóstico de emergencia y los procedimientos utilizados en México servirán como retroalimentación indirecta con el fin de mejorar los protocolos establecidos en Francia (el trabajo de la unidad de emergencia de la AFPS para Protección Civil);
4. La restitución / reconstrucción: la experiencia y la evolución asociada con la reconstrucción territorial después del terremoto de México de 1985 (reglamentos de construcciones y reglas de planificación urbana) serán evaluados visitando lugares que ya habían sido afectadas por este terremoto.

Además de estas 4 áreas fundamentales de las misiones de observación post-sísmica llevadas a cabo bajo los auspicios de la AFPS, la misión podrá abarcar otros temas de interés, especialmente ya que es la primera ocasión en la historia de la AFPS que el jefe de la misión es un arquitecto.

El equipo tiene como objetivo abordar las áreas de arquitectura, edificios históricos, edificios franceses en México, la prevención, ejercicios de advertencia o sistemas de información geográfica, siendo este último un tema bastante prometedor.

Además, como con todas las misiones AFPS, uno de los objetivos más importantes es la capacitación de los miembros jóvenes de la asociación; en lo que respecta al entrenamiento en ingeniería sísmica, nada supera a la observación directa de los efectos de un sismo.

1.2 La composición del equipo

El equipo enviado a México fue formado por 8 miembros quienes, en orden alfabético, son:

Nombre	Organismo de origen	Tema de interés
Stéphane BRULE	MENARD	Geotecnia
Cédric DESPREZ	IFSTTAR	Estructuras, Emergencia
Charles FERNANDEZ	GRTgaz	Estructuras, geotecnia, y redes de ducos
Marc GIVRY	Marc Givry Architecte	Jefe de la misión, Arquitectura y urbanismo, Urgencia
Kevin MANCHUEL	EDF	Efecto de sitio
Gustavo MENDOZA	Géodynamique & Structure Structures	Estructuras
Benjamin RICHARD	CEA Saclay	Estructuras
Carlos TAYLOR	Bureau d'Études Structures TAYLOR	Estructuras

Desde la distancia, Agathe ROULLE, de la BRGM, también contribuyó a la misión con sus consejos y sus indicaciones ².

Adicionalmente, pudieron unirse puntualmente a la misión Carlos CARAMES y Javier IBAÑEZ, de DYNAMIS ASSOCIATES, quienes estuvieron presentes en la Ciudad de México en los días posteriores al sismo.

² Agathe ROULLE pasó dos años en la UNAM en México y defendió en 2004 su tesis sobre el estudio de movimientos sísmicos en el Valle de México. La misión 2017 lamenta que, debido a impedimentos profesionales, ella no haya podido unirse al equipo. No obstante, sus aportes a distancia fueron de gran ayuda.

1.3 Desarrollo de la misión

La misión se desarrolló en el territorio mexicano durante 10 días según el plan siguiente :

Día	Fecha	Equipo	Acción
1	07-11-2017	Todos	- Llegada a la ciudad de México, traslado al hotel, reunión con el equipo de anfitriones locales - Resumen de la misión
2	08-11-2017	Equipo 1	- Reunión con el profesor Mario Ordaz (UNAM)
		Equipo 2	- Conferencia sobre los eventos sísmicos de septiembre de 1985 y 2017
		Todos	Visita a las instalaciones de la UNAM Visita al Laboratorio de Instrumentación Sísmica - Visita del Instituto de Ingeniería Sísmica (Dra. Silvia Raquel García Benítez) - Visita al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y al Laboratorio de Pruebas Estructurales - Encuentro con el profesor Gabriel Auvinet (UNAM) - contexto sismológico y geológico de la Ciudad de México - sistemas de cimentación
3	09-11-2017	Equipo 1	- Campaña de medición H / V - Reunión con el Profesor Ovando-Shelley (UNAM) - contexto geotécnico de la Ciudad de México
		Equipo 2	- Visita a los sitios más afectados durante el terremoto de 1985
		Equipo 3	- Visita de la empresa BalOndeo (redes de agua) - visita de un operador de un sistema de transmisión de gas natural (ENGIE México, Antoine Olivier) - - Reunión con el profesor Efraín Ovando Shelley
4	10-11-2017	Equipo 1	- Campaña de medición H / V
		Equipo 2	- Reunión con el profesor Meli y el profesor Ramírez en la UNAM - Evolución de los códigos y estándares de construcción para la Ciudad de México - Edificios instrumentados
		Equipo 3	- Reunión en la Embajada con el responsable de los Servicios de Gestión y de Seguridad Interior - Reunión con la Directora de la Casa del Arquitecto
		Equipo 4	- Visita del Centro Nacional de Control de Gas Natural (CENAGAS)
5	11-11-2017	Equipo 1	- Campaña de medición H / V - Reunión de representantes locales de la sociedad Menard
		Equipo 2	- Visita de los sitios más afectados durante del terremoto de 2017
6	12-11-2017	Equipo 1	- Organización de la información recopilada y comienzo de la estructuración del informe
		Equipo 2	- Campaña de medición H / V
7	13-11-2017	Equipo 1	- Campaña de medición H / V - Reunión de representantes de la compañía Menard involucrados en la construcción del nuevo aeropuerto en la Ciudad de México
		Equipo 2	- Visita de la ciudad de Puebla (zona del epicentro) - Encuentro con el Restaurador de Monumentos Históricos del Estado de Puebla - Reunión con el Director de Protección Civil de la ciudad de Puebla - Encuentro con Víctor Jiménez, ENGIE México (ENGIE México) - Encuentro con Gas de Morelos
8	14-11-2017	Equipo 1	Campaña de medición H / V
		Equipo 2	Reunión con el director de la AFP y una periodista independiente de origen francés en México
		Equipo 3	- Visita del "Instituto Francés de América Latina" y "Casa de Francia" - Reunión con el Coordinador Nacional de Monumentos Históricos
Regreso a Francia de tres miembros del Equipo			
9	15-11-2017	Equipo 1	- Visita en Cuernavaca zona con aparente deslizamiento de terreno. visita de diagnóstico con el profesor Efraín Ovando Shelley
		Equipo 2	- Reunión con los funcionarios encargados de la cooperación científica de la Embajada

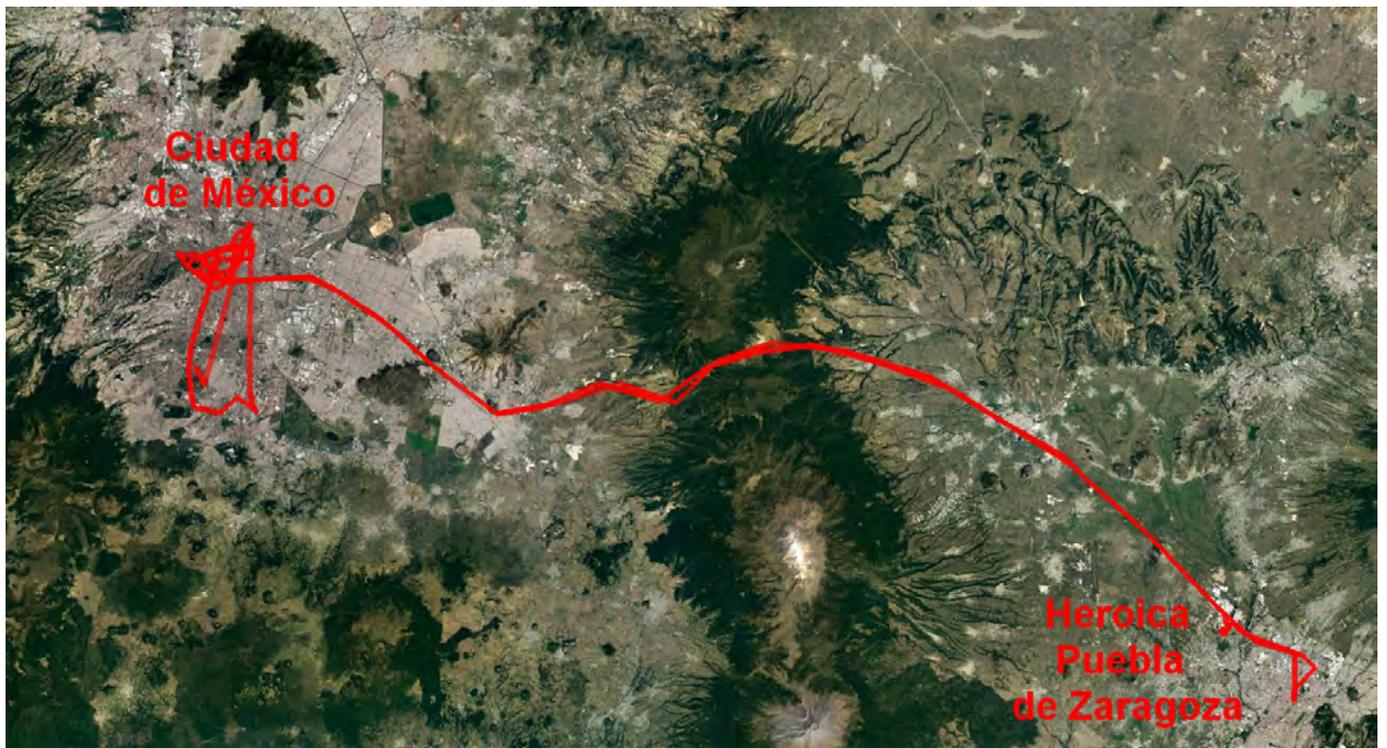


Figura 1-1 – Seguimiento vía GPS de la misión en Puebla, México.



Figura 1-2 – Seguimiento vía GPS de la misión en la Ciudad de México.

2 Sismología

2.1 Contexto tectónico

México se encuentra en una de las regiones sísmicas más activas del mundo debido a que se localiza en la interfaz de 5 placas tectónicas (Figura 2-1): la placa de Cocos, la placa de América del Norte, la placa del Pacífico, la placa del Caribe y la placa de la Rivera. Gran parte de la sismicidad que afecta a México está relacionada con la zona de subducción ubicada en la parte sur del país, donde la placa de Cocos se sumerge bajo la placa de América del Norte, con una velocidad de aproximadamente 6 cm/año (Figura 2 -2).

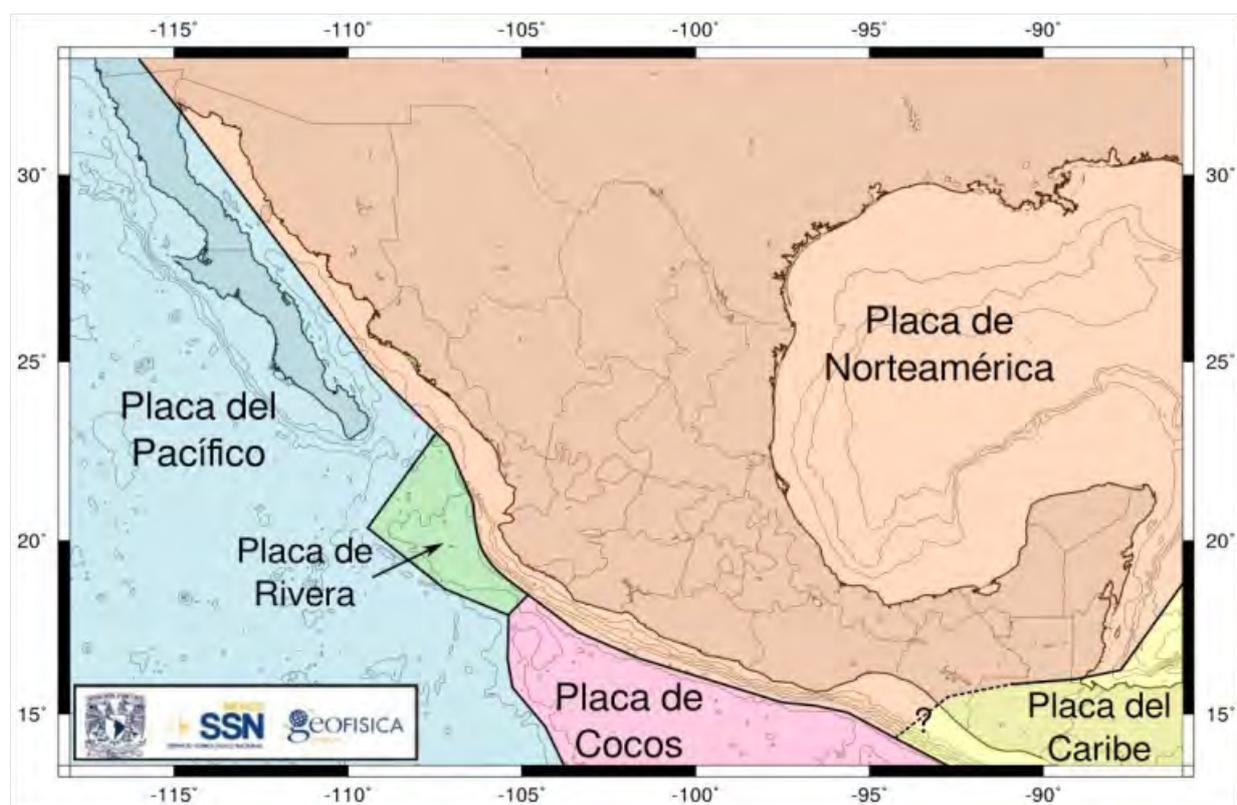


Figura 2-1 – Placas litosféricas dentro del contexto mexicano [1].

Dentro de una zona de subducción, los sismos pueden ser clasificados dependiendo de dónde ocurran. Pueden distinguirse:

- Los sismos de subducción, que ocurren en el nivel de la zona de contacto entre la llamada placa superior y la placa de inmersión. Estos son terremotos con un mecanismo de falla inversa. La ubicación de los principales terremotos de subducción desde comienzos del siglo XX está representada por las áreas coloreadas en la Figura 2-2;
- Los sismos de intraplaca, que ocurren dentro de la placa de hundimiento. Estos son mecanismos de falla normal debido al hecho de que la placa que se hunde en el manto se estira a causa su peso. Los principales sismos de intraplaca conocidos en México son representados con estrellas rojas y amarillas en la Figura 2-2;
- Los sismos continentales, ubicados en la placa superior. Pueden ser de naturaleza variada (inversa, normal o desenganche) y son el resultado de las tensiones transmitidas en la placa superior a través del acoplamiento con la placa de inmersión. Los más importantes están indicados por las estrellas azules.

El sismo del 19 de septiembre de 2017 ($M_w = 7.1$) se trata de un sismo intraplaca. Su ubicación epicentral se muestra en la Figura 2-2 y su posición respecto a la profundidad se muestra en el esquema de la zona de subducción de la Ciudad de México (Figura 2-3). Encontramos la placa de Cocos (en púrpura) que se sumerge debajo de la placa de América del Norte (en amarillo). En la porción de la zona de subducción, la placa de Cocos, después de hundirse bajo la placa de América del Norte, tiende a ser horizontal unos 200 km antes de sumergirse completamente en el manto. Es en la zona de subducción que se produjo el sismo del 19 de septiembre de 2017, al nivel de la flexión entre la parte horizontal y la inmersión en el manto, donde se favorecen las tensiones en la extensión y, por lo tanto, la aparición de sismos en la falla normal.

Diversos sismos de intraplaca han sido previamente registrados durante el siglo XX en la zona del sismo de 19 de septiembre de 2017 [2], a profundidades muy variadas. Estos incluyen los sismos del 03/02/1911 ($M_s = 7.2$), del 10/02/1928 ($M_s = 7.7$), del 15/01/1931 ($M_s = 7.8$), del 26/07/1937 ($M_s = 7.2$), del 28/08/1973 ($M_s = 7.3$), del 10/10/1980 ($M_w = 7.1$) y del 30/09/1999 ($M_w = 7.4$). Finalmente, el sismo del 7 de septiembre de 2017 ($M_w = 8.2$), ocurrido hacia el sur, en la zona de Tehuantepec, también fue un terremoto intraplaca.

Uno de los principales sismos de subducción que ha afectado a México es el ocurrido el 19 de septiembre de 1985 en el estado de Michoacán (obsérvese también el sismo del 28/07/1957, $M_s = 7.5$, que vio la caída del Ángel que corona la Columna de la Independencia en la Ciudad de México). Con respecto a los terremotos continentales, puede ser citado el terremoto de Acambay en 1912 [3].

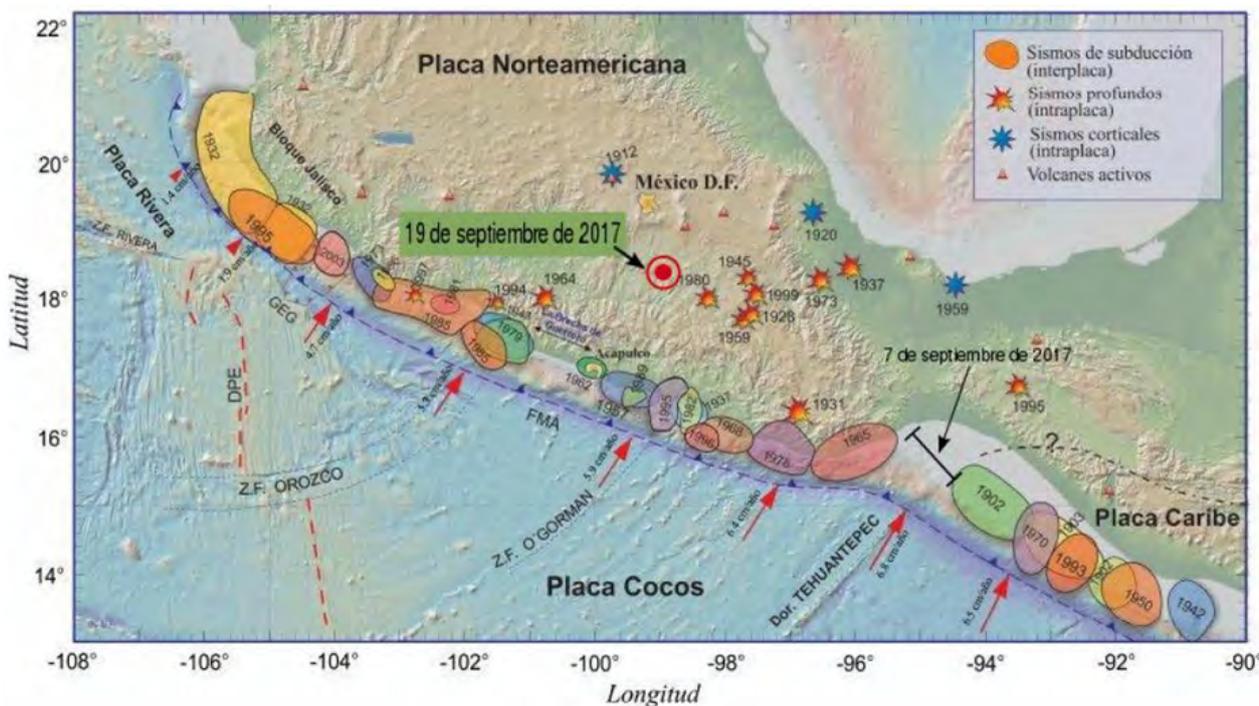


Figura 2-2 Ubicación de los principales sismos conocidos en México [4]. Las zonas de color representan las superficies de ruptura de los sismos de subducción, las estrellas rojas los sismos intraplaca y en azul los sismos en la placa continental. El punto rojo muestra la ubicación del epicentro del sismo del 19 de septiembre de 2017. La línea asociada con el sismo del 7 de septiembre de 2017 representa la zona de ruptura del sismo, identificada mediante réplicas. El epicentro de este evento fue ubicado en el extremo sur-este de la línea. Las flechas rojas indican la dirección de convergencia entre la placa de Cocos y la placa de América del Norte.

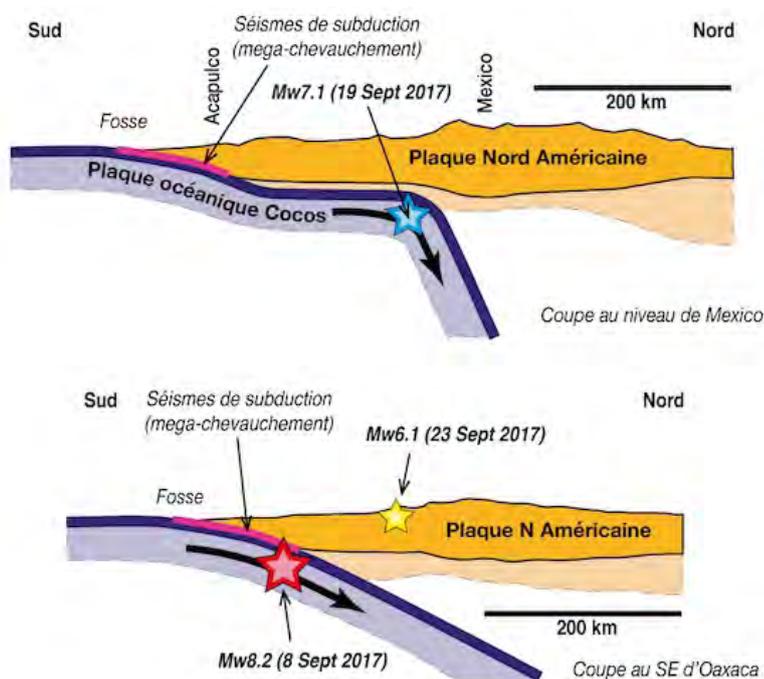


Figura 2-3 - Secciones esquemáticas de la Ciudad de México (arriba) y SE de Oaxaca (abajo), que ilustran la geometría de la subducción y ubicación de los principales sismos de septiembre de 2017 (Fuente IPGP - <http://www.ipgp.fr/en/seism-mexico-month-of-september-2017> - última visita el 25/01/2018).

2.2 Redes de observación de sísmica

Varias organizaciones en todo el país tienen redes sísmicas para registrar las ondas sísmicas generadas por los sismos. Entre ellos, distinguimos:

- El Servicio Sismológico Nacional (SSN) mexicano (<http://www.ssn.unam.mx/>), que tiene una red de 61 estaciones de banda ancha (es decir, estaciones de registro sismológico que cubren una amplia gama de frecuencias – de 0.1 a 30 Hz).

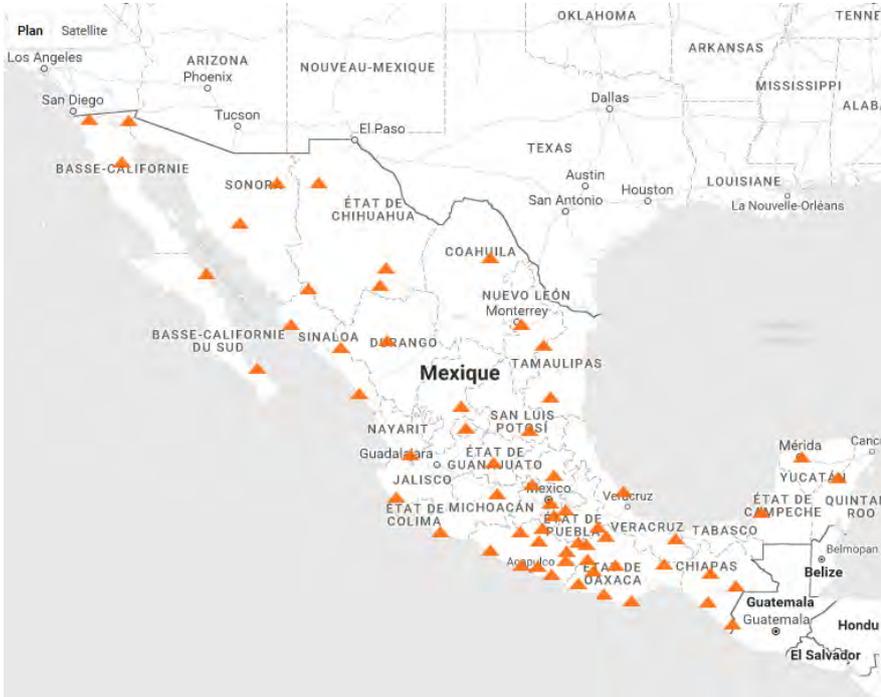


Figura 2-4 - Mapa de las estaciones de banda ancha del SSN (triángulos naranjas) <http://www.ssn.unam.mx/acerca-de/estaciones/>

- La Coordinación de Ingeniería Sismológica del Instituto de Ingeniería UNAM a cargo de la Red Sísmica del Valle de México (RSVM - 31 estaciones) y de una red de acelerómetros en la Ciudad de México.



Figura 2-5 - Centro de procesamiento de datos sismológicos del Instituto de Ingeniería.

- El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), que se ocupa en particular del monitoreo de volcanes, principalmente el Popocatepetl, también cuenta con una red de acelerómetros (5 estaciones entre Acapulco y Ciudad de México y 11 estaciones más situadas en esta última).



Figura 2-6 - Red de estaciones acelerométricas del CENAPRED izquierda - https://www.iris.edu/hq/files/workshops/2015/05/gro_chile/docs/networks/Mexico/Estaciones_Cenapred.pdf - 23/01 / 2018). Centro de adquisición y procesamiento CENAPRED (derecha - foto tomada durante la visita del equipo al observatorio el 11/08/2017).

- El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), que tiene una gran red de estaciones de acelerómetros en el Valle de México (Red Acelerográfica de Ciudad de México - RACM) y está a cargo principalmente del SASMEX (Sistema de Alerta Sísmica Mexicana), el sistema de advertencia sísmica. Durante el evento del 19 de septiembre de 2017, la alerta sísmica funcionó pero no fue tan efectiva debido a que el epicentro se localizó cerca de la ciudad de México y la alarma se activó aproximadamente al mismo tiempo que la llegada las ondas sísmicas a la ciudad.



Figura 2-7 - Sistema de Alerta Sísmica Mexicana. Los triángulos representan las estaciones de la red de alerta y los círculos concéntricos el tiempo de propagación de las ondas desde el epicentro (triángulo rojo).

2.3 Comparación con el terremoto de 1985

El sismo más destructivo en México ocurrió el 19 de septiembre de 1985, 32 años antes del terremoto del 19 de septiembre de 2017. Causó la muerte de más de 10,000 personas (tenga en cuenta que esta cifra es aproximada ya que frente a la gran cantidad de víctimas, el censo se detuvo). Los dos terremotos se comparan aquí para comprender la diferencia en el impacto que han tenido en la Ciudad de México.

La Tabla 2-1 resume los parámetros sismológicos que caracterizan los dos sismos mencionados anteriormente. Los mecanismos reflejan la diferencia en la naturaleza de estos dos terremotos, con un mecanismo de falla inversa, generado al nivel del contacto entre la placa de Cocos y la placa de América del Norte, para el terremoto de 19/09/1985 y un mecanismo en falla normal, generada dentro del plato Cocos, por el terremoto del 19/09/2017.

	19 septiembre 1985 ³	19 septiembre 2017 ⁴
Hora local	07h17	13h14
Latitud	18.19°N	18.40°N
Longitud	102.53°W	98.72°W
Distancia a la Ciudad de México	≈ 400 km	≈ 120 km
Profundidad	28 km (±3.8)	57 km
Magnitud	Mw= 8.0	Mw= 7.1
Strike (Plan Nodal 1/Plan Nodal 2)	301/105	112/296
Dip (Plan Nodal 1/Plan Nodal 2)	18/73	-93/-87
Rake (Plan Nodal 1/Plan Nodal 2)	105/85	46/44

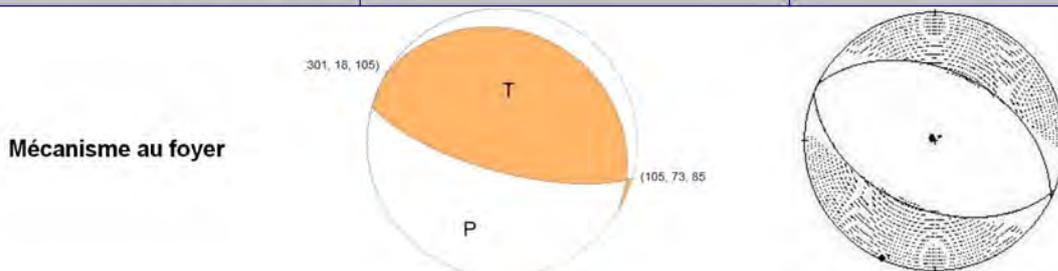


Tabla 2-1: Características de los sismos del 19/09/1985 y el 19/09/2017.

Algunas estaciones sismológicas en la Ciudad de México fueron instalados antes del evento del 19/09/1985 y continúan en función. Este es particularmente el caso de las estaciones CU y SCT. En la Figura 2-8 (izquierda), se muestra su ubicación. La estación CU se encuentra dentro del campus de la UNAM, sobre rocas volcánicas, mientras que la estación SCT está instalada sobre un relleno sedimentario que constituye el terreno característico de la mayoría de la ciudad. Esto da como resultado, en los espectros, aceleraciones máximas mucho más altas en la estación SCT, atribuibles al efecto de sitio litológico debajo de la estación.

Al comparar los espectros medidos en la estación CU de los terremotos de 19/09/1985 y 19/09/2017, la señal espectral de los terremotos se observa directamente (Figura 2-8 en la parte superior derecha). Hay una clara diferencia entre los dos sismos; el sismo de 2017 parece mucho más enérgico durante los períodos de menos de un segundo. Por otra parte, los espectros producidos para la estación SCT (Figura 2-8, abajo a la derecha) incorporan la respuesta del suelo y muestran mayores aceleraciones durante el sismo de 1985, lo cual es consistente con el hecho de que la estación SCT está ubicada en el área más afectada por el dicho evento.

Usando todos los datos acelerométricos disponibles en la Ciudad de México, las aceleraciones espectrales a 1s y 2s fueron determinadas para los sismos de 19/09/1985 y 19/09/2017. Los resultados se presentan en forma de mapas en la Figura 2-9. En esta figura también se muestran los edificios colapsados o gravemente afectados (puntos azules a blanco, en gradiente de color). Varias lecciones se pueden aprender de estos mapas:

- la aceleración espectral máxima, para el terremoto del 19/09/1985, se encuentra a un período de 2 segundos, mientras que para el terremoto del 19/09/2017 es de alrededor de 1 segundo;
- en respuesta a la diferente firma espectral entre los 2 sismos y la variación lateral de los espesores sedimentarios en toda la ciudad, las áreas afectadas por las aceleraciones más fuertes no son las mismas. El área que experimentó las aceleraciones más fuertes en 2017 se encuentra en los bordes del antiguo lago, en la llamada zona de transición donde los espesores de los sedimentos están entre 15 y 35 metros. Para el terremoto de 1985, la zona más afectada es un área inmediatamente al este, hacia el interior de la cuenca, donde la profundidad de los sedimentos es superior a los 30 m;
- el daño está ubicado en el nivel de las zonas de aceleración máxima;
- la tipología de edificios afectados por los terremotos de 1985 y 2017 es diferente. De hecho, las afectaciones estructurales que ocurrieron luego del evento de 1985 se observaron en edificios que eran bastante altos, mientras que en 2017 se presentaron en edificios de mediana altura. Esta observación se puede explicar directamente por los períodos durante los cuales se observa la aceleración máxima. Dado que la aceleración máxima para el terremoto de 1985 ocurrió por períodos más largos (2s) que para el sismo de 2017 (1s), los edificios más altos se vieron afectados en 1985 en comparación con 2017.

³ USGS (<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0002jwe#executive> – última visita 24/01/2017)

⁴ Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2017. Reporte Especial, Sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)

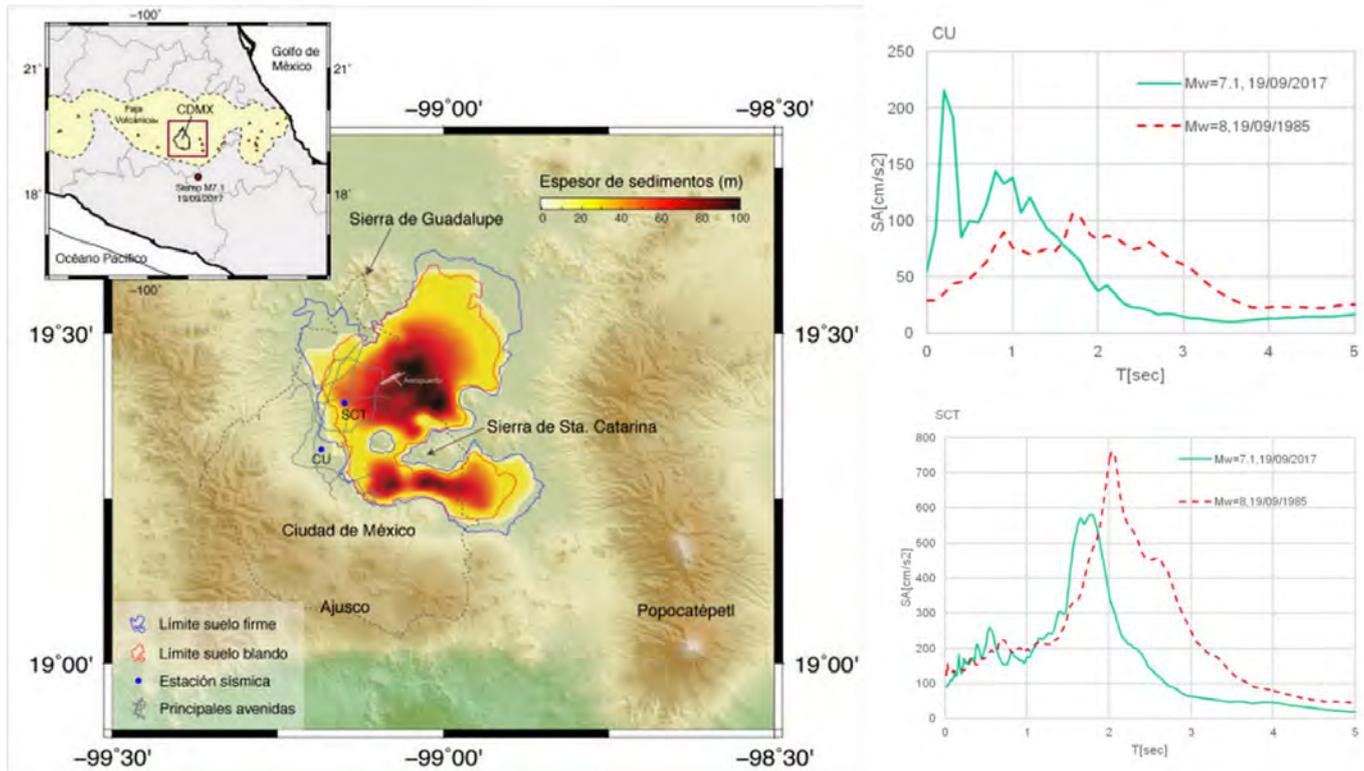


Figura 2-8 - Ubicación de las estaciones CU (roca) y SCT (sedimento) contra un mapa de isovalores de sedimentos (panel izquierdo) [5]. Los espectros de las grabaciones, para cada una de estas estaciones, de los sismos de 19/09/1985 y 19/09/2017, se presentan a la derecha (Prof. Ordaz Schroeder, comunicación personal). La curva azul caracteriza el evento de 2017 y la línea roja punteada caracteriza el de 1985.

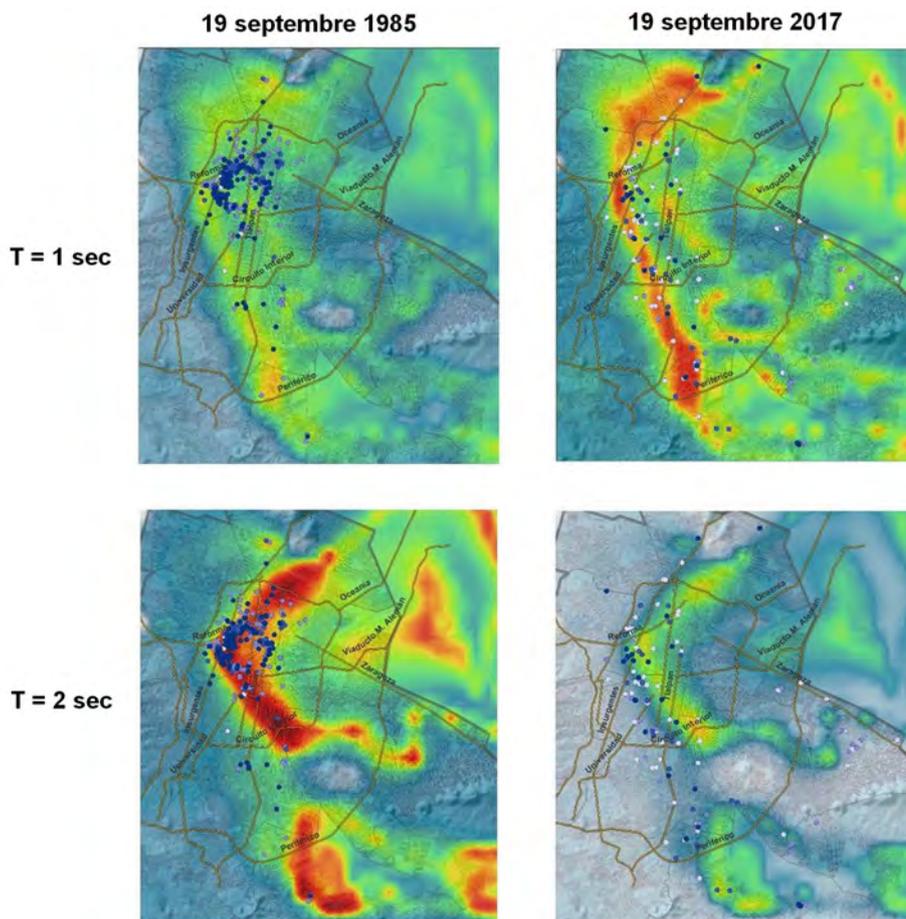


Figura 2-9 – Mapas de aceleraciones espectrales 1 s (arriba) y 2 s (abajo) por los sismos del 19/09/1985 (izquierda) y del 19/09/2017 (derecha) (Pr M. Ordaz Schroeder – comunicación personal). El color rojo representa las aceleraciones fuertes y azul menos fuertes. Los círculos indican los edificios colapsados o dañados.

2.4 Definición de riesgo sísmico en México

De acuerdo a la información recolectada, que está lejos de ser exhaustiva, no parece haber un mapa de zonificación sísmica regulatoria para todo el territorio mexicano, que sería el equivalente al mapa de zonificación sísmica de Francia (enfoque probabilístico a los 475 años del período de retorno).

En México, los códigos de construcción son responsabilidad de los municipios y muchos no los tienen. Como alternativa, la gran mayoría de ellos utilizan, para el dimensionamiento de las obras civiles «el manual de diseño de Obras Civiles (Diseño por Sismo)» de la Comisión Federal de Electricidad [6]. En este último, se propone y utiliza una zonificación sísmica de México (Figura 2-10, basada en la historia sísmica de la región y las aceleraciones pronosticadas a través de un enfoque probabilístico).



Figura 2-10 - Zonificación sísmica de México (Manual de Diseño de Obras Civiles [Diseño por Sismo] de la Comisión Federal de Electricidad - <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-> de Ciudad de México.html - última visita 25/01/2018).

Además, en años recientes se han publicado numerosos trabajos para proporcionar datos de entrada para la realización de la zonificación estocástica de peligro sísmico para la ciudad de México. Entre ellos se encuentra el trabajo de [2], que propone en particular una zonificación sismo-tectónica de todo el país y [7] que desarrolló modelos de atenuación específicos para los terremotos de subducción en el país.

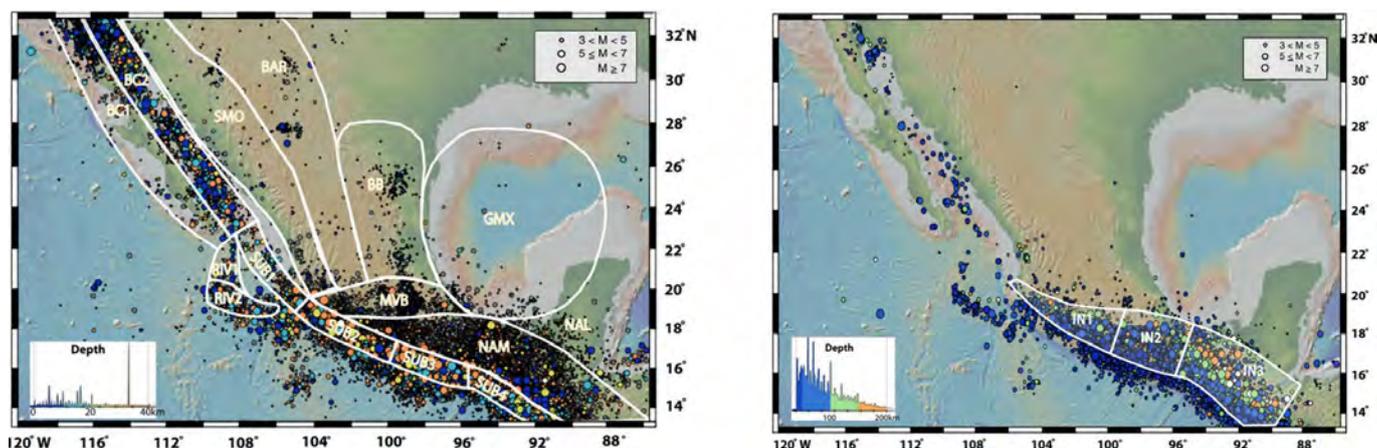


Figura 2-11 - Zonificación sismo-tectónica de México propuesta por [2]. A la izquierda, la zonificación se relaciona con la sismicidad superficial ($h < 40$ km) y, a la derecha, la relacionada con la sismicidad intermedia ($h > 40$ km).

2.5 Francia y la subducción

Las Antillas es la única región francesa ubicada en una zona de subducción: las llamadas Antillas Menores. En esta zona, la placa de América del Norte se sumerge bajo la placa del Caribe a una velocidad de aproximadamente 2 cm/año, y la actividad sísmica es mayor que en cualquier otro lugar en el territorio francés. Los catálogos de sismicidad muestran que a nivel de la zona de subducción de las Antillas Menores encontramos los principales tipos de terremotos que pueden ocurrir en las zonas de subducción: terremotos de subducción (ejemplo del terremoto de 1843 - magnitud estimada entre 7.5 y 8.0), terremotos intraplaca (ejemplos de terremotos de 2007 - $M = 7.3$ y 2014 - $M = 6.5$) y terremotos continentales (ejemplo del terremoto de Saintes en 2004 - $M = 6.3$).

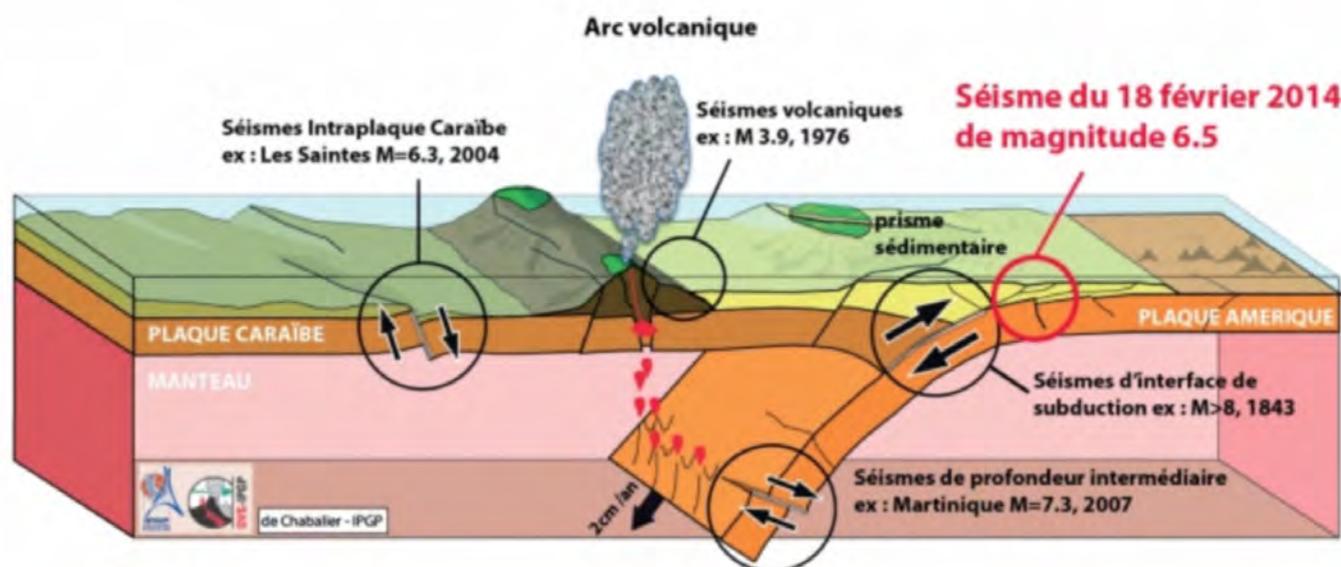


Figura 2-12 - Esquema de la zona de subducción de las Antillas Menores. Se indican los sismos más fuertes registrados en el área. (<http://www.ipgp.fr/fr/seisme-a-lest-de-martinique> - última visita el 25/01/2018).

En este contexto, el papel de los Observatorios Volcanológicos y Sismológicos de Martinica y Guadalupe (OVSM y OVSG, respectivamente) es de primordial importancia para estudiar la sismicidad de la región. Cabe mencionar que, en 2007, la constatación de un alto riesgo sísmico en esta región condujo al establecimiento del «Plan de terremotos de las Antillas», cuyo objetivo es la realización de construcciones o de campañas de refuerzo para evitar daños causados por sismos (<http://www.planseisme.fr/-Space-Plan-Seisme-Antilles-.html> - última visita el 25/01/2018). Este plan, ideado a lo largo de 30 años, actualmente se encuentra en su segunda fase, con el «plan de terremotos Antillas - Horizon 2020».

2.6 Lecciones aprendidas

México está ubicado dentro de una zona de subducción. Con fuertes sismos que ocurren regularmente, es considerada una de las regiones sísmicas más activas del mundo. El sismo del 19 de septiembre de 2017 se trató de un evento de origen intraplaca de magnitud 7.1, localizado a 57 km de profundidad y a una distancia cercana a 120 km de la Ciudad de México. En comparación, el terremoto del 19 de septiembre de 1985 fue un sismo de subducción (intercalado), de 8.0 grados, localizado a 28 km de profundidad con un epicentro situado a 400 km de la Ciudad de México.

Los espectros asociados con estos dos eventos son diferentes. El terremoto del 19 de septiembre de 2017 es más enérgico alrededor de un segundo. Los mapas de aceleraciones espectrales producidos para cada sismo muestran que la aceleración es máxima i) a 1 s y se localiza en la zona de transición del lago para el movimiento de 2017 y ii) a los 2 s situándose más hacia el interior de la cuenca para el movimiento de 1985. El principal daño, asociado con estos dos eventos, se encuentra en edificios situados en las áreas donde las aceleraciones del suelo fueron máximas. La diferencia entre los valores de las aceleraciones espectrales calculadas explica por qué edificaciones con diferentes tipologías fueron afectadas.

Referencias :

- [1] Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2017. Reporte especial, Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 M 8.2).
- [2] Zúñiga F. –R., Suarez, G., Figueroa-Soto, A. and Mendoza, A., 2017. A first-order seismotectonic regionalization of Mexico for seismic hazard and risk estimation. Journal of Seismology, vol. 21, pp. 1295-1322.
- [3] Rosenblueth, E., M. EERI, Ordaz, M., Sánchez-Sesma F. –J. and S. –K. Singh, 1989. The Mexico Earthquake of September 19, 1985 – Design Spectra for Mexico’s Federal District. Earthquake Spectra, vol. 5, N° 1.
- [4] Servicio Sismológico Nacional (SSN), 2017. Reporte especial, sismo del día 19 de Septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1)
- [5] Grupos de Sismología et Ingeniería de la UNAM, 23 septiembre 2017. Nota Informativa, ¿Qué ocurrió el 19 Septiembre de 2017 en México?
- [6] Comisión Federal de Electricidad, 2008. Manual de diseño de obras civiles, Diseño por sismo. México.
- [7] Arroyo, D., García, D., Ordaz, D., Mora, M. –A., Singh, S. –K., 2010. Strong motion relations for Mexican interplate earthquakes. Journal of Seismology, vol. 14, pp.769-785, DOI 10.1007/s10950-010-9200-0.

Sitios de internet :

- <http://www.ipgp.fr/fr/seismes-mexique-mois-de-septembre-2017>
- <http://www.ssn.unam.mx/>
- <http://www.ssn.unam.mx/acerca-de/estaciones/>
- <http://www.iingen.unam.mx/esmx/Investigacion/Coordinacion/IngenieriaSismologica/Paginas/default.aspx>
- https://www.iris.edu/hq/files/workshops/2015/05/gro_chile/docs/networks/Mexico/Estaciones_Cenapred.pdf
- http://www.cires.org.mx/cires_es.php
- <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0002jwe#executive>
- <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usp0002jwe#focal-mechanism>
- <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>
- <http://www.ipgp.fr/fr/seisme-a-lest-de-martinique>
- <http://www.planseisme.fr/-Espace-Plan-Seisme-Antilles-.html>

3 Normativa

3.1 Retrospectiva y desafíos actuales

Debido a la autonomía otorgada por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos a los municipios para la gestión de su territorio, no existen normas comunes de construcción aplicables a todo el país. Sin embargo, sí existe el deseo de homogeneizar las normas en todo el territorio, cabe mencionar que las regulaciones de la ciudad de México a menudo se utilizan como referencias para otros municipios. A continuación, se presenta un recapitulativo de la retrospectiva de los principales textos normativos.

1920 Las primeras reglas de construcción en México se publicaron en 1920. Esta breve colección de reglas especificaba criterios de tensiones admisibles para algunos materiales, así como algunas dimensiones mínimas para determinados elementos estructurales.

1942 La primera revisión de las reglas publicadas en 1920 data de 1942. En estas nuevas reglas se introdujeron dos conceptos esenciales para limitar las consecuencias de un terremoto. En primer lugar, la limitación de la altura de los edificios a 35 metros y segundo lugar, una categorización de las construcciones según su uso y función. Estos elementos permitían determinar esfuerzos cortantes en la base del edificio expresados como una cierta proporción (denominada C_y) del peso propio de la estructura y considerando las sobrecargas de uso.

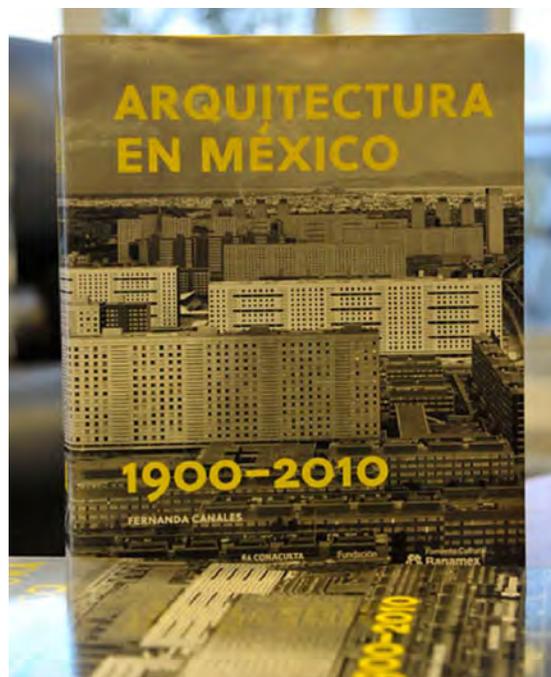


Figura 3-1 – Catálogo de la exposición Arquitectura en México 1900-2010

1957 Las primeras reglas de urgencia fueron publicadas después del terremoto del 28 de julio de 1957 de magnitud (M_w) 7.5. En efecto, las autoridades mexicanas observaron que la intensidad de los daños en los edificios afectados estaban relacionados con la naturaleza del terreno sobre el que los edificios estaban cimentados. De este modo se introdujo una relación entre la clase de suelo, la categoría del edificio y los esfuerzos sísmicos de diseño. Las categorías de los edificios también fueron revisadas. En esta nueva clasificación se pasó de 7 categorías a 3. Asimismo, la noción de tensión admisible fue completada con limitaciones de desplazamientos entre forjados consecutivos o con limitaciones de desplazamiento en la cota más alta del edificio.

1966 Las reglas de 1966 remplazaron las de 1957. Las categorías de edificios, de terreno y de sistemas estructurales se modificaron ligeramente respecto a las definiciones de 1957. El cambio principal que se introdujo fue una reevaluación más precisa del coeficiente C_y . Además, se integraron exigencias específicas para elementos no estructurales. Los edificios con una altura superior a 45 m o una superficie total superior a 10 000 m² debían instrumentarse con acelerómetros o con galgas extensiométricas.

1976 Las reglas publicadas en 1976 son consideradas los fundamentos de las reglas de construcción modernas. Están estructuradas en un cuerpo principal completado por anejos técnicos propios. Además, se introduce la noción de desempeño en función de los materiales de construcción utilizados. Desde 1976 la norma incluye una visión moderna del diseño basada en los estados límite. Las principales novedades incluían: (i) la aceptación de una cierta ductilidad de la estructura en caso de terremoto, (ii) la consideración de la torsión inducida teniendo en cuenta excentricidades accidentales y finalmente (iii) la parametrización de los esfuerzos cortantes sísmicos en función de los periodos propios de los edificios (concepto de espectros de dimensionamiento).

1985 El año 1985 está marcado por el terremoto del 19 de septiembre de este año. El terremoto tuvo efectos devastadores para la ciudad de México. Muchos edificios colapsaron y tuvieron que promulgarse urgentemente unas nuevas reglas de construcción. El principal avance de las reglas de 1985 consistió en integrar el caso de proyectos de rehabilitación y refuerzo.

1987 La necesidad de renovar las reglas de 1976 integrando las reglas de urgencia de 1985 desembocó en la revisión de 1987. La filosofía de las reglas de urgencia de 1985 se mantuvo, pero se actualizaron con nuevas exigencias de carácter restrictivo en lo que se refería especialmente a disposiciones constructivas o a otros parámetros de diseño. En particular, podemos citar la aumentación de la aceleración máxima del terreno a periodo nulo, la presencia de juntas mínimas de construcción entre edificios adyacentes, recomendaciones para tener en cuenta los efectos de la interacción entre el terreno y la estructura o la presencia de sistemas que permiten disociar elementos estructurales de elementos no estructurales. También se detalla la responsabilidad de todos los actores en un proyecto de construcción.

2004 Las reglas de construcción de 2004 remplazan las de 1987, constituyendo en ese momento las reglas en vigor en ciudad de México. Se puede observar una evolución de la categorización de las estructuras, no solo según su función sino también según su sistema estructural.

Los distintos casos de carga se clasifican atendiendo a su carácter permanente, variable y accidental, y el diseño estructural se realiza combinando los distintos casos de carga. Los espectros de diseño se hacen específicos para el sitio en el que se construye la estructura. Además, se introduce un principio de retroactividad. En el caso de estructuras dañadas, deben reforzarse para que se respeten los requisitos de seguridad vigentes en el momento en que se realizan las observaciones. Finalmente, se introduce una mejora en los requisitos de los sistemas de cimentación.

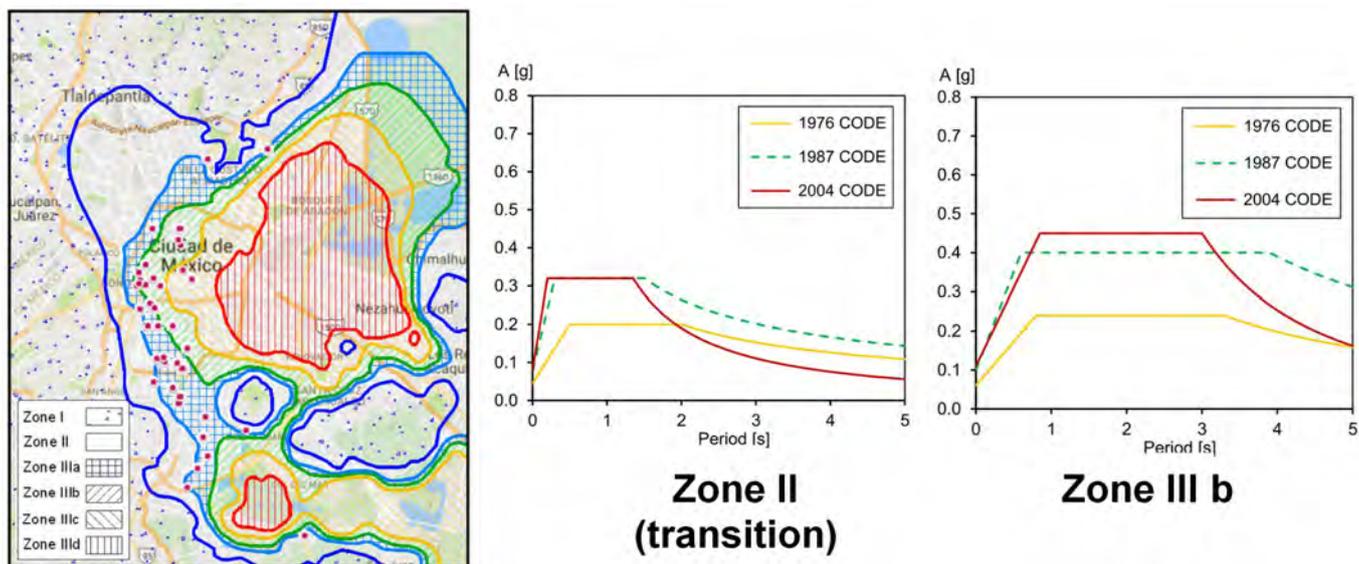


Figura 3-2 - Evolución de los espectros de 1976 a 2004 para dos tipos distintos de terreno (informe preliminar 2017 – Stanford University)

De varios testimonios que hemos recogido durante esta misión hemos escogido los siguientes:

- si las reglas de construcción aprobadas en 2004 se hubieran respetado, no hubiera tenido que haber daños importantes,
- garantizar la verificación de la aplicación de las reglas de construcción, requiere medios humanos y técnicos importantes,
- existen dificultades de aplicación de las normas debido a malas interpretaciones de reglas que en ocasiones hacen otros ingenieros.

Para hacer frente a estas dificultades, las autoridades de la ciudad de México han comenzado un trabajo que consiste en destacar una serie de reglas simplificadas con el objetivo de darles una amplia difusión. En efecto, el 40% de los edificios destinados al uso de vivienda no han sido analizados por un ingeniero capacitado, esencialmente debido a razones económicas. En paralelo, las autoridades han fomentado la redacción de un código modelo aplicable a escala federal.

3.2 Normas en vigor en 2017

3.2.1 Marco legal

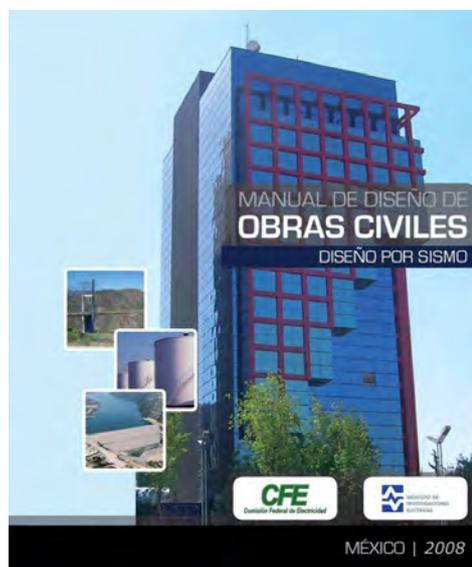


Figura 3-3 – Portada del Manual de la CFE

México es un estado federal en el que no existe una regla común nacional; cada uno de los estados de la federación tiene la potestad de elaborar su reglamento.

A pesar de ello, existe un manual, el «Manual de diseño de obras civiles - diseño por sismo» publicado por la CFE, la Comisión Federal de Electricidad que se refiere a toda la nación. Su última edición data de 2008⁵.

Para la ciudad de México, existe un «Reglamento de construcciones para el Distrito Federal» y las «Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo» que se designan frecuentemente también como NTC 2004.

3.2.2 Normativa de la Ciudad de México

El cuerpo normativo de la Ciudad de México (que es frecuentemente adoptado por muchos municipios en toda la federación) está formado por dos partes bien diferenciadas:

- Un documento que se puede asimilar a un cuerpo principal que describe los objetivos de desempeño.
- Varios anejos técnicos en los que se detallan los aspectos técnicos y científicos de la normativa.

Esta manera de presentar los textos normativos se introdujo por primera vez en 1976 con el objeto de facilitar evoluciones en la norma. Efectivamente, los redactores de los anejos técnicos tienen de esta manera más libertad para hacerlos evolucionar en función del estado del conocimiento. Sin embargo, una evolución del cuerpo principal debe ser objeto de una aprobación colegial por parte del gobierno de la Ciudad de México. Este proceso es mucho más costoso en tiempo y debe también vencer otros imperativos políticos.

3.2.3 Zonificación sísmica para México

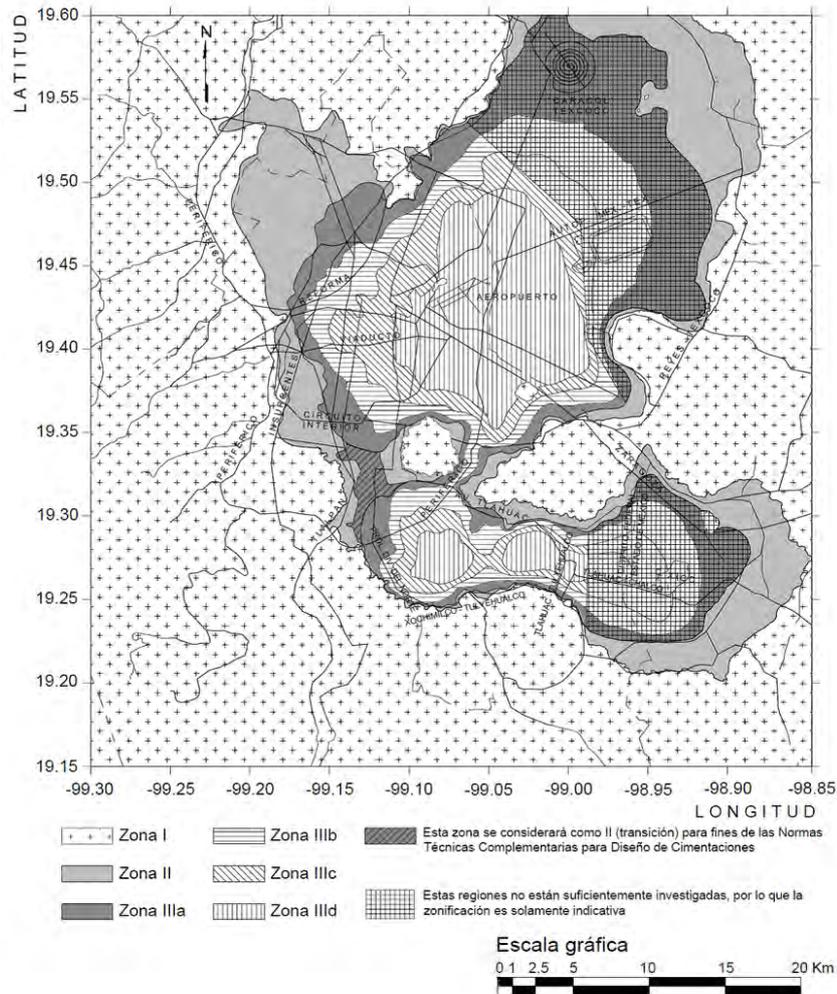
Zonificación macroscópica

La normativa de la Ciudad de México propone un mapa de zonificación sísmica de la ciudad (distrito federal). Esta última se encuentra dividida en 8 zonas, de las que 6 están caracterizadas según la siguiente nomenclatura: I, II, IIIa, IIIb, IIIc et III d. Para las dos otras zonas, una de ellas se considera asimilable a la zona II y la última corresponde a una superficie insuficientemente investigada. A cada una de estas zonas se les asocia un espectro sísmico de diseño distinto.

Zonificación específica de sitio

La zonificación «sismo-geotécnica» de México refleja por una parte la naturaleza litológica del subsuelo y por otra parte las tendencias en términos de periodo dominante del suelo y de la amplificación de máxima del movimiento sísmico. En realidad, el enfoque del reglamento es el de establecer una microzonificación sísmica. También se propone una expresión que permite estimar el periodo dominante del terreno en función del módulo de cortante de los estratos del suelo que debe obtenerse mediante ensayos in-situ. Si estos ensayos no estuvieran disponibles, es posible estimar el periodo gracias a un mapa proporcionado por la normativa.

⁵ The production of a new edition was announced on November 13th 2017 on the Federal Public Administration website gob.mx. It will be published by the INEEL (Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias)



$$a = a_0 + (c - a_0) \frac{T}{T_a} ; \quad \text{si } T < T_a$$

$$a = c ; \quad \text{si } T_a \leq T \leq T_b$$

$$a = qc ; \quad \text{si } T > T_b$$

donde

$$q = (T_b/T)^r$$

Tabla 3.1 Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones

Zona	c	a ₀	T _a ¹	T _b ¹	r
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33
III _a	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0
III _b	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0
III _c	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0
III _d	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0

¹ Periodos en segundos

Figura 3-4 – Mapa de zonificación sísmica de la Ciudad de México y parámetros de los espectros de calculo

3.2.4 Otros aspectos

En el texto de 2004, se promueve la consideración de los efectos de la interacción terreno-estructura, debido en su mayor parte a la particularidad de los terrenos sobre los que se cimentan los edificios de la Ciudad de México. Efectivamente, resulta importante tener en cuenta la interacción terreno-estructura en gran parte de este tipo de terrenos, mayoritariamente deformables (por ejemplo terrenos muy blandos caracterizados por una velocidad media de propagación de ondas de corte Vs inferior a 100 m/s, como es el caso en la zona del antiguo lago desecado de Texcoco) debido a que la respuesta del edificio puede diferir bastante en comparación al mismo edificio cimentado en un terreno firme (comportamiento mas cercano a un modelo de base fija) sometido a una idéntica sollicitación en campo libre.

Para la Ciudad de México, todo ello se traduce en prescripciones normativas que se adjuntan en los anejos de las reglas complementarias. En particular, estas prescripciones permiten tener en cuenta el periodo propio de la estructura con interacción terreno-estructura a través de un enfoque simplificado a partir de los términos de rigidez calculados en base a la metodología propuesta por Winkler. Además, se propone igualmente considerar un amortiguamiento a través de fórmulas simplificadas.

3.3 Evoluciones normativas previstas

Después del terremoto de 2017, no se esperan modificaciones profundas de la normativa existente. Todos los especialistas efectivamente han constatado que la mayoría de los daños observados se deben a no haber respetado las normas de construcción.

Algunos detalles de la zonificación en Ciudad de México van a actualizarse próximamente (esta esta modificación ya se había previsto antes del terremoto de 2017) pero fundamentalmente los principios de la norma no van a cambiar drásticamente.

Sin embargo, el refuerzo preventivo de construcciones existentes hará el objeto de un programa específico. Este programa se apoyará en la experiencia adquirida en 2017 y dedicará todos los esfuerzos en priorizar actuaciones estructurales en los edificios más vulnerables.

Además, los ingenieros mexicanos quieren relacionar los efectos de la consolidación de suelos (directamente ligados al drenaje de agua en el terreno) sobre la respuesta dinámica en superficie en el tiempo.

3.4 Lecciones aprendidas

De toda esta recopilación de información anterior, queremos destacar lo siguiente:

- En México, el riesgo sísmico se define a nivel del municipio o a nivel del estado en el caso de la Ciudad de México.
- La normativa en vigor, que data de 2004, se basa en una zonificación sismo-geotécnica asociada a espectros normativos de diseño.
- La interacción terreno-estructura para distintas tipologías de cimentación está bien definida en norma y su consideración está recomendada por el mismo código.
- Las reglas de construcción que han evolucionado durante todo el último siglo (en respuesta a los terremotos de 1957 y 1985, aunque no exclusivamente) se han considerado adecuadas y su evolución estable.
- No se ha previsto que la normativa sufra grandes evoluciones a corto plazo.
- No obstante, se prevé que la norma integre espectros de diseño “evolutivos” que tengan en cuenta la densificación de los suelos en el tiempo, un fenómeno que es muy específico de la Ciudad de México.
- El refuerzo preventivo de las construcciones existentes será objeto de un programa específico.

Sobre este último punto, acerca del refuerzo preventivo de las construcciones existentes, la misión recomienda un seguimiento de la evolución de las normas de México. «La recuperación de lo existente» es probablemente el principal desafío al que la ingeniería sísmica tendrá que enfrentarse en el futuro próximo.

Referencias

Alcocer, S. M., & Castaño, V. M. (2008). Evolution of codes for structural design in Mexico. *Structural Survey*, 26(1), 17-28.

4 Terreno y geotecnia

4.1 Contexto geológico general

La cuenca de México está localizada en el sur de la parte más elevada de la meseta central mexicana. La Ciudad de México está ubicada en el emplazamiento de un antiguo lago a algo más de 2 200 m de altitud.

Esta cuenca, de forma alargada en la dirección noreste a suroeste (100 x 30 km²), se encuentra rodeada de volcanes que forman parte del eje volcánico transmexicano. En la parte oeste se localizan las cadenas andesíticas del terciario (Sierra de Cruces), al sur, las formaciones basálticas del cuaternario (actualmente - 2.6 Ma) de la Sierra del Chichinautzin y al norte, las rocas volcánicas del Terciario (-65 à -2,6 Ma) de Sierras de Guadalupe y de Pachuca.

La Sierra Nevada se encuentra en la parte este con volcanes de basalto y andesitas del Terciario, el Popocatepelt y el Iztaccíhuatl que culminan a aproximadamente 5 300 m de altitud. En el centro-este de la meseta se encuentran numerosas cumbres aisladas como el Centro de la Estrella o la Sierra de Santa Catarina.

Antes del Pleistoceno (-2,6 à - 0,012 Ma), el valle estaba abierto hacia el sur, con un drenaje que se realizaba mediante dos otros valles profundos que pasan por las ciudades de Cuautla y de Cuernavaca. Este valle estuvo cerrado durante el periodo de actividad volcánica de la Sierra del Chichinautzin, que comenzó hace aproximadamente 700 000 años durante el Pleistoceno, impidiendo así el drenaje de las aguas hacia el sur y creando un lago poco profundo. Posteriormente, sedimentos lacustres, otros materiales eruptivos y productos de la erosión del relieve llenaron el antiguo valle.

4.2 Litología del Valle de México

Las principales formaciones son las siguientes (ver también la Figura 4.1) :

- Una formación superficial constituida por rellenos de un espesor que puede llegar a los 10 m (1 à 10 m), una superposición de depósitos aluviales y de una corteza seca relacionada con la bajada de nivel de agua en el lago;
- Una serie de arcillas superiores lacustres de un espesor aproximado entre 25 y 50 m, constituida de una alternancia de estratos de arcillas con tasa de consolidación variable inducida por las sobrecargas superficiales y por el drenaje (mediante bombeo). Otros estratos de materiales más resistentes también pertenecen a esta formación;
- Un estrato resistente (la primera «capa dura») constituida de material areno-limoso con lentejas de arcillas y de gravas con espesores variables. Este estrato es casi inexistente en la zona central por tener 2 m en los bordes del lago. Esta formación se utiliza como nivel de anclaje para las cimentaciones profundas (Torre Latinoamericana por ejemplo);
- Una formación denominada «arcillas inferiores» consolidadas de origen lacustre, de 15 m de espesor en el centro del lago y casi inexistentes en los bordes. Existe una alternancia de estratos arcillosos y de lentejas más compactas;
- Depósitos profundos de 1 a 5 m de espesor con alternancia de arenas y de gravas aluviales consolidadas por arcillas compactas y por formaciones ricas en carbonatos de calcio, después estratos menos compactos denominados “playas”.
- Superposiciones de depósitos volcánicos y de sedimentos lacustres que alcanzan un espesor de varias centenas de metros. El “techo” de esta formación constituye la “segunda capa dura”.

A lo largo de estos últimos 30 años, los estudios han contribuido a precisar las características de la zona de transición localizada entre la zona lacustre y la zona de las colinas (“lomas”).

4.3 Características físicas y mecánicas de los terrenos de México

El subsuelo de México se caracteriza por depósitos arcillosos muy compresibles y drenados por capas de arenas intercaladas. Esto se traduce en una compactación continua y un descenso continuo de la superficie del suelo.

Hasta los años 1950, la mayor parte de las necesidades de agua en la ciudad, estuvieron cubiertas por la explotación de pozos de profundidades comprendidas entre los 50 m y los 500 m. Este uso de las capas profundas se tradujo en una bajada del nivel piezométrico. La fuerte extracción de agua a estas profundidades unido al hecho de que el agua de la superficie no se alteró, produjo un gradiente hidráulico a través de las capas de arcilla compresible. Este fenómeno, al producir un aumento de la tensión efectiva, ha

acelerado el fenómeno de consolidación y los desplazamientos registrados en la superficie. A título de ejemplo, el desplazamiento medio anual registrado en la superficie fue del orden de 35 cm/año alrededor de los años 1950, momento en el que la extracción de agua alcanzó su máximo. Algunas zonas de la Ciudad de México registran todavía hoy desplazamientos superficiales anuales del orden del centímetro a la decena de centímetros.

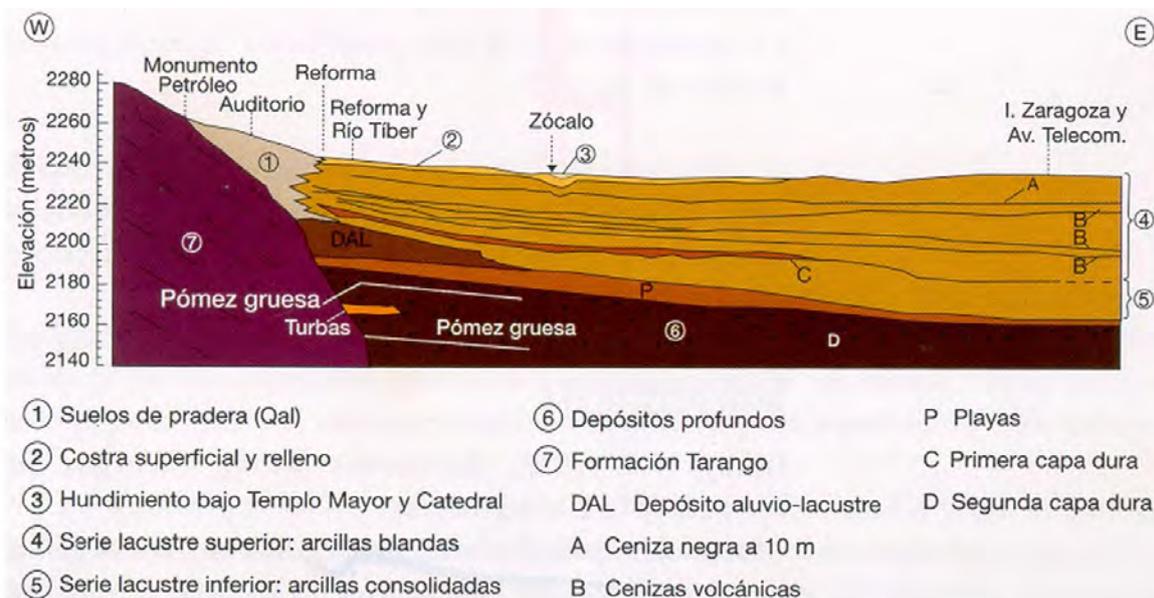


Figura 4-1 – Perfil estratigráfico simplificado Este-Oeste de la Ciudad de México [1].

En las arcillas superiores, el contenido en agua puede llegar hasta un 150 – 250 % (centro histórico de la ciudad) incluso sobrepasar en ocasiones 400 % en la zona del lago (Texcoco) con resistencias de punta q_c – penetrómetro estático (CPT) -normalmente inferiores a 10 MPa (ver anejos). En el nivel del antiguo lago, la densidad de las arcillas en 20 m de espesor es próxima a 12 kN/m³ de media.

La velocidad V_s de las ondas de corte puede ser inferior a 100 m/s incluso a 30 - 50 m/s en los 30 primeros metros de profundidad (ver anejos). Los valores de V_s ,30 media armónica en los 30 primeros metros pueden ser inferiores a 70 m/s. El coeficiente de Poisson medido con las relaciones de elasticidad entre las velocidades de ondas P y S está comprendida entre 0,490 et 0,499. Para esta gama de deformación de suelos (distorsión $k < 10^{-5}$), el valor del módulo de corte G (llamado G_0 ou G_{max}) es inferior a 5 incluso 3 MPa. En la zona de transición (Zona II), los valores medios de V_s pueden ser más elevados, sobre todo con la presencia de depósitos de sedimentos más gruesos.

4.4 Zonificación sismo-geotécnica

La Ciudad de México se extiende actualmente en suelos de naturaleza muy diversa que van desde lavas o suelos muy compactos (es el caso de las colinas o lomas) hasta suelos excesivamente compresibles del antiguo lago.

El valle de México se encuentra dividido en tres zonas distintas (Figura 4-2) que corresponden a:

- la zona alta de las lomas o colinas, constituida de rocas volcánicas y de depósitos de lava cubierto por otros sedimentos (Zona I);
- la zona lacustre con rellenos en su mayoría arcillosos (Zona III);
- la zona de transición que refleja el cambio progresivo entre la zona lacustre y la zona de las lomas. (Zona II) ;

Basada principalmente en esta división, la zonificación «geotécnica» de la Ciudad de México también refleja las principales tendencias en términos del período dominante del terreno y la máxima amplificación del movimiento sísmico. A cada una de estas zonas «sismo-geotécnicas» le corresponde normativamente un espectro de diseño.

Recordemos que, en la zona de daños importantes observados en los terremotos de 1957, de 1979 y de septiembre de 1985, están localizados en la zona del lago y en la zona colindante con la zona de transición. Los daños han sido menores o incluso inexistentes en la zona de las lomas y parcialmente en la zona de transición. En relación con las reglas de urgencia promulgadas después del terremoto de 1985, (Figura 4.2-a), la zonificación de 2004 redefine los límites de estas tres zonas e introduce subdivisiones en la zona III (Figura 4.2-b).

En el texto de la norma de 2004, los espectros de aceleración se proporcionan para las zonas I, II, IIIa, IIIb, IIIc, III d.

Sobre la base de la zonificación definido en 2004, los ensayos geotécnicos realizados en los últimos 15 años condujeron a una proposición de mejora.

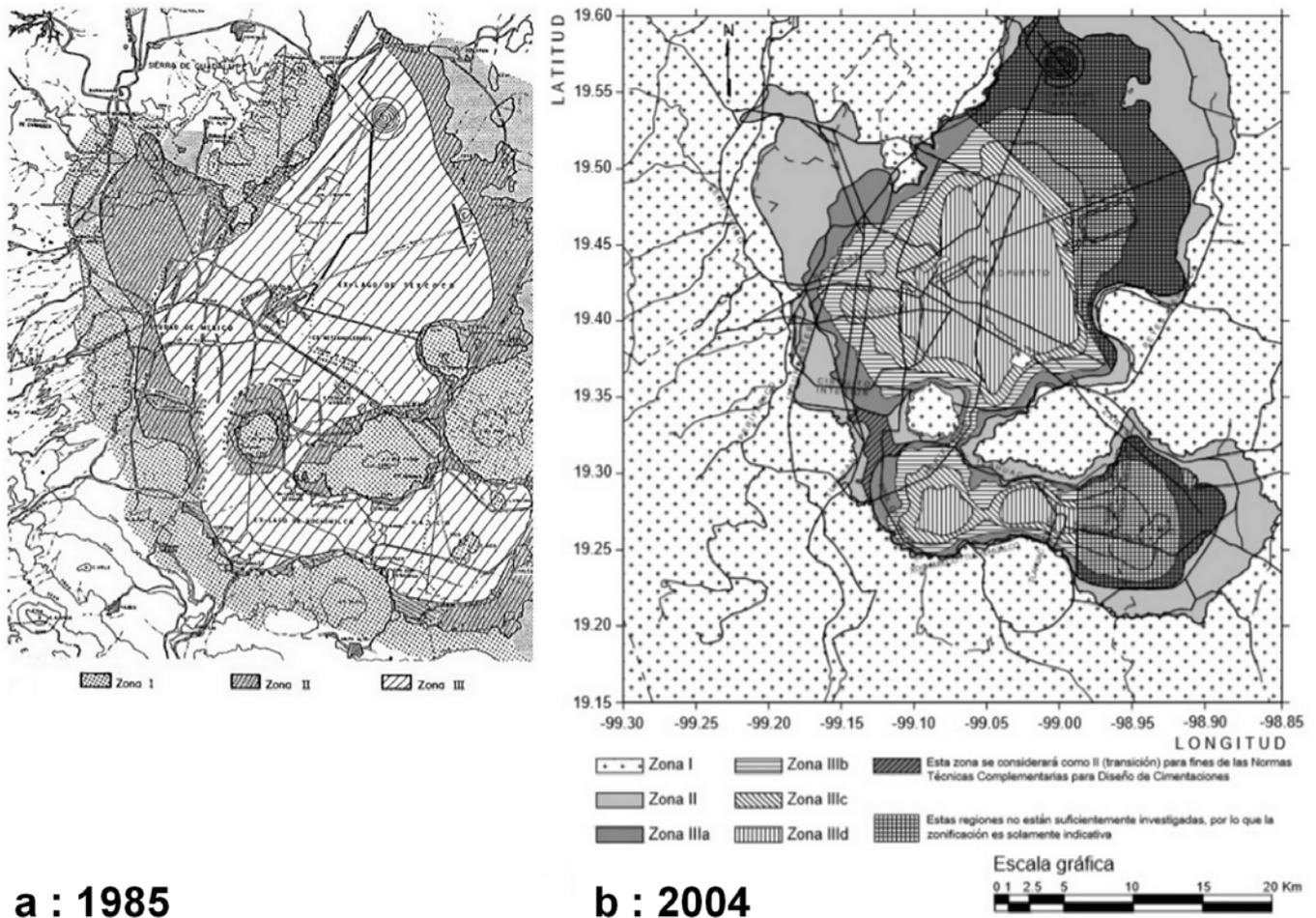
4.5 Período fundamental del terreno de México

En condiciones de propagación unidimensional de las ondas S verticales el período propio para el primer modo fundamental del terreno T_{0sol} solo puede obtenerse mediante la expresión siguiente (1):

$$T_{0sol} = 4H/V_S$$

(1) Se ha empleado la técnica H/V para esta misión (ver anejos). Esta técnica está basada en el uso del ruido de fondo sísmico y permite una estimación de la frecuencia de resonancia para el primer modo fundamental ($f_0 = 1/T_0$) de una sucesión de estratos de terreno que descansan sobre un substrato rocoso.

Trabajos publicados desde 2013 proponen una cartografía actualizada de los iso-espesores de las arcillas (Figura 4.3-a) y de iso-valores de período propio del suelo en el valle de México (Figura 4.3-b).



4.6 Mapa de períodos propios y mapa de daños

Sobre un mapa de fondo urbano, las construcciones que registraron daños importantes se han representado (Figura 4.4-a) así como las medidas H/V realizadas en el marco de esta misión. Se han empleado intervalos de valores para mayor claridad de la representación (Figure 4.4-b). El recuento de las construcciones gravemente dañadas muestra una concentración de éstas en las zonas II, IIIa et IIIb (ver anejos). Un estudio de detalle presentado en los documentos anejos muestra el cambio rápido de período del suelo en los barrios de Condesa y Roma.

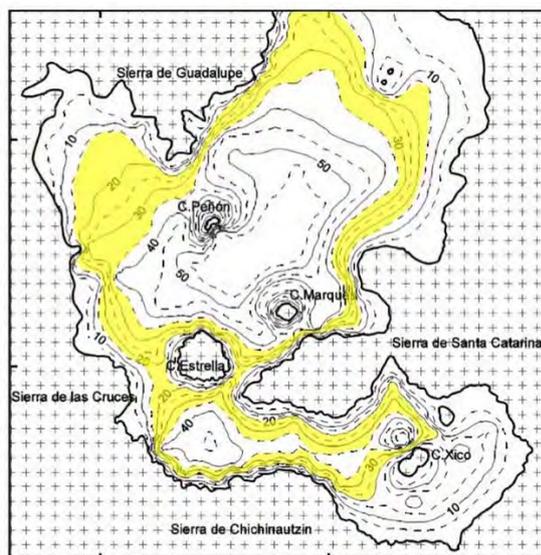
Además, existen investigadores que proponen considerar la consolidación de suelos y hacerla corresponder con el análisis de la respuesta de la columna de suelo. La reducción de la relación de vacío (densificación del medio) tendría tendencia a reducir el período fundamental del suelo.

4.7 Lecciones aprendidas

Los terrenos del valle de México poseen propiedades físicas y mecánicas características y únicas en mas de 50 m de espesor. Estas propiedades están en relación directa con su modo de depósito. Su deformación vertical es inevitable sobre todo en las zonas del antiguo lago y en la zona perimetral debido a un fenómeno espectacular de consolidación natural, a la gran compresibilidad de los estratos y a los fenómenos inducidos de drenaje/bombeo creados por el hombre en el último siglo.

El gran contraste mecánico producido entre los suelos profundos y las capas superficiales de suelo compresibles (0 a 80 m aproximadamente en la parte este) también son responsables del origen de los efectos dinámicos que se producen en superficie por los edificios y sus ocupantes.

a



b

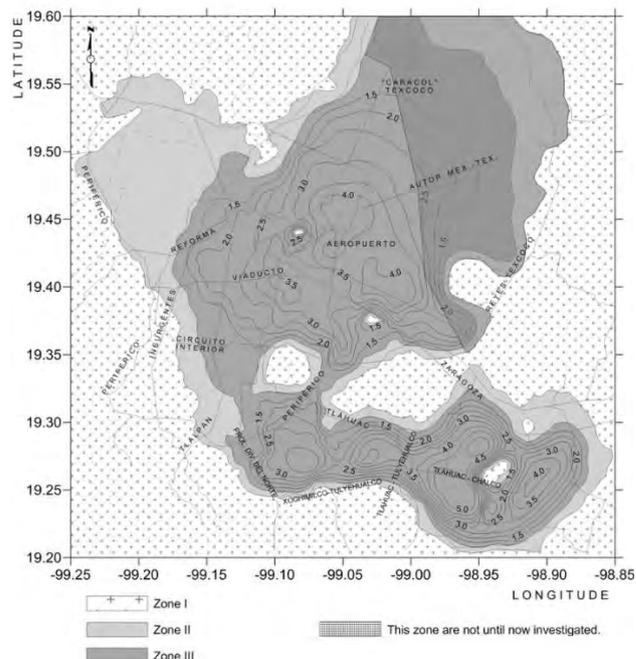
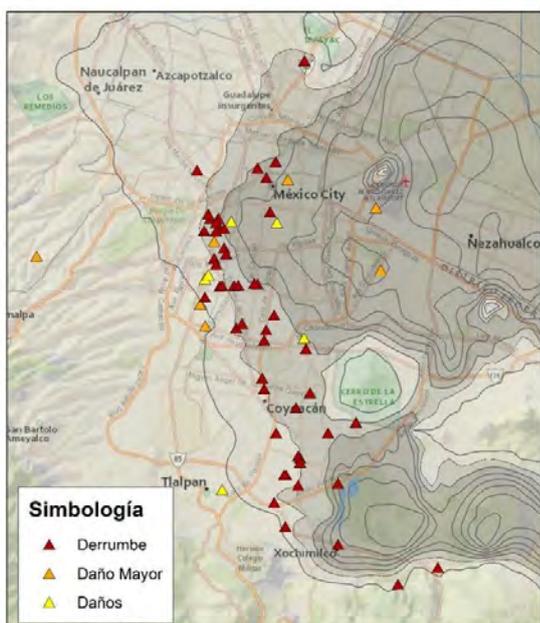


Figura 4.3 – Iso-espesores de suelos de relleno (a) e isovalores del periodo fundamental T_0 sol de México [2].

a



b

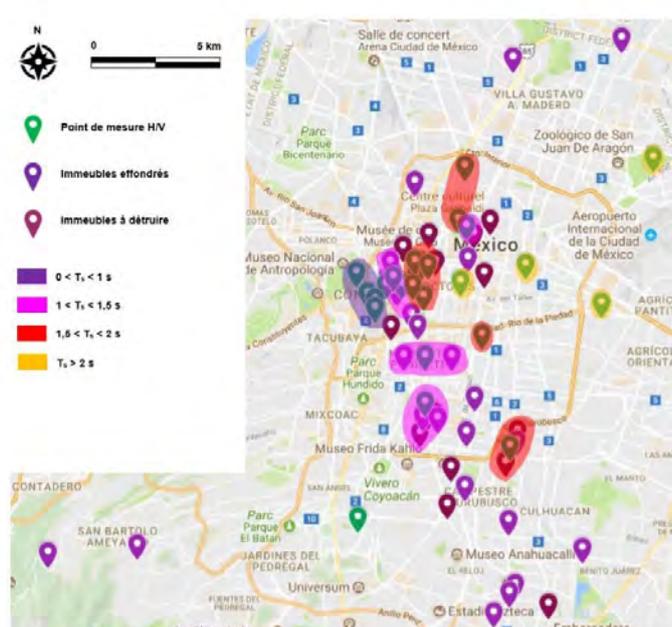


Figura 4.4a – Mapa de daños (a) con los edificios destruidos por el terremoto del 19/09/1985 (derrumbes), los edificios con daños mayores y los edificios con daños significativos [1].

Figura 4.4b – Informe de medidas H/V e intervalos de periodo propio T_0 sol medidos por la misión AFPS

El efecto de sitio es muy pronunciado en la Ciudad de México con una amplificación del movimiento sísmico producido por las capas de terreno ubicadas en el antiguo lago. Este efecto es diferente según el contenido frecuencial de cada terremoto, como lo muestran las distribuciones de daños obtenidas para los terremotos de 19/09/1985 y de 19/09/2017 (ver anejos).

En 1985 la zona mas profunda del lago es la que mayores daños registro (zonas IIIb y IIc). En 2017, las zonas geotécnicas más afectadas son las zonas II, IIIa et IIIb.

En 1985, la distribución de daños se localizó en el cuadrante nor-oeste mientras que en 2017 la repartición de daños tiene una extensión mayor hacia el sur y sobre el limite oeste del lago. En 2017, se trata mayoritariamente de daños a escala de uno o varios edificios colindantes, no a escala de barrios.

Antes de 1985 (el texto normativo de 1976 estaba en vigor), las tres zonas principales (lomas, zona de transición y lago) estaban definidas. Posteriormente se subdividieron en varias fases después de 1985 y de 2004.

La distribución de daños de 2017 en zonas geográficas específicas dan la razón a los ingenieros mexicanos que abogaban por la realización de microzonificaciones en Ciudad de México que fueran cada vez mas precisas y que fueran capaces de tener en cuenta los efectos de sitio.

Hemos podido medir los periodos fundamentales con un equipo transportable a mano para medidas de ruido de fondo sísmico y empleando el método de medida H/V. El límite de una zonificación precisa puede explicarse también por efectos de dinámica "rápida" 2D y 3D.

Se han detectado claramente efectos de amplificación de suelos para espesores comprendidos entre 15 y 35 m. De hecho, la distribución de edificios colapsados coincide con zonas en las que la estratigrafía conocida de suelos corresponde a terrenos blandos.

Referencias

[1] E. Ovando Shelley, Consideraciones preliminares sobre los efectos de los temblores de septiembre de 2017 en las obras par construir el NAICM. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México (2017).

[2] J. Martínez-González, J. Lermo, F. Vergara-Huerta, E. Ramos-Pérez, Avances en la zonificación sísmica de la Cuidad de México y zona de Chalco, edo. de Mex., propuesta de nuevo mapa de periodos dominantes para las NTC para diseño por sismo del reglamento del D.F. XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Acapulco, Mexico (2015).

5 Cimentaciones

5.1 Principales desafíos

La Ciudad de México es conocida por su particular y excepcional fenómeno de asentamiento en el que, sea por la aplicación de cargas superficiales o por el efecto de la extracción de agua en profundidades medias o altas, se ha inducido una aceleración en la consolidación del terreno.

Independientemente del sistema de cimentación escogido (superficial o profundo) los proyectos deben tener el fenómeno de la consolidación como dato de entrada. Además, excepto en el área de las lomas o en ciertas áreas de la zona de transición, el substrato geotécnico rocoso suele ser demasiado profundo según criterios técnico-económicos para hacer las soluciones viables. (Ejemplo: caso de cimentaciones pilotadas en las que se persigue hacer trabajar los pilotes “en punta”). En algunos casos una formación de naturaleza arenosa y más compacta, de algunos metros de espesor, es utilizada como estrato de anclaje. Este es el caso del sistema de cimentación de la Torre Latinoamericana (Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc) construida en 1956 y que ha resistido los terremotos de 1985 y de este mismo año. Se trata de una torre de 196 m de altura que posee una base cuadrada de 34.4 m x 34.4 m.

Este tipo de terrenos, en los que se destaca la presencia de un estrato de aluviones de espesor 10 m a 60 m según zonas de los cuales arcillas muy compresibles saturadas en agua, registran importantes amplificaciones dinámicas.

En este contexto, los efectos de la interacción terreno-estructura son considerables y se descomponen en lo siguiente: los efectos cinemáticos producidos por grandes desplazamientos impuestos por el suelo (termino dg de la norma EN 1998 o EC8) y los efectos inerciales generados por la masa de la estructura y transmitidos al terreno por el sistema de cimentación.

5.2 Tipología de los sistemas de cimentación

Las tipologías de los sistemas de cimentación mas característicos de la Ciudad de México se representan en Figuras 5.1 y 5.2.

Los sistemas de cimentación superficiales que emplean zapatas pueden encontrarse (Figura 5.1a) en edificios que llevan que transmiten un nivel limitado de carga al terreno (equivalente de 1 o dos plantas). En suelos compresibles de la zona del lago, la contribución de incluso 10 kPa ya puede causar asentamientos de varias decenas de centímetros. El límite de capacidad de carga se puede alcanzar fácilmente en edificios de unas pocas plantas. Es bastante corriente encontrar sistemas de “doble-losa” con un nivel de compensación enterrado no habitado (con objeto de no inundar las viviendas en lugares donde el nivel freático se encuentra próximo a la superficie) (Figura 5.1b).

Recurrir al uso de sistemas de cimentación profunda, por ejemplo, pilotes, es muy frecuente en la zona del lago. Una primera posibilidad muy recurrente es concentrar los pilotes puntualmente en los elementos que registran la mayor bajada de carga (Figura 5.1c) o también densificar la malla de pilotes bajo muros y en las zonas de circulación. (Figuras 5.2a, 5.2b y 5.2c).

Puesto que los estratos rocosos (substrato de anclaje de los pilotes típicamente) pueden llegar a ser profundos en la antigua zona del lago (del orden de 30 a 45 m), los pilotes pueden en ocasiones estar “flotando” (Figura 5.2a), es decir, que la punta del pilote no llega a anclarse en dicho substrato rocoso. Estos pilotes funcionan exclusivamente por rozamiento en su fuste, ya sean en hormigón armado o en acero. Esta técnica, que ha sido empleada extensamente desde la década de los 1960, ha permitido reducir el asentamiento diferencial entre el edificio y el suelo circundante.

En algunos casos, estos pilotes pueden extenderse en su punta con una sección más pequeña en acero, buscando el substrato más compacto. Se trata de pilotes “de punta penetrante” (Figura 5.2b). Este sistema, poco común, solo se ha utilizado en una docena de construcciones. Otros edificios están cimentados con pilotes al tresbolillo, entrelazados o incluso siguiendo un esquema de “overlapping”. Estos esquemas se representan en (Figura 5.2c).

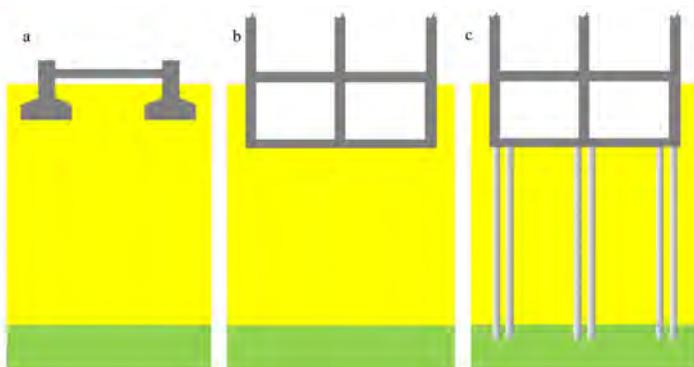


Figura 5.1 – Ejemplo de cimentaciones empleadas en México. Cimentaciones superficiales de tipo zapatas aisladas y corridas (a), losa de cimentación con nivel perdido de compensación (b) y este sistema de cimentación con pilotes localizados bajo portadores de bajada de carga. Figura [1].

Consideremos en detalle la solución de pilotes “flotantes” (Figuras 5.3a y 5.3b). Si aplicamos una carga uniforme en la superficie, los pilotes o inclusiones estarán solicitadas en cabeza, pero también por fricción en toda la longitud del fuste. En la parte superior el desplazamiento del suelo por consolidación será superior al desplazamiento del pilote mientras que en la base de la cimentación el desplazamiento de la cimentación será superior al del terreno. Por lo tanto, existirá un plano neutro, a una cota determinada, para el cual los asentamientos del terreno y de la cimentación sean idénticos.

Se trata de pilotes de tipo I en México (Figura 5.3a) que denominamos “inclusiones» en el manual de referencia ASIRI francés. Las pilas Tipo II (Figura 5.35a) trabajan exclusivamente en fricción positiva. Para los pilotes de tipo I, Zeevaert en 1957 proporcionó una justificación para el uso de esta tipología de cimentación en la Ciudad de México. Posteriormente, en la década de 1960, la literatura técnica recoge otros tantos ejemplos para los que se aprovecha la fricción negativa y el efecto de grupo de los pilotes.

En México, los edificios están cimentados sobre suelos compresibles cuya consolidación está en curso. Otra técnica también utilizada consiste en realizar losas de cimentación (en realidad se trata de cajas rígidas embebidas en el terreno) sobre pilotes anclados en el substrato rocoso permitiendo el desplazamiento relativo entre losa y pilotes. Se trata de los denominados pilotes de control (Figura 5.3b y 5.3c). En este sistema, en el que losa y pilotes están desolidarizados, los pilotes pueden asemejarse a inclusiones rígidas. La carga uniforme que la losa de cimentación transmite al suelo, es a su vez transmitida parcialmente a las inclusiones rígidas por frotamiento negativo y efecto de grupo. Un dispositivo que une las cabezas de los pilotes permite solidarizar el conjunto losa-pilotes y de disminuir los desplazamientos producidos por el edificio. Este sistema pretende esencialmente recuperar los desplazamientos generados por el movimiento relativo terreno-edificio e impedir así desplazamientos diferenciales entre el nivel de calle y la entrada del edificio.

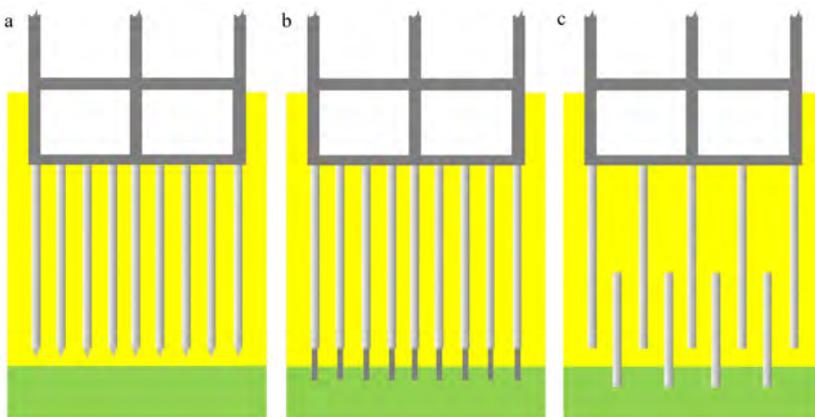


Figura 5.2 – Ejemplo de cimentaciones profundas ejecutadas en México. Pilotes flotantes (a), pilotes con puntas penetrantes en acero (b) y pilotes entrelazados o al tresbolillo [2] (c). Figura [1].

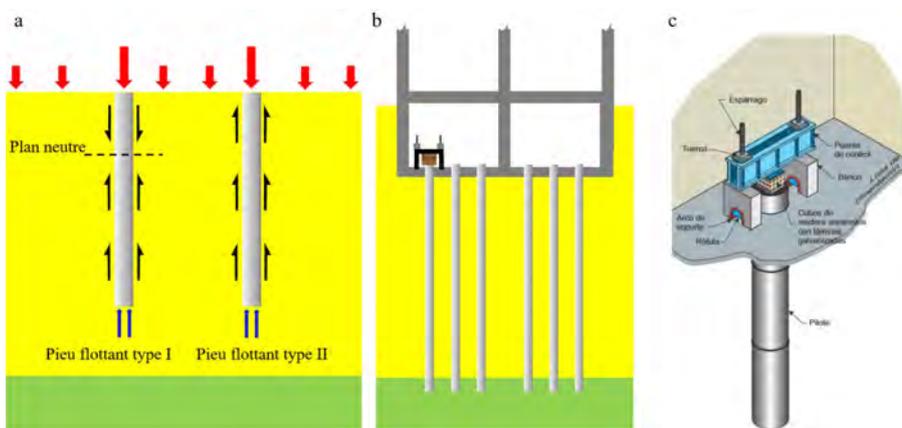


Figura 5.3 – Pilote de tipo I (o d'inclusion) y de tipo II (a). Pilote de control (b y c). Figure [1]. Fuente de (c) : <http://tgc.com.mx/tgc/wp-content/uploads/2013/11/Pilotes-decontrol.pdf>

5.3 Daños en los sistemas de cimentación

La mayor parte de edificios analizados a lo largo de esta misión fueron en su mayoría edificios de 5 plantas de media, cimentados en principio en pilotes. Por lo que podamos saber no se ha mencionado ni observado ninguna patología en edificios con cimentaciones superficiales.

A priori, los efectos de los asentamientos adicionales producidos por el terremoto no deben descartarse para las construcciones cimentadas superficialmente, pero según la experiencia de arquitectos e investigadores de la UNAM, estas deformaciones observables a nivel de calle son en la mayoría de los casos difíciles de distinguir de los asentamientos globales producidos por consolidación en la Ciudad de México.

Tampoco se han señalado ni observado inclinaciones aparentes en edificios cimentados en pilotes del modo en el que este fenómeno

si se había observado anteriormente después del terremoto de 1985. Sin embargo, sí que ha llamado nuestra atención varios fenómenos de desolarización de varios edificios respecto al nivel de calle (Figura 5.4). En estos edificios, por lo menos de tipo 5 o mas plantas, se han observado generalmente otro tipo de patologías. Hemos seleccionado algunos ejemplos.



Figura 5.4 – Avenida Juárez (Delegación Cuauhtémoc, Mexico)

En la Figura 5.4, el edificio se encuentra en las proximidades del centro histórico, no muy alejado de la Torre Latinoamericana (zona del antiguo lago). En el momento en el que realizábamos nuestra misión, se estaba instalando un toldo textil, en principio para limitar el efecto visual del espaciado horizontal entre edificios. En este caso, encontramos un empeoramiento de la deformación vertical del terreno después del terremoto del 19/09/2017 registrándose rotaciones perennes de los edificios. En la base del edificio de color oscuro se observa una desolarización vertical con un movimiento relativo descendente respecto al nivel de calle del orden de 10 a 20 cm. En el intersticio horizontal entre la planta baja y el terreno, no hemos podido observar pilotes ni un nivel de compensación. Una medida de ruido de fondo sísmico realizada en la acera de en frente de estos edificios ha proporcionado un periodo propio de terreno de 1.52 s.

A nivel de calle, en la calle Durango (zona de transición), se observa otro fenómeno de desolarización del edificio de 7 plantas respecto de la calle. Este fenómeno se acentúa en los puntos “duros”, en los que existe un pilote. Intercambios realizados con el Profesor Auvinet han confirmado este efecto post-sísmico, efectivamente después de un terremoto los edificios cimentados en pilotes que trabajan en punta tienden a sobresalir más en superficie creándose desplazamientos diferenciales entre nivel de calle y edificio.

También hemos constatado que en muchas construcciones con danos estructurales visibles en superestructura, no se han observado deformaciones flagrantes en la interfaz terreno-estructura, en ocasiones ni siquiera identificables.

Este es el caso para los dos ejemplos escogidos: un edificio haciendo esquina en Colonia Roma, calle Morelia (Figura 5.5) y un edificio localizado a lo largo de la Avenida Cuauhtémoc en el numero 872 (Figura 5.6). Este último edificio está ubicado a proximidad de una zona donde se han producido enormes danos en la intersección de la calle Concepción Beistegui et la calle Yacatas.

Se ha tomado una medida en las dos calles, Concepción Beistegui y Yacatas, proporcionando periodos propios del terreno de 1.79 y 1.23 s respectivamente.

No hemos tenido acceso a los encepados de los pilotes para revisar su funcionamiento y comprobar si los efectos inerciales han registrado grandes momentos. Tampoco hemos podido observar efectos de ovalización del suelo debido un movimiento relativo entre pilotes. Al realizar los diagnósticos de las misiones post-sísmicas en 1985, se observó que cientos encepados habían sido plastificados.



Figura 5.5 – calle Morelia (Delegación Cuauhtémoc, México)



Figure 5.6 – Avenida Cuauhtémoc (Delegación Cuauhtémoc, Mexico)

Como había destacado el Profesor Auvinet, los efectos de resonancia han implicado edificios de altura inferior a los afectados en 1985. Es decir, edificios de 5 a 10 plantas. Los efectos producidos por los momentos que provienen de efectos inerciales en los encepados de los pilotes han sido inferiores en 2017. En 1985, hubo un gran número de edificios que colapsaron debido a una mala concepción arquitectural.

En lo que se refiere al refuerzo de terreno mediante inclusiones rígidas, en sentido estricto no hemos podido confirmar ningún desorden manifiesto. Para la mejora de terrenos mediante precargas y drenajes, la técnica se utiliza actualmente para la construcción de pistas en el nuevo aeropuerto de México (Texcoco). Debido al contexto geotécnico de México, aplicar esta técnica en terreno urbano no es posible ya que se estaría afectando a los edificios de las parcelas colindantes.

Con el fin de limitar los asentamientos inducidos por la aplicación de carga superficial (cargas de tráfico en la calle, etc.) una solución sería remplazar los estratos superficiales (rellenos, arcillas) por otros rellenos de origen volcánico, menos densos.

En obra subterránea, solo hemos podido constatar daños aislados en unos conductos de ventilación localizados en una zanja cubierta en el Metro de México. (Profesor Auvinet)

Los equipos de medida existentes en la obra del futuro aeropuerto registraron, tras el terremoto de 19/09/2017, una sobrepresión transitoria limitada a unos pocos kiloPascales.

5.4 Lecciones aprendidas

La gran mayoría de las cimentaciones de las construcciones ubicadas en la zona del antiguo lago han respondido a su objetivo, proporcionando estabilidad a los edificios.

Algunas patologías estructurales han sido identificables visualmente y se sospecha que puedan existir tantas otras, como por ejemplo formación de rotulas plásticas en puntos “duros” de la cimentación o asentamientos. Las patologías encontradas no son de la misma importancia que las observadas después del terremoto de 1985.

Debido a los grandes asentamientos registrados en suelos muy compresibles, los ingenieros mexicanos han adquirido una importante experiencia en técnicas de cimentación para responder a esta problemática. Las soluciones empleadas para dar respuesta a los casos estáticos, como por ejemplo el uso de pilotes que trabajen en punta, producen efectos estabilizadores para los casos sísmicos.

Estas técnicas se han mejorado con la experiencia adquirida después del terremoto de 1985. La acción sísmica, la respuesta dinámica del suelo y la tipología de las construcciones son diferentes para los terremotos del 2017 y de 1985. En cualquier caso, se ha constatado que después del terremoto de 2017 no se han observado patologías tan flagrantes como las que se registraron en 1985.

Referencias

[1] G. Auvinet, E. Méndez, M. Juárez, The Subsoil of Mexico City. Vol. III. Three volumes edition celebrating the 60th Anniversary of The Institute of Engineering. UNAM (2017).

[2] ASIRI. Recommandations pour la conception, le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides. IREX. Presses des Ponts (2012).

[3] AFPS, Guide pour l'utilisation et le dimensionnement des fondations profondes sous action sismique des bâtiments à risque normal. Cahier Technique AFPS n°38 (2017).

6 Edificios dañados

6.1 Principales tipologías de los edificios

El análisis de los daños observados en los edificios ha sido clasificado según una tipología estructural. Esta noción abarca, por una parte el tipo de construcción (mampostería y concreto) y por otra parte la geometría de toda la obra (esbeltez y número de pisos). Estos dos parámetros han sido seleccionados debido a la influencia importante que tienen sobre la respuesta dinámica de una estructura, cualquiera que sea su tipología.

Además del caso de los monumentos históricos, cuatro tipologías pudieron ser identificadas con una buena correlación entre el número de niveles de los edificios y del modo constructivo. Las tipologías identificadas son clasificadas de la siguiente manera:

- **edificios en mampostería:** estos edificios son esencialmente viviendas individuales o pequeños comercios construidos antes de los años 80 (Figura 6-1). Los elementos portantes son generalmente de madera o de ladrillos. Son generalmente de poca altura y no sobrepasan tres niveles;
- **edificios con estructura de columnas - vigas y mampostería:** estos edificios son principalmente de vivienda que tienen un piso "blando" el cual tiene por uso servir de estacionamiento (Figura 6-2). Los muros de mampostería están principalmente constituidos por ladrillos y en ciertos casos por bloques de concreto. Un contraviento en diagonal en concreto está a veces presente en los marcos verticales de estas construcciones (Figura 6-3). Estos edificios se encuentran en un rango entre 3 a 10 niveles;
- **edificios en concreto con contraviento en muros:** esta categoría concierne a edificios de vivienda o de oficina de aproximadamente 10 a 15 niveles (Figura 6-4). Estas estructuras son de tipo columna / viga con losa en concreto. Los muros están situados en las áreas de circulación y en algunas fachadas.
- **edificios altos en concreto, mixtos o en construcción metálica:** estos edificios son principalmente unas torres de oficinas o de viviendas cuya estructura está conformada por perfiles metálicos y losas de concreto y metal (Figura 6-6). Las fachadas están constituidas con elementos no estructurales tales como fachadas de vidrio. Estas estructuras tienen generalmente más de 15 niveles.



Figura 6 1 – Edificio en mampostería



Figura 6 2 – Edificio de concreto y mampostería



Figura 6 3 – Cruz en « X » de concreto



Figura 6 4 – Edificios comunes en concreto armado



Figura 6 5 – Edificios de gran altura de concreto



Figura 6 6 – Edificios de gran altura de construcción mixta o metálica

6.2 Edificios colapsados

Durante nuestra estadía en la ciudad, la mayoría de los edificios colapsados habían sido desalojados por completo. Por consiguiente, el estudio de estos edificios se apoya en las informaciones recolectadas en el momento de las misiones de diagnóstico de emergencia. En resumen, más de 14 000 edificios fueron objeto de este tipo de inspección en México. El número total de los edificios colapsados fue de 44. Para la gran mayoría de estos edificios, se presentan tres observaciones importantes:

- **la situación dentro de la « zona geológica de transición »** correspondiente a un conjunto más heterogéneo de depósitos lacustres y coluviales en el límite de zona IIIa y IIIb (Figura 6 -7) ;
- **el modo de construcción es columna-viga y mampostería.** (Figures 6 9, 6 10, 6 11) ;
- **el número de niveles está comprendido entre 4 y 8.** La Figura 6-8 presenta la distribución del número de edificios colapsados en función del número de niveles para un total de 32 edificios;
- **la fecha de construcción es anterior a los años 90.** A notar que sólo un edificio reciente (de menos de cinco años) se colapsó.

Esto parece haber sido causado por el fallo de un solo piso (incluido la planta baja) (Figura 6-12). Las rigideces relativas de los pisos parecen haber desempeñado un papel importante, por estar vinculadas al diseño del edificio o también por una disminución local de rigidez en el momento de su respuesta dinámica (por ejemplo: daños en la mampostería).

Los edificios parcialmente colapsados dejan resaltar que la falla puede haber sido causada por la ruptura de un solo piso (incluido piso bajo) (Figura 6 -12). Las rigideces relativas de los pisos parecen haber desempeñado un papel importante, para que sean vinculadas al diseño de origen del edificio o bien a la disminución local de rigidez en el momento de su respuesta dinámica (pérdidas de la mampostería por ejemplo).

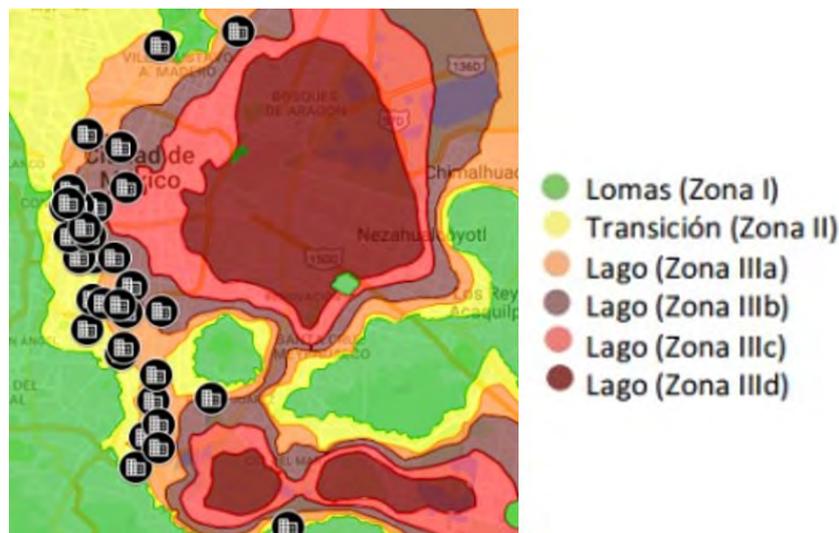


Figure 6 7 - Distribución geográfica de los edificios colapsados

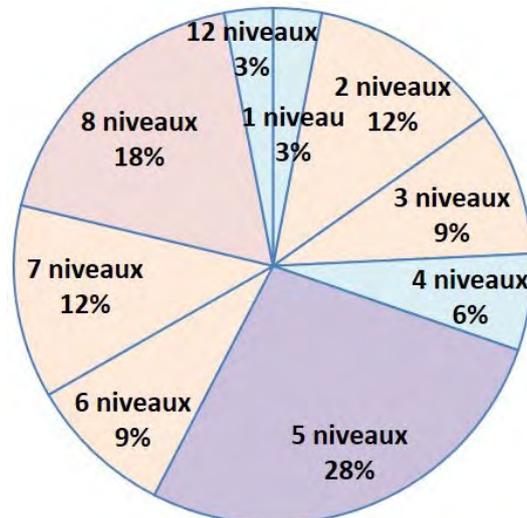


Figure 6 8 - Distribución de los edificios colapsados según en número de niveles



Figura 6 9 - 9 Niveles



Figura 6 10 - 6 Niveles



Figura 6 11 - 8 Niveles



Figura 6 12 - 5 Niveles

Fotos : www.huffingtonpost.com.mx/2017/09/23/fotos-el-antes-y-despues-de-los-edificios-derrumbados-en-cdmx_a_23220020

6.3 Daños observados en los edificios que no colapsaron

6.3.1 Daños vinculados con la tipología

Esta parte específica, para cada una de las tipologías identificadas y presentadas anteriormente, la naturaleza de los daños observados.

- **Edificios de poca altura en mampostería :** de una manera general, este tipo de edificio no tuvo muchos daños en el sismo del 19 de septiembre de 2017. Algunos casos de golpeteo liviano han sido observados, principalmente en cercano a un edificio de tipología diferente.
- **Edificios con estructura compuesta de columnas y vigas:** esta tipología de edificios ha sido una de las más impactadas por el sismo del 19 de septiembre de 2017 (Figura 6 -13).

Los daños en los muros de mampostería han sido recurrentes. Dos mecanismos principales han sido observados :

- El primero concierne a desplazamientos fuera del plano, y la caída completa o parcial de los ladrillos de la mampostería (Figura 6-14). Este tipo de daño resulta de movimientos ortogonales a las paredes y/o de una torsión del edificio. Este mecanismo ha sido observado sobre paredes con o sin castillos en concreto.
- El segundo le concierne a la presencia de fisuras diagonales a 45° , característica de una rotura por fuerza cortante de los marcos de relleno (rotura en el plano (Figura 6-15). Esto demuestra que los esfuerzos presentes en el contraviento no pudieron ser tomados en cuenta.



Figura 6 13 – Vista conjunta de un edificio deteriorado



Figura 6 14 – Ruptura fuera del plano de la mampostería



Figura 6 15 – Ruptura por esfuerzos cortantes en la mampostería

Para esta tipología se observaron los daños más recurrentes.

- Para algunas de estas estructuras, se constataron daños severos al nivel de las conexiones columna-vigas (Figura 6 -16), particularmente en el primer y segundo nivel.
- En muy pocos casos, fallas de vigas han sido observadas (Figura 6 -17). Estas fallas no son intuitivas porque presentan un tipo de falla debido al esfuerzo cortante (fisura a 45°) mientras que sobrevengan a medio tramo, donde una falla debida al momento de flexión (fisura vertical) se esperaba. En estos casos, es probable que la mampostería y sus daños hubiesen conducido a una transmisión de esfuerzos parásitos en las vigas.



Figura 6 16 – Ruptura de la conexión viga-columna



Figura 6 17 – Ruptura de una viga por esfuerzos cortantes

Es importante anotar que una selectividad fuerte se efectuó en el seno de esta clase. En efecto, si la mayoría de los edificios dañados pertenece a esta tipología, muchos edificios de esta clase no presentan daño. Este fenómeno es mas marcado de lo que se puede observar al nivel de la Colonia donde las condiciones de suelo son semejantes a priori y para edificios que datan de períodos visiblemente similares de construcción. Se puede destacar que independientemente del espesor de los suelos de relleno del valle de México, el plano de los períodos de suelo muestra a veces variaciones netas al nivel de la Colonia.

- **Edificios en concreto con contravientos en muros :**

Este tipo de edificio sufrió relativamente poco por este sismo. De manera poco relevante, la fisura por esfuerzo cortante (diagonales a 45 °) ha sido observada sobre ciertos muros de concreto (Figuras 6 -18, 6 -19) así como sobre columnas cortas (Figura 6- 20).

- **Edificios altos en concreto, mixtas o en construcción metálica :**

A pesar de los grandes desplazamientos debido a la flexión y torsión (varias decenas de centímetros), estos edificios presentaron pocos daños durante el sismo. En pocos casos, restos de elementos de vidrio fueron observados.

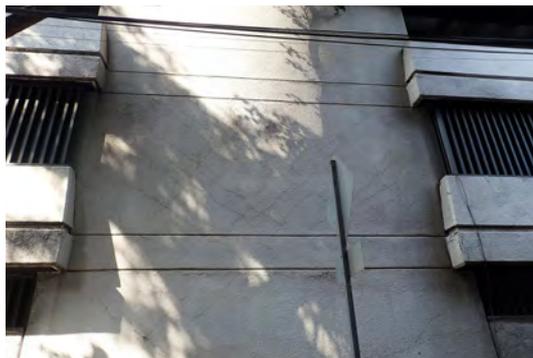


Figura 6 18 – Fisura de un muro por esfuerzos cortantes



Figura 6 19 – Cara de la fisura por esfuerzos cortantes (zoom)



Figura 6 20 – Ruptura de una columna corta

6.3.2 Daños independientes de la tipología

Los daños presentados en esta sección dependen de las condiciones en la que se encuentra el edificio, o de sus elementos no estructurales.

- **Inclinación del edificio :**

Algunos casos de baja inclinación de edificios han sido observados (Figura 6- 21). El origen de estos movimientos puede provenir, de una falla localizada del sistema de fundación, o de un hundimiento del suelo sobrevenido en el momento de la acción sísmica. Respecto a las propiedades del suelo de México, la segunda hipótesis no tiene que excluirse. Se vale destacar que a pesar de las consecuencias potenciales sobre su equilibrio estático, ciertos edificios que habían sufrido este tipo de comportamiento, quedaron en funcionamiento.

- **Daños parciales debido a la interacción con el suelo**

Han sido observados de manera bastante regular algunos daños y movimientos notables (del orden de la decena de centímetros) del suelo en el perímetro de los edificios. En algunos de estos casos, un hueco era visible bajo el edificio, pudiendo traducir un desolidarización parcial del sistema de fundación con suelo.

- **Golpeteo entre edificios**

Fenómenos de choque de edificios fueron observados. Ciertos testimonios relatan un fuerte golpe bajo el efecto de estos choques con edificios a veces sin tener juntas. No obstante, en la mayoría de los casos, las zonas de contacto quedan muy limitadas (Figura 6-22) y las consecuencias estructurales limitadas. Estos daños principalmente han afectado a edificios que tienen entre 2 y 4 niveles. En el caso de las construcciones recientes, el espacio de la junta fue suficiente.

- **Caida de elementos no estructurales**

El interior de los edificios dañados presentaba a veces caídas de falso techo así como destrucciones de muros divisorios. Durante la misión, este tipo de desorden era visible sólo en edificios que quedaron desocupados. Por fuera de los edificios, algunas caídas de vidrio (Figura 6-23), o elementos de jardinería fueron observados.

- **Efecto « de ángulo de calle »**

Los efectos «de ángulo de calle » o «dominó» designan fenómenos al nivel de un conjunto de construcciones donde una acentuación de los daños se ha observado en los edificios que se sitúan en los ángulos de las calles, pasó lo mismo en zonas sin ángulo. En estas condiciones, la cuestión de la validez de esta hipótesis todavía queda abierta, ninguna conclusión ha podido establecerse.



Figura 6 21 – Inclinación (izquierda) de un edificio



Figura 6 22 – Golpeteo de dos edificios con tipologías diferentes



Figura 6 23 – Restos de vidrios y no estructurales

El **cuadro 6-1** presenta la frecuencia de observación de las diferentes patologías, en función del número de niveles de los edificios y de la tipología dominante asociada.

Cuadro 6 1 : frecuencia observada de los diferentes daños en la estructura

Número de niveles	1 - 3	3 - 10	10 - 15	> 15
Tipología de edificios	Mampostería	Vigas y mampostería	Concreto y muros de contraviento	Construcción mixta o metálica
Daños estructurales	poco	moderado	poco	No se observó
Daños en la mampostería	poco	bastante	No se observó	No se observó
Caída de elementos no estructurales	poco	poco	poco	poco
Golpeteo	poco	poco	poco	No se observó
Inclinación de edificios	poco	poco	No se observó	No se observó
Daños parciales en la interacción con el suelo	No se observó	poco	poco	Se supone
<i>Escala de la clasificación observada : no se observó/poco/ moderado/bastante</i>				

6.4 Correlación dinámica suelo / estructuras

Las observaciones realizadas durante la misión mostraron que una tipología bien identificada de edificio se había constatado particularmente vulnerable al sismo estudiado (edificios de 4-8 niveles con estructura columnas-vigas en concreto armado y mampostería). Entre las causas posibles, el efecto de un fenómeno de doble resonancia suelo / estructura fue regularmente estudiado. Este efecto corresponde a la resonancia simultánea del suelo y de la estructura. Esto puede producirse si el contenido de la frecuencia del sismo es particularmente importante a proximidad con los períodos fundamentales del suelo y de la estructura. Este riesgo es naturalmente acentuado si estas dos frecuencias son próximas.

El objeto de esta parte es estudiar esta problemática teniendo como base una parte de las medidas de frecuencias del suelo efectuadas en el momento de la misión y por otra parte en el momento de los cálculos numéricos vinculados al comportamiento vibratorio de un edificio.

6.4.1 Análisis de las frecuencias de suelo medidas y las frecuencias estimadas de los edificios según el EC8

La primera etapa de este estudio sobre la correlación dinámica suelo / estructura consiste en acercar la localización de edificios destruidos o muy dañados con la localización de medidas de frecuencias de suelo efectuadas en el momento de la misión. La elección de los 17 edificios (14 colapsados y 3 dañados) y 9 medidas (5 en zona Condesa - Roma, y 4 más en el sur) ha sido hecha en razón de la proximidad relativa de su localización (Figura 6 -24 y Figura 6 -25).

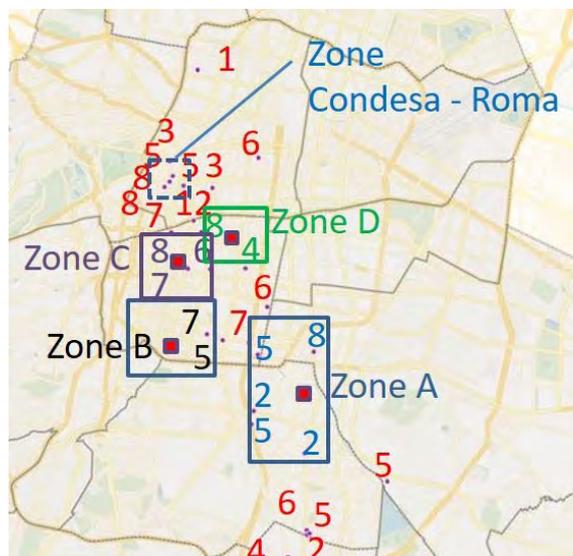


Figura 6 24 – Distribución de obras destruidas en la parte central de México vinculadas a las zonas de medición H/V –La cifra corresponde al número de niveles

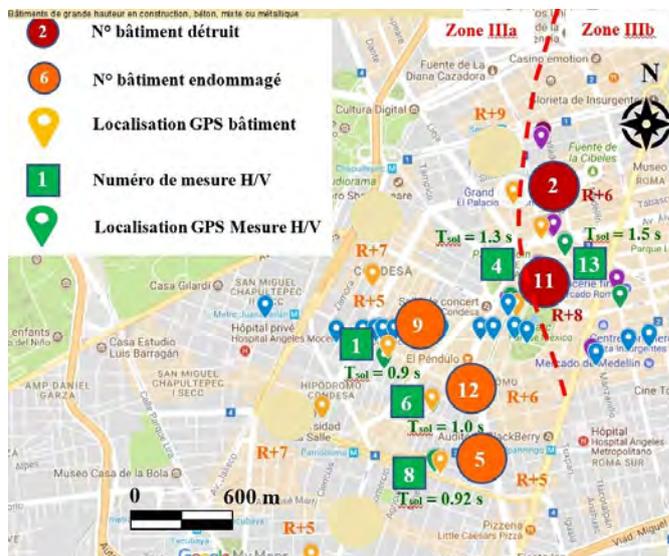


Figure 6 25 - Zoom de una sección de obras deterioradas y destruidas en la Colonia Condesa y Roma vinculadas a los puntos de medición H/V

La segunda etapa consiste en evaluar la frecuencia de los edificios estudiados El Eurocódigo 8 propone para las estructuras pórticos en concreto la fórmula siguiente: $T_{bat} = 0.075 \cdot H^{3/4}$, siendo « H » la altura de la construcción (Por $H < 40m$). El Cuadro 6- 2 presenta, para cada uno de 17 edificios estudiados, su período estimado (columna 5, con $h_{nivel} = 3,5m$) y la medida de período correspondiente del suelo (columna 6). Estos valores son también trasladados sobre la Figura 6 -27 (curva 1 y nube de puntos)

Cuadro 6 2 : Estimación de los períodos de los edificios estudiados y las medidas del suelo asociado

Localización del edificio	Nº medida H/V	Numero de niveles	Dañado(D) colapsado (C)	Periodo T_{bat} (s) (flexión, según EC8)	Periodo T_{sol} (H/V)	T_{sol} / T_{bat}
Zona A	25	3	C (2 edificios)	~ 0,43	1.36	3,16
Zona D	24	5	C	~ 0,64	1.64	2,56
5	8	6	D	~ 0,73	0.92	1,26
9	1		D		0.92	1,26
Zona B	26	7	C	~ 0,82	1.08	1,47
Zona A	25		C (2edificios)		1.36	1,86
12	6	8	C	~ 0,91	1.00	1,21
Zona C	27		C		1.23	1,50
2	13		C		1.50	1,83
Zona B	26	9	D	~ 1.00	1.08	1,18
Zona C	27		D		1.23	1,35
Zona C	27	9	D	~ 1.00	1.23	1,23
11	4		D		1.30	1,30
Zona A	25		D		1.36	1,36
Zona D	24	9	D	~ 1.00	1.64	1,64

Comparando los períodos fundamentales de los edificios (estimadas según el enfoque EC8), y del suelo (medidas a H/V), observamos que las primeras son sistemáticamente inferiores a los segundos. Para los edificios comprendidos entre 5 y 8 niveles, esta desviación es comprendida entre el 20 y 250 %. En consecuencia, la sola comparación de estas frecuencias no conduce a la identificación de una correlación suelo / estructura. No obstante, es importante tener presente que una pérdida de rigidez que aumenta su período se produce cuando un edificio sufre daños.

El análisis del estudio numérico que precisamente se muestra es de estimar la evolución de estas frecuencias en presencia del daño y de seguir su comparación con las frecuencias de las medidas del suelo.

6.4.2 Análisis numérico de la evolución de las frecuencias de los edificios

La maqueta numérica construida es representativa de una obra «tipo» (y no de un edificio particular), representativa de la tipología más impactada (Figura 6-2). Se trata por consiguiente de una estructura columnas/ vigas con mampostería y que tiene un piso bajo «blando». El edificio es rectangular (12m x 16m), conteniendo 3 tramos de 4 m de ancho y 4 tramos de 4 m de longitud. Los suelos tienen un espesor de 0,15 m, las columnas y las vigas una sección de 0,25 x 0,25 m². El número de pisos se clasifica. Concerniendo la mampostería, tres configuraciones han sido consideradas:

- A. sin mampostería
- B. con mampostería y con ventanas
- C. con mampostería y sin ventanas

La modelización ha sido realizada con el software « elementos finitos »Cast3M. Elementos de tipo viga (Euler-Bernouilli) han sido utilizados para las columnas y las vigas mientras que elementos de tipo casco han sido utilizados para los suelos y la mampostería. El concreto armado y la mampostería han sido caracterizados por su módulo de Young (40 tipos de GPa y 20 tipos de GPa respectivamente), su coeficiente de Poisson (0.2 para cada uno) y su masa volumétrica (2500 kg m³ y 2300 kg.m³ respectivamente). Las columnas han sido supuestas empotradas en su base.

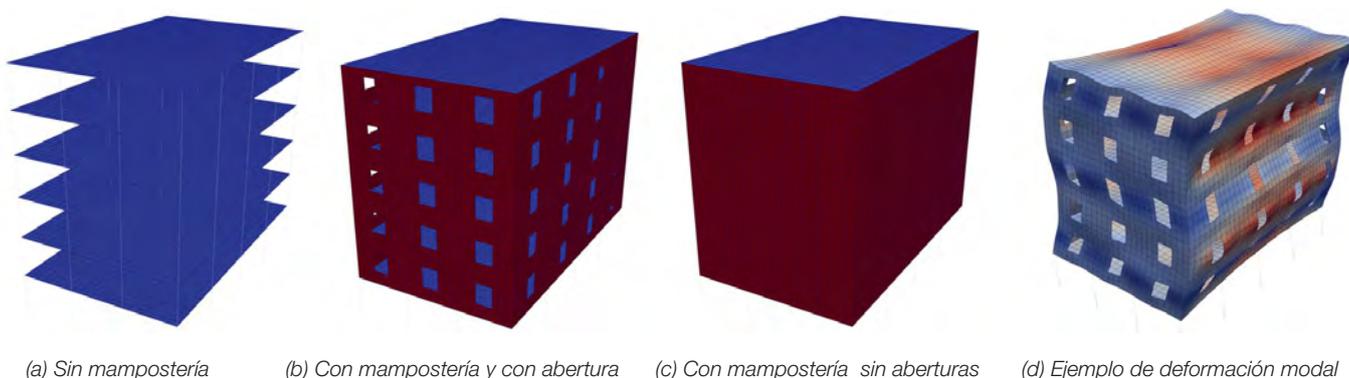


Figure 6-26 - Numerical model used for the three configurations analyzed

El estudio numérico consistió, para cada configuración, en evaluar la frecuencia fundamental en función al número de pisos. Estos resultados están representados sobre la Figura 6-27. Se puede constatar que en condición no degradada la influencia de las aperturas es despreciable (curvas 3 y 4). En cambio, la pérdida de la mampostería conduce al aumento de los períodos a un factor 6 aproximadamente (curva 2). Es importante resaltar que aunque este estudio permita obtener tendencias, habría sido interesante continuar los análisis considerando sólo una parte la mampostería como deteriorada. Esto, sin duda habría permitido colocar por delante el efecto de eventuales asimetrías inducidas, que pueden conducir a la aparición de efectos de torsión. Además, la selección de los parámetros elásticos ha sido de manera aproximada, convendría ajustar estos valores.

La Figura 6-27 presenta los siguientes puntos:

- La estimación del período propio de un edificio según el EC8,
- La evaluación del período propio de un edificio con o sin mampostería,
- Los períodos de suelos medidos cerca de edificios colapsados o muy dañados.

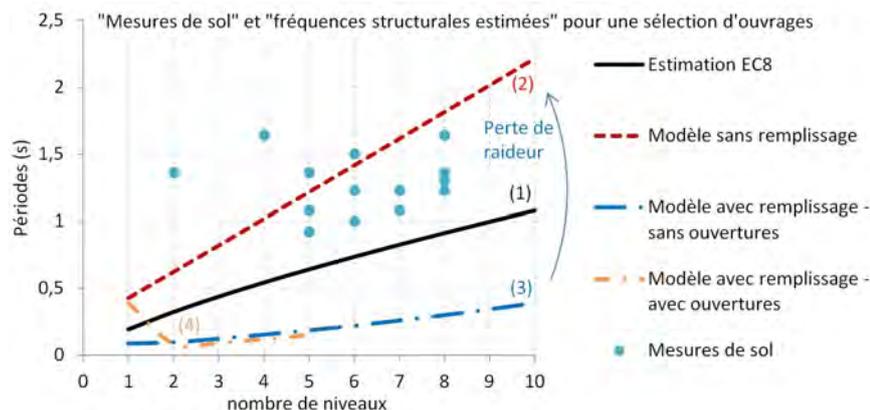


Figura 6-27 – Variaciones de los periodos fundamentales de estructuras y de suelo sobre una selección de obras

6.4.3 Resultados y discusión

Con respecto a las condiciones de los límites estudiados, los resultados numéricos representados sobre esta figura deben considerarse como límites «inferiores» y «superiores» de este tipo de estructura. Es por eso que es lógico comprobar que la estimación de la frecuencia según el EC8 se sitúe en medio de estos límites.

En el caso de las frecuencias medidas de suelo, se pudo observar que la casi totalidad se sitúa entre la línea «EC8» y el límite superior de la modelización. Frente a una sollicitación sísmica, la evolución del daño en un edificio tendrá la tendencia de desarrollar el valor de los períodos fundamentales desde el valor « EC8 « cercano al límite superior de la modelización numérica (i.e. sin mampostería).

En esta situación, es completamente posible que la frecuencia propia de un edificio pueda interceptar la frecuencia propia del suelo, creando un riesgo de resonancia doble. Además, estos resultados muestran claramente que, para edificios que contienen entre 4 y 8 niveles, el daño de la mampostería marca un aumento del período fundamental comprendido entre 1s y 1,75 s. Este rango de períodos corresponde en realidad a las aceleraciones espectrales máximas observadas en las zonas donde los edificios más dañados han sido observados.

Las condiciones de aparición de una resonancia doble parecen reunidas y este riesgo real no tiene que excluirse. Por eso, se debe tener en cuenta que este fenómeno solo no debería considerarse como la única explicación de los daños observados. En efecto, la proximidad de edificios semejantes que tiene niveles muy diferentes de daño, muestra que otros factores (particularmente la capacidad de los elementos estructurales) se toman en cuenta en el daño de un edificio.

Por último, no olvidemos que el análisis toma únicamente los modos en flexión de la estructura. Indiscutiblemente, los videos visualizados en el momento del sismo revelan modos en torsión sobre ciertas obras; más aún cuando el daño de muros de mampostería puede crear asimetrías, favorables para la aparición de la torsión.

6.5 Comparación con el sismo de 1985

La ciudad de México está sujeta a fuentes sísmicas de naturalezas variadas. Entonces, más allá de la magnitud de un sismo, la distancia del epicentro y la naturaleza del mecanismo de liberación conducen a generar señales de las que las consecuencias sobre las estructuras pueden ser muy diferentes. La comparación de las consecuencias estructurales de los sismos del 19 de septiembre de 2017 y 1985 debe ser hecha tomando en cuenta esta especificidad. Esta parte pone en perspectiva los elementos del informe de misión post-sísmica AFP de 1985 con las observaciones derivadas de la misión de 2017.

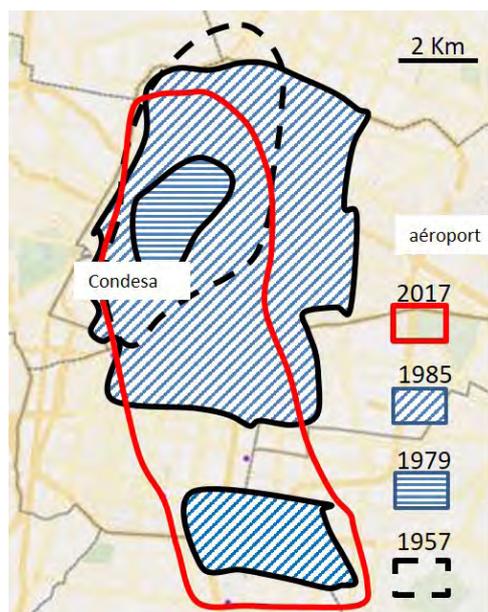
En el momento del sismo del 19 de septiembre de 2017, como en el momento de los sismos de 1985, 1979, y 1957, la zona que concentra el máximo de daños se sitúa al nivel de la zona geológica de transición. El sector de Condesa y Roma constituye particularmente una zona que sistemáticamente ha sido impactada.

Comparando las consecuencias del sismo de 2017 con de 1985, los puntos siguientes pueden ser destacados:

- el número de edificios colapsados o dañados es significativamente inferior en 2017 (230 en 2017 respecto a 878 en 1985).
- en 2017, muy pocas edificaciones con más de 8 niveles fueron deterioradas, mientras que en 1985, las obras más impactadas fueron aquellas que contaban entre 6 y 15 niveles. En ambos casos, los pequeños edificios (con un período propio bajo) se comportaron bien. Estas observaciones se explican en gran parte por el contenido frecuencial de las señales. El período que corresponde a las aceleraciones máximas han sido de 1 s en 2017 y 2 s en 1985.
- en 2017 como en 1985, las estructuras en concreto armado con mampostería han causado problemas mediante el daño rápido de estas mamposterías, modificando considerablemente la respuesta de las obras concernidas. Esta es una problemática actual, principalmente respecto a los edificios que preceden las normas de 1987.
- Tanto en el año 2017 como en 1985, se ha constatado que mientras los períodos de construcción eran más recientes, los edificios tuvieron un comportamiento más satisfactorio. Esto demuestra el interés en la evolución de la normalización sísmica.
- en 2017, la problemática de golpeteo entre edificios no tuvo mayor relevancia, mientras que en 1985 muchas fallas se generaron debido a este fenómeno.
- los elementos no estructurales, que habían sido muy problemáticos en 1985 (caídas de muros de vidrios), se comportaron muy bien como 2017. Probablemente una atención particular se tomó sobre este punto.

Los daños vinculados a problemas de cimentaciones, tales como el volcamiento y los hundimientos, quedaron muy limitados en 2017, mientras que su importancia era notable en 1985. Este fenómeno podría explicarse particularmente por una mejor zonificación y un mejor respeto de éste, así como por la evolución de los espectros normativos.

El conjunto de estas observaciones es representado en la Tabla 6-3



Observations	2017	1985
Buildings destroyed or put out of use	283	878
Number of stories most impacted	4 - 8	6 - 15
Damage to concrete frame structures with masonry infill	Significant	Significant
Collision between buildings	Contained	Significant
Fall of non-structural elements	Contained	Significant
Tilting or severe damage to the foundations	Contained	Significant
Benefits of evolutive regulations	Evident	Evident

Figura 6 28 – Zonas de daños más graves

Cuadro 6 3 : Elementos a comparar 2017 - 1985

6.6 Enseñanzas más importantes

Al nivel de la ciudad, el buen comportamiento de la gran mayoría de los edificios es algo que se debe destacar.

Varios problemas muy presentes en el sismo de 1985 tuvieron, en 2017, poca incidencia :

- los fenómenos de golpeteo entre edificios y sus consecuencias quedaron limitadas ;
- la caída de los elementos exteriores no estructurales, tales como los ventanales, acroteras y los balcones también quedó muy limitada.

Sin embargo, ciertos puntos todavía siguen siendo algo problemáticos :

- el comportamiento de muros de mampostería y su resistencia débil enfrente de las sollicitaciones fuera de planos engendran la caída de estos elementos ;
- la pérdida de estos elementos modifica la transmisión de los esfuerzos en la estructura e impacta directamente los elementos portadores adyacentes. Su daño está relacionado a un comportamiento anormal.

Finalmente, el estudio de los daños pone de manifiesto un fenómeno muy fuerte de selectividad, en tres niveles:

- al nivel de la geología del sitio, ya que los edificios dañados esencialmente se reparten sobre la « zona de transición » del suelo de México;
- al nivel de la tipología de los edificios; así, los edificios que contenían 4 a 8 niveles de tipo columnas-vigas en concreto armado con mampostería, concentraron la mayoría de los daños observados;
- en el seno de una tipología, ya que para construcciones semejantes y localizaciones que pueden ser edificios muy próximos, ciertos edificios son muy impactados, mientras que otros no presentan daños observables.

Complementos

Extractos de la Nota Informativa de los Grupos de Sismología e Ingeniería de la UNAM del 23 septiembre de 2017.

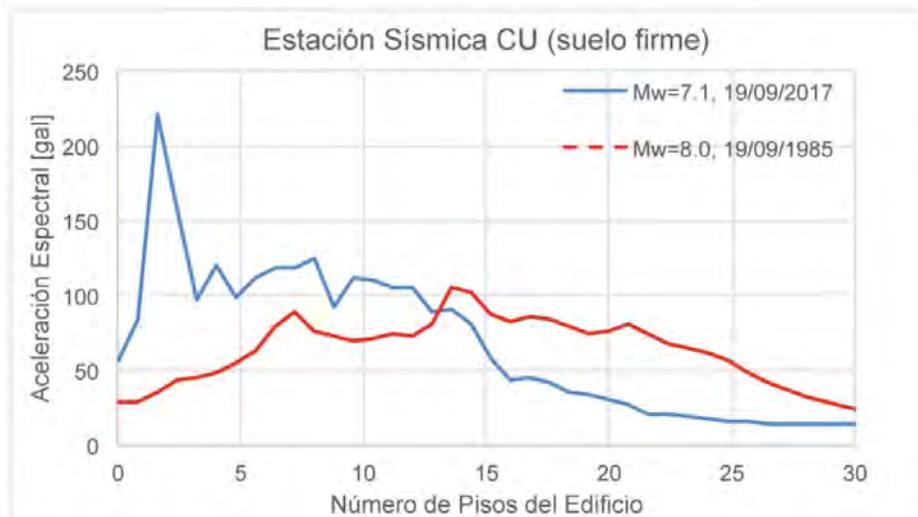


Figura 6 29 – Aceleración espectral seguida por el número de niveles para el año 1985 (rojo) y 2017 (azul) sobre un suelo cerrado (UNAM 23.09.2017)



Figura 6 30 – Aceleración espectral seguida por el número de niveles por 1985 (rojo) y 2017 (azul) sobre un suelo blando (UNAM 23.09.2017)

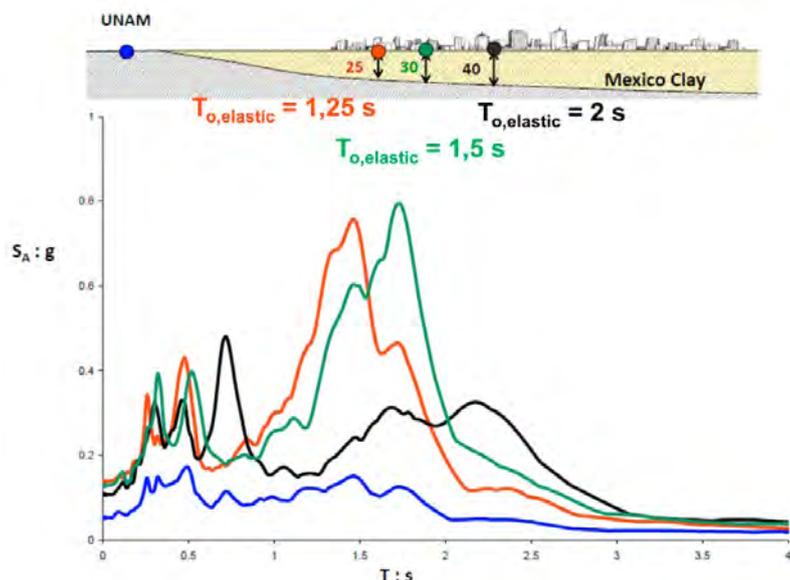


Figura 6 31 – Aceleración espectral seguida por la posición del inmueble (NTU 25.09.2017)

7 Edificios Reforzados

Desde el año 1985, numerosos edificios fueron objeto de reforzamiento. También se notó durante la misión la realización de reforzamientos posteriores al sismo del 19 de septiembre de 2017. Esta parte presenta la naturaleza de los reforzamientos observados, su principio de funcionamiento y su comportamiento evaluado en respuesta al sismo del 19 de septiembre de 2017.

7.1 Contexto reglamentario

Después del sismo de septiembre de 1985 las autoridades mexicanas publicaron en octubre del mismo año una norma de urgencia aplicable a los edificios nuevos y a los edificios que se deben reforzar. En 1987, una norma complementaria apareció la que se tomaba en consideración nuevos criterios, tal como la ductilidad. En 2004, nuevas disposiciones fueron publicadas para las rehabilitaciones de construcciones en mampostería. En respuesta al sismo del 19 de septiembre de 2017, una norma para la rehabilitación de edificios dañados apareció en diciembre del mismo año.

7.2 Tipologías de reforzamiento observadas

Durante de la misión, cuatro tipos de reforzamientos fueron observados. Las secciones 7.2.1 y 7.2.2 presentan ejemplos de reforzamientos anteriores y posteriores al sismo de septiembre de 2017.

Reforzamiento en concreto armado (Figura 7-1, ejemplos 1, 2 y 3) :

Esta técnica consiste en aumentar la capacidad de los elementos de cargas existentes revisando su dimensionamiento y aumentándolo, o para añadir nuevos elementos en concreto armado. Desde el punto de vista de las características dinámicas, este tipo de reforzamiento modifica la rigidez y la distribución de las masas de la construcción. Anotemos que esta técnica principalmente ha sido observada sobre edificios en concreto armado que comprende entre 10 y 20 niveles.

Reforzamiento con contraviento en construcción metálica (Figura 7 2, ejemplos 4, 5, 6, 7, 8 et 11) :

Esta técnica consiste en añadir un sistema de contraviento destinado a transmitir los esfuerzos horizontales que provienen de la aceleración del sismo, hasta las cimentaciones de la obra. Estos refuerzos mayoritariamente están constituidos por perfiles metálicos, y a veces por barras atirantadas. Este tipo de reforzamiento comúnmente ha sido observado sobre edificios en concreto que contienen entre 5 y 10 niveles. La rigidez de conjunto aportada por este tipo de reforzamiento puede modificar de manera significativa las frecuencias fundamentales de las edificaciones

El fortalecimiento de elementos en concreto armado por encolado de platos metálicos (Figura 7 3, ejemplo 12) :

Esta técnica pretende aumentar a posteriori la cantidad de varillas de un elemento en concreto. Estas varillas adicionales están colocados por fuera de los elementos analizados y toman entonces la forma de platos metálicos. Este tipo de fortalecimiento permite aportar resistencia y ductilidad evitando modificar las características dinámicas del edificio. Esta técnica ha sido observada sólo sobre un solo edificio, en el marco de un fortalecimiento corriente.

Reforzamiento por dispositivos de disipación de energía (Figura 7 4, ejemplos 9, 10) :

Esta técnica consiste en añadir elementos que pueden aumentar la disipación de energía en una estructura en el momento de un sismo. La utilización de amortiguadores elásticos y/o viscosos ha sido observada, en rehabilitación, sobre edificios de gran altura. Esta tecnología permite controlar el amortiguamiento de la estructura así como sus frecuencias fundamentales. Notamos que en ciertos casos, el reforzamiento también consistió en una modificación de la estructura inicial.



Figura 7 1 – Reforzamiento por muro de concreto



Figura 7 2 – Reforzamiento por contraviento metálico



Figura 7 3 Reforzamiento de elementos en concreto

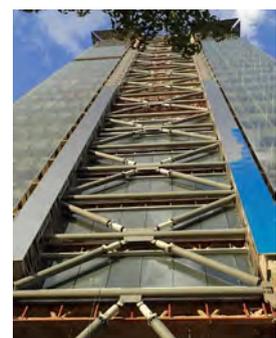


Figura 7 4 – Reforzamiento por disipadores de energía

7.2.1 Ejemplos de edificios reforzados antes del sismo del 19 de septiembre de 2017

Ejemplo 1 - Fortalecimiento en concreto armado y modificación de la geometría inicial del complejo de Tlatelolco.

Construido entre 1960 y 1964, el conjunto Residencial « Nonoalco Tlatelolco » es un símbolo de la concentración de población de la ciudad de México. En el momento del sismo de 1985 este conjunto residencial sufrió grandes asentamientos y una campaña de fortalecimiento se realizó sobre estos edificios en concreto armado. Las Figuras 7-5 y 7-6 respectivamente muestran un edificio de este conjunto antes y después de su reforzamiento.



Figura 7 5 – Edificio en 1960, antes de ser reforzado



Figura 7 6 – Edificio reforzado después de 1985

El reforzamiento ha estado basado en:

- Realizar nuevos pilotes implantados a 6,50 m de la fachada,
- Dividir el conjunto de la obra en subestructuras por la supresión de los muros sobre toda la altura, con el fin de reducir 35 cm la estructura inicial y de crear una junta de 70 cm entre cada nuevo módulo.
- Realizar castillos sobre toda la altura de las dos grandes fachadas,
- Realizar vigas que unen a las columnas cada 3 pisos.

El principio de reforzamiento es dado sobre la Figura 7-7.

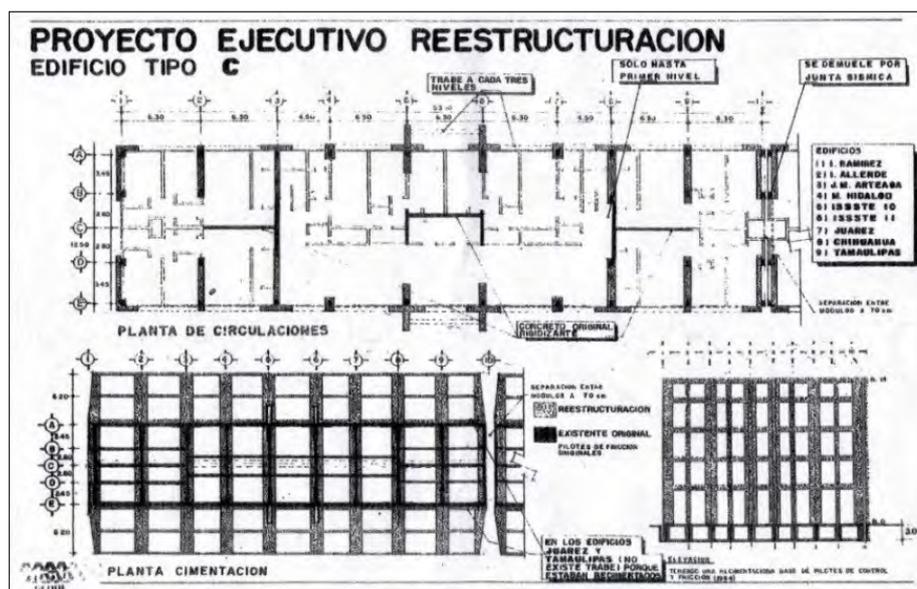


Figura 7 7 - Principio de fortalecimiento de un edificio del conjunto residencial Tlatelolco - vista en plano

En el momento del sismo del 19 de septiembre de 2017, el edificio no sufrió daños estructurales visibles, aunque hubiese sido sujeto a desplazamientos horizontales de cerca de 50 cm.

Ejemplo 2 - Fortalecimiento en concreto armado: edificios en el complejo de Tlatelolco

Fortalecimiento de 4 edificios que datan de 1964 que pertenece al mismo complejo urbano que el ejemplo precedente. El edificio ha sido reforzado por el añadido de muros en concreto armado contra sus fachadas. Las Figuras de 7-8 a 7-10 muestran ambos tipos realizados de fortalecimiento. Es necesario resaltar que estos edificios presentaron un buen comportamiento en el sismo del 19 de septiembre de 2017.



Figura 7 8 – Edificios reforzados, vista en conjunto



Figura 7 9 – Muro ortogonal realizado sobre toda la altura



Figura 7 10 – Contra-muro realizado sobre toda la altura

Ejemplo 3 - Fortalecimiento en concreto armado: edificios de tipo columnas -vigas en concreto armado y mampostería.

La presencia de diagonales en "X" o de contravientos en «V» regularmente ha sido comprobada sobre las fachadas de edificios de tipo columnas-vigas en concreto armado y mampostería (Figura 7-11 y Figura 7-12). Es a veces difícil de detectar si estos refuerzos han sido realizados en el momento de la construcción o bien posteriormente.

Este tipo de refuerzo también se encuentra para solidarizar dos partes del mismo edificio que pueden presentar un riesgo de torsión (Figura 7-12). Los edificios que disponían de este tipo de refuerzo no presentaban desórdenes visibles, otros solamente caídas eventuales de ladrillos.



Figura 7 11 – Contravientos en muros de mampostería

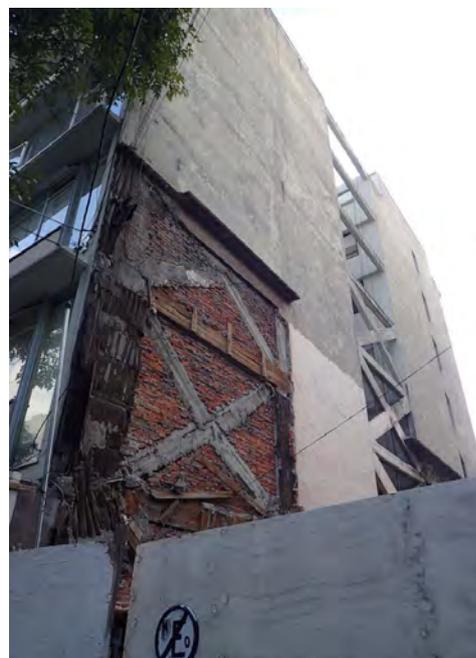


Figura 7 12 – Contravientos sobre un muro de mampostería y entre dos edificios

Ejemplo 4-tipos de reforzamiento por contraviento en construcción metálica

La Figura 7-13 presenta un edificio de 10 pisos en concreto situado en la condesa Roma (una de las condesas más impactadas). Su fortalecimiento está constituido por cruces en "X" sobre el conjunto de la obra. Éstas están dispuestas por fuera, pero igual dentro del edificio. Este edificio no presentaba desórdenes visibles en respuesta al sismo del 19 de septiembre de 2017.



Figura 7-13 – Reforzamiento en cruz – Vista en conjunto

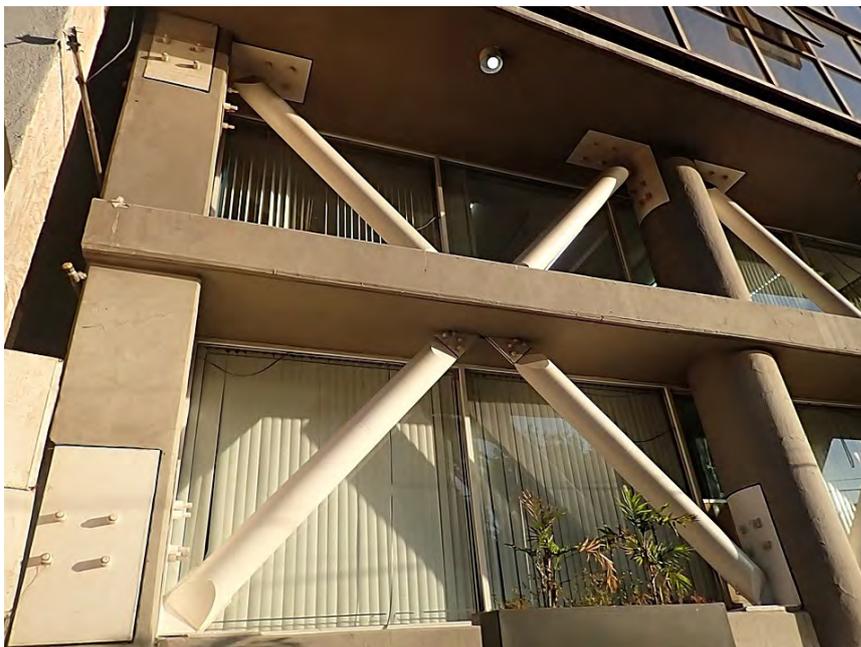


Figura 7-14 – Detalle del reforzamiento en cruz en la planta baja

Ejemplo 5-reforzamiento por contravientos en construcción metálica

La Figura 7-15 y la Figura 7-16 muestran el reforzamiento por perfiles metálicos en la fachada de un edificio de 6 pisos del Ministerio de la Agricultura. Más allá del crecimiento de capacidad del edificio, este reforzamiento también tiene para consecuencia de limitar los desplazamientos laterales y los posibles riesgos de choque. Este edificio no presentaba desórdenes visibles en respuesta al sismo del 19 de septiembre de 2017.



Figura 7-15 - Contraviento en fachada: vista de conjunto



Figura 7-16 - Detalle del reforzamiento en pie

Ejemplo 6 - Reforzamiento por contravientos en construcción metálica

Las Figuras 7-17 a 7-19 muestran el reforzamiento realizado en 1990 del Instituto de América Latina (IFAL), compuesto de varios edificios de 2 y 3 pisos.

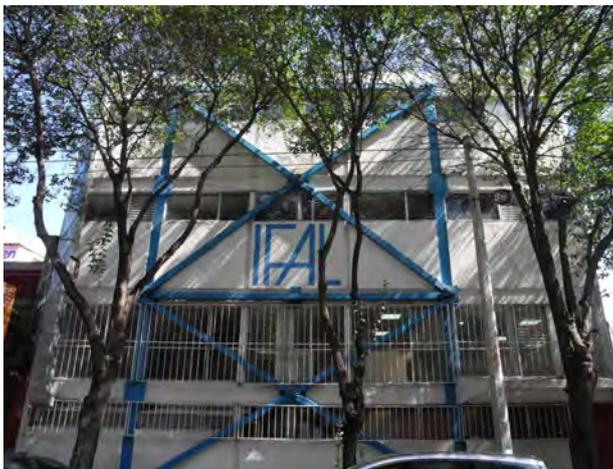


Figura 7 17 - Reforzamiento sobre fachada

Figura 7 18 – Detalle del reforzamiento

Figura 7 19 - Detalle del reforzamiento en pie

Ejemplo 7 - Reforzamiento por contravientos en construcción metálica

Las Figuras 7-20 y 7-21 muestran un edificio de 3 pisos de los que el reforzamiento está dispuesto en su ángulo. Esta disposición pretende ciertamente limitar la problemática vinculada a la torsión. Se puede observar a través de las ventanas la caída de numerosos elementos de falso techo, traduciendo movimientos importantes en el momento del sismo del 19 de septiembre de 2017. Este edificio no presenta desórdenes estructurales visibles.



Figura 7 20 - Reforzamiento metálico en el ángulo del edificio



Figura 7 21 - Reforzamiento metálico-detalle

Ejemplo 8 - Reforzamiento por contraviento en construcción metálica

Las Figuras 7-22 y 7-23 muestran el reforzamiento de un edificio cuyo contraviento ha sido realizado por la utilización de tirantes metálicos anclados todos 4 niveles sobre la estructura. Este edificio no presentaba desórdenes visibles.



Figura 7 22 - Contravientos por tirantes metálicos



Figura 7 23 - Detalles de los tirantes metálicos

Ejemplos 9 - Reforzamiento por dispositivos disipadores de energía

Este tipo de reforzamiento fue objeto de una norma que apareció en diciembre de 2017. Por consiguiente, los ejemplos que presentamos aquí no fueron cubiertos en la época de su construcción por una norma mexicana. Los primeros edificios reforzados por la técnica de disipación de la energía datan de más de 25 años. Ningún daño visible ha sido levantado sobre los edificios que vimos y quienes fueron confirmados de esa manera.

Las Figuras 7-24 y 7-25 muestran un reforzamiento en diagonal de tipo visco elástico.



Figura 7 24 - Sistemas disipadores instalados en cada nivel



Figura 7 25 - Sistema disipador : detalle de los amortiguadores

Ejemplos 10 - Reforzamiento por dispositivos disipadores de energía

La Figura 7-23 y la Figura 7-24 muestran el reforzamiento del edificio del Ministerio de la Economía, construido en 1975, y que se está reforzando después de dos años. Un conjunto de castillos horizontales y de disipadores diagonales ha sido dispuesto sobre toda la altura de la obra. Estos elementos traídos de nuevo se apoyan en la estructura en concreto armado de origen. Ningún daño visible ha sido constatado sobre este edificio.



Figura 7 26 - Reforzamiento en toda la altura



Figura 7 27 - Detalles de los amortiguadores diagonales y los castillos horizontales

7.2.2 Ejemplos de edificios reforzados después del sismo de 2017

Ejemplo 11 - Reforzamiento por contravientos en construcción metálica

Este edificio que protege un centro médico privado, contiene una estructura de tipo columnas-vigas en concreto armado, con un piso bajo relativamente claro (Figura (7-28)). El reforzamiento por cruces en "X" ha sido aplicado por fuera y dentro del edificio (Figura 7-29), con el fin de asegurar la estabilidad a todos los niveles.



Figura 7 28 - Antes del reforzamiento



Figura 7 29 - Trabajo de reforzamiento en curso

Ejemplo 12 - Fortalecimiento de elementos en concreto por encolado de plato metálico: parque de estacionamiento multipisos

Un solo ejemplo de esta naturaleza ha sido observado. Esta técnica pretende reforzar las columnas de la planta baja de un parque de estacionamiento de 8 pisos (Figura 7-30). Encerclados metálicos han sido dispuestos para reforzar estas columnas y aumentar su resistencia frente de las solicitaciones de compresión y esfuerzos cortantes. Resina (e.g. epoxydique) también ha sido utilizada para inyectar la fisura existente en las columnas. Las columnas reforzadas son asociadas a las columnas (Figura 7-31) o a los muros complementarios (Figura 7-33), que para algunos estaban ya presentes antes del sismo de 2017 (visibles sobre fotos de 2008).

Se puede destacar que este edificio no parece haber sufrido daños importantes en respuesta al sismo del 19 de septiembre de 2017 (no reforzado en este período), al mismo tiempo que su altura (8 pisos) y su diseño(concepción) con masas importantes de suelo podían ser desfavorables.



Figura 7 30 - Estacionamiento-
San Luis Potosi – 8 niveles



Figura 7 31 - Columna de ángulo
reforzada y contra columna



Figura 7 32 - Columna reforzada
en PB y columnas adicionales



Figura 7 33 - Reforzamiento de
una columna

7.3 Principales enseñanzas

A la escala de la ciudad, es importante destacar que los edificios reforzados por las diferentes técnicas presentadas en este capítulo, presentaron un buen comportamiento en el sismo del 19 de septiembre de 2017. Ninguno de aquellos a los que se pudo observar y analizar ponía de manifiesto daños.

Es también interesante comprobar que los diferentes tipos de fortalecimientos concuerdan cada uno con una tipología de obra. Esto demuestra una costumbre cierta de las problemáticas de fortalecimiento.

Referencias

[1] Norma de Emergencia en Materia de Construcciones para el Distrito Federal. Diario oficial 1985.

[2] Normas Técnicas complementarias para diseño sísmico 1987.

[3] Normas para la rehabilitación sísmica de edificios de concreto dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017.

8 Redes de utilidad pública

Este capítulo estudia las redes dañadas en el sismo del 19 de septiembre de 2017.



Figura 8-1 – Estados de México con redes dañadas en 2017 (documento wikipedia).

8.1 Redes de telecomunicación

El censo de los daños sobre los sitios de telecomunicación se puede observar en la Tabla 4. No hay datos tan surtidos para el estado de Puebla el cual se encuentra adyacente.

Ciudad o Estado	Número de lugares deteriorados
Ciudad de México (CDMX)	93
Estado de México (EDOMEX)	44
Estado de Morelos	7

Tabla 4. Daños en lugares de telecomunicación por la Ciudad de México, Estado de México y el Estado de Morelos.

Las líneas de telefonía sufrieron de daños durante el sismo mientras que el servicio de telefonía móvil e internet prácticamente no se interrumpió (fuera de saturación de la red debida a un gran número de conexiones simultáneas).

Anotaremos que un comunicado de Instituto Federal de Telecomunicaciones tiene en cuenta que las 72 horas después del sismo, el 98 % de las redes públicas de telecomunicación funcionaban.

También anotaremos que servicios móviles gratuitos de telefonía fueron surtidos a los equipos de socorros durante la organización de las operaciones de rescate.

8.2 Vías de comunicación

Autopista y Puentes

La autopista Pirámides sufrió daños, un puente en construcción se hundió en Texcoco (estado de México).

Un puente de carretera en Chimalhucán sufrió daños, sin que se conozca la extensión de los mismos.

Un puente de la autopista México-Acapulco se hundió en el km 109 en el estado de Morelos.

Un puente se hundió en Ixtaltepec, estado de Oaxaca (no se precisa si se trata del sismo del 7 o del 19 de septiembre).

El puente Unión se hundió a Quinta Corzo, estado de Chiapas (no se precisa si se trata del sismo del 7 o del 19 de septiembre).

Metro

Ha sido indicado a la misión, que el metro de México funcionó normalmente y no sufrió daños.

8.3 Redes de energía y de agua

En respuesta al sismo, el dispositivo de urgencia que concernía a las redes vitales, formaba parte de los primeros dispositivos de urgencia como fue declarado en un comunicado por el Presidente de la República, al mismo tiempo que los servicios sociales:

- Seguridad Social
- ISSSTE (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado),
- PEMEX (empresa histórica nacional, que perdió su monopolio pero queda fuertemente implantada sobre los territorios)
- Secretaría de la Defensa Nacional
- Secretaría de la Marina

Electricidad

El sistema eléctrico fue suspendido de forma intencional y coordinada como una medida de seguridad inmediatamente después del sismo en todas las zonas afectadas y luego restablecido en los minutos que siguieron.

Hubo una caída de transformadores en el estado de México (Ecatepec, polígono industrial Xalostoc). Subestaciones de la empresa CFE (Comisión Federal de Electricidad) sufrieron daños en el estado de Morelos.

Parques eólicos fueron afectados en estado de Oaxaca y de Chiapas (es probable que se trate del sismo del 7 de septiembre). Los gestores de estos parques trabajaron en común acuerdo con la CFE y el CENACE (Centro de Control de la Energía) para restablecer el suministro de electricidad en la red nacional. No se reportaron caídas en los molinos eólicos ni en los aerogeneradores.

Agua

La Comisión Estatal del Agua Del estado de Oaxaca (CEA Oxaca), indicó sobre su sitio varios de las reparaciones que se efectuaron en respuesta al sismo del 7 de septiembre y de sus réplicas. Fue posible así seguir en tiempo real el restablecimiento del servicio. Según las fotos puestas en línea, comprobamos que las reparaciones son efectuadas en condiciones no convencionales a las prácticas acostumbradas de restablecimiento (registro(excavación) no seguro, puerto de equipo de seguridad variable, etc.), los equipos intervinieron rápidamente. Las técnicas empleadas (siempre según las fotos) son a menudo una sustitución de una parte de una canalización en metal por una canalización no metálica (es difícil de decir si se trata de polietileno, PVC, compuesto, etc.). Conexiones metal plástico son también utilizados.

No pudimos recuperar de datos globales cifrados sobre las fugas y las interrupciones de servicio debidas a interrupciones de las bombas sobre los pozos.



Figura 8.2 – (Izquierda) Reparación de un conducto en Ixtaltepec (Oaxaca). (Derecha) Hundimiento de una ruta en Tlahuac (CDMX) debido a una tubería de agua

Las redes de agua más afectadas en la ciudad de México (CDMX) se encuentran en las Delegaciones Iztapalapa y Tlahuac. Las numerosas fugas han debido ser reparadas. También se lamenta el hundimiento de un camino bajo el cual una cañería de agua se rompió, generando movimientos de suelo.

En el estado de México, 6 fugas y 7 pozos dañados han sido reportados. En el estado de Morelos, 17 conductos de agua sufrieron daños.

Gas y Petróleo

Excepto una fuga sobre una canalización de distribución de gas en acero de 2 pulgadas en la zona epicentral (presión no comunicada), no han sido reportado daños sobre las redes de distribución y de transporte de gases e hidrocarburos líquidos.

La canalización de transporte de gas natural “Los Ramones” situada en el Noroeste de México” es instrumentada con una fibra óptica enterrada a lo largo de la canalización principalmente para la detección de terceros (una sola fibra óptica enterrada al lado de la tubería). En el momento del sismo del 7 de septiembre, este sistema registró sin embargo los movimientos sísmicos.

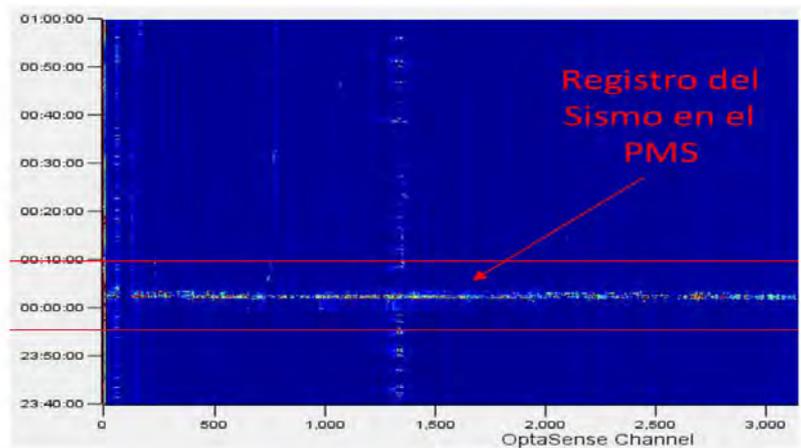


Figura 8.3 – Canalización de transporte de gas equipada de una fibra óptica

8.4 Diversos

Se ha notado la caída de materiales en una fábrica de medicinas en el estado de México (zona industrial de Ecatingo).

No fue posible visitar el sitio industrial in situ, sin embargo, se ha reportado que en una refinería en el norte de la ciudad de México, los equipos se movieron fuertemente sin que ningún daño hubiera sido observado.

Lo mismo, sobre un terminal de metano en el estado de Tamaulipas (bastante alejado del epicentro), no ha sido reportado por daños particulares.

No hay daños que hay que señalar sobre las instalaciones offshore.

8.5 Enseñanzas principales

Comparando con las conclusiones del informe de misión de 1985, se puede decir que las enseñanzas que conciernen a las redes son bastante similares, sabiendo que las instalaciones industriales se comportaron muy bien enfrente del sismo.

Las redes de distribución y de transporte de hidrocarburos se comportaron también muy bien, lo que es coherente con la vuelta de experiencia habitualmente recolectada sobre los grandes sismos recientes (Izmit 1999, Tohoku 2011).

Las canalizaciones de distribución de agua en cambio, provocaron algunos daños que podían condicionar el buen desarrollo de los servicios de auxilio, y vale destacar que hubo restricciones en la consumación del agua potable sigue 2 meses después del sismo.

Las redes de transporte, particularmente el metropolitano, como en 1985, se comportó muy bien, lo mismo que las redes de telecomunicaciones, las cuales contribuyeron en la buena organización de los socorros post-sismo.

La electricidad fue cortada intencionalmente pero pudo ser restablecida rápidamente, demostrando el cuidado aportado por los mejicanos al diseño industrial parasísmico consignado en el Guía de diseño parasísmico editado por el EDF local, por Compañía Federal de Electricidad.

9 El Simulacro

9.1 Naturaleza del ejercicio

Desde 1985, cada 19 de septiembre se efectúa en México un simulacro que consiste en efectuar un ejercicio de evacuación y de gestión de crisis en caso de terremoto. Este evento que es anual se toma muy en serio. Se prepara y se anuncia en la prensa y en los medios de comunicación. En 2017, los medios de comunicación habían hecho mucho eco y hablaban de macro-simulacro e incluso de mega-simulacro incitando al público a participar.

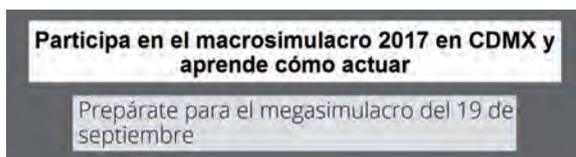


Figura 9.1 – «macro-simulacro» y «mega-simulacro» en los medios de comunicación

Para preparar este ejercicio, el procedimiento instaurado en la guía de Protección Civil da 5 puntos a respetar:

1. Inscribir la propiedad en el registro y obtener un número de registro
2. Mantener una reunión anterior con el comité interno encargado de la seguridad para partir de la base de efectuar una evacuación en menos de 40 segundos desde que suenan las alarmas.
3. Realizar el ejercicio el 19 de septiembre de 2017 a las 11h00 de la mañana cuando se activan las alarmas sonoras del SAS (Sistema de Alarmas Sísmicas).
4. Dar la orden de volver a ocupar su puesto y realizar inmediatamente después una reunión para evaluar el ejercicio.
5. Rellenar en cuanto sea posible el formulario de evaluación y transmitírselo a la secretaria de Protección Civil para obtener la prueba de participación.

Las directrices para la evacuación son las siguientes:

- Las personas que se localizan en la planta baja y el primer piso desalojan rápidamente el edificio hacia los puntos de encuentro si se encuentran dentro del rango de evacuación posible en menos de 40 segundos.
- Las personas ubicadas en pisos superiores (segundo para arriba) o bien fuera de la posibilidad de evacuar en menos de 40 segundos se refugian rápidamente en las zonas consideradas con bajo riesgo sísmico. Desalojan el edificio hacia los puntos de encuentro únicamente una vez transcurrido el terremoto.
- Una vez efectuada la evacuación el responsable de grupo efectúa el conteo de las personas.
- El responsable del ejercicio efectúa una inspección de la propiedad para verificar que es posible volver a ocupar la propiedad

The image shows two pages of a form for the 2017 simulation. The left page is titled 'CÉDULA DE EVALUACIÓN DEL SIMULACRO CDMX 2017' and contains fields for date (19 September 2017), institution name, address, and contact information. It also includes a section for 'INFORMACIÓN DEL INMOBILIO' with checkboxes for elevators, emergency stairs, and fire drills. The right page is titled 'EVALUACIÓN DEL SIMULACRO' and contains a series of questions with 'Sí/No' or 'Si/No' options, such as '¿Simultáneamente, se dio aviso a los servicios de emergencia?' and '¿Se realizó la revisión de instalaciones de gas, electricidad, hidrosanitarias y estructural?'. It also has a section for 'DATOS GENERALES DEL SIMULACRO' with radio buttons for 'Siempre' or 'Otra' and checkboxes for 'Tipo de simulacro' and 'Procedimiento'.

Figura 9.2 – Formulario de evacuación para el «Simulacro 2017»



Figure 9.3 – Imágenes del «Simulacro 2017»

El 19 de septiembre de 2017 a las 11h00, se activa la alarma, se organizan las evacuaciones pertinentes, se efectúan los conteos en los puntos de encuentro, se inspeccionan los edificios y se autoriza el regreso.

Se pueden observar imágenes del ejercicio casi en tiempo real.

A las 12h21, el Gobernador de la Ciudad de Mexico, Miguel Angel Mancera y su equipo se reúnen para evaluar los resultados del ejercicio de 2017.

A las 13h34, llega el terremoto real.

Mancera analiza resultado del simulacro 2017 en la CDMX

● El mandatario capitalino y su gabinete se ubicaron en el cuarto de crisis del C5 para evaluar el número de personas y edificios que participaron en este evento

El jefe de Gobierno, Miguel Ángel Mancera, y su equipo se reúnen en el C5 de la Ciudad de México para evaluar el Simulacro 2017.

Desde hace más de 50 minutos, el mandatario capitalino y miembros de su gabinete se ubicaron en el **cuarto de crisis** para evaluar el número de personas y edificios que participaron en este simulacro.

Mientras tanto, las **cámaras del C5** enfocan diversas calles de la ciudad para monitorear en tiempo real el ejercicio de **protección civil**.

19/09/2017 | 12:21 | Sandra Hernández [Ciudad de México]

A A*



Figure 9.4 – 19 septiembre 2017 a las 12h21 M.A. Mancera y su equipo se reúnen para evaluar el «Simulacro 2017»

9.2 Lecciones aprendidas

Hemos podido constatar que este ejercicio de carácter anual de gran calado tenía un doble interés:

- Haciendo participar a gran parte de la población, permite a cada individuo entrenar los buenos hábitos que se deben respetar en caso de terremoto,
- Pero sobre todo permite ser consciente del riesgo sísmico.

Para los responsables y los constructores, el beneficio pedagógico es muy importante: cuando se efectúa un simulacro de este tipo y de tal envergadura resulta muy difícil olvidarse del riesgo sísmico cuando se desarrolla, se diseña o se construye un edificio.

En Francia, se efectúa un ejercicio de este tipo relacionado para mitigar el riesgo de incendio, y en particular en colegios donde todos los años se hace un ejercicio de evacuación. En conjunto se puede constatar que este riesgo no se desprecia u oculta por los principales responsables y por los constructores.

Para el riesgo sísmico, se tienen ejercicios denominados «Richter». Al principio eran sobre todo ejercicios de Estado Mayor (el primer ejercicio «Richter» fue únicamente un ejercicio tipo alrededor de una mesa), pero en el último ejercicio «EU Richter Caraïbes 2017», en el momento del sismo ficticio del martes 21 de marzo de 2017, los colegios efectuaron ejercicios de evacuación, el aeropuerto también fue evacuado, así como algunas empresas que decidieron participar en el ejercicio.

En vista de la experiencia adquirida en México, solo podemos recomendar la continuación y la ampliación de este tipo de ejercicio «Richter» para darles a lo mejor algún día la amplitud y la frecuencia del «Simulacro».

10 Gestión de crisis



Figura 10.1 – Imágenes de los primeros auxilios (photo AFP bureau de Mexico)

10.1 Protocolo de gestión de crisis

El protocolo de gestión de crisis es de ámbito nacional desde 2014. La federación de los Estados Unidos Mexicanos está formada por 32 estados en los que cada uno está dotado de cierta autonomía para la gestión de la crisis. Esto no impide que cada uno de ellos tiene que las directrices federales.

En 2014, el gobierno nacional creó el plan nacional MX de gestión de crisis que conecta todas las agencias involucradas (federales y asimilados):

- Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) : Ministerio de Defensa,
- Secretaría de la Marina (SEMAR) : Marina nacional,
- Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) : Protección civil,
- Petróleos Mexicanos (PEMEX) : Empresa histórica de hidrocarburos,
- Comisión Federal de Electricidad (CFE) : el EDF mexicano,
- Comisión Nacional de AGUA (CONAGUA) : Comisión nacional del agua.

Las 16 delegaciones de la Ciudad de Mexico están dotadas por el gobierno local con un plan de urgencia que se descompone en 6 procesos operacionales (detección de daños, etc.) y 3 procesos de soporte (abastecimiento, etc.) que se detallan en los anejos. La figura 10-2 muestra una página web puesta a disposición de los grupos de emergencia por el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de los Desastres) donde los edificios que colapsados son geolocalizados con fotografías.

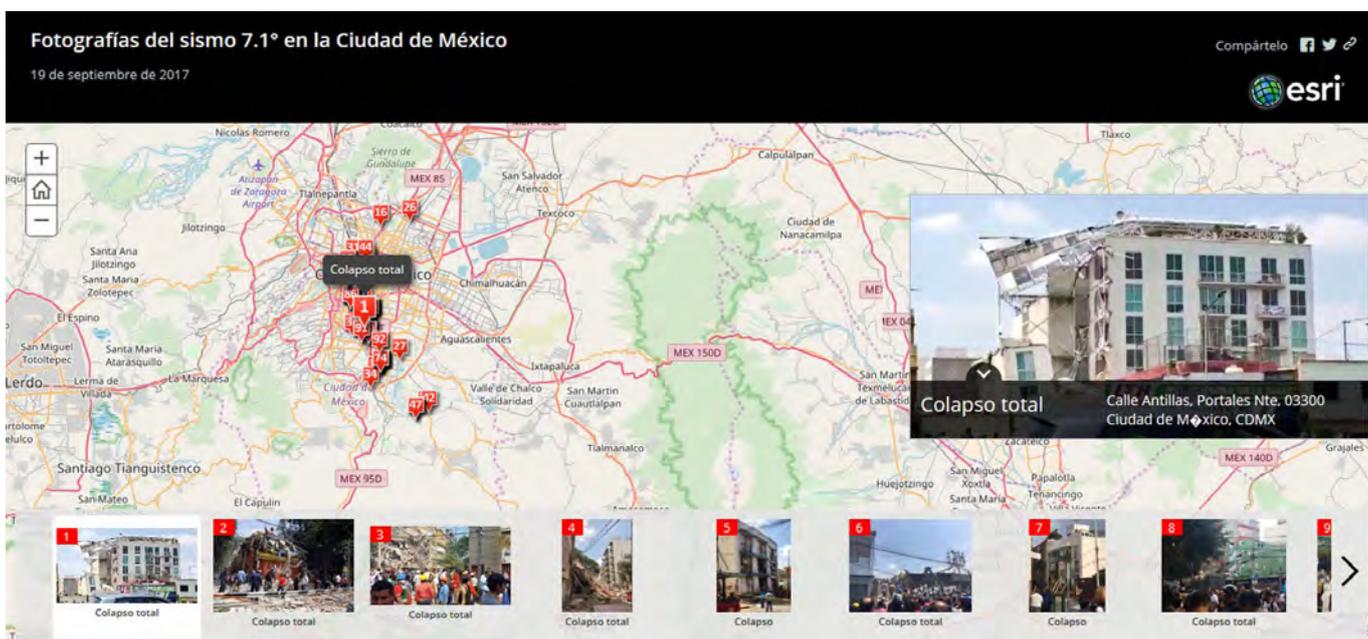


Figura 10.2 – Cartografía de los edificios derrumbados con fotografía (©CENAPRED)

Después de un evento sísmico, las diferentes agencias se movilizan para rehabilitar en urgencia las vías de acceso, los servicios de salud, las redes de suministro públicas (agua, electricidad y telecomunicaciones). Entran dentro del plan la iluminación de las calles, los transportes (terrestre, ferroviario, aéreo y marítimo), los hospitales, los colegios, las viviendas, los edificios públicos y cualquier otra instalación estratégica.

10.2 Desarrollo del evento

Desde que sintió el terremoto ([SEGOB, 2017]),

- el presidente de la República puso en marcha el plan MX y declaró que implementaría las 3 etapas siguientes:
 1. Proporcionar alimentos y medicinas, restaurar los servicios de agua, gas y electricidad.
 2. Identificar edificios dañados y derrumbar edificios peligrosos.
 3. Despejar para permitir las operaciones de reconstrucción.
- Siguiendo las órdenes del presidente, la Dirección General de Protección Civil (DGPC) ha creado un Comité Nacional de Emergencia (CNU).
- El CNU coordina el apoyo brindado a los estados afectados por el desastre y asegura el vínculo entre las autoridades locales y las 6 grandes agencias federales (voir § 10.1) :
 - Las 15,000 cámaras de video de Ciudad de México y sus alrededores, dependientes del Centro de Comando, Control Informático, Comunicaciones y Ciudadanos se ponen a disposición de Protección Civil.
 - Se envía ayuda a edificios derrumbados para intentar salvar a tantas víctimas como sea posible de entre los escombros.
 - Los diagnósticos de emergencia se activan de acuerdo con el proceso establecido por el gobierno local de la Ciudad de México (consulte la Figura 10-3).
 1. Una solicitud se realiza en internet o por teléfono.
 2. Una brigada (equipo) compuesto por brigadistas: ingenieros, arquitectos y directores responsables de obra (DRO), inspecciona y entrega su diagnóstico (ver § 11. Diagnóstico de emergencia).
 3. Dependiendo del diagnóstico, se deben hacer verificaciones adicionales.

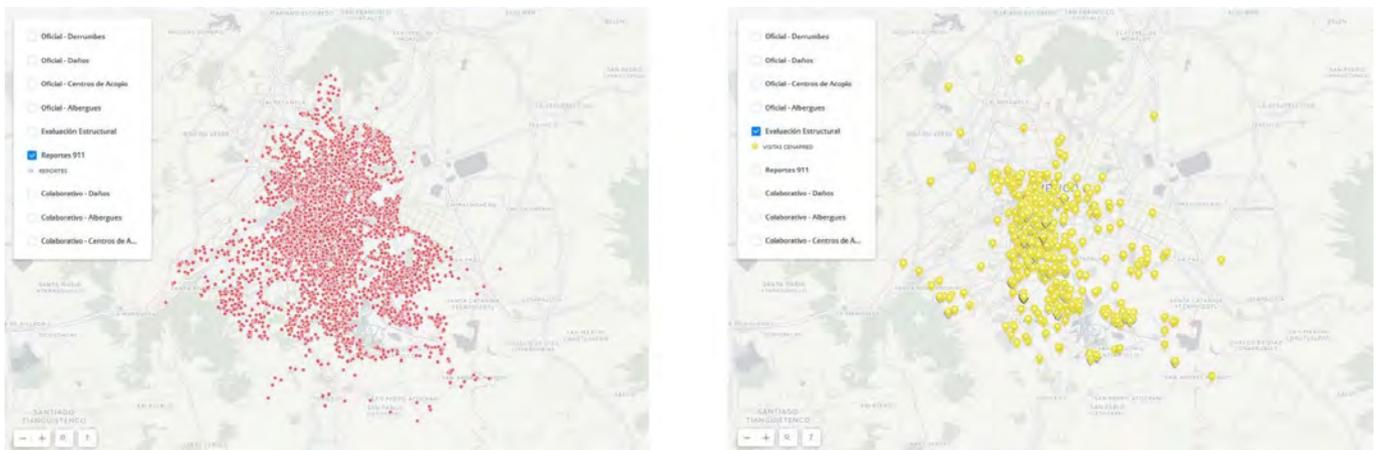


Figure 10.3 – Utilisation collaborative d'un site internet de la Protection Civile pour localiser les appels au 911 (point rouges, figure de gauche) et les diagnostics réalisés (points jaunes, figure de droite)

Dos días después del terremoto, 230 fallecidos y 44 edificios colapsados se identificaron en Ciudad de México. Los servicios médicos recibieron 1.372 heridos.

La Comisión Federal de Electricidad informó que el 92% de los 4,84 millones de personas afectadas por los cortes de energía habían recuperado el uso de la electricidad 24 horas después del terremoto.

Cinco días después del terremoto, más de dos tercios de las 11.200 solicitudes de evaluación de construcción se clasificaron de la siguiente manera:

6 640 en « verde » - 688 en « amarillo » - 321 en « rojo »

En la mañana del 4 de octubre, el coordinador nacional de Protección Civil declaraba que se había encontrado el cuerpo de la última persona buscada. Oficialmente, 369 personas perdieron la vida como resultado de las consecuencias directas del terremoto, incluidas 228 en Ciudad de México, 74 en el estado de Morelos, 45 en el estado de Puebla, 15 en el Estado de México, 6 en el estado de Guerrero y 1 en el estado de Oaxaca ([URESTE, 2017]).

10.3 Organización operacional

- El artículo 17 de la Ley de Protección Civil rige las responsabilidades locales de la organización de Protección Civil (funcionamiento y financiación). Con respecto a los terremotos, los funcionarios de protección civil trabajan en estrecha colaboración con las siguientes organizaciones:
- El Centro Nacional de Prevención de los Desastres (CENAPRED) cuyas actividades los llevan a apoyar al SINAPROC (ver §10.1). De hecho, el CENAPRED lleva a cabo acciones de investigación, formación, instrumentación (18 estaciones de registro sísmico) y de difusión sobre los riesgos naturales y en el particular sobre el riesgo sísmico.
- El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) ha desarrollado el Sistema de Alerta Sísmica (SAS) que se inició en 1991 y se hizo servicio público en 1993. El SAS conecta históricamente a la costa en el Estado de Guerrero con Ciudad de México en aproximadamente 50 segundos (se han registrado hasta 70 s). Se emiten dos tipos de alerta según la gravedad del terremoto:
 - alerta preventiva,
 - alerta pública para terremotos de magnitud mayor a Mw 6 en general.
- El Servicio Sismológico Nacional (SSN) de la UNAM tiene alrededor de 100 estaciones que disponen de acelerómetros. El Instituto de Ingeniería es capaz de generar mapas de intensidad en cuestión de minutos después de un terremoto gracias a esta red y a sus propias aplicaciones numéricas.



Figura 10.4 – Poster realizado por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) de la UNAM

10.4 Lecciones aprendidas

Los responsables de la gestión de la Crisis ocurrida tras el sismo de 2017 han tenido herramientas/aplicaciones que no existían en 1985 o 1999.

Cabe señalar a este respecto la creación en 2014 de una coordinación nacional y de aplicaciones modernas para coordinar las intervenciones.

Pero también cabe señalar que hay aplicaciones, que no estaban previstas inicialmente para gestionar la crisis (como por ejemplo el censo en tiempo real de las ventas / alquileres de inmuebles) y que fueron enseguida desviadas de su propósito original para ayudar en la organización de la gestión de la crisis.

Y no hay que ignorar la movilización inmediata de todos los voluntarios que acudieron para los primeros auxilios, que ayudaron a la reubicación de personas afectadas o que participaron en las operaciones de diagnósticos.

La lección que se puede extraer de esta última experiencia mexicana es tanto una respuesta organizacional estructurada como una gran movilización espontánea. Dos términos que no pueden separarse en México. Dos aspectos que sería deseable de madurar en Francia.

Referencias

[SEGOB, 2017] Secretaría de Gobernación (2017). Reporte de acciones de la Coordinación Nacional de Protección Civil, tras el sismo del 19 de septiembre. Mexique : GOB. <https://www.gob.mx/segob/prensa/reporte-de-acciones-de-la-coordinacion-nacional-de-proteccion-civil-tras-el-sismo-del-19-de-septiembre> (consultation janvier 2018).

[URESTE, 2017] Ureste M., Aroche A. (2017). Lo que el #19S nos dejó: las víctimas, daños y damnificados en México. Mexique : Animal Político. <http://www.animalpolitico.com/2017/10/cifras-oficiales-sismo-19s/> (consultation janvier 2018).

11 Diagnósticos de urgencia

Después de un terremoto importante, la elaboración de diagnósticos de urgencia es esencial. Estos están destinados a permitir la clasificación rápida de los edificios de categoría simple (accesible, acceso temporal posible bajo control, acceso prohibido). Es aquí donde se debe evitar que los usuarios tomen riesgos y que las autoridades controlen de la mejor forma posible la gestión de las estructuras operativas y de las emergencias. Este tipo de diagnóstico debe comenzar lo antes posible después del evento.

Los elementos que constituyen este apartado provienen de intercambios que tuvimos con funcionarios de Seguridad Civil de la ciudad de Puebla, la Casa de la Arquitectura de México, la Embajada de Francia en México, la Agencia France Presse, y de varios testimonios de ciudadanos.

11.1 Organización de los diagnósticos

En la Ciudad de México, es la seguridad civil la que se hizo cargo de las operaciones de diagnóstico de emergencia de los edificios públicos. En cuanto a los diagnósticos de construcciones de viviendas privadas, en ausencia de un dispositivo inicial específico, se llevaron a cabo, cuando se daba la ocasión, de dos maneras:

En primer lugar, muchos diagnósticos se han llevado a cabo, a petición de los propios propietarios o arrendatarios, por ingenieros independientes, teóricamente capacitados y acreditados para este tipo de intervención. Estas intervenciones se llevaron a cabo en forma de servicios facturados. Este funcionamiento ha llevado en algunos casos a que se efectuaron varios diagnósticos del mismo edificio, a veces con conclusiones contradictorias. También debe tenerse en cuenta que obviamente se ha practicado una gran disparidad en los precios, ya que las tarificaciones a las que hemos tenido acceso oscilaban entre 100 y 5000 euros. Ciertamente para diferentes edificios, pero las disparidades fueron tales que el 23 de septiembre de 2017 el gobierno decidió establecer una tasa máxima para el diagnóstico en las escuelas.

En segundo lugar, y frente al gran número de edificios que se tenían que inspeccionar, la orden de los arquitectos de México tomó la iniciativa de organizar una misión de diagnóstico de emergencia de los edificios privados. La estrategia implementada fue capacitar rápidamente a un máximo de voluntarios y responder a las solicitudes de las personas que contactan a la organización. De este modo, se impartió formación acelerada a inspectores, con el fin de crear parejas compuestas por un «especialista con experiencia» y un voluntario (estudiante en una escuela de arquitectura). Estas sesiones, que tuvieron lugar en 1 hora en la calle, han capacitado a 7000 voluntarios y practicado aproximadamente 14 000 diagnósticos gratuitos.



Figura 11.1 – Formación de voluntarios en la Casa del Arquitecto de Mexico

En la ciudad de Puebla, cerca del epicentro, la realización de diagnósticos de emergencia, incluso en edificios privados e históricos se efectuó a cargo de la seguridad civil local. Se observa así una organización diferente entre dos capitales de estados diferentes.

11.2 Naturaleza y metodología de las evaluaciones

Se ha podido tener acceso a varias fichas de diagnóstico denominadas «Dictamen». Estas hojas a veces eran propias de las ingenierías que habían elaborado el diagnóstico, y otras veces estaban selladas con la estampa de «protección civil» (Figura 11.3). Todas las fichas tienen una estructura muy parecida, lo que permite la realización de un diagnóstico bastante armonizado de manera rápida. Las principales etapas se presentan a continuación.

Etapa 1: Ubicación y descripción del edificio.

Esta parte especifica la dirección, la ubicación del edificio, su uso y si la inspección es externa o externa e interna.

Etapa 2: Estado del edificio

Esta parte tiene como objetivo identificar la presencia de daños en la estructura, sus instalaciones y sus fundaciones. Los principales criterios se enumeran en la siguiente tabla. A cada uno de estos puntos se asocia una mención que especifica una observación, la ausencia de daños o la existencia de una duda.

Tabla 11 1 : Criterios para la evaluación de edificios

	Si	No	Duda
a. Colapso completo			
b. Colapso parcial			
c. Construcción desolidarizada de su cimentación			
d. Asentamiento diferencial o asentamiento			
e. Inclinación importante del edificio o de un entrepiso			
f. Daños en elementos estructurales (columnas, vigas, muros)			
g. Daños importantes en elementos no-estructurales			
h. Daños en las instalaciones eléctricas			
i. Daños en las instalaciones de fontanería			
j. Daños en las instalaciones de gas			
k. Fisuras, movimientos de terreno			
l. Pendientes			
m. Parapetos, balcones u otros objetos con peligro de caerse			
n. Otros peligros (líneas discontinuas o tuberías, derrames tóxicos)			

Etapa 3: Clasificación global

La clasificación del edificio se lleva a cabo de acuerdo con cuatro categorías, en función de las respuestas positivas enumeradas en el paso anterior. Se puede observar que la noción de riesgo está claramente asociada con el diagnóstico realizado.

- Sin ninguna respuesta afirmativa: construcción o área segura / bajo riesgo
- Al menos una respuesta positiva en los criterios «a» a «f»: construcción insegura / alto riesgo
- Al menos una respuesta positiva en los criterios «g» a «n»: área insegura / alto riesgo
- En caso de duda: seguridad incierta

Etapa 4: Recomendaciones

Esta última parte especifica si el edificio requiere o no una inspección detallada y si son necesarios medidas de desescombro o una intervención especializada (protección civil, servicio del agua, la construcción ...)

Un área de comentarios también está disponible y recibe el veredicto de Dictamen.

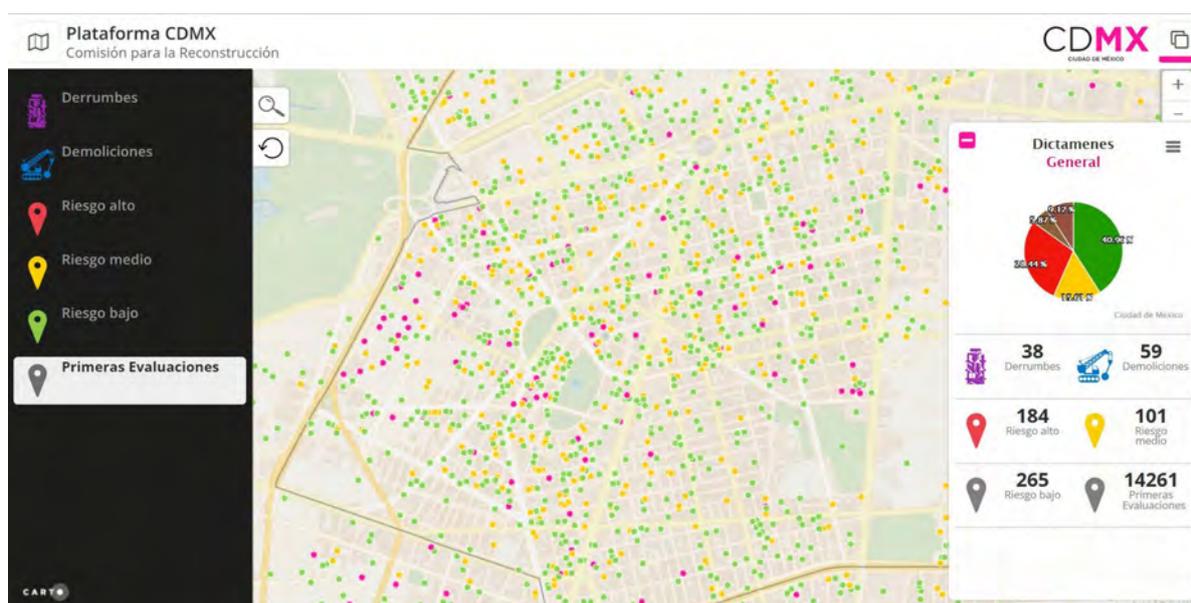


Figura 11.2 – Mapa dinámico de ubicación de daños – a partir de Dictámenes (fuente: www.plataforma.cdmx.gob.mx/comision)

La clasificación de los edificios diagnosticados se publicó en un mapa interactivo del sitio de Ciudad de México (Figura 11.2). Cabe señalar que este mapa proviene de un uso alternativo del software que estaba inicialmente diseñado para evaluar el valor de los bienes inmuebles.

The image shows two pages of a form titled 'Forma de Inspección Post sísmica Evaluación Rápida'. The header identifies the organization as the 'SECRETARÍA DE PROTECCIÓN CIVIL' and the 'INSTITUTO PARA LA SEGURIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES DE LA CIUDAD DE MÉXICO'. The form is divided into several sections:

- Header:** Includes logos and the organization's name.
- Formalities:** Fields for 'Nombre del Evaluador Técnico', 'Profesión', 'Fecha', and 'Ticket No.'.
- 1. Ubicación y Descripción de la Edificación:** Fields for 'Dirección', 'Colonia', 'Delegación', 'CP', 'Entre que calles / Referencia', 'Coordenadas geográficas', and 'Persona contactada'.
- Uso del Inmueble:** A grid of checkboxes for various uses like 'Casa habitación', 'Oficinas privadas', 'Educación', etc.
- Tipo de Inspección:** Radio buttons for 'Inspección exterior únicamente' and 'Inspección interior y exterior'.
- 2. Estado de la Edificación:** A checklist of items (a-i) such as 'Derrumbe total', 'Derrumbe parcial', 'Edificación separada de su cimentación', etc., with columns for 'Si', 'No', and 'Existen Dudas'.
- 3. Clasificación Global:** A section for overall classification based on the inspection results, with checkboxes for 'Edificación en Área Segura', 'Edificación en Área Insegura', and 'Seguridad Incierta'.
- 4. Recomendaciones:** A section for recommendations, including checkboxes for 'No requiere revisión futura', 'Es necesaria evaluación detallada', 'Apuntalar', 'Máquinaria para remover escombros', and 'Protección Civil'.
- Observaciones:** A space for handwritten notes.
- Footer:** A line for 'Firma' and the page number 'Página 2 de 2'.

Figura 11.3 – Ejemplo de Dictamen distribuido por la protección civil de México

11.3 Enseñanzas principales

En Mexico City, el diagnóstico de urgencia para los edificios privados (oficinas y alojamiento) no existe y eso complica la situación de los habitantes. La ausencia de un interlocutor identificado conduce a no saber a quién llamar para obtener un diagnóstico de confianza, generando un comercio de diagnósticos. Por esta razón, existen situaciones en las cuales los diagnósticos pedidos por los inquilinos difieren de los pedidos por los dueños. Estas situaciones se amplifican al no existir en México una obligatoriedad de seguros para las viviendas.

Para evitar esta situación potencialmente peligrosa y estresante para la población ya impactada, es necesario que este tipo de diagnóstico sea :

- organizado antes de los eventos, en el cuadro de gestión de crisis
- apoyado por una cantidad suficiente de inspectores, identificados como tal y bien educados
- manejado por una entidad única e independiente
- realizado con una metodología única
- conocido por la población y gratuito

Frente a la necesidad de realizar una gran cantidad de inspecciones durante este acontecimiento, es interesante notar la eficiencia del dispositivo espontáneo y la fuerte participación de la contribución de voluntarios. En una situación deteriorada, las personas capacitadas se convirtieron en «instructores de diagnosticadores de urgencia» con un resultado exitoso. La preparación para este tipo de instrucción «express» podría formar parte de las medidas contenidas en las misiones confiadas a los equipos de diagnóstico de urgencia.

12 Sistemas de información geográfica

Los Sistemas de Información Geográficos (SIG) permiten representar, comparar, analizar e interpretar datos georreferenciados. Se han convertido en los últimos años en una poderosa herramienta para todas las profesiones que utilizan datos cartográficos. En este capítulo destacamos su uso por parte de la Ciudad de México en la gestión de crisis, así como su interés para efectuar una representación precisa de los lugares visitados durante la misión AFPS.

12.1 Cartografía dinámica

Un claro ejemplo del uso de estos de Sistemas de Información Geográfica en la gestión de crisis justo después de un terremoto toca directamente a los diagnósticos de emergencia. Justo después del terremoto del 19 de septiembre de 2017, La Casa del Arquitecto empleó un programa originalmente empleado para la venta de inmuebles para supervisar y seguir casi en tiempo real los diagnósticos de emergencia que se iban efectuando.

A posteriori, el seguimiento de los diagnósticos de emergencia fue incluidos en la plataforma CDMX, de Ciudad de México. En esta plataforma accesible a todos en internet y actualizada diariamente, se permitía observar sobre un fondo típico de mapa en formato OSM (Open Street Map) los edificios que habían sido inspeccionados y las conclusiones de los diagnósticos: edificio derrumbado, edificio a demoler, edificio presentando un riesgo alto, medio o bajo (rojo, amarillo o verde). También se indicaba el número total de edificios inspeccionados.

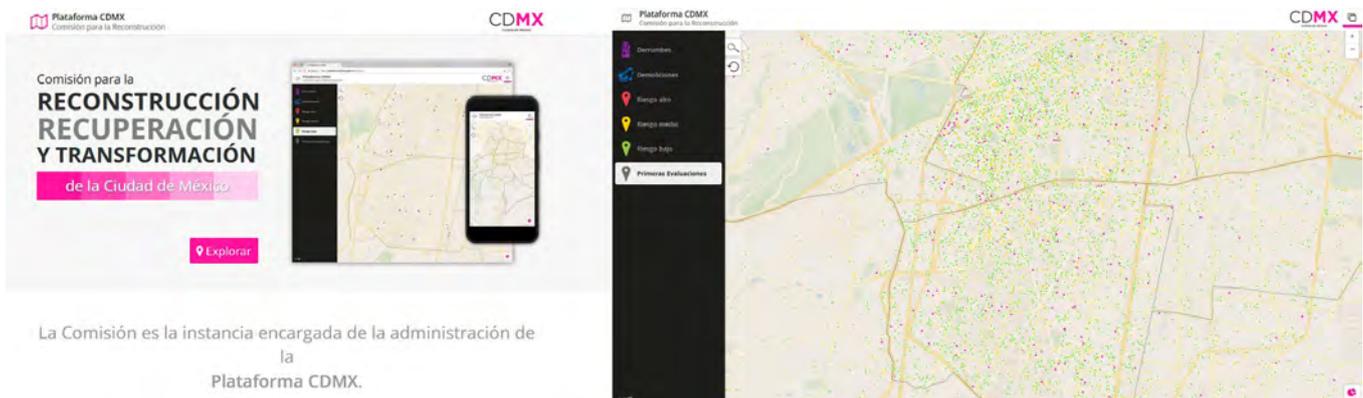


Figura 12-1 – Captura de pantalla de la página web: <https://plataforma.cdmx.gob.mx/>

Esta herramienta open-source ha sido ampliamente utilizada durante la misión para ilustrar algunas de las visitas efectuadas. En general, la información disponible en internet era consistente con las observaciones realizadas durante nuestras visitas, lo que implica la alta utilidad de este tipo de sistemas SIG durante un terremoto.

En Francia, una plataforma con los mapas interactivos del sitio web de GeoRisques podría, si no está ya previsto de otra manera, ser la base de un sistema de cartografía que se pueda emplear durante la gestión de la crisis en caso de un terremoto fuerte o de cualquier otro tipo de desastre natural.

12.2 Presentación cartográfica de la misión

La misión de reconocimiento post sísmica, en una ciudad tan grande como es Ciudad de México, ha requerido numerosos desplazamientos para realizar el máximo de observaciones y mediciones posibles. Se decidió guardar los datos de la misión en formato GIS. La información principal contenida en el sistema SIG es la siguiente:

- Fondos de mapas de la OSM de la ciudad (carreteras, edificios, canales ...),
- El trazado GPS de una valija de tipo SPOT transportada durante la misión registrando la localización automáticamente cada 10 minutos y con la posibilidad de incluir puntos adicionales accionados manualmente,
- Las ubicaciones precisas de las mediciones H / V realizadas y la información sobre los resultados en cada punto de medición,

- Las imágenes de la misión (hoy en día, los teléfonos móviles permiten tomar fotos geolocalizadas. La información de la ubicación se puede recuperar e integrar las fotos en el sistema SIG. Por otro lado, también se emplearon durante la misión dos cámaras equipadas con un localizador GPS).

Los archivos que se obtienen son de tipo «shapefile» que archivos con georreferenciados y compatibles con la mayoría de los programas SIG disponible. Este subproducto de la misión tiene el doble interés de agrupar toda la información adquirida durante la misión y crear una representación digital que pueda usarse y buscarse retrospectivamente. Al proporcionar información directamente sobre la ubicación geográfica de las observaciones, este tipo de datos podría en última instancia facilitar cualquier nueva misión post-sísmica en la Ciudad de México.

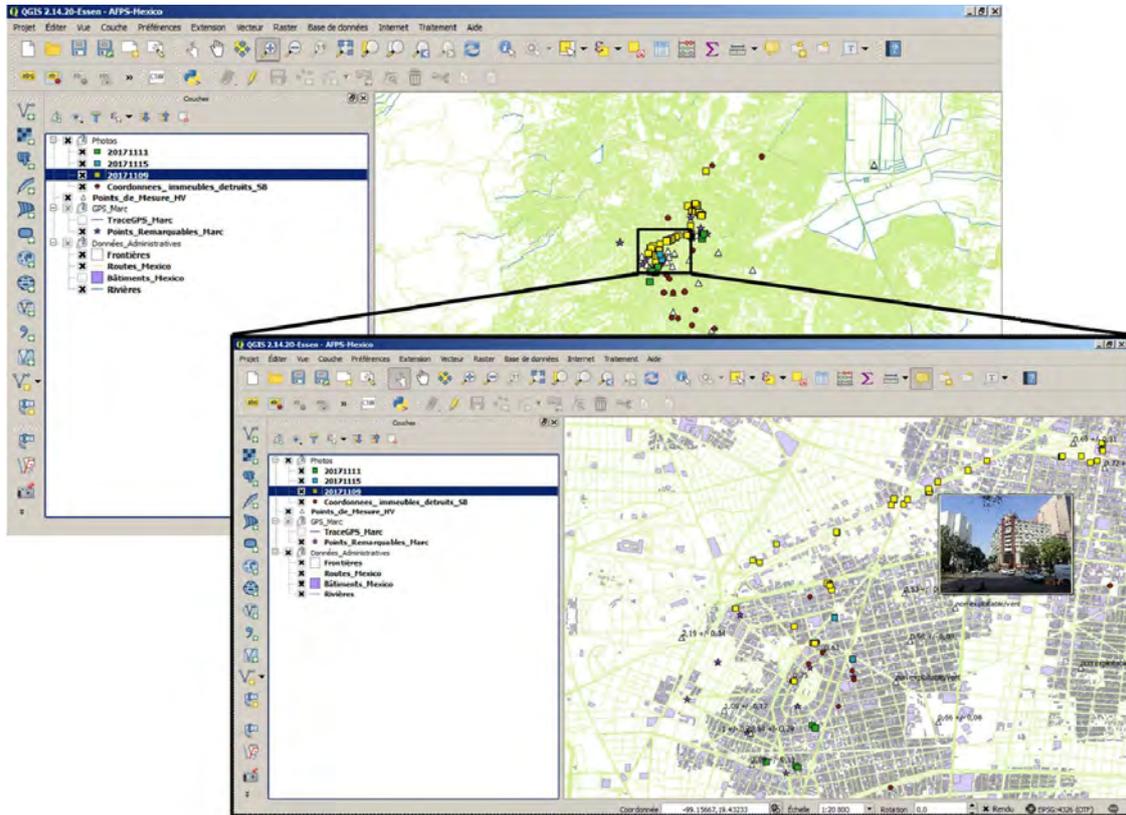


Figura 12-2 - Datos Shapefile de la misión representados en con la ayuda del software QGIS. En la parte superior se aprecia una descripción general de los desplazamientos en la Ciudad de México. En la parte inferior se puede observar un zoom que muestra la visualización de las fotos asociadas con los puntos visitados, así como los valores de las mediciones de H / V.

12.3 Lecciones aprendidas

La misión ha podido reafirmar que las herramientas de geolocalización actuales, y en particular los SIG, representan una contribución significativa durante un período de gestión de crisis. También se pudo apreciar la facilidad del acceso a la plataforma de la Ciudad de México.

Se recomienda encarecidamente que Francia prepare enfoques similares y se desarrollen las herramientas necesarias.

13 El terremoto en los medios de comunicación

13.1 Prensa local

«Como siempre, Solidaridad» encabezó los titulares del periódico La Jornada el día después del terremoto del 19 de septiembre de 2017.

Los días 19 y 20 de septiembre, la televisión, la radio, la prensa escrita y los medios digitales proporcionaron las primeras informaciones sobre el terremoto, haciendo hincapié en los daños sufridos y en las víctimas. Al mismo tiempo, la prensa difundió información útil para la organización de la ayuda (direcciones de albergues, recomendaciones a la población, acciones gubernamentales, rescates, voluntariados, etc.).

El 21 de septiembre, en la portada de los periódicos, los testimonios de las valientes acciones llevadas a cabo por los rescatistas se mezclaban con las predicciones del alcance de los daños. Una docena de días después del terremoto, se retomaba la normalidad y otras informaciones pasaban a ser el centro de atención. El 2 de octubre, 13 días después, el referéndum en Cataluña estaba en los todos titulares y la información sobre el trabajo de reconstrucción ocupaba el segundo plano.



Figura 13.1 – Titular del periódico La Jornada en el día D+1 (imagen izquierda) y D+13 (imagen derecha)

También debemos señalar el papel particular que han desempeñado las redes sociales en la difusión de la información. La organización de ayuda, por ejemplo, se ha beneficiado de la rapidez en la transmisión de la información masiva que se puede efectuar en las redes sociales. Pero los fanáticos de sensacionalismo también encontraron su modo en estas redes su forma de hacerse visible. Controlado o no, la información y los rumores se propagaban a gran velocidad. ¿Para bien o para mal? Difícil saberlo.

13.2 Cobertura del evento por parte de los corresponsales franceses

Cuando se teclea en cualquier motor de búsqueda «terremoto México 2017», los primeros resultados que aparecen son los sitios web de la prensa (televisión, radio, periódicos...). El sitio web del IGP (Instituto de Física de la Tierra en París) aparece solamente al final de la segunda página del motor de búsqueda proporcionando datos científicos e información cualitativa, sobre el terremoto. La mayoría de la información directamente accesible a distancia proviene de los medios, ya sea a través de los canales tradicionales (TV, radio, prensa) o Internet. Para poder entender de primera mano cómo la información que se ha publicada durante la crisis ha sido recabada, verificada y difundida nos reunimos con el director de la Agencia France Presse (AFP) en Ciudad de México, así como con un periodista independiente en México.

- Seguridad y operatividad en una situación degradada

La sede de AFP en México está ubicada en el distrito de Roma, uno de los más afectados durante el terremoto. El edificio, una casa de dos pisos, sufrió una sacudida severa durante el terremoto, pero resistió bien. Todo el personal salió rápidamente después de los primeros temblores, para refugiarse en una plaza del vecindario, lugar identificado en el procedimiento de evacuación establecido por la agencia. Para los periodistas, como para todos los habitantes, la primera prioridad es, por supuesto, garantizar su seguridad durante el terremoto.

Inmediatamente después del terremoto, la prioridad era permanecer operativo para poder cubrir el evento y transmitir la información. Para este propósito, AFP tenía un plan de emergencia, que incluía logística móvil (sistemas móviles de comunicación, generadores de energía ...) y varias ubicaciones previamente identificadas para constituir el cuartel general de la cobertura de la crisis.

- Recopilación de la información

La recopilación de información se realiza de múltiples maneras. Una parte proviene de las observaciones realizadas en los sitios. Desde este punto de vista, una primera dificultad radica en la desorganización de la ciudad, el bloqueo de las vías de circulación y el corte del transporte público. Para ello se necesitó el uso de conductores en moto para poder efectuar las visitas de los sitios afectados por el terremoto. La segunda dificultad es reunir la información durante la crisis; el pánico, el desorden están presentes, y la presencia de observadores puede ser una fuente de tensiones.

En términos de información técnica relacionada con las características del terremoto y los balances, la fuente principal proviene principalmente de los medios locales. Las intervenciones del jefe de la protección civil también son seguidas con interés porque constituyen el vector oficial de la comunicación de las autoridades.

- Transmisión y difusión de la información

La transmisión a Francia de esta información a través de imágenes y videos se realizó, en los primeros momentos después del terremoto, a través de la aplicación Whatsapp ya que solo la red de Internet móvil estaba operativa. El contenido periodístico producido se propone a los medios de comunicación franceses, que operan efectuando una selección con el objetivo de elegir los temas que más se ajustan a su línea editorial.

Sin entrar en el sensacionalismo, sino para reflejar la realidad de una tragedia humana en la que casi 300 personas perdieron la vida, las primeras imágenes que aparecieron en nuestras pantallas en Francia sobre el terremoto del 19 de septiembre de 2017, mostraron escombros y acciones de rescate en busca de sobrevivientes. El tratamiento mediático francés de este evento fue relativamente corto, duró solamente dos o tres días.

- La percepción en Francia

Aunque la información relacionada con el terremoto fue transmitida solo durante unos pocos días, y sin que tiempo dedicado sea excesivo, las imágenes emitidas se centraron en la destrucción de los cuarenta edificios derrumbados. Daba la impresión de una ciudad donde la destrucción era importante. En el corazón de nuestra misión, nos sorprendió la brecha que sentimos entre lo que esperábamos observar localmente y lo que vimos en términos de la magnitud del daño. En la escala de una ciudad del tamaño de la Ciudad de México, el daño, aunque evidentemente es dramático, se ha mantenido limitado. Con el fin de enseñar que la mayoría de la Ciudad de México aún se mantenía en pie, la AFP efectuó un mes después del terremoto, un video con un dron de la ciudad. Las imágenes encontraron solo un medio de comunicación interesado en ellas entre los medios franceses.



Figure 13.2 – Images BFM TV (gauche) et Le Monde, édition du 20 septembre 2017, p.6 (droite)

13.3 Lecciones aprendidas

Durante nuestra misión, descubrimos que, como sucede a menudo durante una crisis, los medios podían ser muy receptivos y muy efectivos. También constatamos que la información circulaba muy rápido. Trece días después del terremoto, el tema ya no estaba en las portadas de los medios de Ciudad de México.

También pudimos constatar que, como sucede a menudo durante una crisis, hubo un «efecto de amplificación» muy fuerte en los medios. Dado que éstos se enfocan principalmente en aspectos dramáticos o espectaculares, el impacto del evento visto desde la distancia a menudo está muy distorsionado.

Como lección principal, solo podemos recomendar continuar con los intercambios que se puedan tener con los equipos de periodistas en México. De hecho, para un equipo científico como el nuestro, es importante comprender la dificultad que los medios encuentran para ejercer su trabajo durante la crisis. En la otra dirección, hemos constatado que los periodistas están abiertos a recibir contribuciones científicas que les pueden ayudar a completar su información.

14 Arquitectura

14.1 La arquitectura mexicana contemporánea

La arquitectura mexicana contemporánea es conocida y estimada en todo el mundo. Su representante más famoso es Luis Barragán (1902-1988). Distinguido en 1980 con el Pritzker Price (el premio más alto en la esfera de la arquitectura). Es considerado como el equivalente a Le Corbusier, y la Casa Luis Barragán en México es clasificada al Patrimonio de la Humanidad.

En Francia, la fundación Electra consagró en 2003 una exposición a la arquitectura mexicana titulada “Les Bâtitseurs de lumière” (“Los Edificadores de luz”). El catalogo mostraba que “¡México cuenta al día de hoy 140 escuelas de arquitectura incluidas 18 en el valle de México, es decir 60 000 estudiantes, más que en los EEUU!”.

Todo el propósito de la exposición estaba posicionado en el “después-Barragán”, alrededor de tres generaciones de arquitectos mas o menos influenciados por este padre fundador del modernismo mexicano. El comisario distinguía tres movimientos : “el expresionismo” que recurre a la plasticidad del hormigón, “la metafísica del color” inspirada de la obra del maestro y de la tradición colonial, y por ultimo “el internacionalismo” quien da la mayor atención a las estructuras en acero y vidrio.

Es con estas referencias que abordamos esta misión en México, y fuimos agradablemente impresionados de encontrar en Puebla a los responsables de la Protección Civil en un edificio hermoso muy colorido. Es edificio era el Centro de convención William O. Jenkins.



Figura 14-1 – El Centro de Convención William O. Jenkins en Puebla.

Abierto desde 1998 y finalizado en 2009, este edificio de 33 000 m² construido por el arquitecto Javier Sordo Madaleno amalgama unas antiguas plantas con nombres muy poéticos : La Guía, La Esperanza, La Mascota y La Pastora, quienes son monumentos históricos y construcciones muy contemporáneas. En su boletín de presentación, el Centro indica que el proyecto ha salvado inmuebles de interés histórico y artístico, con un equilibrio perfecto entre el cultural y el comercial, entre el moderno y el antiguo.

A esta descripción podemos añadir que el conjunto, aunque esté constituido de estructuras heterogéneas, dispone de cualidades antisísmicas notables: no solo las estructuras se comportaron bien durante el sismo y no fueron dañadas, sino que el centro estaba perfectamente operacional cuando lo visitamos, la Protección Civil oficiaba allí y su Centro de Análisis estaba en actividad.

Con este ejemplo, se puede admitir que el Genio del antisísmico y la Musa de la arquitectura pueden hacer buenas migas, al menos en México ⁶.

⁶ Durante otras misiones AFPS hemos podido hacer este tipo de constatación. Por ejemplo en Colombia, notamos que en Armenia, el Ayuntamiento devastado e inutilizable después del sismo del 25 de enero 1999 había tomado refugio en el Museo del Quindío, un edificio hermoso construido por Rogelio Salmona, el arquitecto más famoso de Colombia, un arquitecto que había frecuentado el taller de Le Corbusier en Francia.

En India también, a Ahmenabad después del sismo del Bhuj el 21 de enero 2001, habíamos visitado el Gandhi Labour Institute absolutamente intacto. Este edificio había sido construido por Balkrishna Doshi, un arquitecto indio famoso que había ido también al taller de Le Corbusier en Francia. Siguiendo con esta misión en India, el arquitecto Shah Snehalm quien trabajaba con Mario Botta sobre un proyecto muy grande por el grupo Tata, nos explicará, durante la visita de sus oficinas absolutamente immaculadas después del sismo, que los 50 inmuebles totalmente colapsados en Ahmenabad eran una “arquitectura de promotore” y no “una arquitectura de arquitecto”. La misión 2017 puede sin duda confortarnos en los beneficios de una “arquitectura de arquitecto”.

14.2 Estética antisísmica

Desde hace 50 años, la evolución de la arquitectura contemporánea mexicana muestra la aparición paulatina de una estética cuya inspiración parece ser de origen antisísmico.

Este hecho se nota mucho a lo largo del Paseo de la Reforma, la gran avenida de México que se extiende sobre 14,7 km. Creada en el siglo XIX por Maximiliano I, esta avenida puede rastrear toda la historia de la arquitectura del fin del siglo XX hasta el siglo XXI. Casi todos los estilos se encuentran allí.

Después de unos edificios « art déco », es el estilo « internacional » que se impone. Un estilo bastante opaco de cajas perfectas, con paredes « cortinas lisas » y poca expresión. Para luchar contra la parte impersonal del « estilo internacional » en los años 90, la ola del « postmodernismo » será más compleja y desplazada.

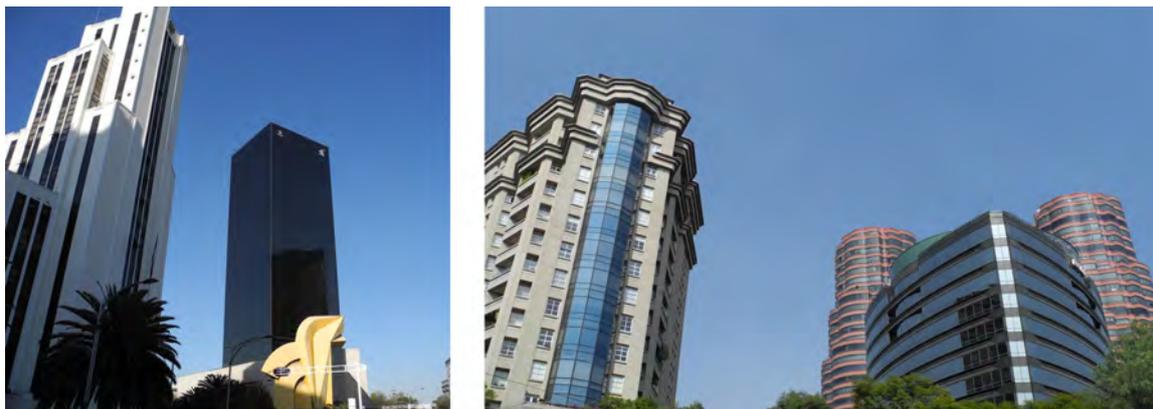


Figura 14-2 – México la evolución de los estilos.

En México, esta tendencia será ilustrada por el edificio de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), edificio a menudo publicado bajo el tema del « triunfo del post-modernismo ».

Pero se podría poner el subtítulo de « triunfo del diseño antisísmico ». De hecho, en México que es un país federal, no hay un reglamento antisísmico nacional, cada estado tiene el suyo. Pero existe sin embargo un manual : el Manual de diseño de obras civiles – diseño por sismo, publicado por la CFE.

Y tenemos que rendirle homenaje a los autores del manual porque el edificio de la CFE, que no es sencillo ni regular pero cuya armazón roja es potente, se comportó de forma perfecta durante el último sismo.

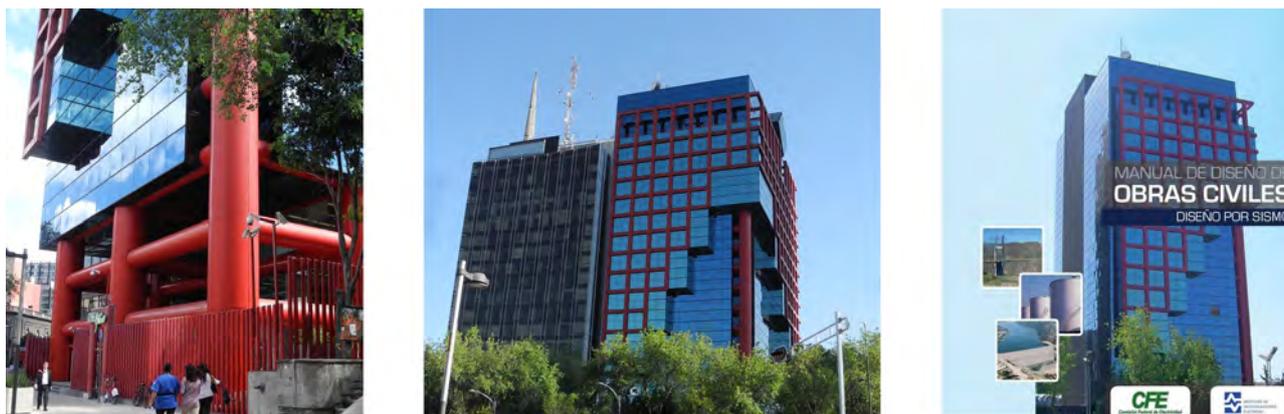


Figura 14-3 – El edificio de la CFE, Comisión Federal de Electricidad.

Después del sismo de 1985, muchos edificios van a ser reforzados con elementos metálicos muy visibles y expresivos en la fachada. Originalmente, estos reforzamientos, realizados quizás con urgencia, no estaban destinados para durar, pero duraron y finalmente dieron a los edificios un carácter de estabilidad y de fuerza bastante marcado.

Notamos este efecto sobre el edificio del IFAL (Instituto francés de America Latina), donde las cruces de San Andrés claramente visibles sobre las fachadas, son tranquilizadoras.



Figura 14-4 – Reforzamientos antisísmicos realizados sobre inmuebles existentes después de 1985.

En los edificios nuevos, unos elementos de refuerzo aparecen en la fachada. Al principio, estarán esbozados detrás de las fachadas en vidrio, un poco como un striptease donde se desvela la ropa interior pero no mucho.



Figura 14-5 – Transparencia y arrostramientos.

Después van a estar más y más afirmados y sobre los edificios nuevos son prácticamente manifiestos estéticos : “Resisto al sismo y se los digo”.



Figura 14-6 – Refuerzos visualmente afirmados sobre inmuebles recientes.

Con respecto a este tema, podemos analizar un poco la torre Reforma. Finalizada en 2015, esta torre de 57 pisos y 246 m de altura, habrá sido durante un año la torre más alta de México ⁷. Construida por el arquitecto Benjamin Romano y la compañía Arup, ostenta en su boletín de presentación de ser uno de los raros edificios de America latina sin columnas y de tener “un diseño y una estructura que combina el talento nacional can la mejor tecnología del mundo”.

En el folleto, aprendemos también que Arup hizo análisis sísmicos con un período de retorno de 2500 años, un valor que va mucho más allá de los valores actuales de los códigos. En 2017, el edificio se comportó muy bien y era perfectamente operacional cuando lo visitamos.

⁷ En mayo 2016, será derrotada por la torre KOL de 279 m de altura construida cerca de Monterrey.

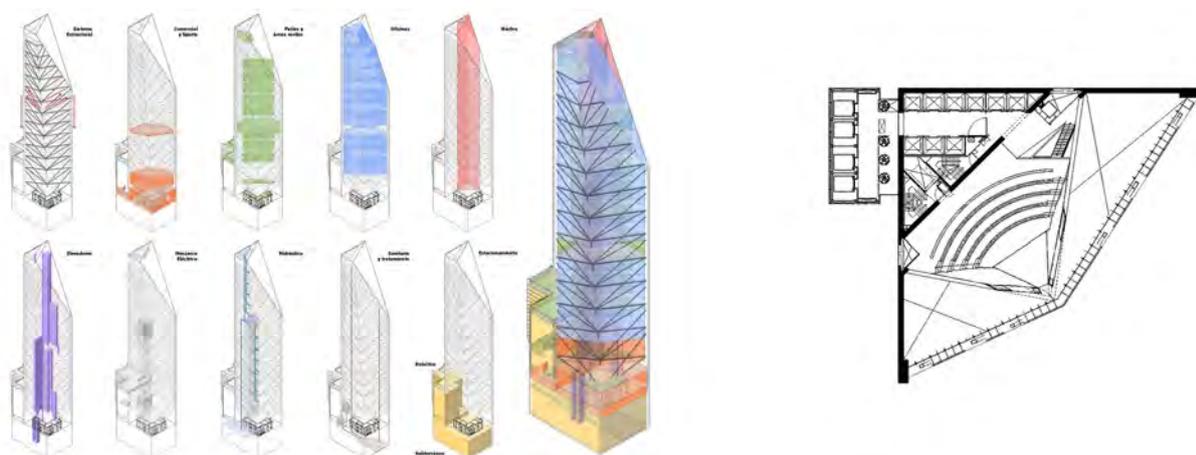


Figura 14-7 – Torre Reforma, dibujo de principio y plano del nivel 24 (©torrereforma.com).

Su estructura es específica. Está basada en 2 velas de concreto en escuadra y pisos suspendidos por medio de tirantes en fachada. Las velas de concreto necesitaron cimientos “muy” especiales : paredes moldeadas muy gruesas (1,20 m) hasta 60 m de profundidad, realizadas por Cimesa, la filial mexicana de Soletanche Bachy.

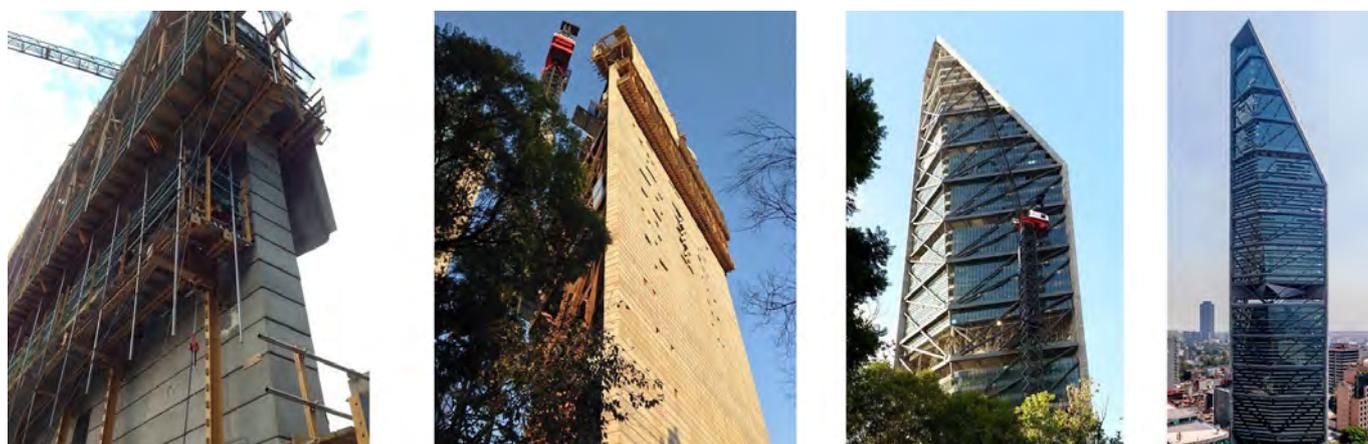


Figura 14-8 – Torre Reforma durante las obras (©curbed.com).

Así como una escuadra es sensible a la torsión, los refuerzos correspondientes son retomados por los tirantes en las fachadas y en la planta baja, las fuerzas convergen en un conjunto espectacular. Para reforzar la dramaturgia de estos refuerzos que intervienen, en el hall un piso de vidrio permite contemplar este nudo principal. La teatralización de este punto es además reforzada con el techo de vidrio del restaurante en el subsuelo desde donde se puede admirar la obra en su conjunto. Y al mirarla, solo podemos lamentar no haber estado en la torre durante el sismo para ver el mecanismo en acción.

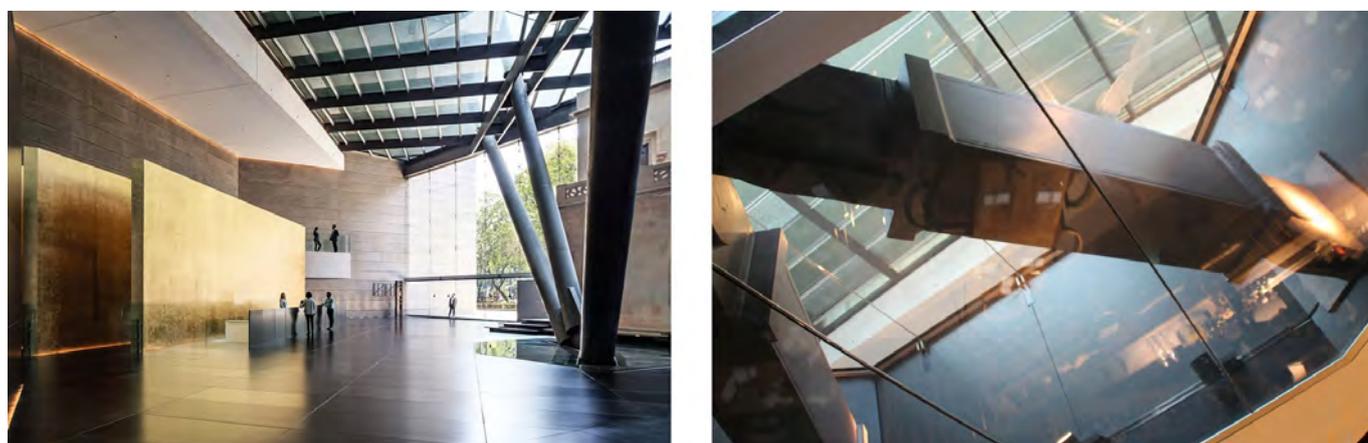


Figura 14-9 – Torre Reforma vista desde el hall (©torrereforma.com), techo de vidrio del restaurante en el subsuelo.

14.3 La responsabilidad del arquitecto

Durante la misión, constatamos que los edificios recientes, construidos desde 1985 se comportaron bien salvo algunas excepciones. Pero en estas excepciones, ocurrió un colapso particularmente dramático que tocó a una escuela y que fue muy mediatizado.

Se pueden recordar los hechos. El martes 19 de septiembre 2017 a las 11 h, como todos los 19 de septiembre desde 1985, el simulacro tiene lugar en la escuela Enrique Rebsamen. El ejercicio se desarrolla normalmente pero a las 13h14 aparece un “verdadero” sismo y los padres quedan pasmados cuando se derrumba totalmente el edificio. Como pasa a menudo en nuestra época hyper-moderna, la gente filma con móviles y las imágenes aparecen en las redes sociales. Mucha gente acude a ayudar durante varios días en un contexto terrible, las fotos lo atestiguan, pero lamentablemente 19 niños de 6 a 13 años y 7 mayores fallecerán en este desastre.



Figura 14-10 – Operación de socorro en la escuela Enrique Rebsamen (©AFP / Mario Vazquez)

Por supuesto, no tenemos que emitir un juicio sobre este drama ni distribuir las responsabilidades, el caso está en la justicia, las evaluaciones serán largas y dolorosas. Pero hay un punto que nos impactó. En la prensa, fue puesta en causa la dirección de la escuela quien habría sobreelevado el edificio, fueron dados los nombres de los ingenieros que habrían firmado dictámenes favorables en 2010 y 2014, pero nunca fueron dados los nombres de los arquitectos que habrían construido, ampliado o sobreelevado este edificio. En Francia, si una terminal de aeropuerto se colapsara en Roissy, o si un balcón se cayese en Issy-les-Moulineaux, la prensa citaría muy rápidamente los nombres de los arquitectos.



Figura 14-11 – La escuela Enrique Rebsamen antes y después (imágenes internet).

Es evidente que hubo errores, fallos, descuidos de la parte de los constructores pero con un colapso tan total, es evidente que a este edificio le fallaba un mínimo de elementos de estabilidad con respecto a los refuerzos horizontales. Más allá de las responsabilidades jurídicas, la enseñanza que podríamos recordar se destina más a todos los arquitectos. Etimológicamente, el arquitecto es el “archos-tectos”, el jefe de los constructores (como el arcángel es el jefe de los ángeles y el arzobispo el jefe de los obispos). Es entonces su responsabilidad, a la vez terrible y magnífica, de pensar los proyectos para que los edificios resistan a esfuerzos horizontales y prever unos elementos de estabilidad necesarios para que no se derrumben como un castillo de arena.

14.4 La carrera de los arquitectos en México

El problema de la responsabilidad de los arquitectos plantea el problema de su carrera. Sobre este tema, tuvimos la ocasión de platicar con un arquitecto joven del patrimonio francés quien terminó su carrera en la Facultad de Arquitectura de la UNAM en México. Nos explicó que en la UNAM, no había una carrera específica antisísmica sino que el tema sísmico era omnipresente en toda la carrera.

En realidad, el diseño antisísmico está totalmente integrado en los cursos, en los módulos obligatorios sistemas estructurales sobre 6 semestres. En el primer semestre se habla de sistemas de transmisión para cargas gravitacionales y sistemas de transmisión para fuerzas horizontales. Y en el tercer semestre, las referencias comportan obras como Construcciones antisísmicas y resistentes al viento o Diseño de estructuras resistentes a sismos.

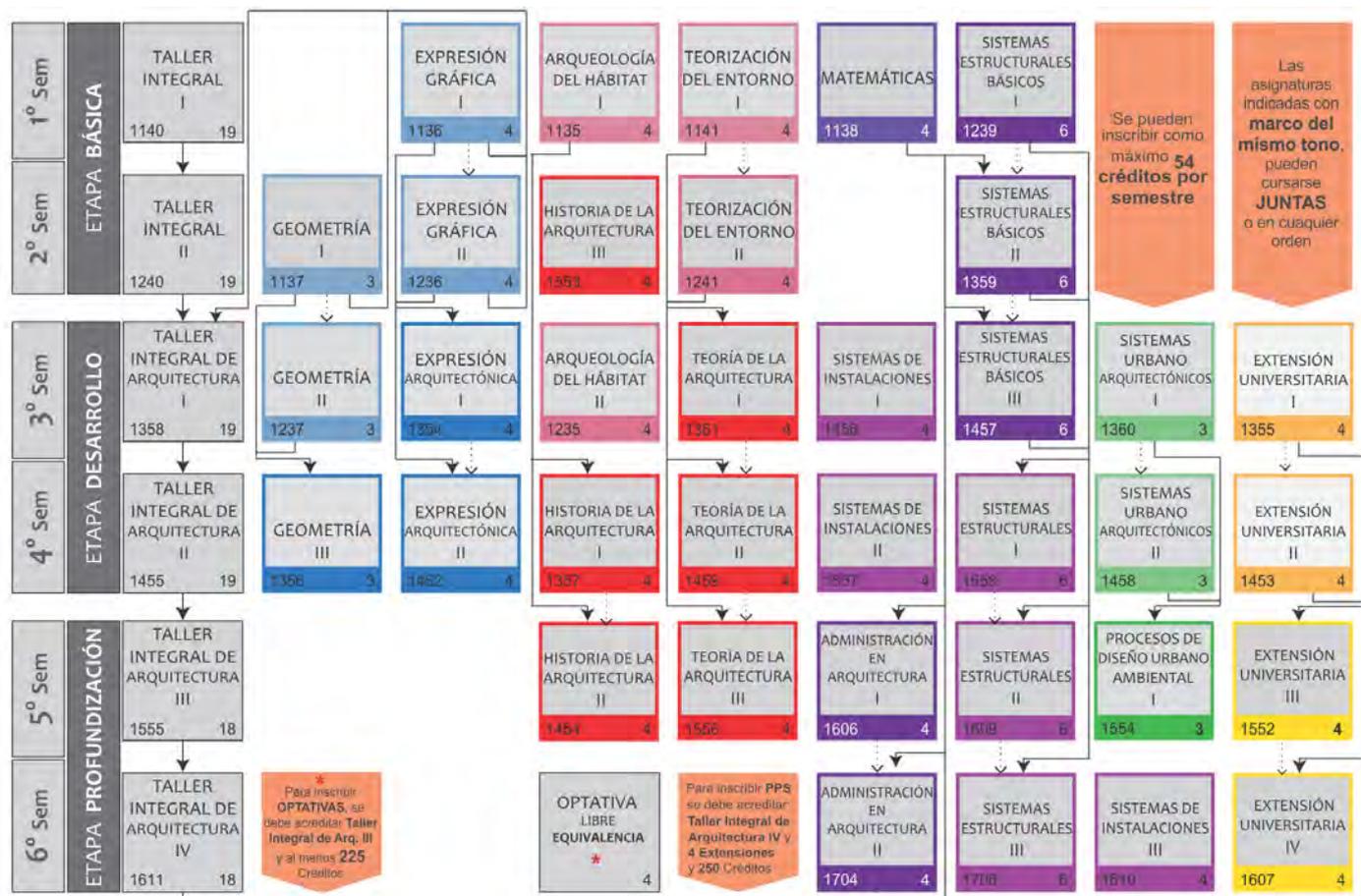


Figura 14-12 – Programa de los 6 primeros semestres de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

En el taller de arquitectura, se habla desde el tercer semestre en el curso de construcción, de la sismicidad de México, de las características geotécnicas del suelo, de la amplificación de las ondas y de las propiedades dinámicas de los suelos.

En comparación, en Francia el diseño antisísmico es considerado como una especialidad. Puede dar lugar a un título específico antisísmico DPEA (Diplôme Propre aux Ecoles d'Architecture, es decir título propio a las escuelas de arquitectura) en Marseille o un DSA (Diplôme de Spécialisation et d'Approfondissement, es decir título de especialización y profundización) en Paris. En un país donde se estima que 21 000 ciudades sobre 36 000 están afectadas por el riesgo sísmico, reservar la cultura antisísmica a los especialistas puede dejarnos dubitativos y deberíamos aplicar en Francia una formación similar a la Mexicana de los arquitectos.

14.5 Enseñanzas principales

Vimos en este capítulo que en México, el riesgo sísmico no estaba tomado en cuenta en detrimento de la calidad y la diversidad de la arquitectura. Al contrario, constatamos que el riesgo sísmico podía ser una fuente de creatividad arquitectural importante. De este modo, la arquitectura mexicana contemporánea, ya conocida y publicada en Francia, merecería continuar a recibir una iluminación particular.

Notamos que en la enseñanza de la arquitectura en México tomar en cuenta el riesgo sísmico formaba parte de la cultura de base de todo arquitecto y no era una especialidad. Solo podemos aconsejar desarrollar este enfoque en Francia.

15 Monumentos históricos

15.1 La problemática de los edificios históricos frente al terremoto

En Francia en la comunidad del diseño histórico, la problemática de los edificios históricos frente a los terremotos es un tema reciente. Apareció principalmente después de los eventos en Italia. En esta misión fuimos sorprendidos por las similitudes y las convergencias entre las gestiones implementadas en México y en Italia.

En Puebla, el Director del Centro Histórico y Patrimonio Cultural de la Ciudad, Sergio A. de la Luz Vergara Verdejo, hizo una hermosa presentación sobre esta problemática y nos entregó un documento muy completo: “Manual de procedimientos del patrimonio monumental de Puebla para efectos de sismo”. Este documento de 220 páginas es un verdadero manual de procedimiento (como su nombre lo indica). En nuestro informe, necesariamente reducido, no es posible comentarlo en detalle⁸ pero este documento se acerca a los documentos italianos similares. Todos estos documentos, mexicanos o italianos, merecerían estar traducidos en francés.



Figura 15-1 – Cobertura del Manual de Puebla.

En México, el coordinador de los Monumentos Históricos, el arquitecto Arturo Balandrano Campos y su asistente, el arquitecto Manuel Villaruel, nos explicaron la organización administrativa del INAH (Instituto Nacional de Antropología e Historia) quien se encarga del patrimonio de México, y también del programa PREVINAH (Programa Nacional de Prevención de Desastres en Materia de Patrimonio Cultural).

Las prerrogativas del INAH son claras y simples. Apuntan a:

- todo el patrimonio paleontológico, archivológico y antropológico, considerado como “patrimonio de la nación” y no puede pertenecer a nadie (se refiere al período anterior a la colonización española),
- todos los edificios construidos en el siglo XVI hasta el siglo XIX que son considerados como históricos (pueden ser públicos o privados pero todos están bajo la supervisión del INAH).

De este modo, 117 000 monumentos dependen del instituto. Durante el sismo de 2017, 1821 fueron afectados: 20 % con derrumbes, 60 % con daños no estructurales y 20 % con grietas. Al instituto no le falta entonces trabajo post-sísmico, sino que desarrolla también una política activa de prevención. Los manuales de conservación preventiva que él difunde merecen ser conocidos. El riesgo sísmico no está ausente en estos manuales y de hecho, se debe notar que el logo del INAH es una versión estilizada de un glifo ideográfico que significa terremoto.



Figura 15-2 – Extracto del Codex Telleriano

Logo del INAH.

⁸ Este manual puede descargarse de la página <http://consejocentohistoricopuebla.com/> y será parte de los anexos electrónicos del informe.

15.2 Puebla

La ciudad de Puebla, oficialmente Heroica Puebla de Zaragoza⁹, es también conocida bajo el nombre de Puebla de los Ángeles. En 1987, su Centro histórico fue clasificado en la lista del Patrimonio mundial del UNESCO por su cuadrícula urbana intacta y la calidad de sus edificios.

El 15 de junio de 1999 este centro histórico fue impactado por un sismo de magnitud Mw 7 y de intensidad MMI VIII provocando 25 muertos y más de 200 heridos en la región de Puebla. Numerosos edificios históricos habían sido dañados con colapsos parciales importantes.

Después de este sismo se inició una importante obra de reparación y reforzamiento preventivo de los edificios y la misión pudo constatar su efectos benéficos. Durante nuestra visita del 13 de noviembre 2017, constatamos que la mayoría de los edificios estaba intacta. Es cierto que algunos inmuebles estaban con puntales o refuerzos en los campanarios de las iglesias, pero ningún edificio había sufrido un colapso, ni siquiera parcialmente.



Figura 15-3 – Vistas del centro de Puebla.



Figura 15-4 – Puebla, vistas de algunas iglesias con desordenes menores.



Figura 15-5 – La Catedral de Puebla reforzada después del sismo de 1999 en un estado impecable.

⁹ La ciudad es muy querida por los Mexicanos porque el 5 de Mayo de 1862, el ejército del general Ignacio Zaragoza venció a las tropas francesas durante la batalla de Puebla. Desde este acontecimiento, el 5 de mayo es una fecha que se celebra en México. En el año 2012, una moneda de 10 pesos con la efigie del general Ignacio Zaragoza fue emitida para conmemorar los 150 años de la derrota de los Franceses.

15.3 Ciudad de México

En México, constatamos que algunos monumentos estaban muy dañados y que había trabajos de desmonte y de reforzamientos en curso. En particular, la mitad de la cúpula de Nuestra Señora de los Ángeles estaba colapsada y en la Iglesia de Nuestra Señora de Loreto se estaban poniendo reforzos. Sin embargo la gran mayoría de los edificios antiguos estaban abiertos al público.



Figura 15-6 – México, cúpula colapsada de Nuestra Señora de los Ángeles, reforzamiento en Nuestra Señora de Loreto.

No obstante, mirando los monumentos en detalle, se podían ver inclinaciones increíbles en todos los sentidos. Pero en México, se puede estimar que esa situación es “normal”, el suelo se aprieta de modo regular y heterogéneo, la verticalidad de los edificios es a veces fluctuante, y a menudo inversamente proporcional a la fecha de su construcción.

La dinámica de un sismo puede a veces amplificar el fenómeno pero fundamentalmente es la estática, es decir las fuerzas variando infinitamente lentamente, la que puede explicar el carácter “inclinado” de muchos edificios. Un ejemplo bonito del carácter cambiante de México se encuentra en la Catedral en donde un péndulo muestra en permanencia la variación de los desplazamientos de la nave, casi un sismómetro permanente. De este modo, en México estamos acostumbrados al movimiento que hace la vida de los edificios.



Figura 15-7 – México, inclinaciones variadas, la Catedral y su péndulo.

15.4 Enseñanzas principales

Vimos en este capítulo que en México, como en Italia, tomar en consideración el riesgo sísmico en los edificios históricos era el objeto de una problemática específica con un enfoque particular.

Nosotros recomendamos desarrollar esta problemática en Francia, disfrutando de la rica experiencia acumulada sobre este tema por países en donde la frecuencia de los terremotos es más alta que en Francia.

Pensamos que un tema de esta índole merecería una misión más profunda con dedicación específica. Debido a la brevedad de la nuestra misión y de la magnitud de los otros temas a tratar, nuestro informe debe ser considerado simplemente como una primera detección.

Notamos también que nuestros interlocutores estarían muy interesados por un encuentro internacional entre especialistas sobre el tema. De un punto de vista diplomático Francia, quien alberga la sede de la UNESCO ¹⁰, estaría quizás en buena posición para organizar esta reunión.

¹⁰ La UNESCO, que entre sus misiones “proteger nuestro patrimonio y favorecer la creatividad” y cuya Directora general es una antigua Ministra de la Cultura francesa.

16 Los edificios franceses de México

Uno de los objetivos de este proyecto ha sido la evaluación del estado de los monumentos franceses de México. Cabe destacar, que después del terremoto de 1985, el Ministerio de Asuntos Exteriores Francés realizó una inversión importante para reforzar su patrimonio en México.

16.1 Observaciones técnicas en el terreno

El equipo técnico se reunió con los responsables de los edificios de la Embajada, del Consulado general, del Instituto Francés de América Latina y la Casa de Francia, para discutir sobre los monumentos diplomáticos e infraestructuras culturales francesas en México.

La Embajada y el Consulado están situados en un edificio construido entre 1992 y 1996 por el arquitecto francés Bernard Kohn. Es un conjunto bastante complejo de una superficie de 16 850 km² que tiene 13 niveles con un aparcamiento subterráneo con una capacidad de 110 plazas.. Desde el punto de vista estructural el edificio resistió bien el terremoto. Los únicos daños observados fueron una pared “golpeada” en una sala de reunión en un piso, algunas grietas entre las juntas de la estructura de hormigón y la pared de ladrillos, y algunos agujeros en la fachada. Daños menores y perfectamente “normales” después de tal seísmo.



Figura 16-1 – La Embajada de Francia en México

El IFAL es un instituto fundado en 1944 por el gobierno de « Francia libre » del general Charles de Gaule. Los planos originales fueron realizados durante 1954-1963 y las obras fueron realizadas en 1973 con trabajos complementarios en 1977-1978, poco antes del seísmo de 1985. En 2000, un proyecto importante de reforzamiento fue realizado. Sobre los planos que consultamos se habla de la “rigidización del edificio” y quedamos impresionados por la calidad del dossier realizado por el arquitecto mexicano Garcia Jarque ¹¹ : modelización 3D, nota de cálculos, planos de ejecución con todos los detalles, incluidos los trabajos de cimentación en la segunda obra.

Se puede confirmar que esta rigidización funcionó bien durante el terremoto de 2017, ya que solo se observan grietas menores en el edificio, entre el hormigón y los ladrillos. En este caso, la rigidización ofrece una ventaja doble: por un lado, permite reforzar la estabilidad a esfuerzos horizontales (que era precaria en la primera obra, aunque el edificio soportara el seísmo de 1985). Por otro lado, modifica notablemente el periodo propio del edificio, este periodo desplaza su posición en el espectro de diseño. En este caso particular, es muy favorable en cuanto a los esfuerzos (este punto depende de la naturaleza del suelo).



Figura 16-2 – El Instituto Francés de América Latina (IFAL) en México.

¹¹ Los archivos técnicos consultados tienen un gran valor en situaciones post-sísmicas; se aconseja digitalizarlos y almacenar una copia de seguridad en otro lugar.

La Casa de Francia es la antigua Embajada de Francia. Es uno de los últimos inmuebles del siglo XIX en el sector y queda rodeado de inmuebles de gran altura. En 1998, fue transformado en Centro Cultural por el arquitecto francés Bernard Desmoulin. Esta transformación sutil resulto en un edificio elegante y valorado para representar a Francia en México. En una entrevista en 2015, Bernard Desmoulin se lamentaba de que “La belleza ha desaparecido del discurso de los arquitectos. Está prohibida desde el siglo XVII y se fue para estar ausente hasta el siglo XXI”. No es el caso de la casa de Francia en México. Pero esta elegancia no se consiguió obviando el riesgo sísmico. De hecho, el edificio se encontraba en un estado impecable cuando lo visitamos. A penas un rasguño sobre una piedra del suelo de la entrada, causada por un choque entre el edificio principal y las escaleras exteriores.



Figura 16-3 – La Casa de Francia en México.

16.2 Gestión de crisis durante el terremoto

Las conversaciones mantenidas por el equipo técnico con los responsables de los edificios sobre el desarrollo de la crisis resultaron muy interesantes. De estas conversaciones se puede destacar:

- la alerta llegó solo unos segundos después del comienzo del seísmo (ya que el foco del seísmo fue más cerca que en el de 1985),
- las personas se agruparon como previsto en las partes recomendadas como las más seguras del edificio (cerca de los ascensores) durante el seísmo,,
- los edificios fueron evacuados y todo el mundo se agrupó en los puntos de encuentro al fin del sismo,
- solo fue posible entrar en los edificios (que quedaron intactos y operacionales) varios días después, una vez que la evaluación oficial fue realizada y firmada por un ingeniero inscrito en la lista de los ingenieros de México.

De manera general, se puede hacer una evaluación positiva: no hubo víctimas y todos los servicios de Francia fueron abiertos al público durante nuestra estancia (que no fue el caso para todos los países representados en México). Sobre el desarrollo de la crisis, se pueden hacer sin embargo algunos comentarios:

- basar la seguridad en un dispositivo de previsión o alarma puede ser engañoso,
- la orden para evacuar o quedarse en un edificio no se puede generalizar y debería ser estudiada para cada caso (por ejemplo, cuando sea recomendable evacuar un edificio que podría colapsar, es a menudo más peligroso evacuar un edificio seguro para salir a una zona peligrosa debido a los edificios circundantes),
- en todo caso definir las zonas más seguras de un edificio es una buena decisión. Además, sería adecuado verificar los enganches de los elementos susceptibles de caerse en estas zonas.
- el dispositivo de volver a los lugares merecería de estar mejorado en términos de plazo y sería deseable que los diagnósticos de urgencia post-sísmica sean realizados en interno.

16.3 Enseñanzas principales

Vimos que Francia en México reforzó sus edificios después del sismo de 1985. Constatamos que este amplio programa fue muy eficiente y que dio lugar a unas arquitecturas de calidad. Nosotros podemos recomendar de iniciar programas similares en todos los país del Mundo con sismos donde Francia es representada.

Del punto de vista técnico, pensamos que es conveniente :

- que los responsables técnicos de los edificios sean formados y habilitados al diagnóstico de urgencia post-sísmico ;
- que los dossiers técnicos de los edificios sean numerados y dispuestos en varios lugares ;
- Que por cada edificio, sea realizado un pre-diagnóstico de urgencia post-sísmica permitiendo de preparar por adelantado (por un edificio ya conocido) un dossier sintético que sería sencillamente utilizable en situación post-sísmica ;
- Que los planos de seguridad incendio sean completados por una representación permitiendo de diferenciar rápidamente in situ los elementos estructurales de los elementos de relleno.

17 Reflexiones de urbanismo

“Las ciudades deberían ser construidas en el campo, el aire es más puro allí.” Alphonse Allais (1855 – 1905).

En Francia, cuando se habla de México, y del riesgo sísmico, los franceses tienen presente la proposición del humorista Alphonse Allais y efectivamente, se uno puede preguntar ¿por qué y cómo una de las aglomeraciones mas grandes del mundo fue construida y se desarrollada en una zona con tal riesgo sísmico?

Para responder a esta pregunta es necesario remontarse mucho tiempo atrás. En cuanto al riesgo sísmico, los sismólogos utilizan una escala geológica en decenas de miles o incluso millones de años y, efectivamente, el riesgo en México ha estado presente desde hace mucho tiempo (y perdurará por mucho tiempo más). Nosotros nos pondremos un tiempo más corto, el tiempo humano.

Se estima que los primeros hombres llegaron a México hace casi 20,000 años después de haber cruzado el estrecho de Bering. La primera civilización conocida es la de los Olmecas quienes construyeron ya pirámides de tierra cerca del año 1 500 antes de Cristo. Esta civilización declino y desapareció cerca de 900 años antes de Cristo.

La civilización Maya se desarrolló y logro su apogeo en el periodo « clásico » entre los años 200 y 900 después de Cristo. Su gran obra fue la ciudad teocrática de Teotihuacán situada a 40 km al Noreste de la Ciudad de México. Su nombre significa “el lugar donde nacieron los dioses” y se estima que contó hasta con 200,000 habitantes. Es cierto que los mayas sufrieron sismos: generaron crónicas e incluso crearon un glifo específico para estos eventos. Otra testimonio, indirecto, lo tiene la arquitectura. De hecho, algunos arqueólogos compararon la pirámide del Sol a la Gran pirámide de Egipto señalando que tenían bases idénticas (lado de 225 m) pero que la construcción maya era dos veces menos alta (65m la pirámide maya y 144 m la Gran Pirámide de Egipto). Una diferencia que podría explicarse por razones de estabilidad antisísmica.



Figura 17-1 – Maqueta de la ciudad de Teotihuacán

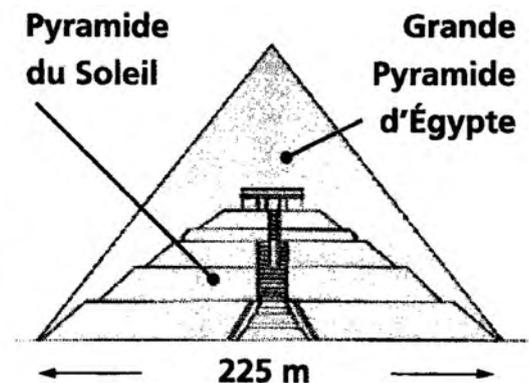


Figura 17-2 – Comparación de la altura de las pirámides

Por razones aún desconocidas, la ciudad de Teotihuacán fue abandonada desde el siglo VI. Cerca de la mitad del siglo XIII, un grupo indígena viniendo de un lugar llamado Aztlán llegó al valle de México. Le llamaban Mexitin o Mexica y los españoles les llamaron Aztecas en referencia a su lugar de origen.

La fundación de Tenochtitlán, la base de la futura ciudad de México, no carece de interés. Según la leyenda, el Dios Huitzilopochtli dio la orden a los mexicas de establecerse en el lugar que encontrasen un águila posada en un nopal y devorando una serpiente. Aquella imagen del presagio (símbolo patrio de México) fue encontrada sobre una isla en medio de un lago donde se asentaría una de las aglomeraciones más grandes del mundo.

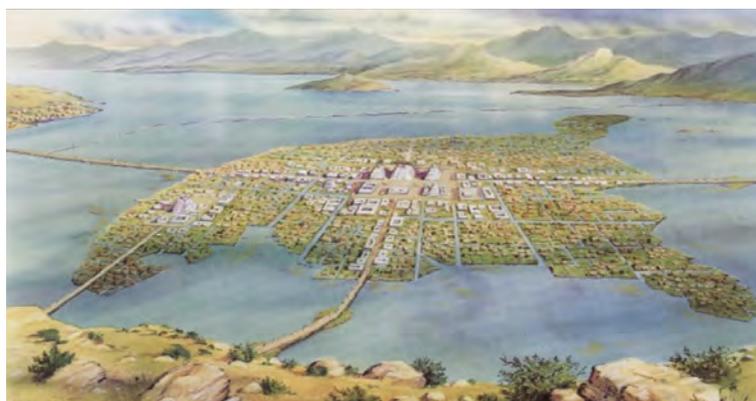


Figura 17-3 – Ciudad azteca de Tenochtitlán (futura Ciudad de México).

Desde un punto de vista simbólico, para los pueblos prehispánicos la serpiente era a menudo la representación de los volcanes y los sismos. Implantarse en una isla lejos de los volcanes y con un suelo blando para amortiguar las ondas sísmicas (pero por supuesto únicamente para construcciones rígidas) era sin duda una buena elección para “vencer a la serpiente”. Además, para el imperio azteca, un pueblo guerrero desarrollado por medio del sometimiento de otras culturas y el pago de tributo, una isla representaba una posición militar estratégica.

Cuando Hernán Cortés desembarco en 1519, el imperio azteca era inmenso pero bastante odiado. Cortés era un guerrero, seguramente sin piedad (se le imputan entre 15,000 y 30,000 víctimas durante la masacre de Cholula cerca de Puebla, una masacre cuyo recuerdo sigue en las mentes mexicanas) pero con cierto sentido político y diplomático. De hecho, nunca hubiera podido conquistar México con solo un puñado de hombres si no hubiera sabido pactar y lograr alianzas. Teniendo una amante nativa “La Malinche”, o Doña Marina, una antigua esclava que un cacique maya dio a los conquistadores y quien tomo el papel de intérprete y consejera. A menudo se encuentra la afirmación de Cortés según el cual, después de Dios, Marina era la razón principal de su éxito.

Aprovechando del apoyo indefectible de los Tlaxcaltecos, uniéndose todos los pueblos enemigos de los Aztecas, Cortés conquista Tenochtitlán el 13 de agosto 1521 después de un largo asedio y combates quienes destruyeron una parte de la ciudad, haciendo según estimaciones entre 120,000 y 240,000 muertos entre los Aztecas, de los cuales 40,000 directamente en la batalla. Para sentar su poder, Cortés sólo podía conservar la capital del imperio azteca para hacer de ella la suya. Los nombres siempre están dado por los ganadores, Tenochtitlán se convierte en México y los Mexicas en Aztecas, pero la ubicación siguió siendo la misma. México se convirtió así en la capital de la Nueva España, los templos fueron destruidos para construir iglesias y se estima que a principios del siglo XVII, la ciudad constaba con 200,000 habitantes de los cuales solamente 2,000 eran españoles.



Figura 17-4 – «La consagración de los templos paganos»



Figura 17-5 – México en 1628

Del punto de vista de los riesgos mayores, los aztecas manejaron la ciudad mejor que los españoles. La capital de la Nueva España sufrió varias inundaciones durante el siglo XVII y en septiembre de 1629 ocurrió el “diluvio”. Esta inundación fue uno de los desastres naturales más dramático en la historia de México. Treinta mil personas fallecieron ahogadas y los sobrevivientes murieron de epidemias. El desastre fue tal que no fue sino hasta 1634 que el agua se retiró definitivamente de la ciudad e incluso se consideró abandonar el sitio. Finalmente dos explicaciones fueron dadas a la catástrofe: una religiosa y una civil.

Como era la costumbre en la época, la Iglesia y la sociedad interpretaron la catástrofe como un castigo divino. La ciudad de México estaba bajo la influencia del pecado y la inquisición trabajó sin descanso para exterminarlo. La hoguera dio la bienvenida a los marraños (judíos recientemente convertidos al catolicismo), los sodomitas, y por poner buena cara, a los portugueses también.

La respuesta civil, basada en el diseño de las existentes obras civiles, fue igualmente sencilla (como lo son a menudo las respuestas de los ingenieros) pero, aún y así, fue más eficiente. Para evitar las inundaciones, era necesario vaciar el lago. Esta propuesta se materializó, por supuesto mediante algunas obras y enormes recursos (lo que es a menudo el caso con la respuestas ‘simples’ de los ingenieros) y sólo hicieron falta dos siglos para que la Ciudad de México dejara de ser una isla y convirtiéndose en una ciudad donde el suelo se asienta aún en la época actual.



Figura 17-6 – México en el siglo XVII.

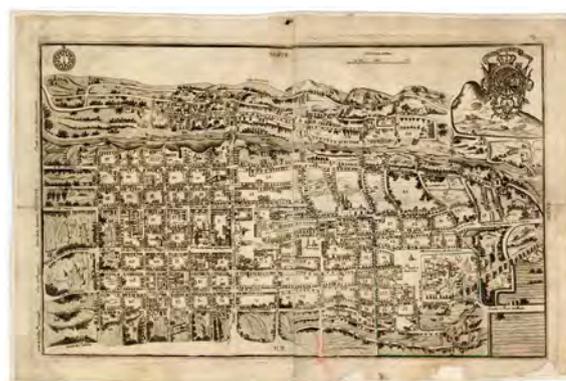


Figura 17-7 – México en 1796

Mientras el lago se vaciaba, los sismos no olvidaban a México. Hubo eventos conocidos que tocaron a la ciudad (1568, 1611, 1653, 1682, 1697, 1711, 1768, 1787, 1800, 1806, 1837) para los cuales los sismólogos son capaces de dar la localización, la magnitud y los mapas de intensidad. Pero, a cada vez, con edificios de pequeña altura, los daños fueron limitados y no se tienen registros de una gran catástrofe en la ciudad misma.

En el siglo XX, la ciudad conoció un auge espectacular. De menos de 350,000 habitantes bajo 27 km² en el año 1900, pasa a 1.8 millones de habitantes en 117 km² para el año 1940, alcanzando 18 millones sobre 1 540 km² en el año 2000.

Pero el riesgo sísmico preocupa poco. La primera alerta que recibe la ciudad “moderna” es alrededor del año 1941 y da lugar al reglamento de 1942, el primer reglamento que, en el distrito federal de México da disposiciones de diseño antisísmico.

La segunda alerta tendría lugar en el año 1957. Este evento provoca un gran acontecimiento : el Ángel de la Independencia, la estatua de Antonio Rivas Mercado, elevada en el año 1910 para honrar los héroes de la lucha contra la dominación española, cayó. El símbolo, no sólo de la ciudad sino del país entero, cayó.

Una nueva norma fue publicada en el año 1957, y otra en 1966 y otra más en 1976. Pero como fueron solo 70 víctimas en 1957, el riesgo no pareció estar muy presente en las mentes de los ciudadanos y dichas normas sólo fueron aplicadas para los edificios nuevos despreocupándose de las construcciones previas.

El 19 de septiembre de 1985 a las siete horas con 17 minutos, México sufre un “golpe de martillo”: al menos 10,000 fallecidos, 2,831 edificios seriamente dañados, de los cuales 258 fueron totalmente destruidos y 143 parcialmente colapsados. Cifras vertiginosas que hacían pensar que México no se levantaría pronto.

Pero con un dinamismo increíble, México una y otra vez ha hecho frente al desastre y se ha levantado. Y como símbolo fuerte el Mundial 1986 tuvo lugar en México. Fue ganado por Argentina, pero será quizás México quien pasará a la historia por la organización post-sísmica de este Mundial.



Figura 17-8 – México 1985 « devastación »



Figura 17-9 – México 1986 « Mundial »

Después del sismo, unas normas antisísmicas de urgencia fueron publicadas en 1985. Dos años más tarde, en 1987, unas normas sobre las cimentaciones. Las últimas normas en vigor son las NTC 2004. Luego del sismo de 2017, se estima que estas normas, dichas “modernas”, fueron satisfactorias. Por supuesto, serán mejoradas, perfeccionadas, precisadas pero no se considera cambiarlas de arriba a abajo. Cabe señalar que estas normas “modernas” permitieron la realización de obras civiles bastante audaces. La Torre Virreyes con 130 metros de altura, construida entre 2011 y 2015, es un buen ejemplo.

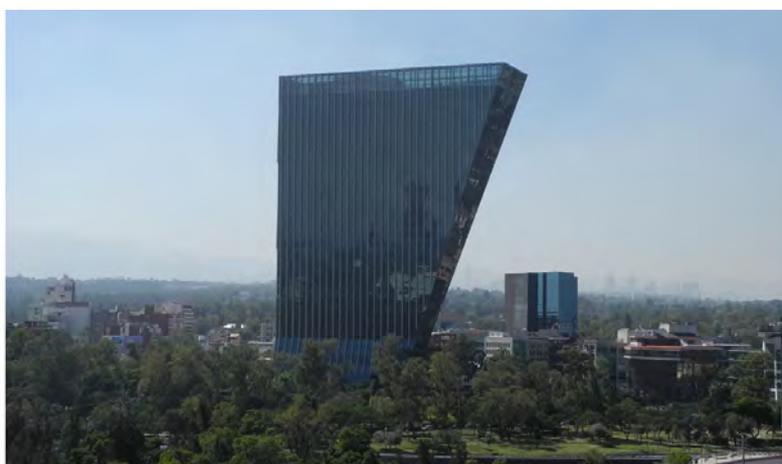


Figura 17.10 – La Torre Virreyes

A principios del siglo XXI, el término “resiliencia” comienza a utilizarse para referirse a ciertas ciudades ¹². En 2013, México se adhiere al grupo «100 Resilient Cities», un grupo iniciado por la fundación Rockefeller (una fundación quien no olvida remarcar su existencia a cada una de sus intervenciones). Pero más allá del marketing y de la comunicación, se puede notar que en un folleto de 2016 a la víspera de 2017, el riesgo sísmico continuaba bien posicionado en la escala de percepción de riesgos en México.



Figure 17-11 – México 2016 « la estrategia de resiliencia » (vista por la fundacion Rockefeller)

Treinta y dos años después del sismo de 1985, el 19 de septiembre de 2017 a las 13h34, justo después del simulacro nacional 2017, un nuevo sismo se produce. Por supuesto, es un drama, inmuebles colapsan y lamentablemente hay víctimas. Pero con un poco de retrospectiva, nos damos cuenta de que el alcance de la tragedia no tiene comparación con el desastre de 1985. Sin embargo, el sismo de 2017 no fue menos impactante que el ocurrido en 1985. Las zonas afectadas no son exactamente las mismas pero algunos inmuebles que habían resistido en 1985 colapsaron totalmente en 2017.

Entre 1985 y 2017, durante toda una generación, un trabajo enorme fue llevado a cabo en todos los temas (estudios científicos, reglamentación, reforzamiento, prevención...) y se puede decir que este trabajo fue eficaz. Ciertamente, aún existen algunas brechas, fallas, deficiencias en los mecanismos, en particular sobre la vulnerabilidad de las construcciones realizadas antes de 1985. Pero se puede estimar que en México, en pleno año 2017, el riesgo sísmico es un riesgo que puede ser controlado, incluso a la escala de una gran aglomeración.

El México de 1985 y el México de 2017 presentan una disparidad enorme. En cuanto a materia sísmica, un evento sísmico ya no es sinónimo de catástrofe: una notable disparidad de la cual el crédito se le atribuye a toda la comunidad del diseño antisísmico.

Si el Mundial fue la respuesta de México al sismo del año 1985, para 2017, podríamos tomar como símbolo del “dinamismo post-sísmico” de la ciudad a la construcción del nuevo aeropuerto que serán construidos por los arquitectos Norman Foster y Fernando Romero. El sismo de 2017 no ralentizó la construcción de este aeropuerto que da lugar a unas obras de consolidación del suelo absolutamente gigantescas. Pero sobre todo, resulta bastante llamativo observar en los documentos de presentación del aeropuerto dos guerreros toltecas, unos Atlantes, apareciendo en el medio de este proyecto ultramoderno. México no olvida su pasado y sus ancestros quienes ya conocían y controlaban sin duda el riesgo sísmico.

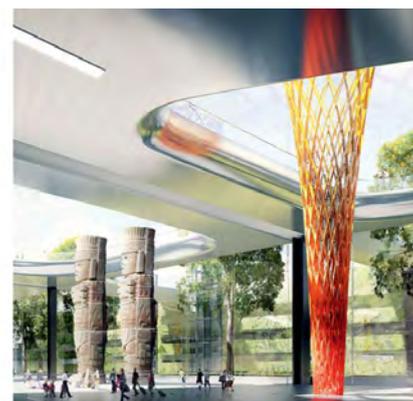


Figure 17-12 – El nuevo aeropuerto de la Ciudad de México con sus dos guerreros toltecas (Norman Foster y Fernando Romero).

Para finalizar, si bien se puede decir que el riesgo sísmico en México es un riesgo natural de carácter controlable, hay muchos otros riesgos. El riesgo volcánico, es una situación amenazando la ciudad en permanencia. Durante nuestra visita en el Centro Nacional de Prevención los Desastres, encontramos un semáforo utilizado para dar a conocer el riesgo volcánico con instrucciones yendo del verde hacia el rojo. El verde decía “normal”, el naranja decía “alerta” y el rojo decía “alarma”. La alarma roja significaba “evacuación de toda la población”. A la escala de una semejante aglomeración, una evacuación total no será un pequeño asunto. Nuestras reflexiones con respecto al desarrollo urbano de la Ciudad de México frente a los riesgos naturales están lejos de llegar a su fin.

¹² Esta palabra proviene de la física. La resiliencia caracteriza la resistencia a los choques de un material. En inglés ‘resilience’ significaba al principio rebote, un término bastante alegre.

18 Conclusiones

Empezamos este proyecto para contestar cuatro preguntas principales:

- ¿ Tuvo el sismo de 2017 mas o menos impacto en la ciudad de México que el del año 1985?
- ¿ Resistieron bien al terremoto de 2017 los edificios construidos a partir de 1985?
- ¿ Resistieron bien al terremoto de 2017 los edificios reforzados desde 1985, construidos a partir de 1985?
- ¿ Resistieron bien al terremoto de 2017 los edificios franceses en ciudad de México?

Para responder la primera pregunta se debe matizar lo siguiente: El sismo del 19 de septiembre de 2017 fue de una magnitud menor (Mw 7,1) que el del 19 de septiembre de 1985 (M 8,1), pero su epicentro fue mucho más cercano (120 km del centro de México en 2017 frente a 350 km en 1985) con un foco situado a una mayor profundidad (51 km en 2017 frente 33 km en 1985).

Por tanto, la respuesta es que sus efectos fueron diferentes. Las zonas más dañadas fueron diferentes en ambos casos. Los daños se centraron en: la zona conocida como “de transición” al borde del antiguo lago al oeste en 2017, y el centro del antiguo lago en 1985.

Pero unos inmuebles que resistieron en 1985 colapsaron totalmente en 2017.

Por ello, se puede concluir que el sismo de 2017 fue sin duda más localizado en sus efectos destructores que el de 1985, pero no por ello menos impactante para la ciudad de México.

Se debe hacer notar que rara vez dos sismos son idénticos y que la resistencia a un sismo anterior no garantiza nada en caso de un sismo posterior.

Respecto a la segunda pregunta sobre los edificios recientes, se tiene que señalar que, salvo 3 ó 4 excepciones, todos los edificios colapsados en 2017 habían sido construidos antes de 1985 (y no reforzados posteriormente). Por el contrario, se puede constatar que todos los edificios construidos después de 1985 se comportaron de manera satisfactoria.

Aunque después del sismo de 1985, los códigos y reglas de cálculo sísmico fueron modificadas en México (y en el resto del mundo), no está planificado modificar de modo importante la reglamentación después de 2017.

Seguramente se van a realizar mejoras, como tomar en cuenta la evolución en el tiempo por ejemplo, una afinación de las zonas pero los pilares del conocimiento están bastante estabilizados.

Este aprendizaje nos parece primordial para la comunidad del diseño antisísmico. De hecho, durante todo el siglo XX, los grandes sismos fueron siempre seguidos por modificaciones en las reglas y los códigos. A principio del siglo XXI, no está siendo el caso, y se puede reconocer que la reglamentación se considerada ya apropiada.

Sin embargo, resta la aplicación global de la misma.

En cuanto a la tercera pregunta, la misión no constató daños significativos en los inmuebles reforzados desde 1985. Este punto es muy importante para la comunidad del diseño antisísmico.

Obviamente, es posible de forma razonable reforzar o rigidizar los edificios existentes y así obtener un comportamiento antisísmico adecuado.

Por supuesto, hay diferentes maneras de maniobrar y no tenemos que reducir las técnicas de reforzamiento a ser la única solución. Los ejemplos de México pueden ofrecernos una buena gama de soluciones eficaces que han sido constatados en un caso real.

La cuarta y última pregunta se refiere al comportamiento de los edificios franceses en ciudad de México. En este caso el proyecto no constató ningún daño significativo en estos edificios.

Se debe reconocer el acierto de la política de gestión de los edificios de Francia en México desde 1985 y desear que tal política de buena gestión preventiva de riesgo sísmico sea aplicada también en el resto de las ciudades del mundo con a riesgo sísmico donde Francia está representada.

En el marco de este proyecto, se pudo contestar de una forma precisa las cuatro preguntas iniciales.

Pero también, se identificaron los siguientes puntos:

- la importancia de los diagnósticos post-sísmicos, un tema en el cual el AFPS está comprometido y que es importante desarrollar,
- el interés de controlar los sistemas de información geográfica, un tema nuevo en Francia pero que debería hacerse operacional,
- el conjunto de edificios históricos que necesita un enfoque especial y que debería ser estudiado por expertos en el tema.

Las conclusiones de este proyecto son bastante positivas. Los números hablan por sí mismos: más de 10 000 víctimas en 1985, y solo 300 en 2017, por un sismo diferente pero no necesariamente menos importante.

Por supuesto, un sismo es un drama con colapsos terribles, heridos, fallecidos como los medios de comunicación reportaron justamente.

Pero si se relativizan los números y se comparan las 10 000 víctimas de 1985 y las 300 en 2017, con una población impactada de millones de habitantes, se puede decir:

en 1985 los accidentes de tráfico en Francia causaban 10 000 víctimas, cuando actualmente el número alcanza las 4 000 víctimas y no 300,

en 2009, con una magnitud de Mw 6,2, el sismo de Aquila resultó también en 300 víctimas pero desgraciadamente en una población aproximada de 70 000 habitantes,

en 2016, con una magnitud de Mw 6,0, el sismo de Amatrice dejó también 300 víctimas, pero desgraciadamente en una población aproximada de 3 000 habitantes.

Controlar el riesgo sísmico en la escala de una gran aglomeración es pues un objetivo posible, dentro de una escala de tiempo bastante breve (¡30 años!).

Este control del riesgo no es contrapuesto ni a la calidad arquitectónica ni tampoco al desarrollo urbanístico de la ciudad. El ejemplo de ciudad de México demuestra lo contrario: las restricciones antisísmicas hicieron la arquitectura más creativa y el urbanismo de la ciudad se realizó con una estructuración más controlada.

El último punto que queríamos recalcar en la conclusión es el interés de las misiones post-sísmicas en el terreno.

En 1985, lo aprendido en el proyecto AFPS fue muy importante para toda la comunidad de diseño antisísmico.

En 2017, pudimos constatar en el terreno los beneficios positivos de las acciones iniciadas hace más de treinta años. Pero si hubiéramos mirado desde lejos con solo la información accesible en la web o en otros medios de comunicación, hubiéramos tenido sin duda una visión distorsionada y hubiéramos perdido muchos detalles pertinentes.

Para terminar, deseamos que en los próximos treinta años, este informe pueda ser otra vez el punto de partida de a un nuevo misión en la ciudad de México...

19 Agradecimientos

El proyecto agradece primero a los miembros de la misión AFPS 1985 que nos acompañaron en la preparación: Víctor Davidovici, Alain Pecker y Pierre Sollogoub.

Agradecemos también al Consejo y a los miembros del AFPS, los cuales decidieron, prepararon, organizaron, siguieron y promovieron la misión desde Francia, y particularmente : Céline Dujarric, responsable de las misiones post-sísmicas y Emmanuel Viallet, Presidente de la Asociación.

Agradecemos por supuesto al Ministerio de la Transición Ecológica y Solidaria que apoyó el proyecto y especialmente a Doña Mendy Bengoubou-Valerius, encargada de proyectos de riesgos sísmicos y volcánicos, y a Don Vincent Courtray de la Dirección general de Prevención de Riesgos, quienes facilitaron nuestros tramites.

Agradecemos también a los servicios de la Embajada de Francia y del Consulado general francés en Ciudad de México :

- Doña Anne Grillo, Embajadora de Francia, y Don François Vandeville, Primer Consejero, quienes movilizaron todos sus servicios para apoyar el proyecto,
- Don Aymeric Blanc, Director adjunto de la Agencia Francesa de Desarrollo,
- Don Jean-Claude Caravaca, Vice Encargado Regional de Seguridad Interior,

- Don Frédéric Charroin, Jefe del Servicio Común de Gestión,
- Don Fabien Ines, Encargado Regional de Seguridad Interior,
- Doña Annie Marchegay, Encargada de Cooperación Científica y Tecnológica,
- Doña Marie Hélène Papi, Vice Cónsul, Jefa de Cancillería,
- Don Jean-Joinville Vacher, Consejero de Cooperación Científica y Universitaria,
- Don Rémi Vacher, Secretario General del IFAL.

Agradecemos a todos los miembros de la UNAM que nos recibieron cordialmente:

- Don Gabriel Auvinet Guichard,
- Don Gustavo Ayala Millán,
- Doña Silvia García,
- Don Roberto Meli,
- Don Mario Ordaz Schroeder,
- Don Efraín Ovando-Shelley.

Agradecemos a los arquitectos responsables del INAH por el tiempo que nos dedicaron :

- Don Arturo Balandrano Campos, Coordinador Nacional de Monumentos Históricos,
- Don Manuel Villaruel, Arquitecto.

En Puebla, agradecemos por las discusiones y la hospitalidad a:

- Don Ruben Darío Herrera Cabrera, Director General de Protección Civil,
- Don Enrique Calderón Lozada, Director Operativo de Protección Civil,
- Don Sergio A. de la Luz Vergara Berdejo, Gerente del Centro Histórico y Patrimonio Cultural, Secretario Técnico de Ciudades Patrimonio,
- Don Víctor Jiménez, Director de la Distribución de gas de Puebla, ENGIE México,
- Don Ricardo Vargas, Gas de Morelos.

En México, agradecemos por su colaboración a :

- Doña María Bustamante Harfush, Arquitecta, Directora de la Casa del Arquitecto,
- Don Raúl Hernández, Arquitecto,
- Don Carlos Carames y Don Javier Ibañez, Ingenieros de Dynamis Associates,
- Don Sylvain Estibal, Director de la oficina de la AFP en México.

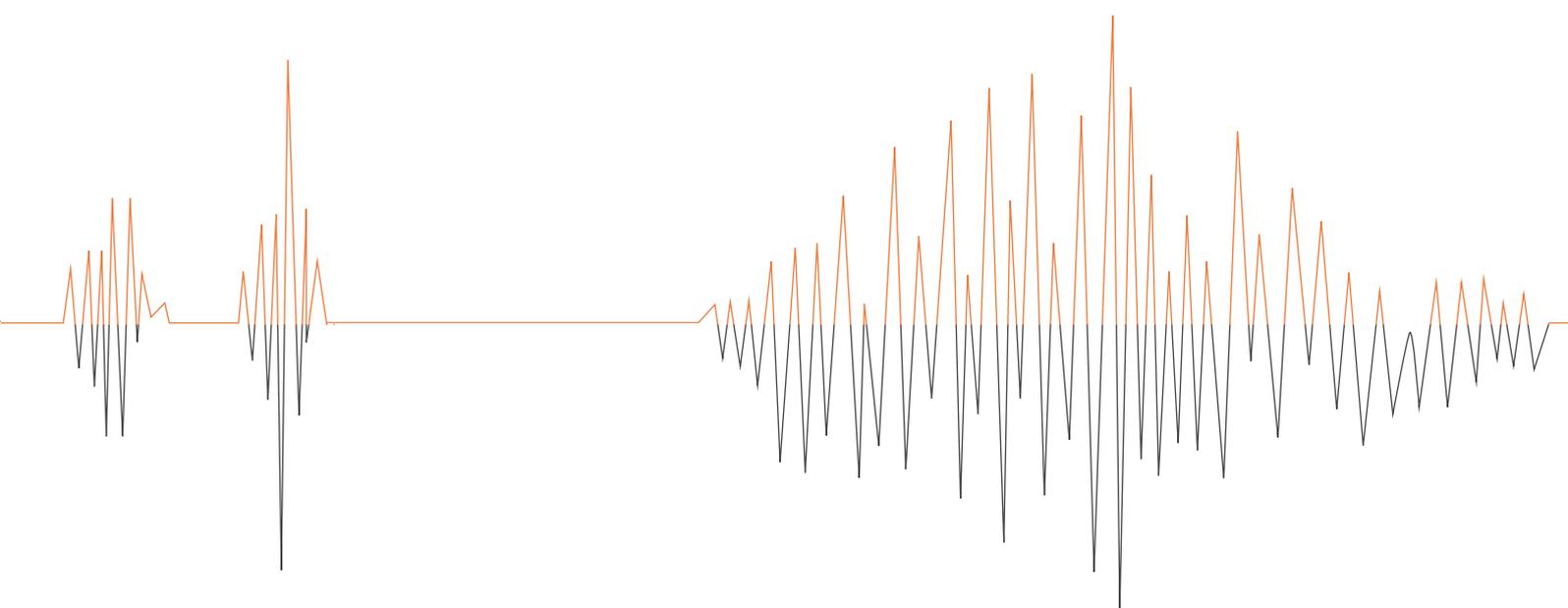
Agradecemos por su apoyo a:

- Don Antoine Olivier, Don Ernesto Parras, Don Alberto Robles, Don Fernando Tovar, de ENGIE México,
- Doña Grissel Montero y Don Edgar Herrera, Don Edgar de Leon Cervantes, Don Emanuel Silva, de CENAGAS,
- Doña Ileana Maya y Don Agustín Becerril, Don Jordi Valls, de Suez México.

Agradecemos a Don Noé Paz Cruz y Don Marco Paz Cruz por su valioso apoyo logístico durante la preparación y la realización del proyecto.

Agradecemos a las empresas y los organismos que participaron en la financiación del proyecto: BE Taylor, CEA, EDF, Géodynamique et Structure, GRTgaz, IFSTTAR et Ménard.

Igualmente, tenemos que agradecer a todos nuestros contactos que dedicaron su tiempo para contestar a nuestras preguntas.





Publicado por L'AFPS

Association Française du Génie Parasismique
French Association for Earthquake Engineering
Asociación francesa de Ingeniería sísmica

Tel : +33 (0) 1 85 34 33 19

E-Mail : afps@enpc.fr

Sitio Internet : www.afps-seisme.org

Sede social y secretaría :

42 rue Boissière, F-75016, Paris

Copyright :

© AFPS, Association Française du Génie Parasismique
La reproduction de cette publication à des fins commerciales,
Notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation
Ecrite préalable du détenteur des droits d'auteur.

Responsable de publicación :

Marc GIVRY

Autores :

Stéphane BRULE – Cédric DESPREZ – Charles FERNANDEZ
Marc GIVRY – Kévin MANCHUEL – Gustavo MENDOZA
Benjamin RICHARD – Carlos TAYLOR

Versión española :

Carlos CARAMES – Charles FERNÁNDEZ – Diana GARCIA-ALONSO
Veronica GONZALEZ VAÑEK – Javier IBAÑEZ
Gustavo MENDOZA – Carlos TAYLOR

Fotos :

AFPS

Concepción gráfica :

Valérie SCOTTO DI CESARE - www.vsdcom.fr



Marzo 2018