Sociedad Colombiana de Geotecnia

INFORME DE VISITA

Sismo de México 19 de Septiembre de 2017

Elaborado por:
Ingeniero Jaime Suárez Díaz

Octubre 31 de 2017

1. INTRODUCCIÓN

Se realizó visita a México con el objeto de analizar los elementos más importantes de ingeniería y geotecnia relacionados con el sismo ocurrido el 19 de Septiembre de 2017, el cual afecto en forma significativa las construcciones en la Ciudad de México.

La visita se realizó en forma conjunta con una comisión de GEER (Geotechnical Extreme Events Reconnaissance).
En representación de la Sociedad Colombiana de Geotecnia participaron los Ingenieros Edgar Rodríguez Granados y Jaime Suárez Díaz.

La visita se efectuó entre el 01 y 07 de Octubre de 2017.
La investigación incluyó recorridos e inspecciones por diversas áreas de la Ciudad de México y reuniones con la participación de ingenieros de la UNAM y especialmente con la colaboración de los profesores Gabriel Auvinet, Gabriel Moreno Pecero y Oswaldo Flores entre otros. Igualmente se visitó la Comisión Federal de Electricidad.

Se realizaron reuniones de trabajo con la Comisión de GEER y otras entidades.

Como resultado de la visita se elaboró el presente documento.

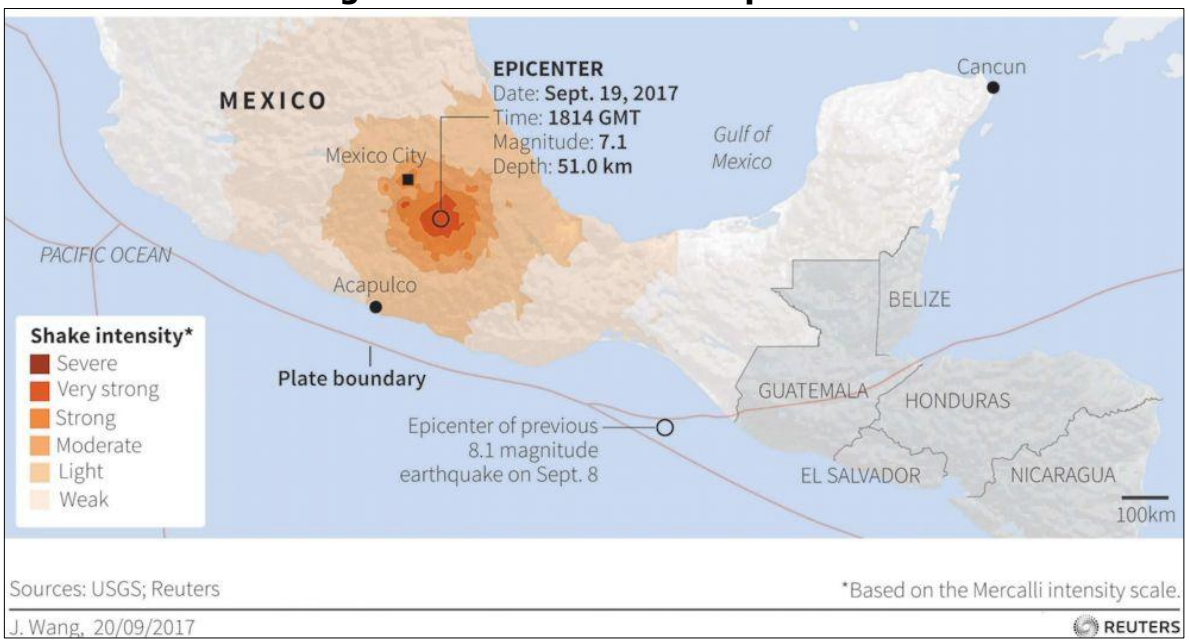
2. CARACTERISTICAS DEL SISMO

En Septiembre de 2017 ocurrieron 2 (dos) sismos de importancia significativa en México:

Un sismo en la zona de subducción de la placa de cocos, el 7 de Septiembre con magnitud Mw 8.1. y un segundo sismo intra-placa el 19 de Septiembre con Mw 7.1.
Características del segundo sismo mencionado:
- ☐ Sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 a 12 km al sur-este de Axichiapan, Morelos.
- ☐ Sismo ocurrido entre los estados de Puebla y Morelos
- ☐ Magnitud M7.1 ocurrió a las 13:14:40horas (hora local)
- ☐ Ubicación del epicentro:
- ☐ Latitud 18.40N
- ☐ Longitud -98.72W
- ☐ Profundidad 57km
- ☐ Distancia epicentral de~120 km de la Ciudad de México
- ☐ Distancia más cercana de Ciudad de México al área de rupture de ~ 105km.

Localización del epicentro
El epicentro del sismo del 19 de Septiembre de 2017 se localizó en el sector de Puebla – Morelos en el centro de la República Mexicana.

Figura 1. Localización del epicentro

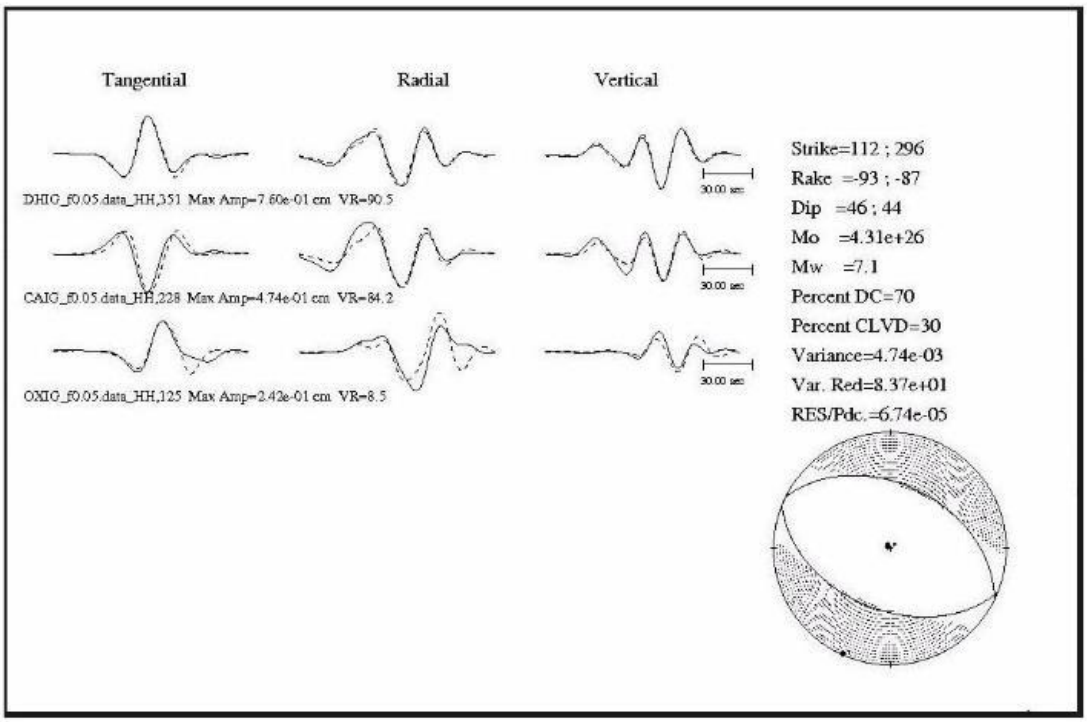


Fuente: USGS Reuters

Mecanismo Focal

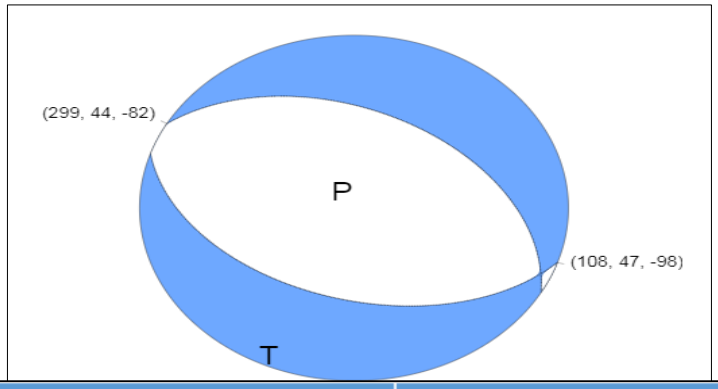
Sismo de falla normal de profundidad intermedia (rumbo 112, echado 46, desplazamiento 93)

Figura 2. Mecanismo focal del sismo del 19 de Septiembre de 2017



Fuente: Miguel A. Jaimes – Instituto de Ingenieria UNAM

Figura 3. Detalle de mecanismo Focal

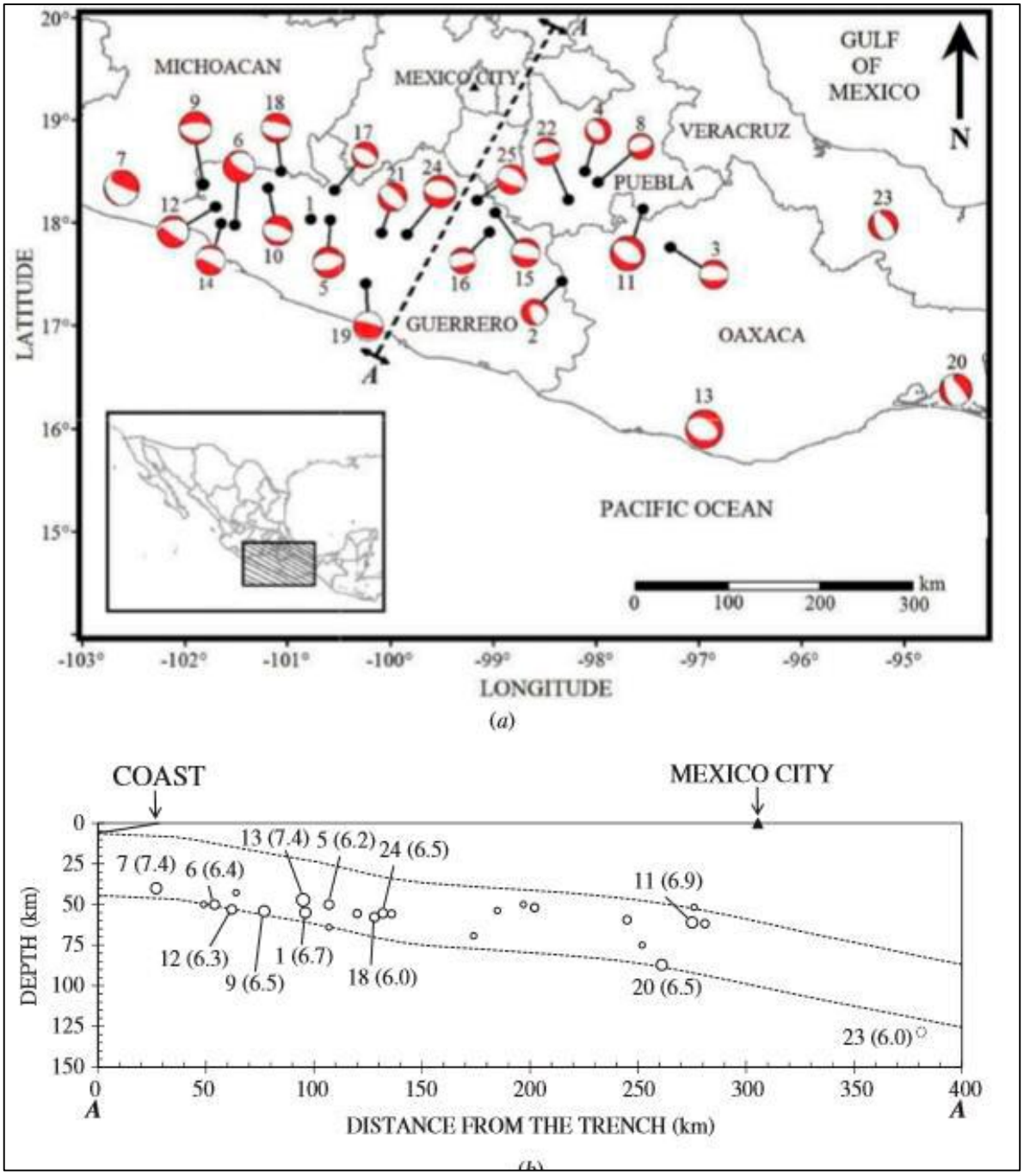


Moment	**6.381e+19 N-m**
Magnitude	7.1 Mww
Depth	50.5 km
Percent DC	100 %
Half Duration	9.94 s
Catalog	US
Data Source	US[1]
Contributor	US[1]

Plane	**Strike**	**Dip**	**Rake**
NP1	108°	47°	-98°
NP2	299°	44°	-82°
Axis	**Value**	**Plunge**	**Azimuth**
T	6.380e+19 N-m	1°	204°
N	0.002e+19 N-m	5°	114°
P	-6.382e+19 N-m	84°	307°

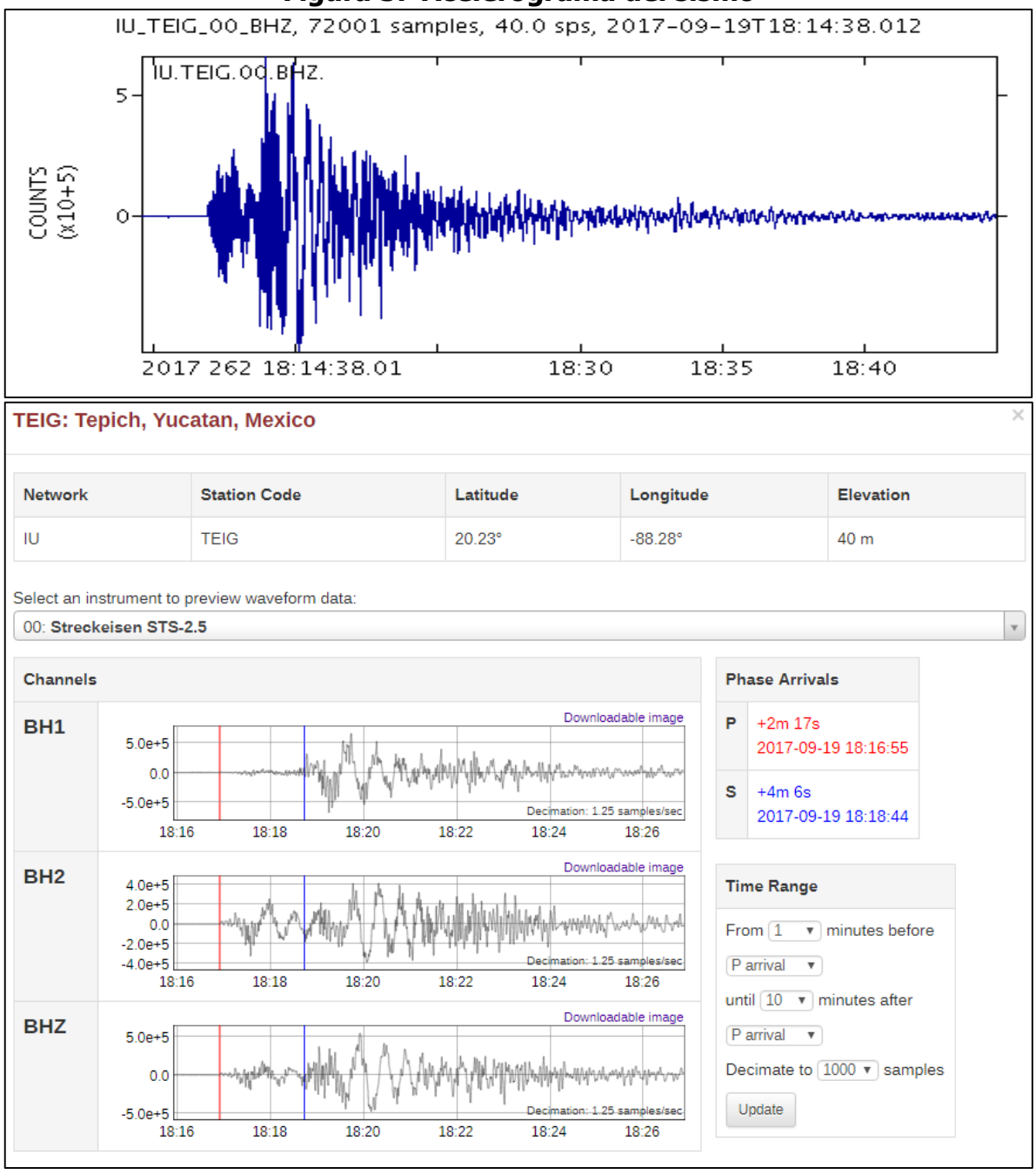
Fuente: Instituto de Ingenieria UNAM

Figura 4. Mapa de México mostrando epicentros y mecanismos de falla normal de profundidad intermedia y la proyección de los eventos de falla normal en un plano vertical



Fuente: Jaimes y otros (2015)

Figura 5. Acelerograma del sismo



Fuente: IRIS

Figura 6. Sección de la distribución de los desplazamientos en el área de ruptura

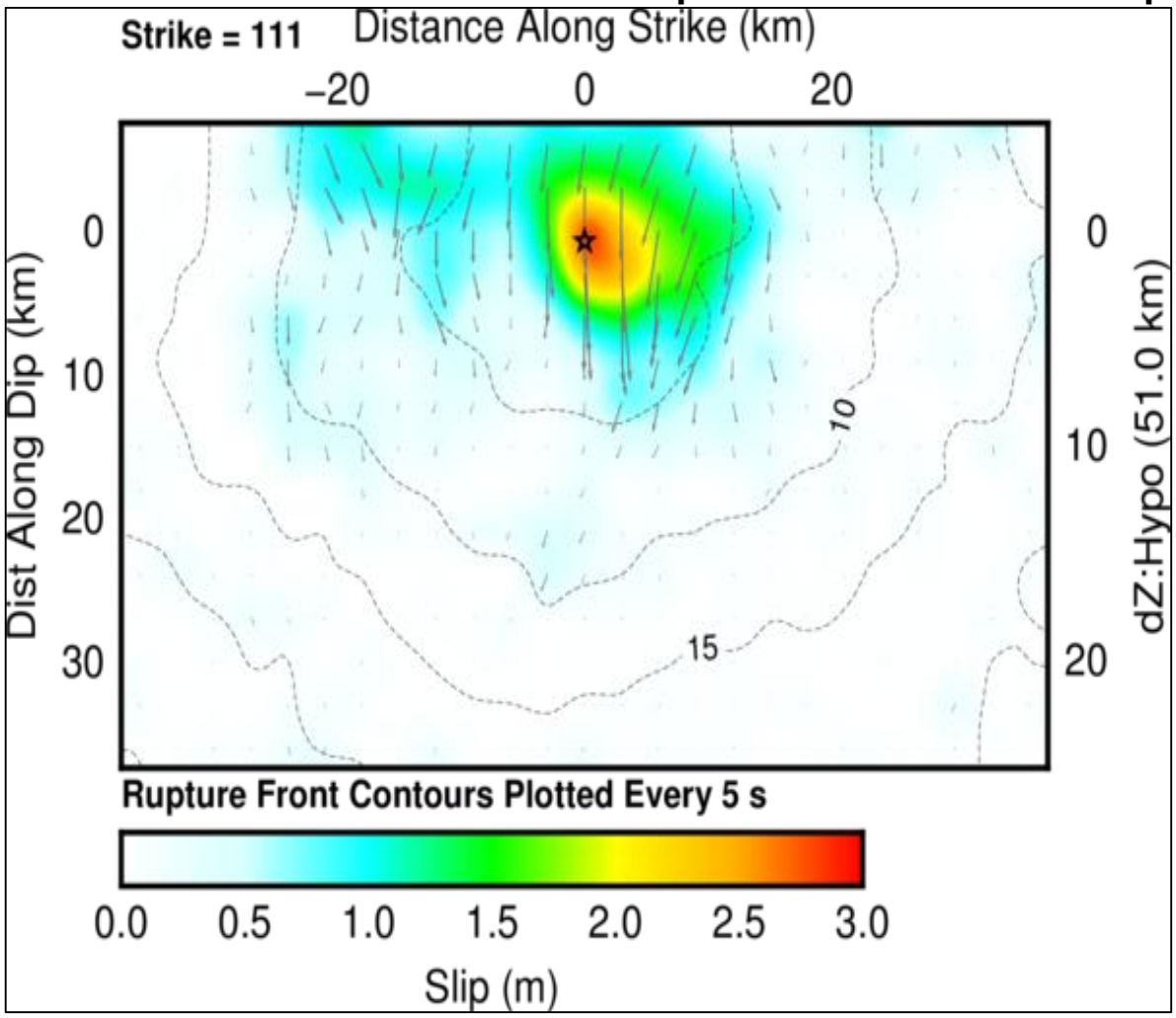
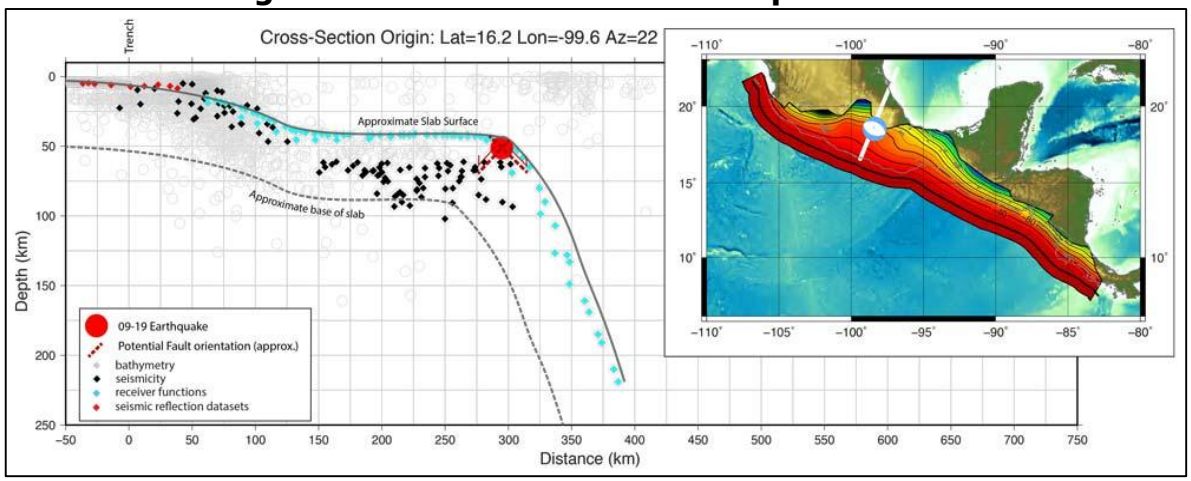
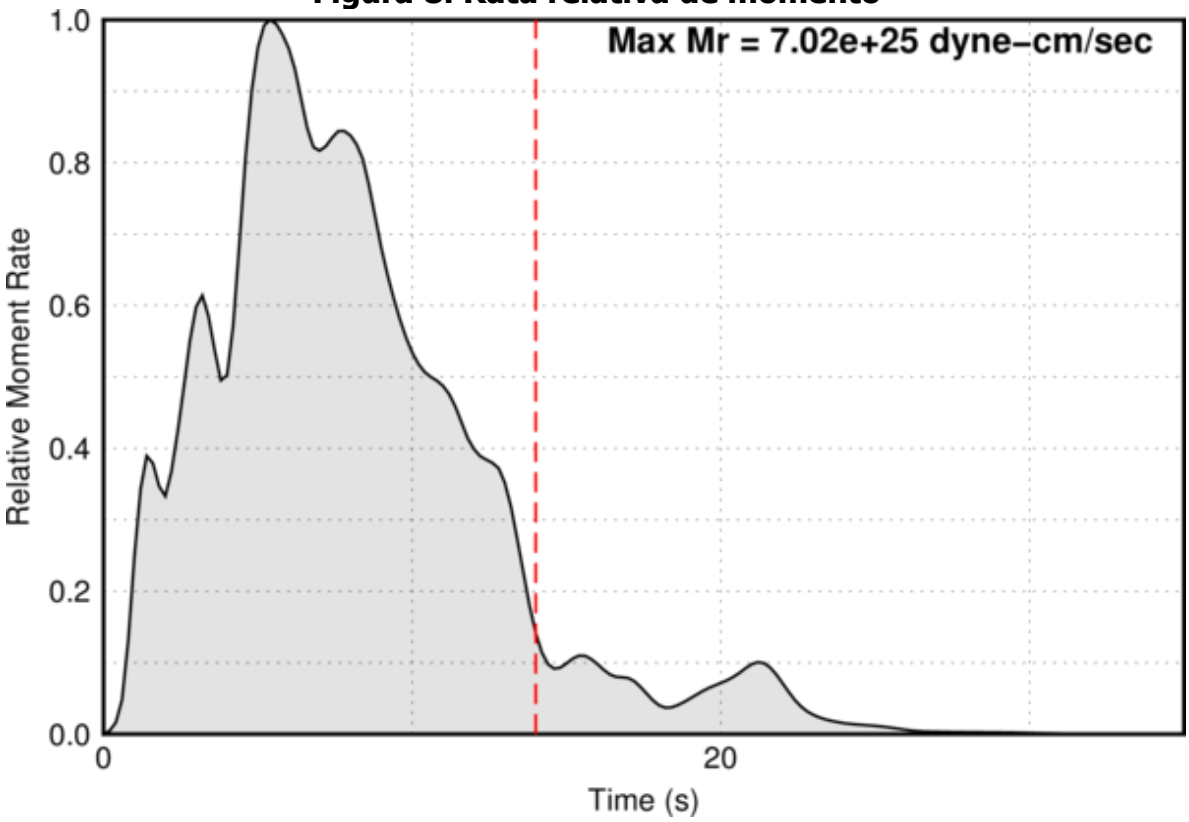


Figura 7. Localización del sismo a profundidad



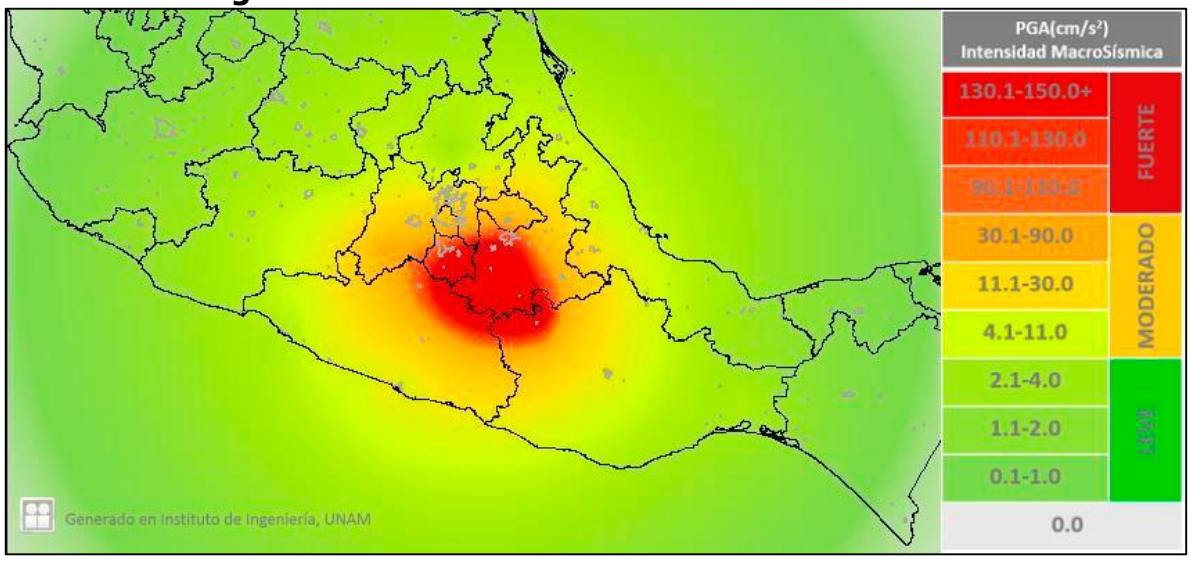
Fuente: USGS

Figura 8. Rata relativa de momento



Fuente: USGS

Figura 9. Estimación de las intensidades sísmicas



Fuente: Instituto de Ingeniería UNAM

3. EL SUBSUELO DE CIUDAD DE MÉXICO

Lago de Texcoco

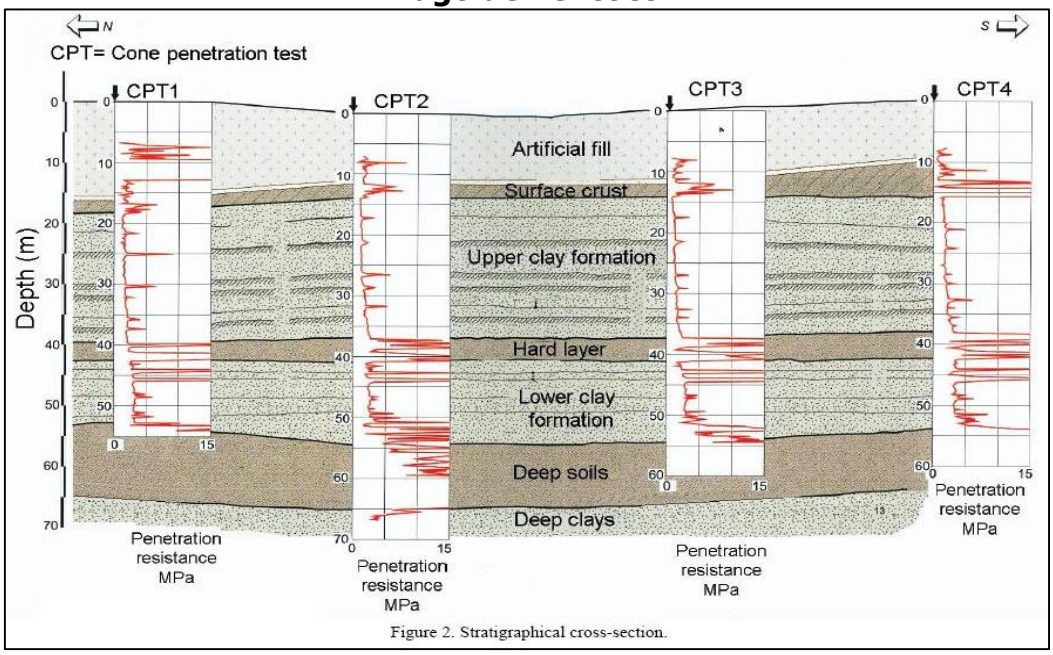
La Ciudad de México se encuentra sobre los depósitos de un antiguo lago en una cuenca cerrada de 110 Kilómetros de largo en el sentido Norte – Sur y 50 Kilómetros de ancho en el sentido Este – Oeste y tiene una altitud de 2.236 msnm.
El espesor de manto de depósito es de 30 a 100 metros y el basamento es de rocas volcánicas y basaltos.

El origen de la planicie lacustre, sobre la que está construida la mayor parte de la Ciudad de México, se explica a partir del paulatino azolvamiento del vaso de la cuenca recién formada, al cerrarse por el sur el antiguo valle, debido a la aparición de la sierra de Chichinautzin.
El azolvamiento de productos volcánicos y acarreo fluvial en todo este territorio, al alcanzar una superficie y altura considerables, propició nuevas condiciones que favorecieron la existencia de grandes lagos al interior de la Cuenca de México.

El fondo de la cuenca se azolvó intercalando distintos tipos de materiales, entre los que destacan los proluviales (limos y arenas), los lacustres (arcillas y limos), así como arenas y cenizas volcánicas, que al intemperizarse generan arcillas altamente compresibles (Auvinet y otros 2.017).

El perfil estratigráfico típico en la zona del Lago de Texcoco incluye un manto superficial de rellenos y suelos desecados, un manto intermedio de arena dura y un manto inferior de arcilla.

Figura 10. Perfil típico del suelo de Ciudad de México en el sector del antiguo Lago de Texcoco



Fuente: UNAM

Tabla 1. Propiedades típicas de los mantos de suelo de Ciudad de México en el sector del Lago de Texcoco

Propiedades	Manto superficial	Formación arcillosa superior	Capa dura	Formación arcillosa inferior
Contenido de agua w_l en %	91.7	281.2	64.0	191.8
Limite liquido w_L en %	100.6	259.1	69.5	212.9
Limite plástico w_p en %	52.5	85.3	43.5	68.8
Densidad de solidos s_s	2.509	2.419	2.479	2.409
Relación de vacíos e_l	2.59	6.90	1.76	4.74
Resistencia a la compresión en q_u kg/cm²	0.89	0.73	1.34	1.56
Módulo de deformación m en kg/cm²	58.4	30.7	65.9	67.7

Fuente: Hiriart y Marsal (1969)

Zona de transición

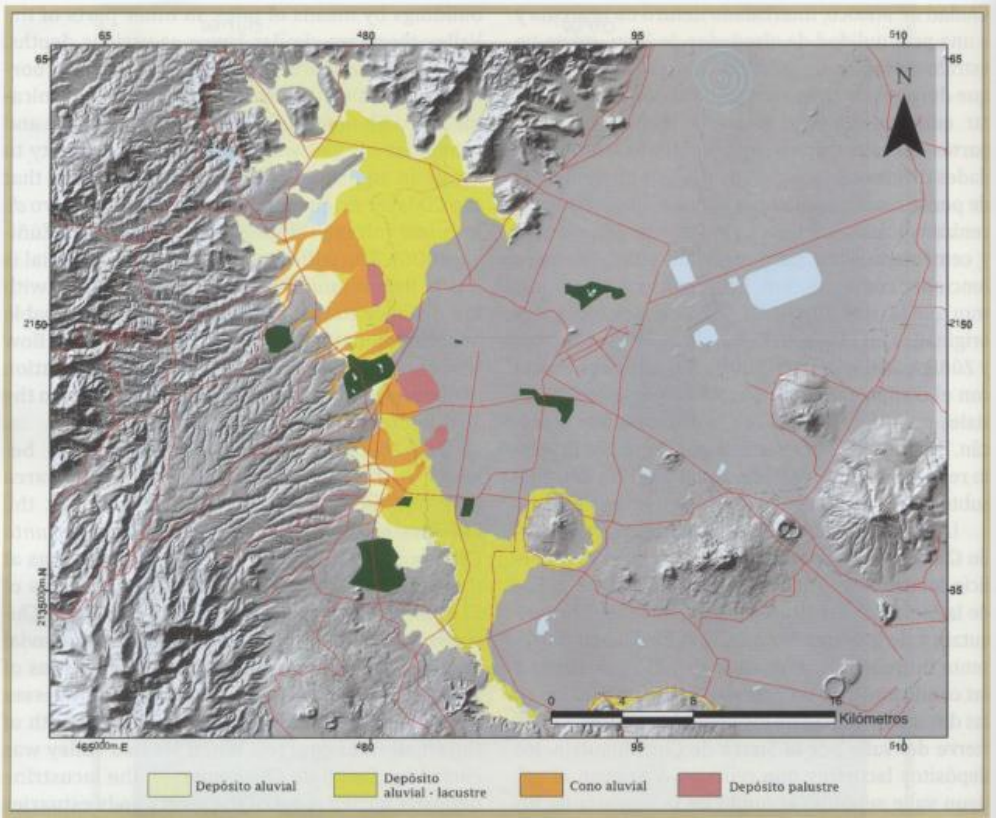
Al occidente del Lago de Texcoco bordeando el área del antiguo lago se encuentra una zona de transición entre el lago y los suelos residuales duros. Esta zona de transición se encuentra principalmente en el pide la Sierra de los Cruces, de la Sierra de Chichinautzin y de la Sierra Nevada.

Esta formación representa un relieve acumulativo aluvial equivalente a las condiciones de un proceso fluvial originadas en las desembocaduras de los pequeños cauces.

Con el cierre del valle por la Sierra de Chichinautzin, los depósitos lacustres que rellenan o azolvan el antiguo valle sepultan el fondo de la mayoría de los cauces en sus desmbocaduras y por consiguiente los abanicos aluviales.

Dichos depósitos se caracterizan en perfil, por la alternancia de capas correspondientes a fases de acumulación de piroclastos, residuos rocosos, material arenoso y limos en ocasiones interestratificadas con lavas (Auvinet y Otros 2017).

Figura 11. Depósitos aluviales en la zona de transición en el occidente de Ciudad de México



Fuente: Auvinet y otros (2017)

Microzonificación sísmica de Ciudad de México

La microzonificación sísmica divide la Ciudad de México en 3 zonas:

- Zona I. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos
- Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, u que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros.
- La Zona II, se caracteriza en presentar condiciones estratigráficas del subsuelo que varían en forma extraordinaria de un punto a otro del área urbanizada.
- Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo y arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros.

  Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

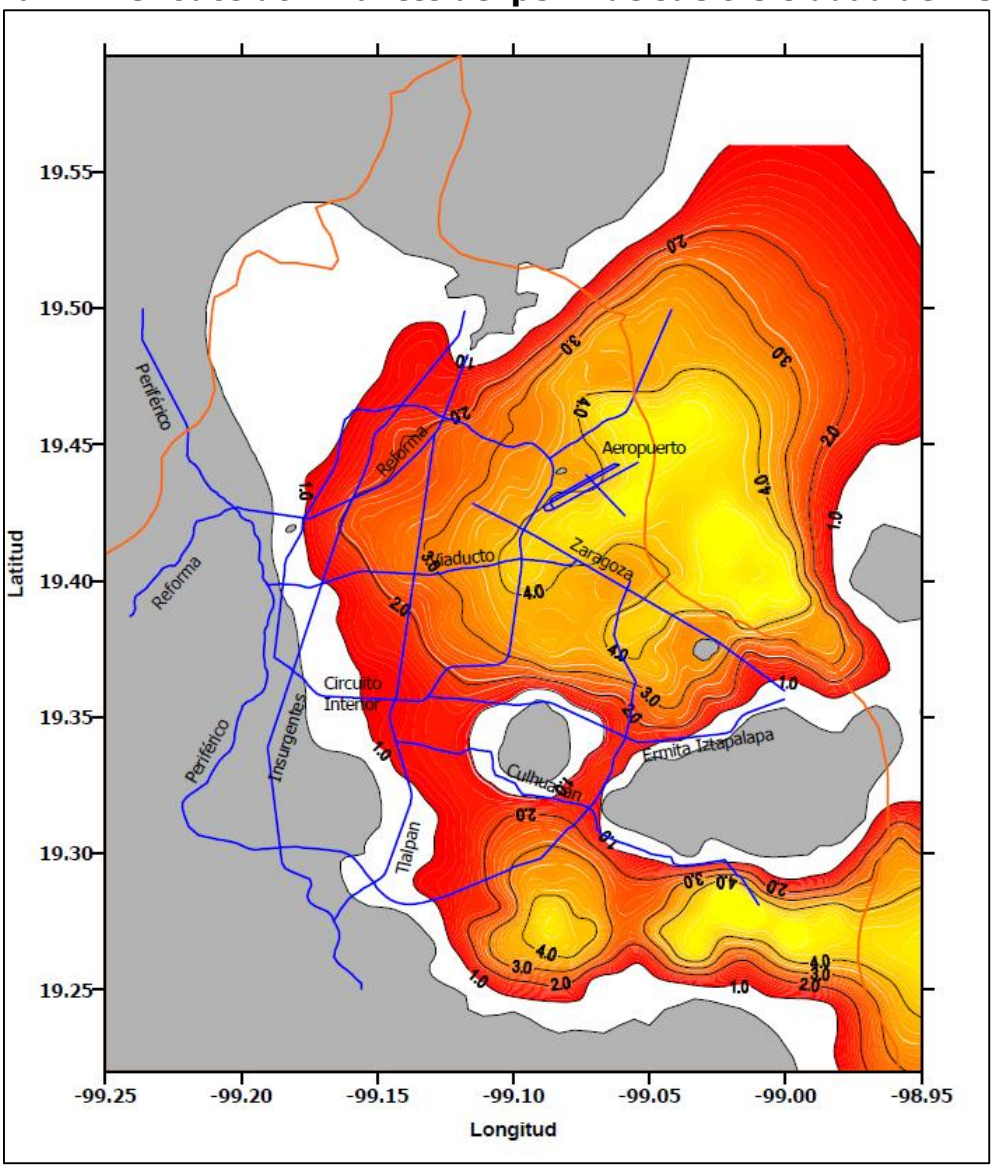
Periodos dominantes

Los periodos sísmicos dominantes están relacionados con el espesor y características de los depósitos de suelo.

En la zona del lago los periodos dominantes alcanzan valores entre 3 y 6 segundos.

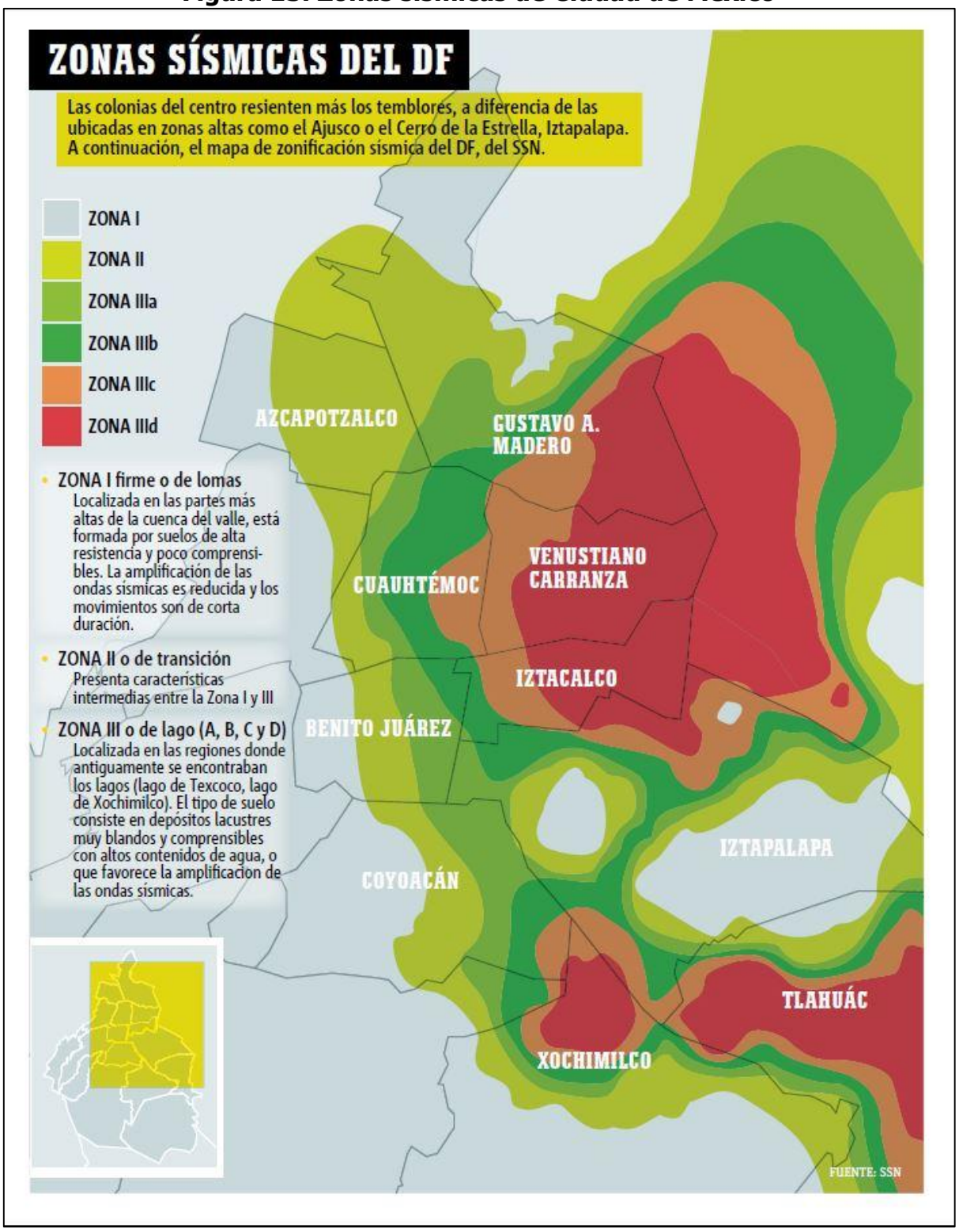
En la zona de transición los periodos dominantes se encuentran alrededor de un segundo y estos disminuyen a medida que se acerca a la zona de suelos residuales duros.

Figura 12. Periodos dominantes del perfil de suelo e Ciudad de México



Fuente: Instituto de ingeniería UNAM

Figura 13. Zonas sísmicas de Ciudad de México

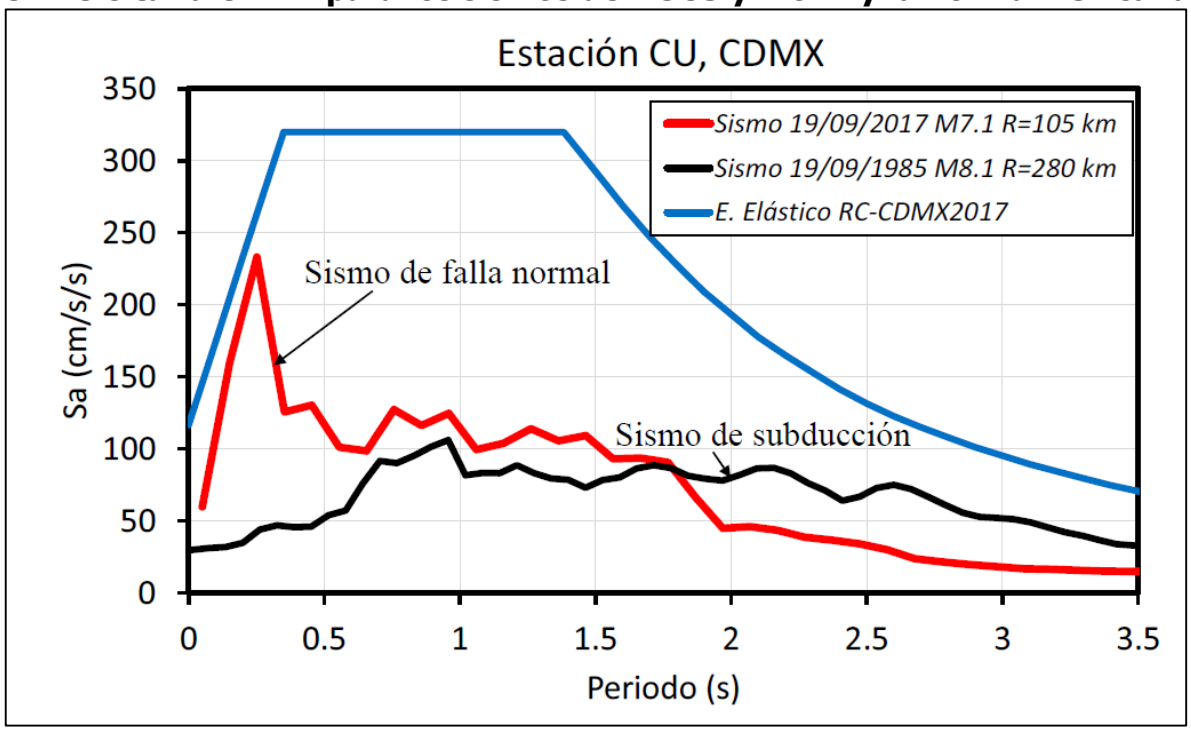


4. RESPUESTA DEL SUBSUELO AL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2017

Tomando como referencia el sismo de 1.985 que tuvo como origen la zona de subducción y el sismo de 2.017 que se generó intra-placa, el Instituto de Ingenieria de la UNAM obtuvo las siguientes conclusiones:

- La aceleración máxima del suelo, PGA, en terreno firme del sismo de falla normal de profundidad intermediad el 19/09/2017 (M7.1,R~105km) es casi 2 veces el sismo de subducción del 19/09/1985 (M8.1,R~280km)
- La seudoaceleración espectralen T=1s, SA(T=1s), en terreno firme del sismo de falla normal de profundidad intermediad el 19/09/2017 (M7.1,R~105km) es casi 1.1 veces el sismo de subducción del 19/09/1985 (M8.1,R~280km)
- En valores de intensidad mayors a periodos estructurales de T=1.8s, en terreno firme, del sismo de falla normal de profundidad intermedia del 19/09/2017 (M7.1,R~105km) son menores que las observadas en el sismo de subducción del 19/09/1985 (M8.1,R~280km) (Jaimes 2.017).

Figura 14. Comparación de la intensidad sísmica en terreno firme de la Ciudad Universitaria UNAM para los sismos de 1.985 y 2.017 y la norma Mexicana



Fuente: Jaimes Instituto de Ingeniería UNAM (2017)

Figura 15. Espectro de respuesta en la zona del lago comparativamente con la norma Mexicana.

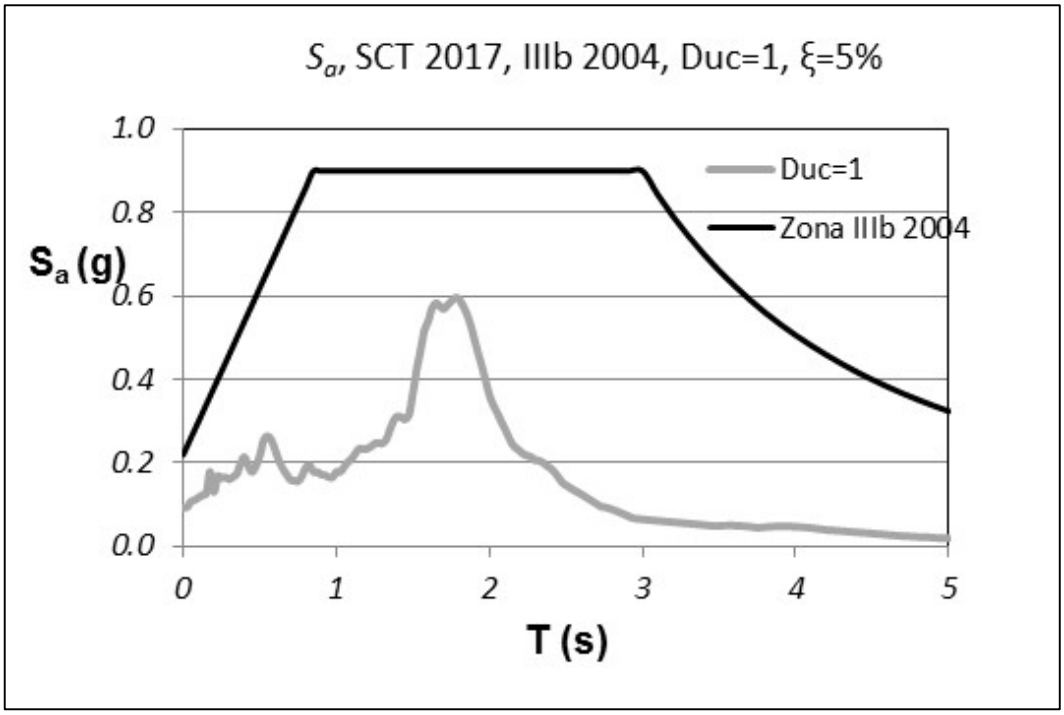
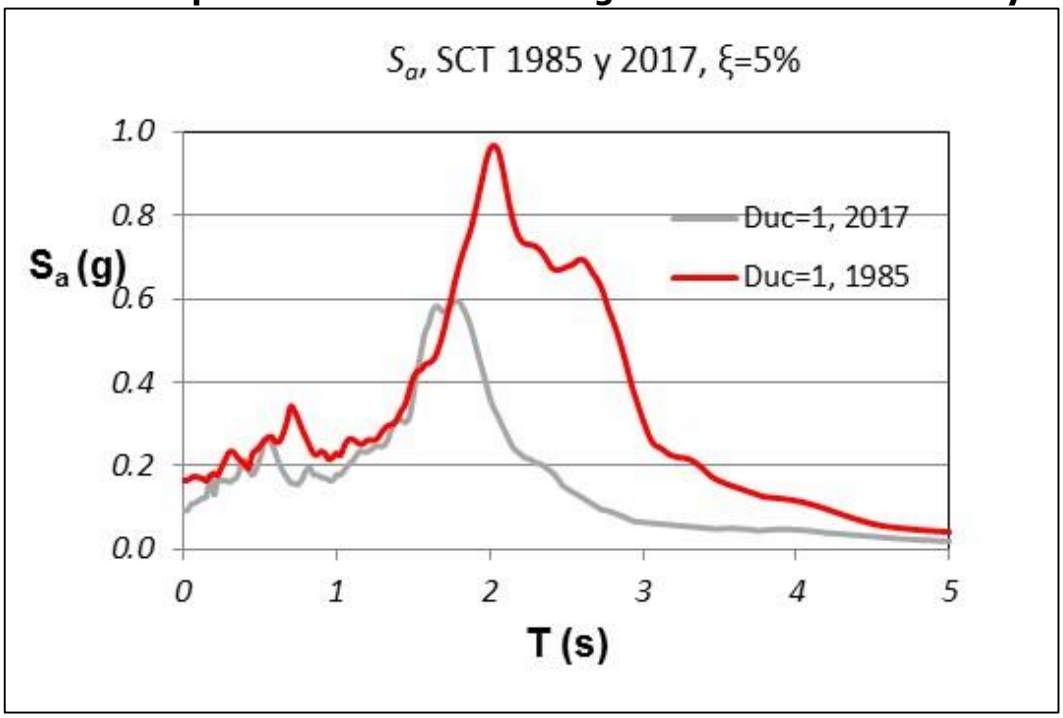


Figura 16. Comparativo de la zona del lago de los sismos de 1985 y 2017

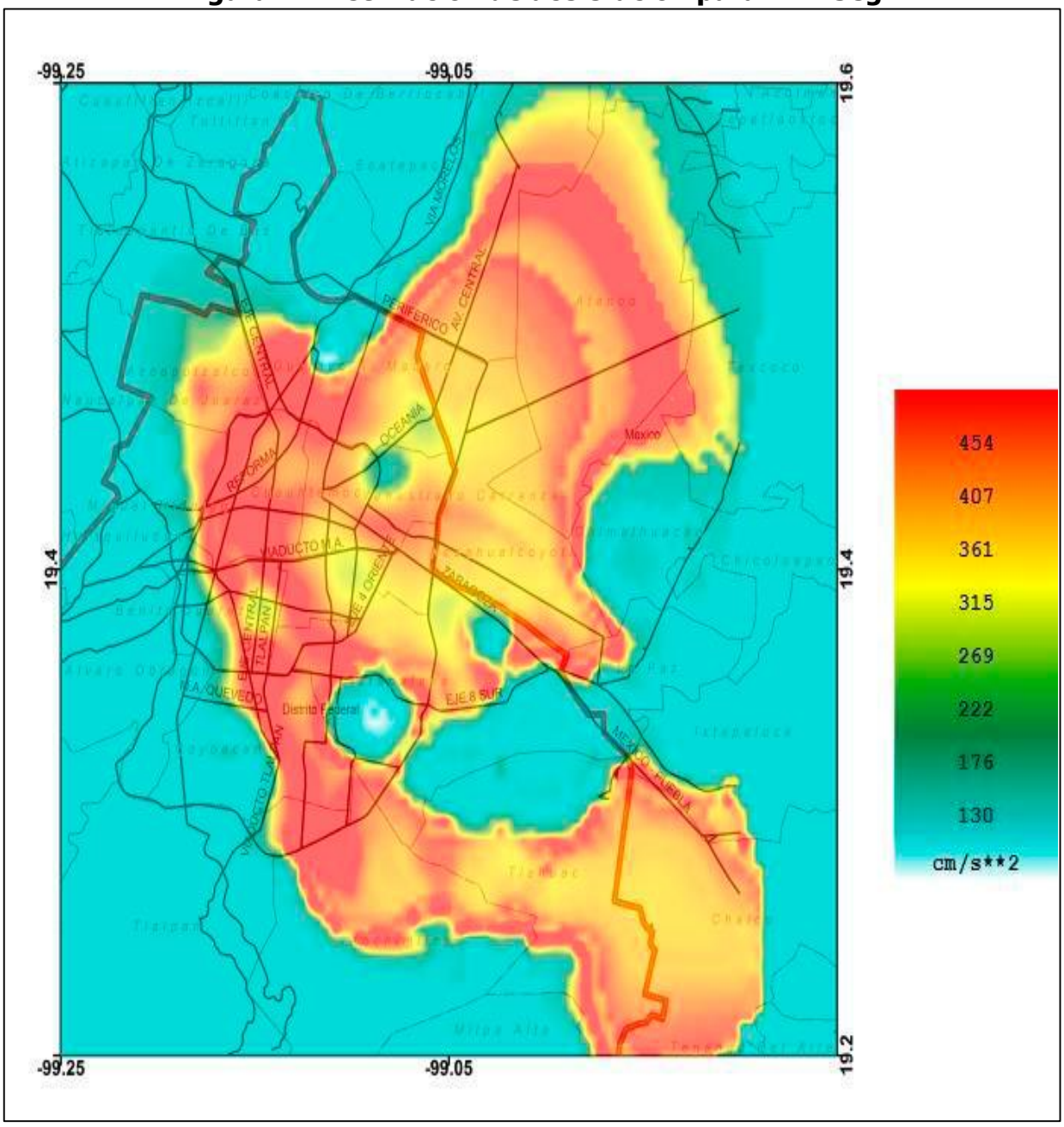


Fuente: Jaimes Instituto de Ingeniería UNAM (2017)

Aceleraciones para diferentes periodos de vibración

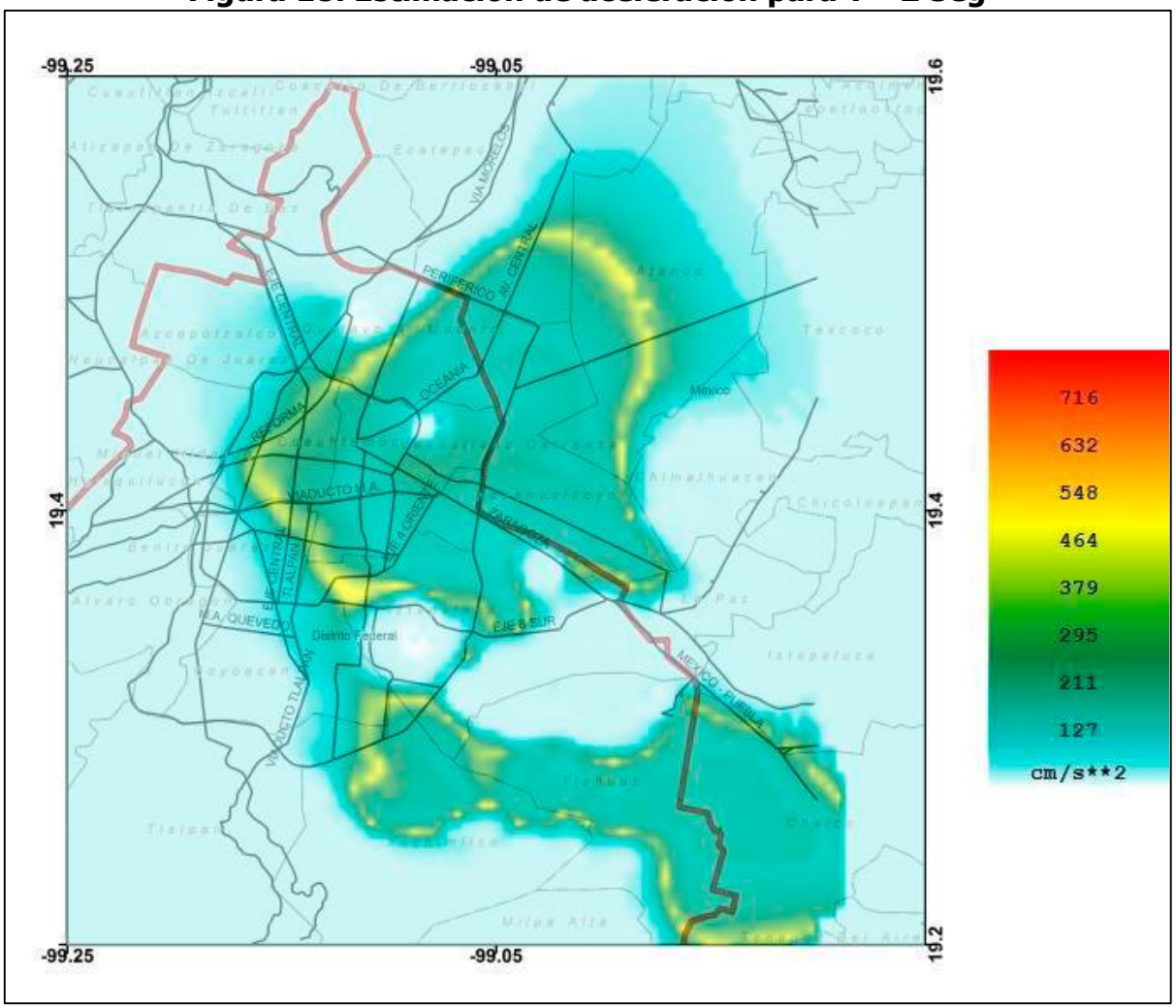
A continuación se presenta las estimaciones de aceleración para diferentes periodos de acuerdo a los estudios preliminares realizados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Figura 17. Estimación de aceleración para T=1 Seg



Fuente: Instituto de Ingeniería UNAM

Figura 18. Estimación de aceleración para T= 2 Seg



Fuente: Instituto de Ingeniería UNAM

Espectro Respuesta

A continuación se presenta algunos espectros respuesta típicos en las estaciones en las diversas zonas de Ciudad de México:

Figura 19. Espectros respuesta en la zona de suelo firme

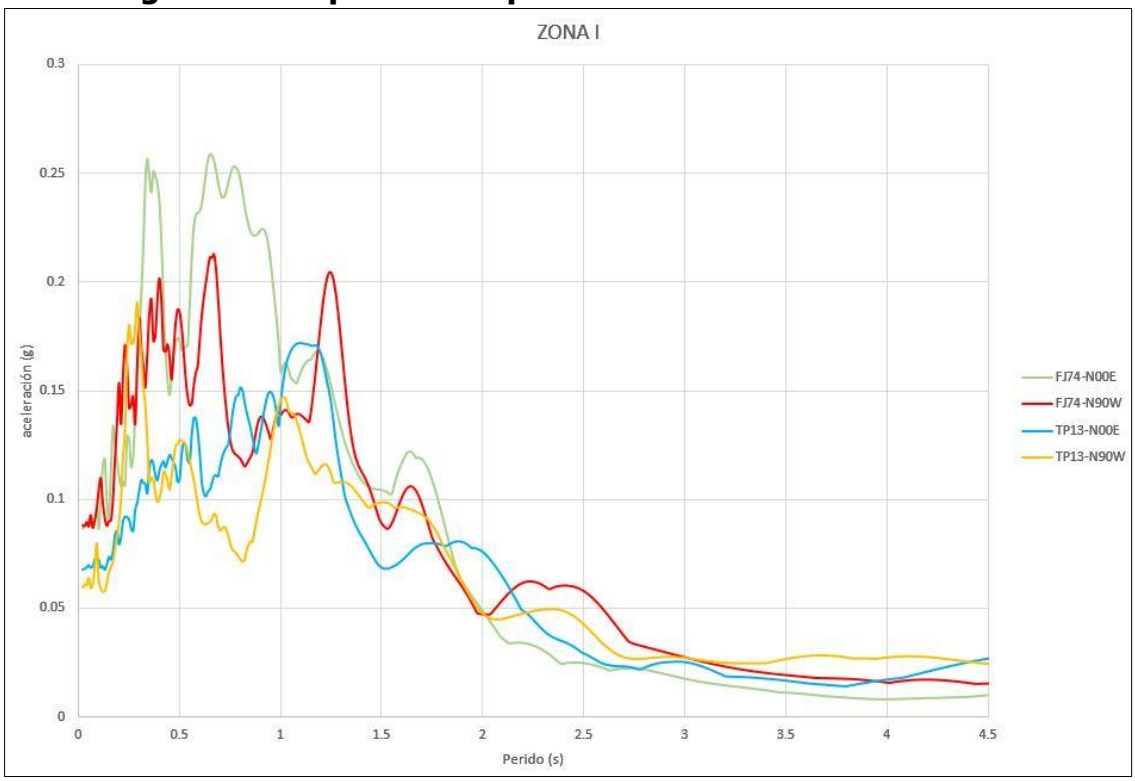
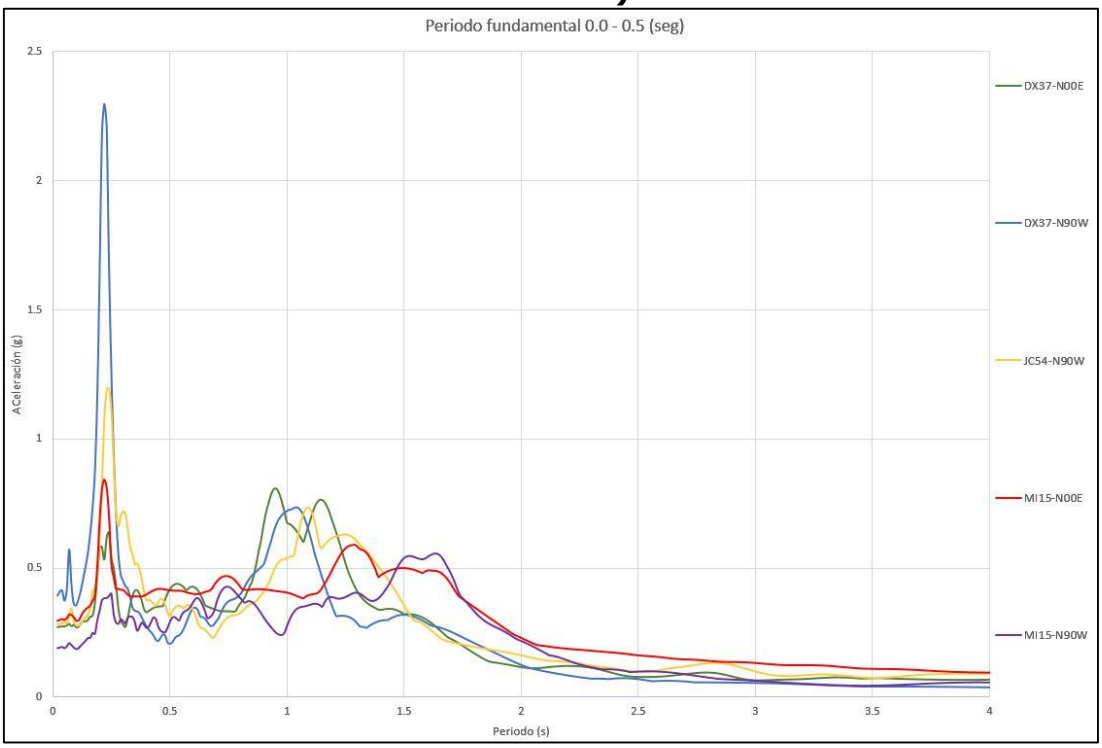


Figura 20. Espectros respuesta en la zona de suelos de algo duros (sur-occidente de CDMX)



Fuente: Elaborado con base en información de CERES.

Figura 21. Espectros respuesta en la zona de suelos algo blandos (nor-occidente de CDMX)

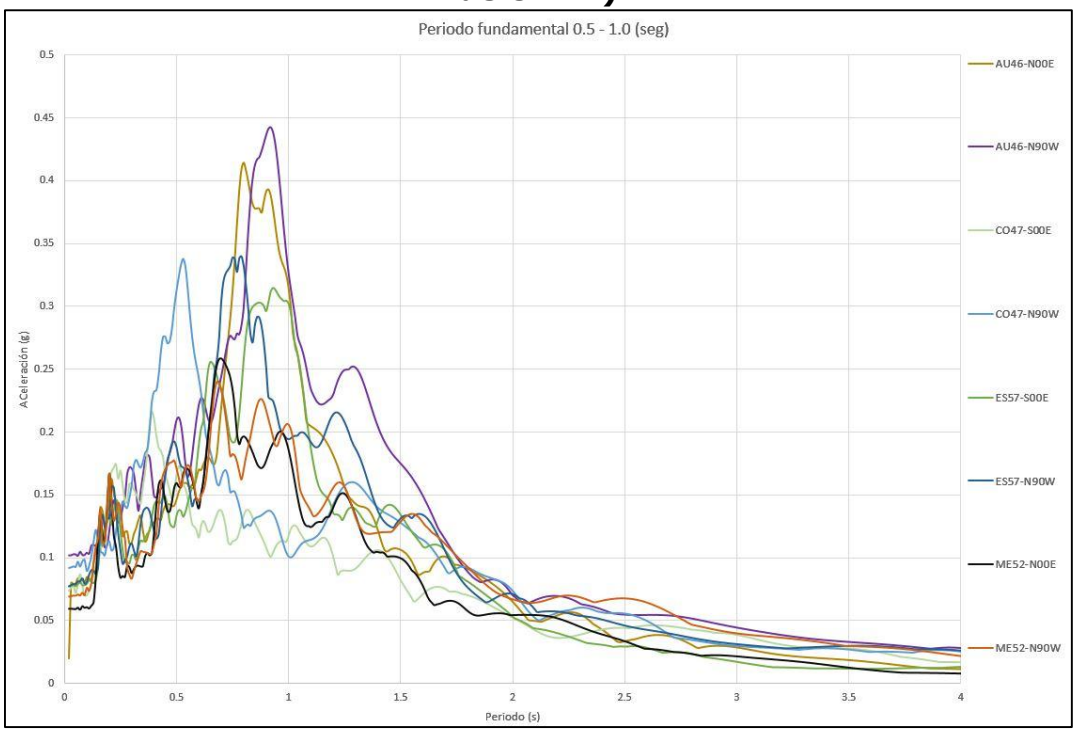
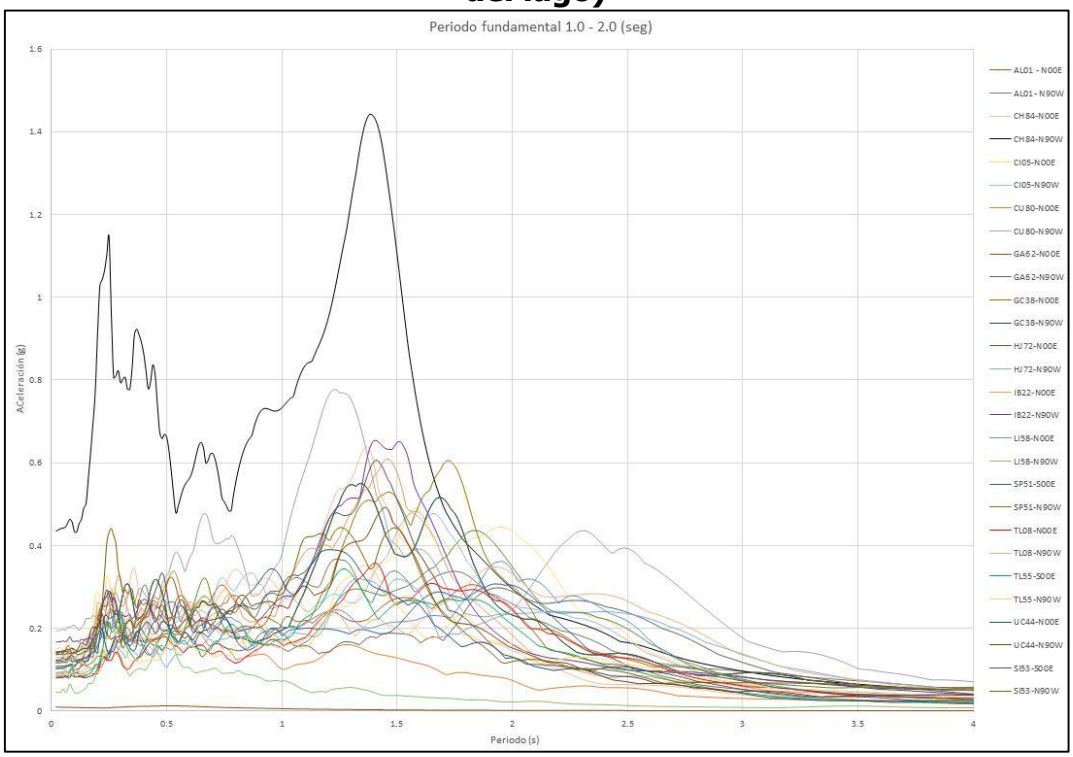
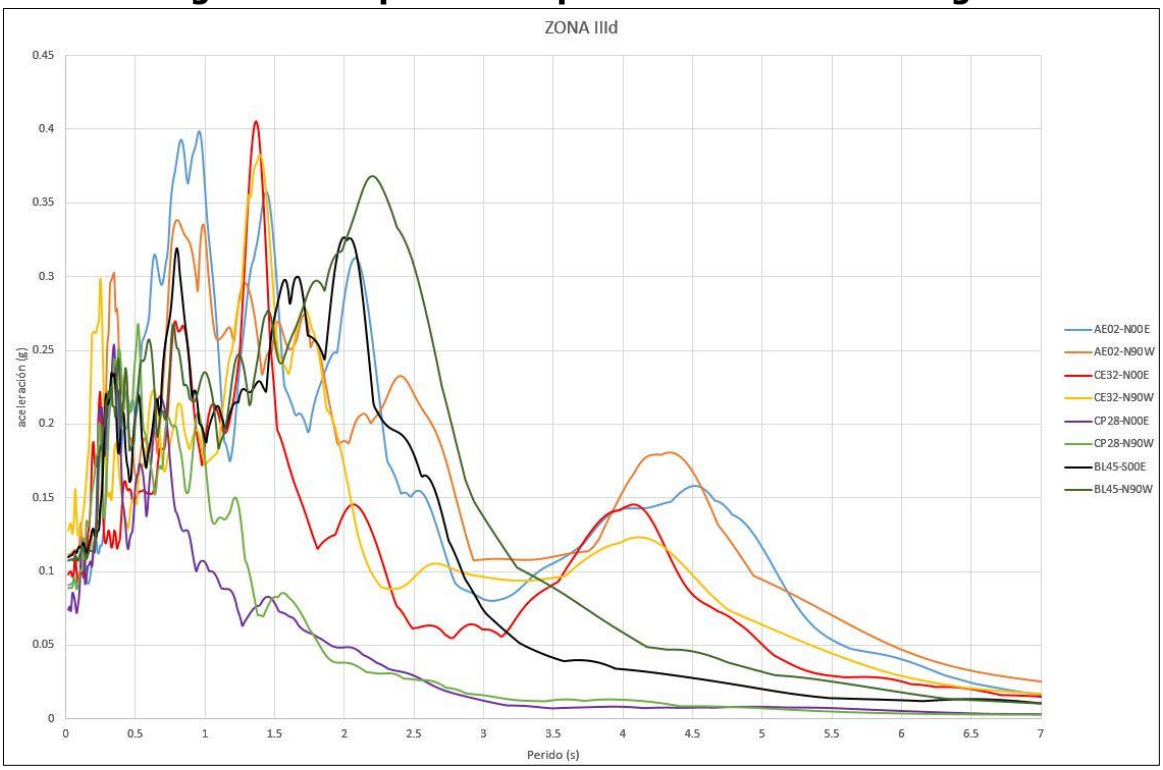


Figura 22. Espectros respuesta en la zona de suelos blandos (transición – borde del lago)



Fuente: Elaborado con base en información de CERES.

Figura 23. Espectros respuesta en la zonas del lago.



Fuente: Elaborado con base en información de CERES.

Conclusiones Preliminares

- Los espectros de respuesta son similares en cuanto a amplificación y período fundamental para zonas geológicas o geotécnicas similares en CDMX; Sin embargo, estas zonas no corresponden con precisión a las indicadas en el plano de microzonificación.
  La zona de transición posee varias sub-zonas de comportamiento característico diferente. En el sur-occidente de la ciudad el comportamiento es diferente que en el nor-occidente.

- Las amplificaciones mayores se presentaron en períodos naturales del suelo inferiores a 0.5 seg y entre 1 y 1.5 seg.

- Los edificios que colapsaron se encuentran en las zonas de mayor amplificación.

- Aunque los edificios que colapsaron eran de menos de 8 niveles no hay suficiente información para relacionar estas fallas directamente con el período natural teniendo en cuenta que la mayoría de edificaciones colapsadas corresponden a zonas con espectros respuesta con períodos naturales entre 1 y 1.5 seg. Sin embargo, es posible relacionar algunas fallas individuales con las grandes amplificaciones en periodos naturales inferiores a 0.5 seg.

5. COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES

Comportamiento general de las edificaciones

En términos generales las edificaciones recientes construidas, de acuerdo a la normativa vigente de Ciudad de México se comportaron en forma eficiente con algunas excepciones.
La mayoría de los sistemas constructivos de tecnología actual se comportaron adecuadamente.

Se visitaron las zonas más afectadas y se identificaron los edificios colapsados.

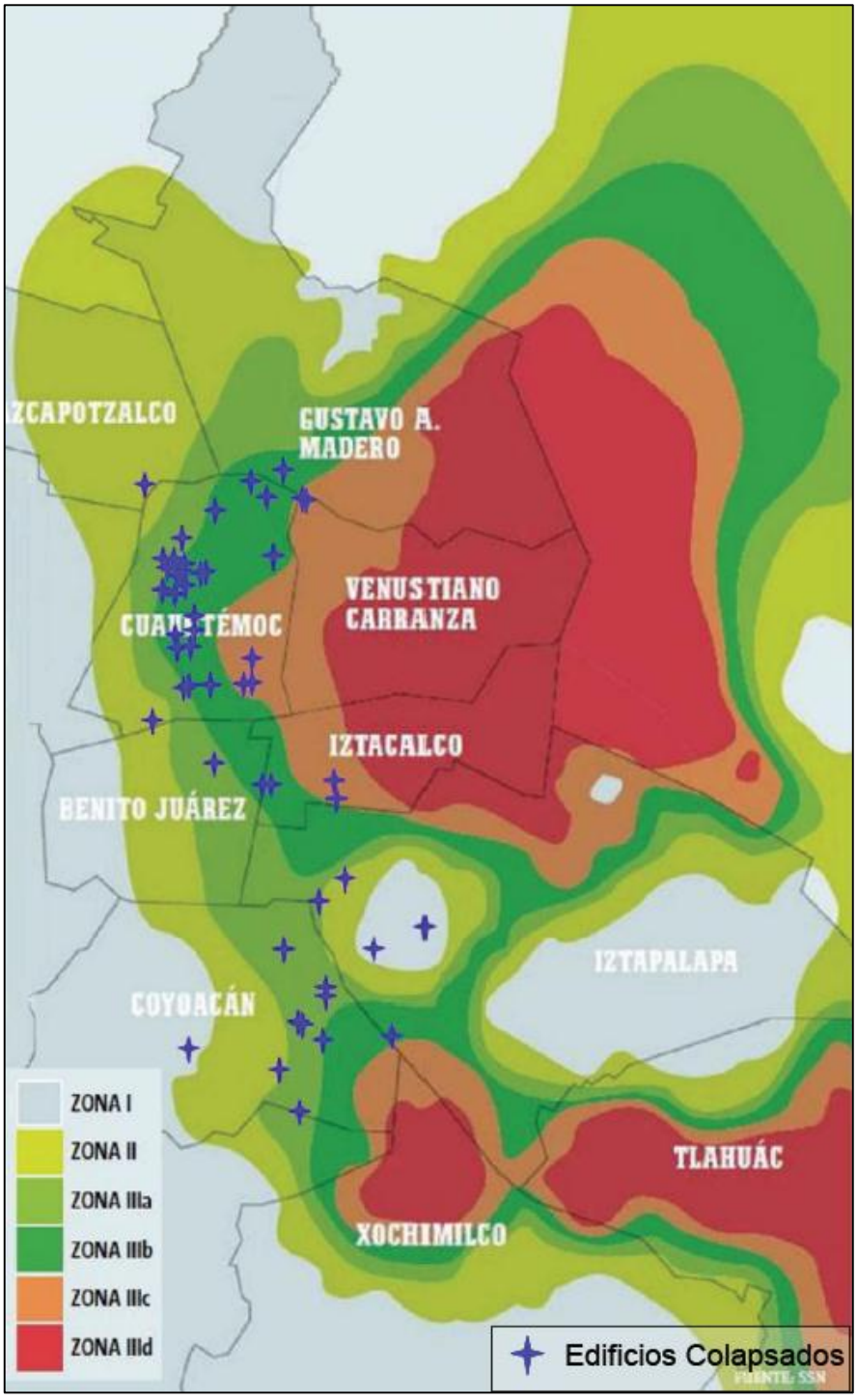
Las conclusiones de los análisis de los edificios colapsados se indican a continuación:

- La gran mayoría de los edificios colapsados corresponden a edificaciones en las zonas de transición y de suelos algo duros.
- La totalidad de los edificios colapsados son de 3 a 9 niveles.
- La mayoría de edificios colapsados corresponden a edificaciones construidas antes del sismo de 1.985.
- No se presentaron daños significativos en las estructuras del sistema de puentes del periférico de Ciudad de México.

Tabla 2. Número de pisos de 36 edificios colapsados analizados

Pisos	2	3	4	5	6	7	8	9
Número de edificios colapsados	3	3	5	8	7	5	2	3

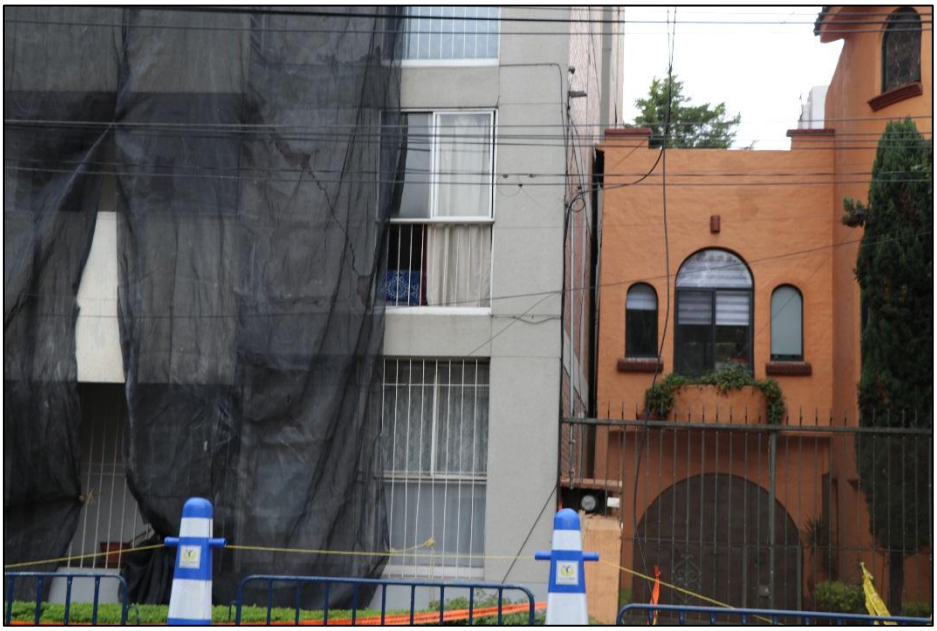
Figura 24. Localización de los edificios colapsados sobre la microzonificación de la Ciudad de México



Comportamiento de la deriva de las estructuras

En la mayoría de edificios de CDMX desde hace muchos años se ha dejado un aislamiento entre estructuras de 10 a 20 centímetros aparentemente destinado al manejo de la deriva.

Este aislamiento fue muy eficiente para evitar el golpeteo entre edificaciones.



Efecto de la direccionalidad del sismo

Se observó un caso específico en el Conjunto Habitacional Tlalplan, en el cual solo falló una edificación, la cual se encontraba localizada en una dirección diferente a las demás edificaciones similares del conjunto; Este efecto de la direccionalidad se evidencia en algunos de los edificios colapsados.

Figura 25. Localización del edificio colapsado

Fuente: Google Earth.

Comportamiento de edificaciones que fueron modificadas después de construidas

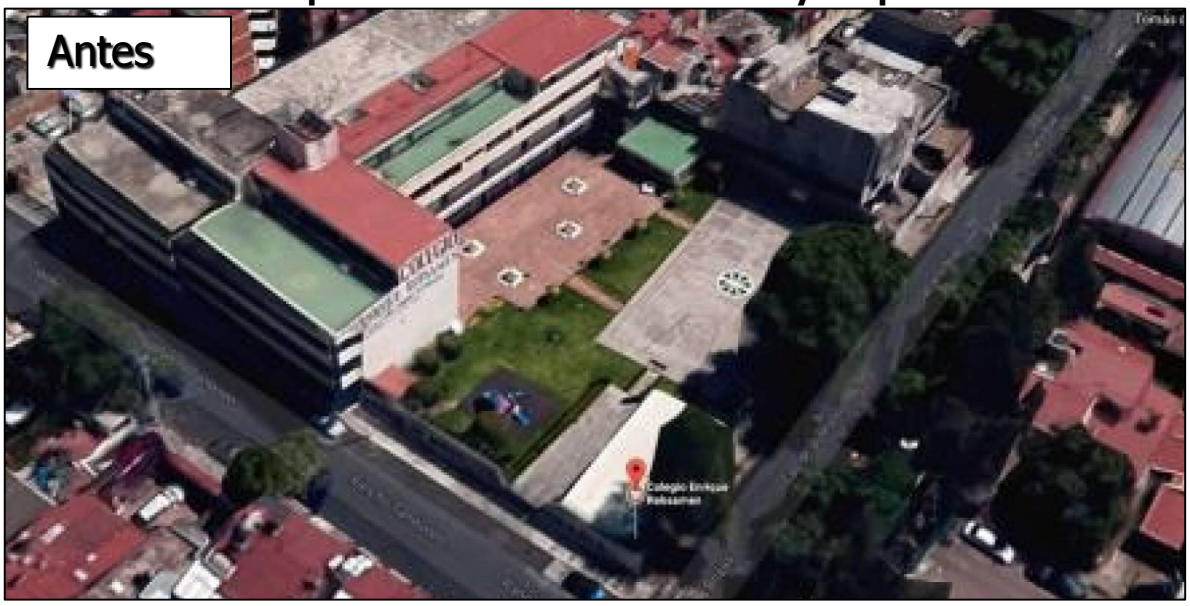
Algunas edificaciones que colapsaron habían sido objeto de modificaciones arquitectónicas después de construidas.

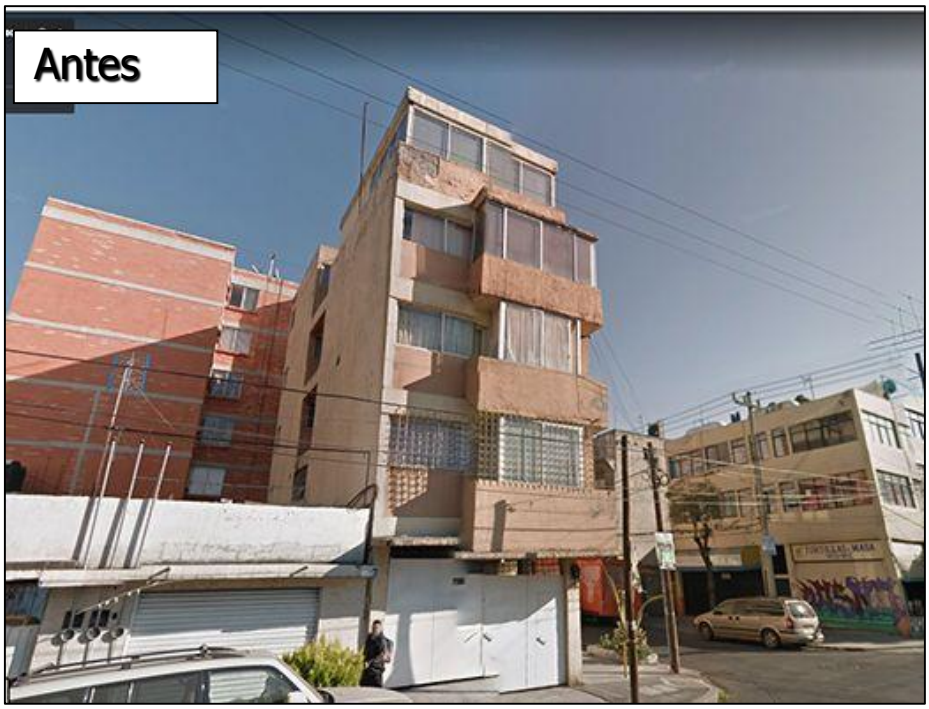
Entre estas modificaciones se observa la construcción de pisos adicionales y el acondicionamiento de parqueadero en el primer piso.

☐ Edificaciones en las cuales se realizó la Construcción de un piso adicional

A continuación se muestran fotografías típicas de edificios colapsados a los cuales se les había incluido un piso adicional:

Registro fotográfico 1. Edificaciones colapsadas a las cuales se les habían construido un piso adicional antes del sismo y después del sismo

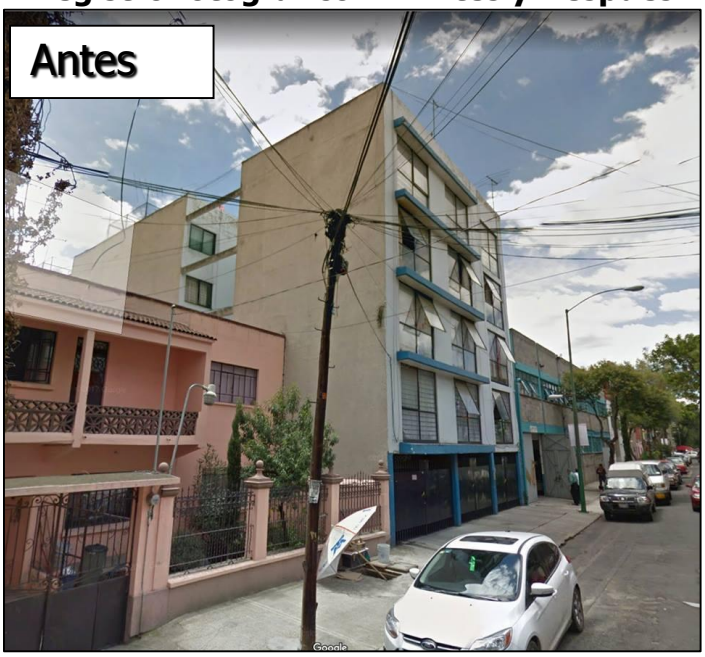


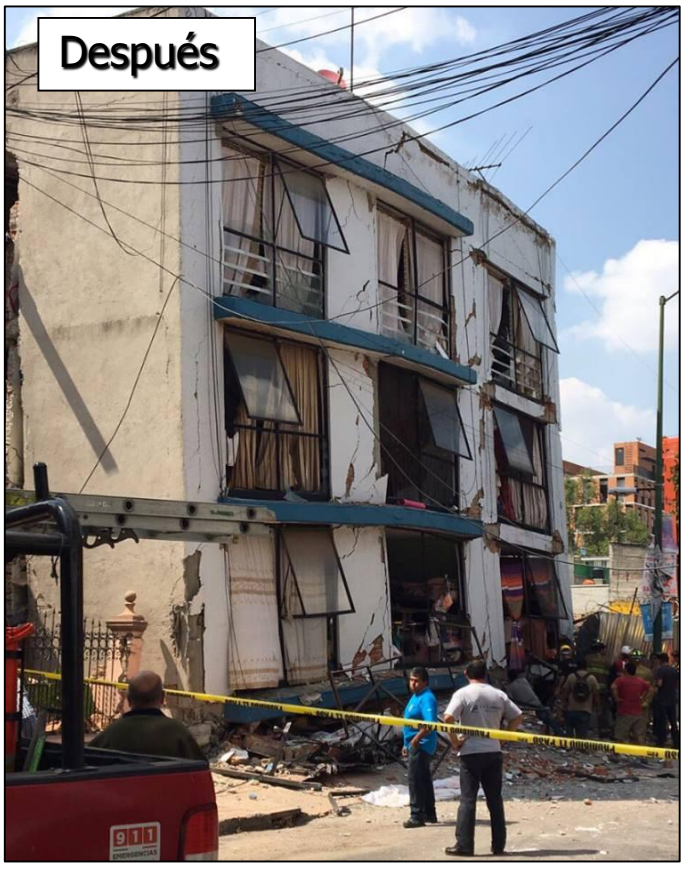

Antes

Después

- Edificaciones a las cuales se habían acondicionado áreas de parqueadero en el primer nivel (primer piso blando).

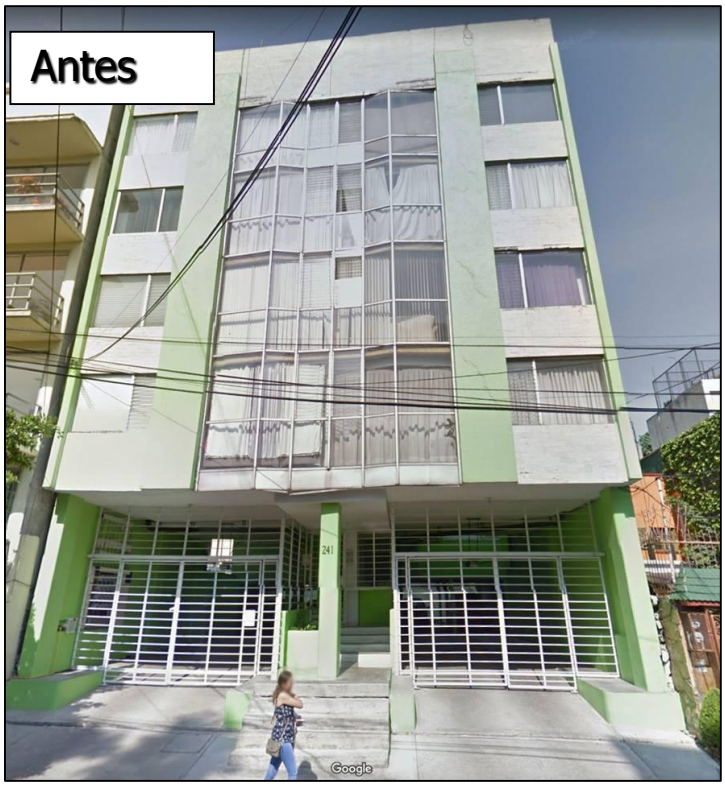
Registro fotográfico 2. Antes y Después

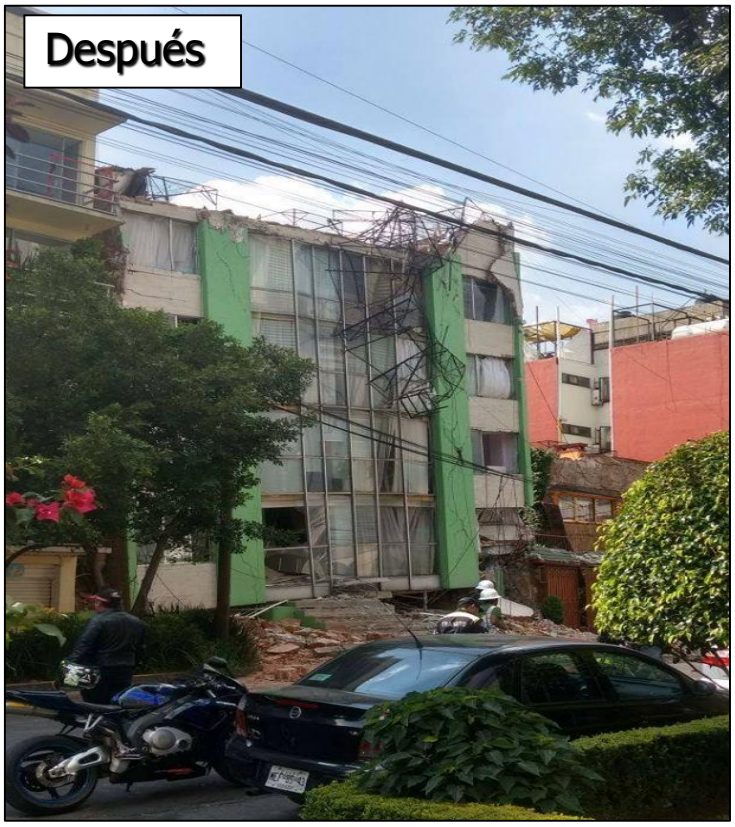




Antes

Después


Antes
241
Google


Después

Antes

Después

6. CONCLUSIONES

a) El sismo del 19 de Septiembre de 2017 con epicentro a una profundidad de 57 kilómetros sobre una falla cercana pero no directamente sobre el borde de las placas Cocos y Norteamérica.
b) El sismo refleja un mayor contenido de frecuencias altas (periodos menores a 0.5 segundos, sin embargo también contenía frecuencias con aceleraciones importantes en el rango de periodos entre 1 y 2 Segundos.
c) Las mayores amplificaciones espectrales se presentaron en las zonas de suelos algo duros.
d) Igualmente se presentaron aceleraciones espectrales importantes en las zonas de suelos relativamente blandos (zona de transición entre el lago y los suelos duros).
e) La mayoría de las edificaciones que colapsaron estaban en el rango entre 4 y 8 niveles de altura y en las zonas de suelos algo duros y de transición.
f) Aunque los edificios que colapsaron eran de menor de 8 niveles, no hay suficiente información para relacionar estas fallas directamente con el período natural teniendo en cuenta que la mayoría de edificaciones colapsadas corresponden a zonas con espectros respuesta con períodos naturales entre 1 y 1.5 seg. Sin embargo, es posible relacionar algunas fallas individuales con las grandes amplificaciones en periodos naturales inferiores a 0.5 seg.
g) Se observó un muy buen comportamiento de las comunidades en la respuesta después del sismo al igual que las asociaciones profesionales.

7. REFERENCIAS

Auvinet G., Méndez E., Juárez M. "El subsuelo de la Ciudad de México". Instituto de Ingenieria UNAM. (2017)

Jaimes Miguel A. – Sismo del 19 de Septiembre de 2017 M7.1, Puebla – Morelos Instituto de Ingenieria UNAM 2017

Servicio Sismológico Nacional (2017). Catálogo de Sismos Fuertes del Servicio Sismológico Nacional (SSN), UNAM [online].Disponible en: http://www2.ssn.unam.mx:8080/sismos-fuertes/ [20 septiembre 2017].

Servicio Sismológico Nacional (2017). Reporte Especial Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM. Sismo de Puebla Morelos (2017-19-07 M 7.1)]. Disponible en: http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportesespeciales/2017/SSNMX_rep_esp_20170919_Puebla-Morelos_M71.pdf.

M. Ordaz, E. Miranda y J. Avilés propuesta de espectros de diseño por sismo para el DF.