



## Efectos de Sitio en la Cd. de México durante el Sismo del 19 de septiembre de 2017

Todos sabemos que gran parte de la Ciudad de México está edificada sobre sedimentos blandos de los antiguos lagos que existieron en el valle. Estos sedimentos provocan una enorme amplificación de las ondas sísmicas en la Ciudad de México que, probablemente, sea la más grande reportada en el mundo. La violencia del movimiento del suelo en la Ciudad de México depende principalmente del tipo de suelo donde nos encontremos.

La mayor aceleración registrada en la Cd. de México, durante el sismo del 19 de septiembre de 2017, fue en la ESTACIÓN CULHUACÁN localizada en:

Calle Ejido Santa Úrsula y Ejido Culhuacán  
Col. Ampliación  
Delegación Coyoacán

La aceleración máxima del terreno fue de  $a_0 = 226$  gal y la aceleración espectral máxima de  $1548$  cm/seg<sup>2</sup> para un periodo de 1.42 seg.



## Sismo del 19 de septiembre de 2017

El pasado 19 de septiembre de 2017, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un sismo con magnitud 7.1 con epicentro entre los estados de Puebla y Morelos, a 12 km de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México, aproximadamente. El mecanismo del evento sísmico fue catalogado como de falla normal. La ruptura ocurrió dentro de la placa oceánica de Cocos (i.e.sismo intraplaca), por debajo del continente, a una profundidad de 57 km. Si bien este tipo de sismo no es el más común en México, de ninguna manera es extraordinario.

El mecanismo focal del sismo muestra una falla de tipo normal (rumbo=112, echado=46, desplazamiento=-93 la cual es característica de un sismo intraplaca. En esta región la Placa de Cocos subduce por debajo de la placa de Norteamérica, (SSN, 2017)

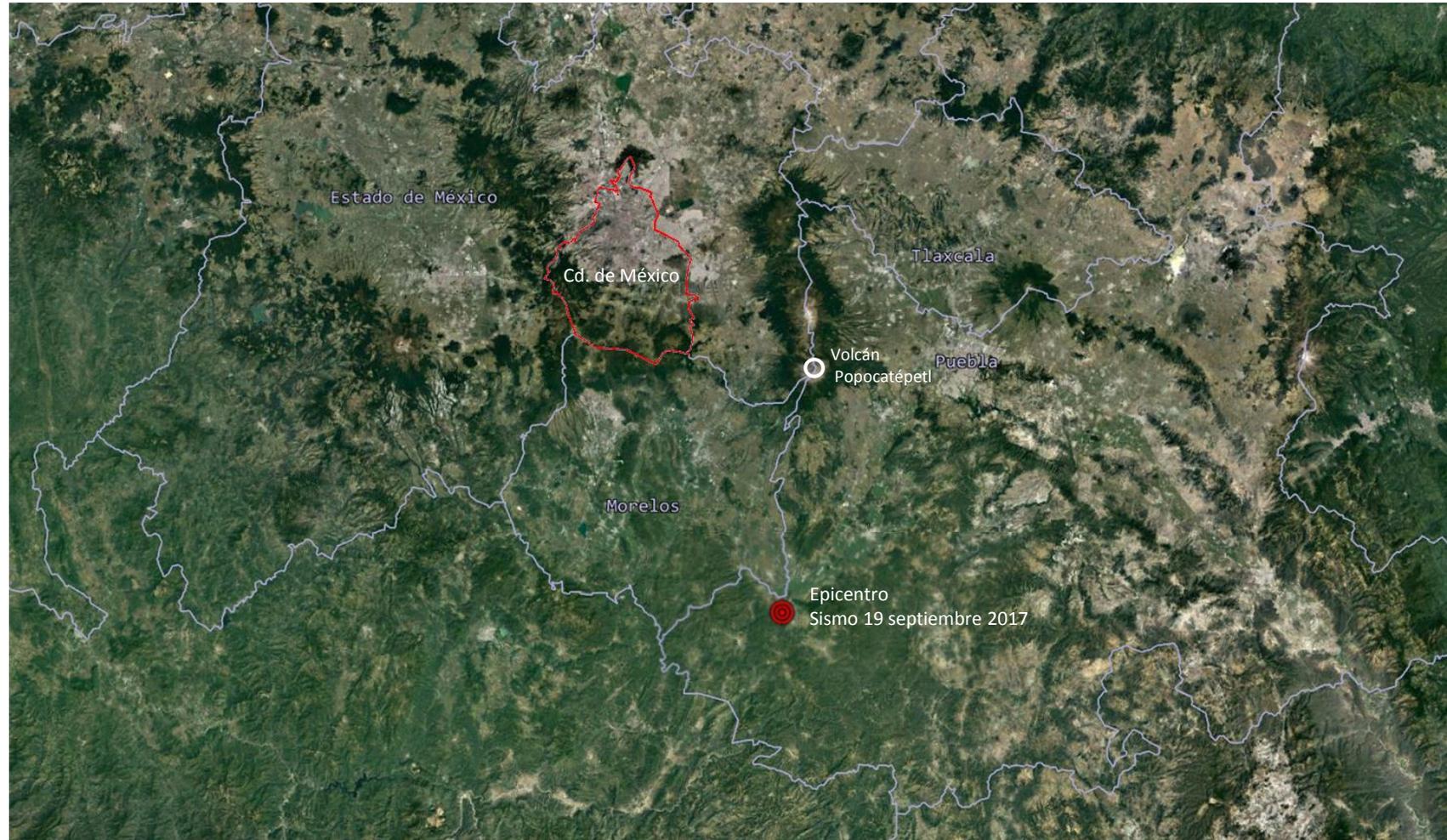


Figura 1.- El epicentro del sismo del 19 de septiembre de 2017 se localizó entre los estados de Puebla y Morelos, en las coordenadas 18.40 latitud N y -98.72 longitud W , a 12 km de Axochiapan, Morelos y a 120 km de la Ciudad de México, aproximadamente.

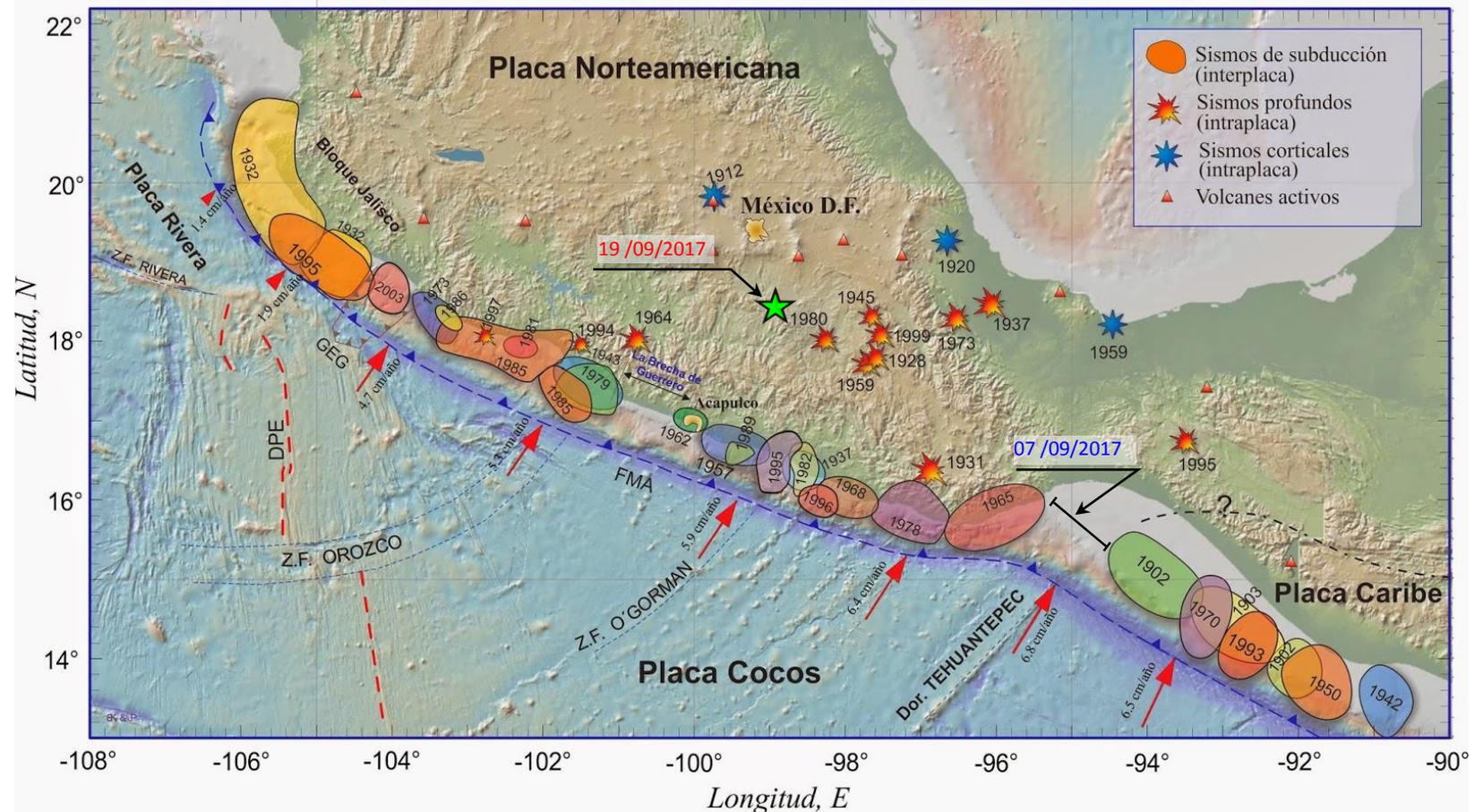


Figura 2.- Sismos más importantes que han ocurrido en territorio mexicano. Se indica el lugar del epicentro del sismo de 19 de septiembre de 2017, la línea de color negro es la zona de ruptura del sismo del 7 de septiembre de 2017. Las elipses corresponden a las áreas de ruptura de los sismos interplaca que han ocurrido en México. Las estrellas rojas y azules son los epicentros de sismos intraplaca, en rojo los sismo profundos y en azul los sismo someros, (SSN, 2017)

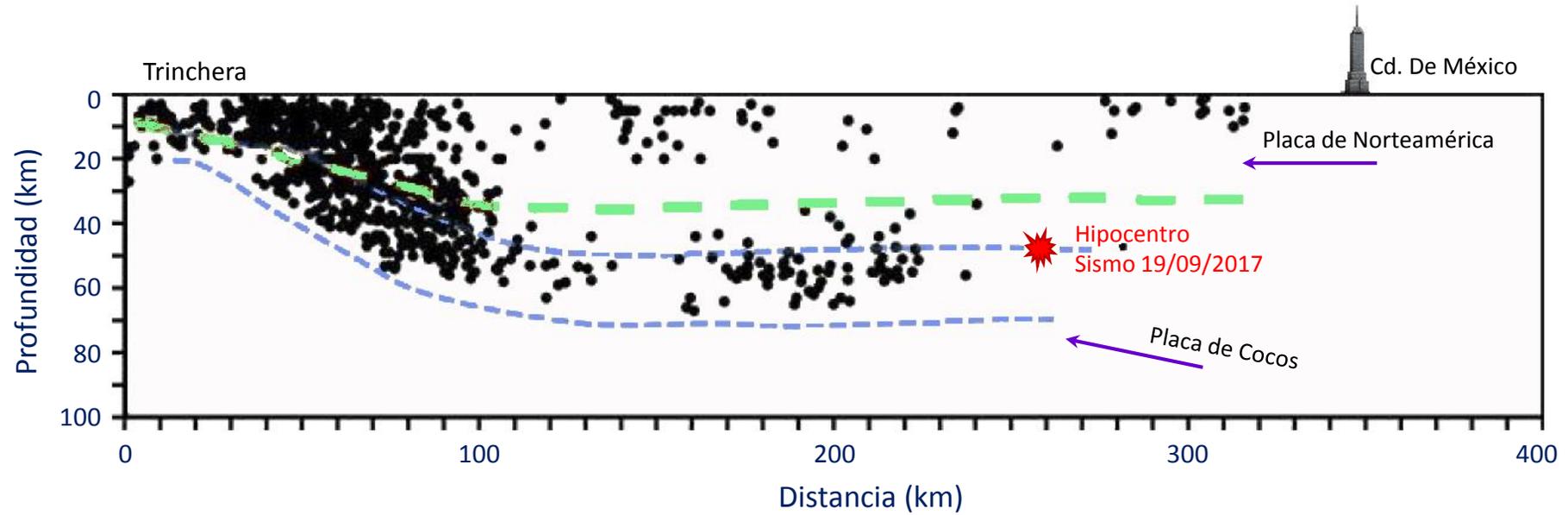


Figura 3.- En una sección hipocentral perpendicular a la trinchera mesoamericana se aprecia que el hipocentro del sismo ocurrió justo debajo de la placa continental, en la placa de Cocos. El hipocentro se representa con una estrella de color rojo y los puntos negros corresponden a hipocentros de otros sismo ocurridos (2000 a 2016). La línea punteada de color verde indica aproximadamente la profundidad a la que llega la placa continental y las líneas azules punteadas dan una idea de la geometría de la placa de Cocos bajo la placa de Norteamérica, (SSN, 2017)



## Efectos del Sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Cd. de México

Un análisis detallado del movimiento del suelo producido por los sismos del 1985 y 2017 en la Cd. de México revela cosas interesantes. En algunas zona de lago, las aceleraciones del suelo durante el sismo reciente fueron, muy probablemente, mayores que la registradas en 1985.

En 1985, la  $a_0$  en Ciudad Universitaria (CU), que está en suelo firme fue de 30 gal (1 gal = 1 cm/s<sup>2</sup>), mientras que la  $a_0$  del 19 de septiembre de 2017 fue de 57 gal. Es decir que el suelo en la zona cercana a CU experimentó una sacudida dos veces mayor que en 1985, como se aprecia en la figura.

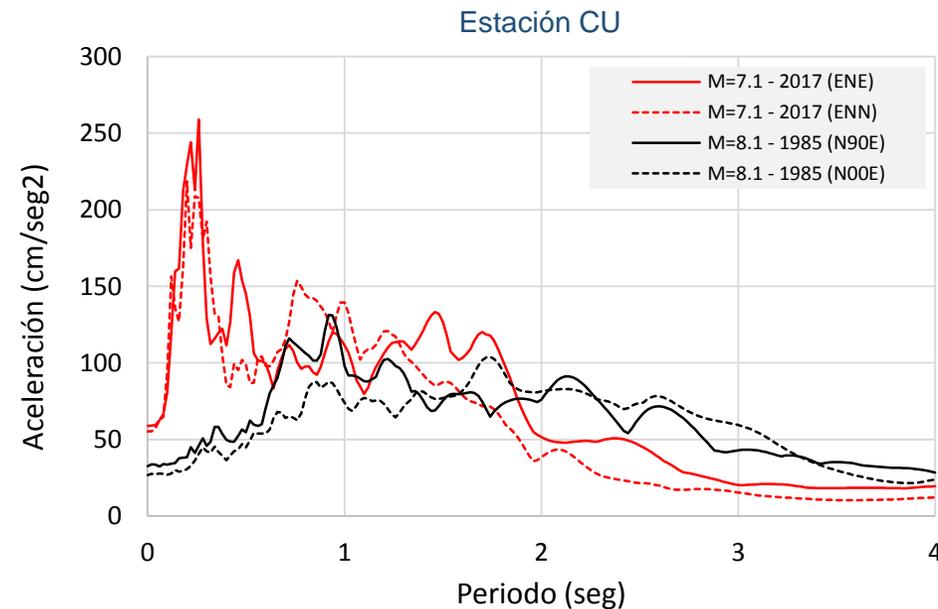


Figura 4.- Espectro de respuesta en CU de los sismo de 1985 y 2017



Lo mismo se apreció en la estación Tacubaya. En 1985, fue de 32 gal, mientras que la Amax del 19 de septiembre de 2017 fue de 63 gal. Es decir, también el suelo en la zona cercana a Tacubaya experimentó una sacudida dos veces mayor que en 1985, como se ve en la siguiente la figura.

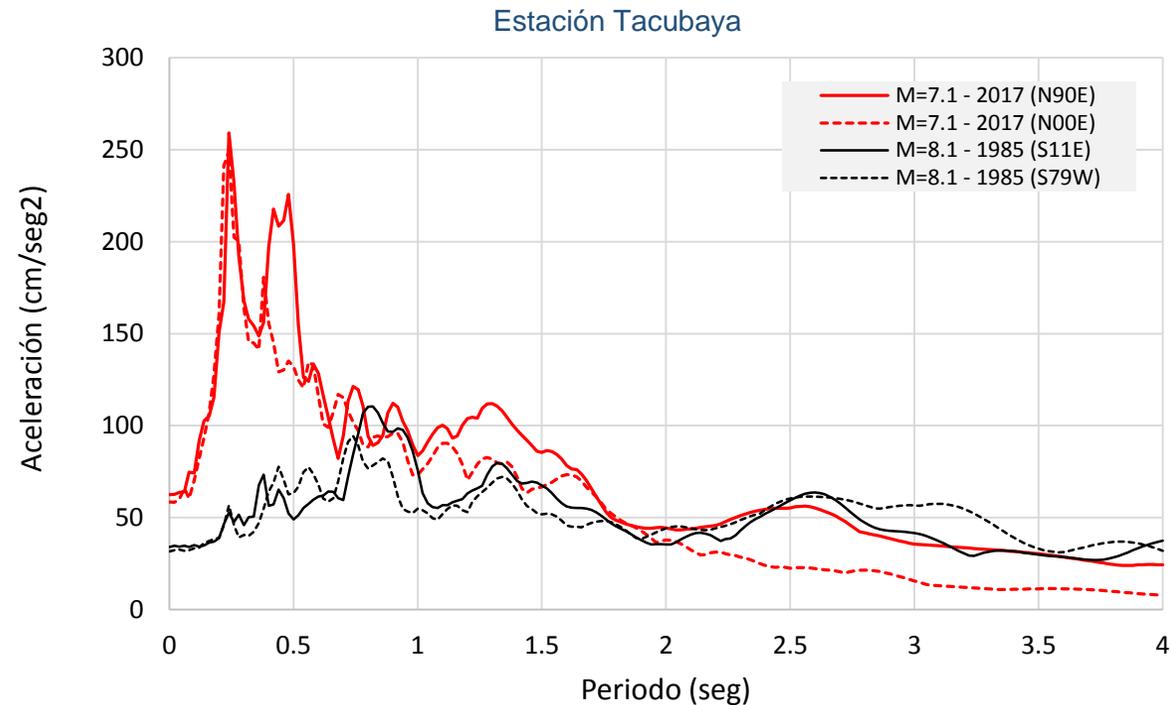


Figura 5.- Espectro de respuesta en Tacubaya de los sismo de 1985 y 2017



Sin embargo, en algunos sitios de la zona del lago, las aceleraciones máximas del suelo producidas por el sismo de magnitud 7.1 fueron menores a las registradas en 1985. Por ejemplo, en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), que se encuentra en dicha zona, Amax en 1985 fue de 160 gal, mientras que el pasado 19 de septiembre fue de 91 gal. El espectro de respuesta también muestra diferencias significativas.

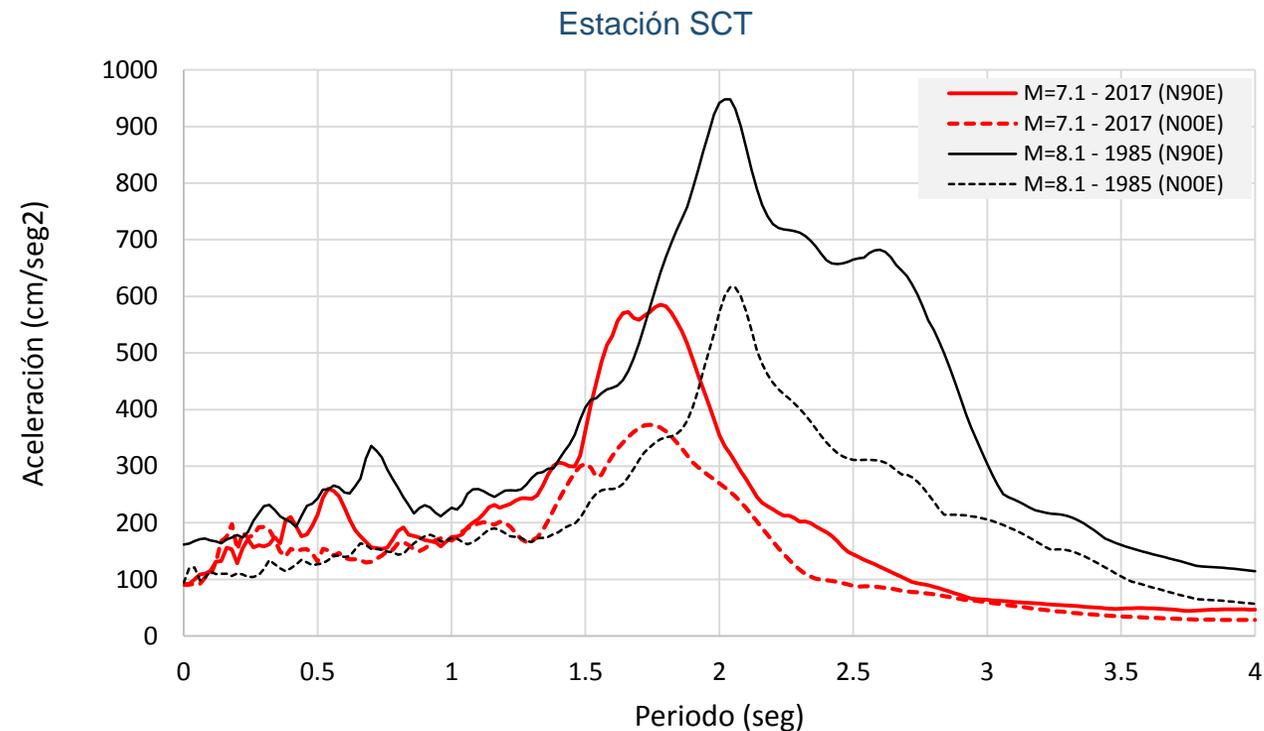


Figura 6.- Espectro de respuesta en SCT de los sismo de 1985 y 2017



La mayor aceleración registrada en la Cd. de México, durante el sismo del 19 de septiembre de 2017, fue en la ESTACIÓN CULHUACÁN localizada en:  
Calle Ejido Santa Úrsula y Ejido Culhuacán  
Col. Ampliación  
Delegación Coyoacán

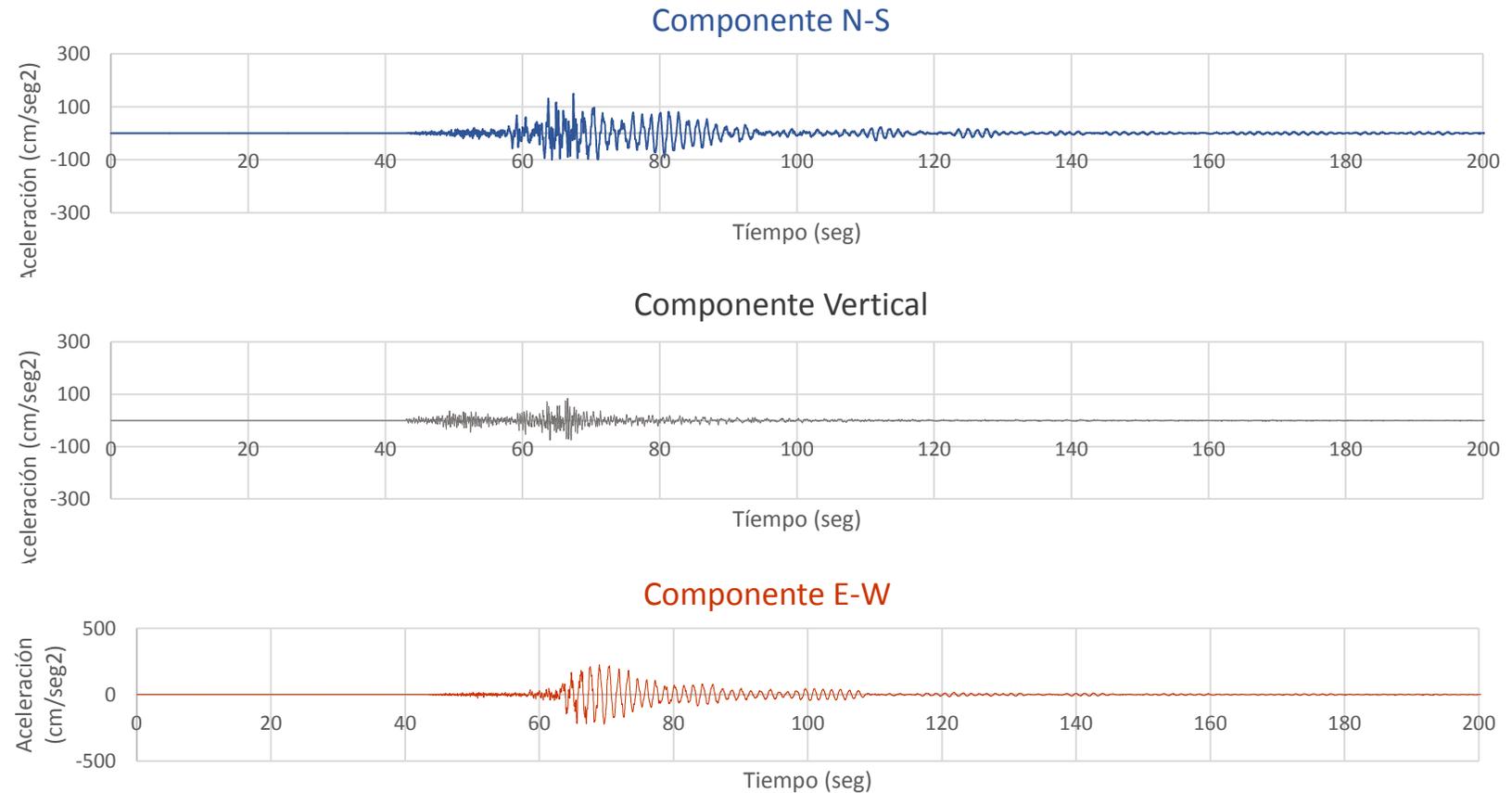


Figura 7.- Acelerogramas registrados en la ESTACIÓN CULHUACÁN



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

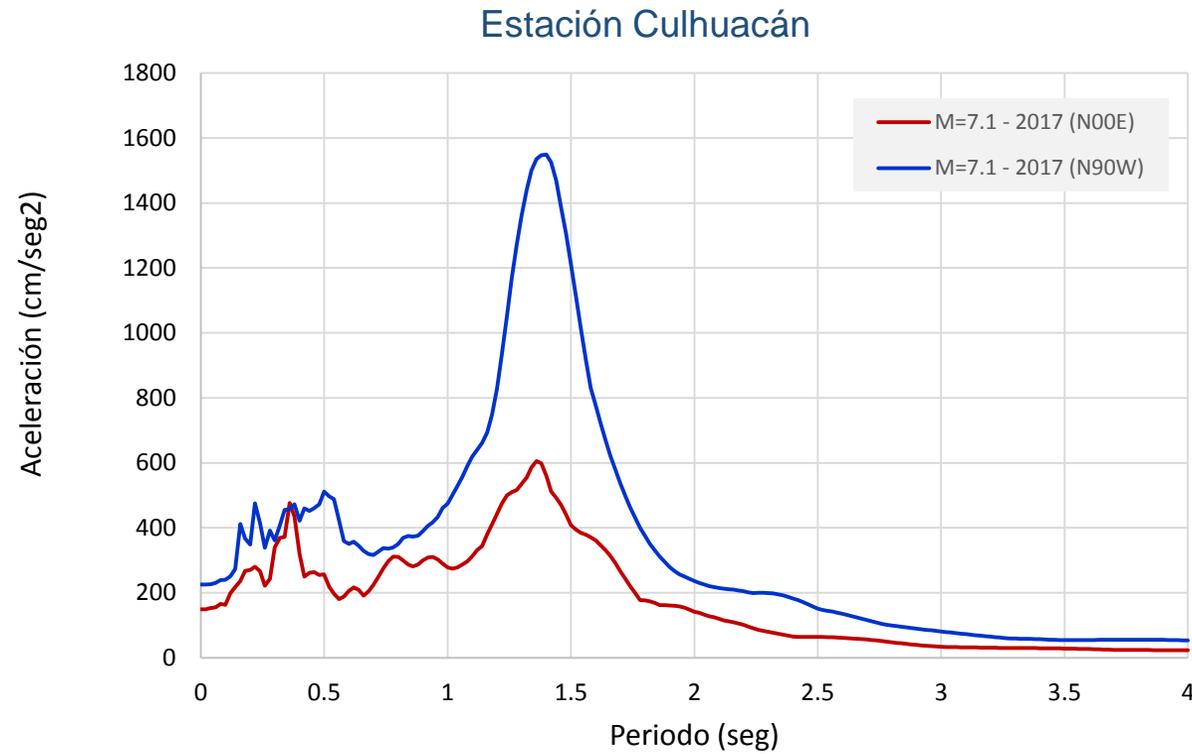


Figura 8.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento del movimiento registrado en la Estación Culhuacán

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. Ampliación  
San Francisco Culhuacán, entre Calle Ejido Santa Úrsula y Ejido Culhuacán.



## Espectros de respuesta del Sismo del 19 de septiembre de 2017 en la Cd. de México

La aceleración máxima del suelo ( $a_0$ ) no es necesariamente lo que pone en riesgo la estabilidad de las estructuras. Por el contrario, al ser estructuras de diferentes alturas su vulnerabilidad es muy variada. Ondas con mayor período de oscilación amenazan estructuras más altas. Contrariamente, ondas con períodos más cortos, amenazan estructuras más bajas.

Para identificar qué estructuras pudieron verse afectadas por el sismo de 2017, los ingenieros y sismólogos calculan lo que llaman las "aceleraciones espectrales" a partir de los sismogramas registrados. Dichos valores nos dan una idea de las aceleraciones que pudieron experimentar, en sus azoteas, edificios con diferentes alturas.

Las aceleraciones espectrales en CU (suelo firme) indican que, los edificios de 1 a 12 pisos cercanos a la estación sísmica experimentaron una aceleración promedio de 119 gal, que es aproximadamente 2 veces mayor que la observada en 1985. En contraste, las estimaciones en SCT (suelo blando) muestran que edificios pequeños de este tipo, cercanos a la estación, experimentaron una aceleración promedio de 188 gal, muy similares a las de 1985 (Cruz Atienza, et al, 2017)

En este sentido, a continuación de la Figura 10 a la 19, se presentan los espectros de respuesta (para 5% de amortiguamiento) para diversos sitios de la Cd. de México, obtenidos a partir de los registro del sismo del 19 de septiembre de 2017 y en la Figura 20 se presenta la variación espacial.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

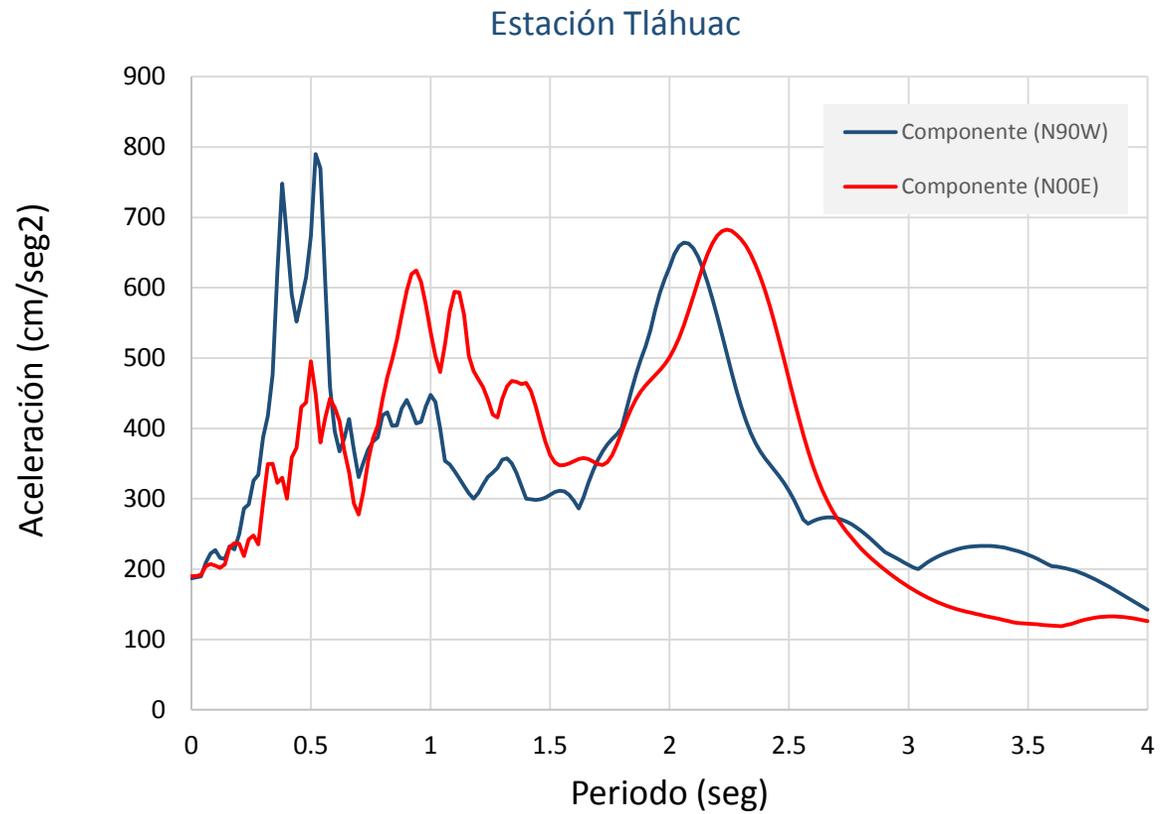


Figura 9.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. San José, calle Juan Mendoza esq. con calle  
La Rondalla.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

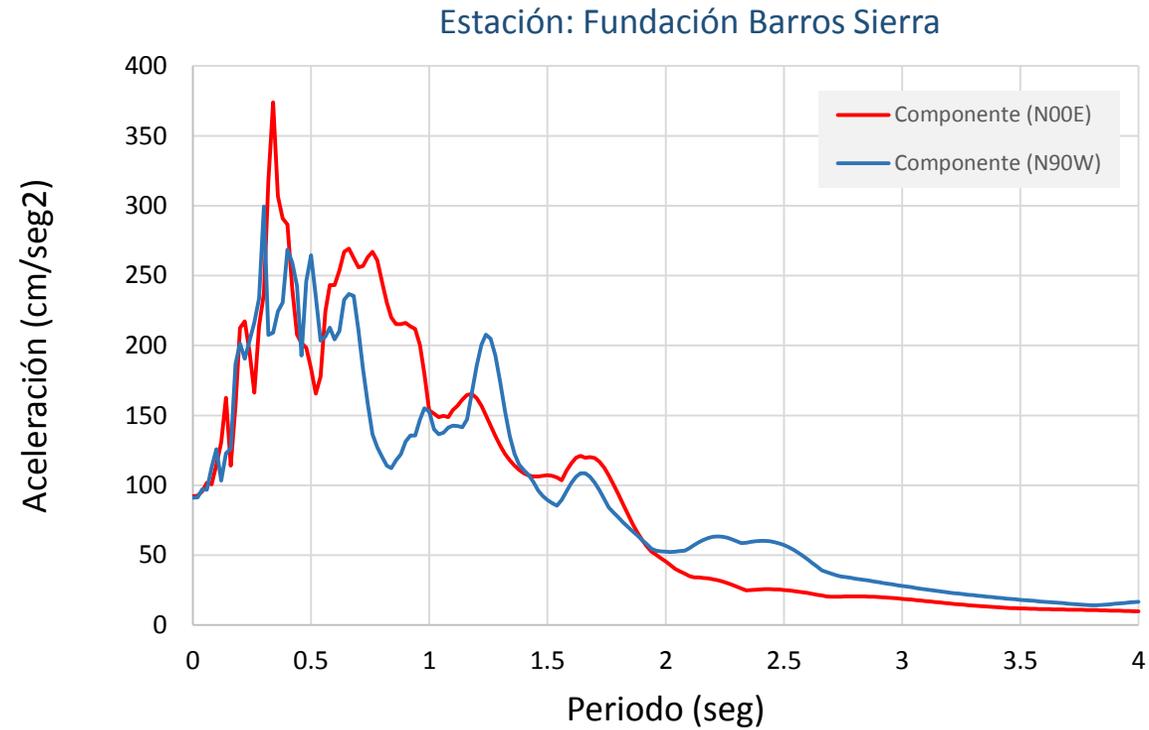


Figura 10.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. Jardines en la Montaña, Carretera al Ajusco,  
No.203



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

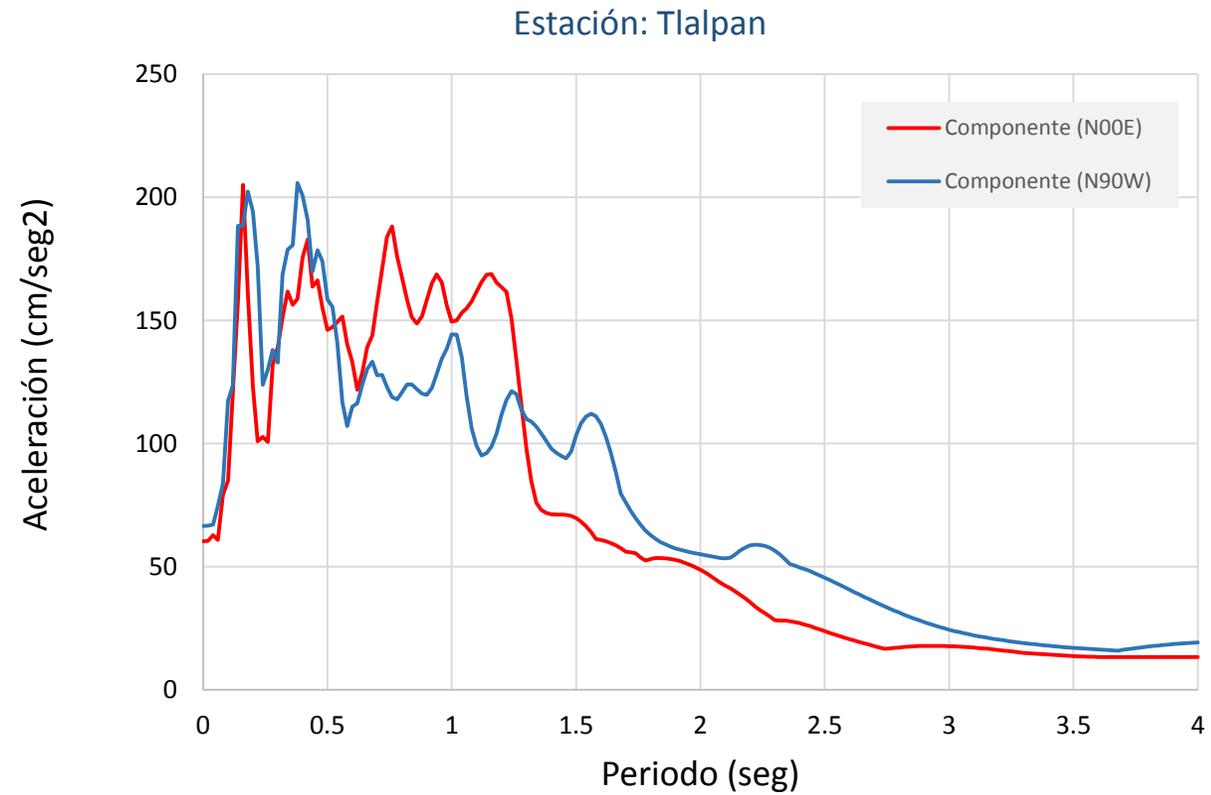


Figura 11.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Las Fuentes, entre Av. San Fernando y calle  
Ignacio Allende.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

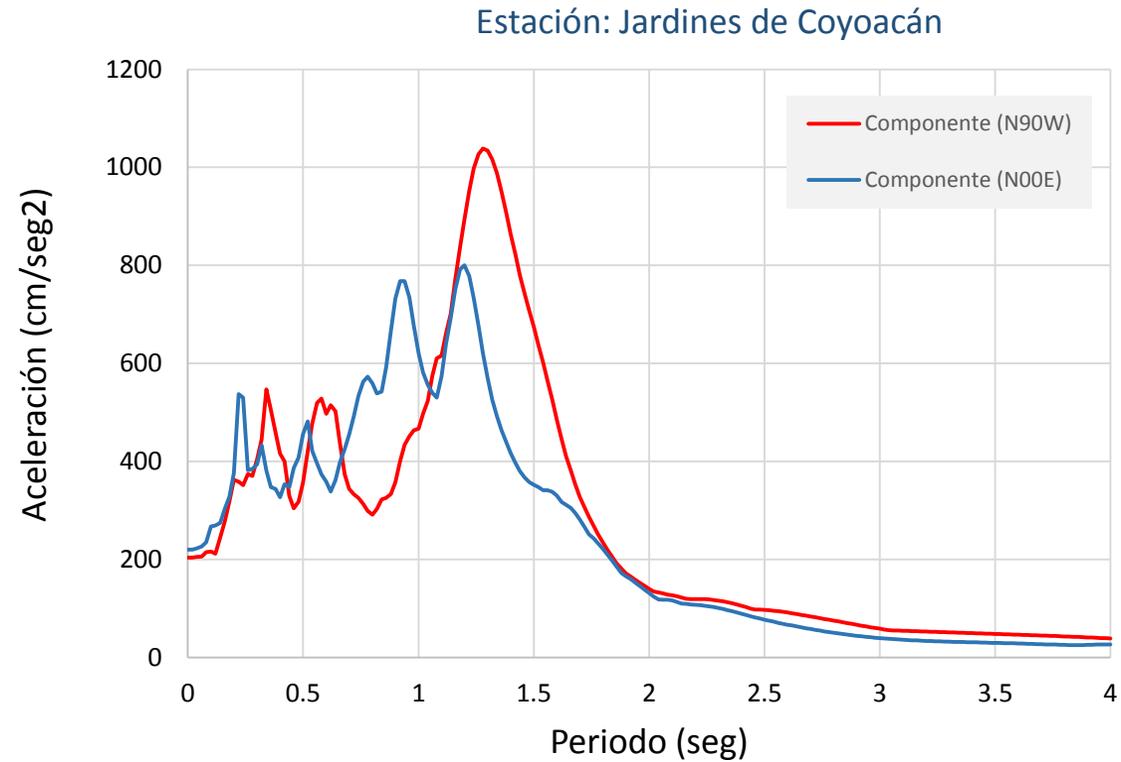


Figura 12.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. Jardines de Coyoacán, entre calles Dalias e  
Iris.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

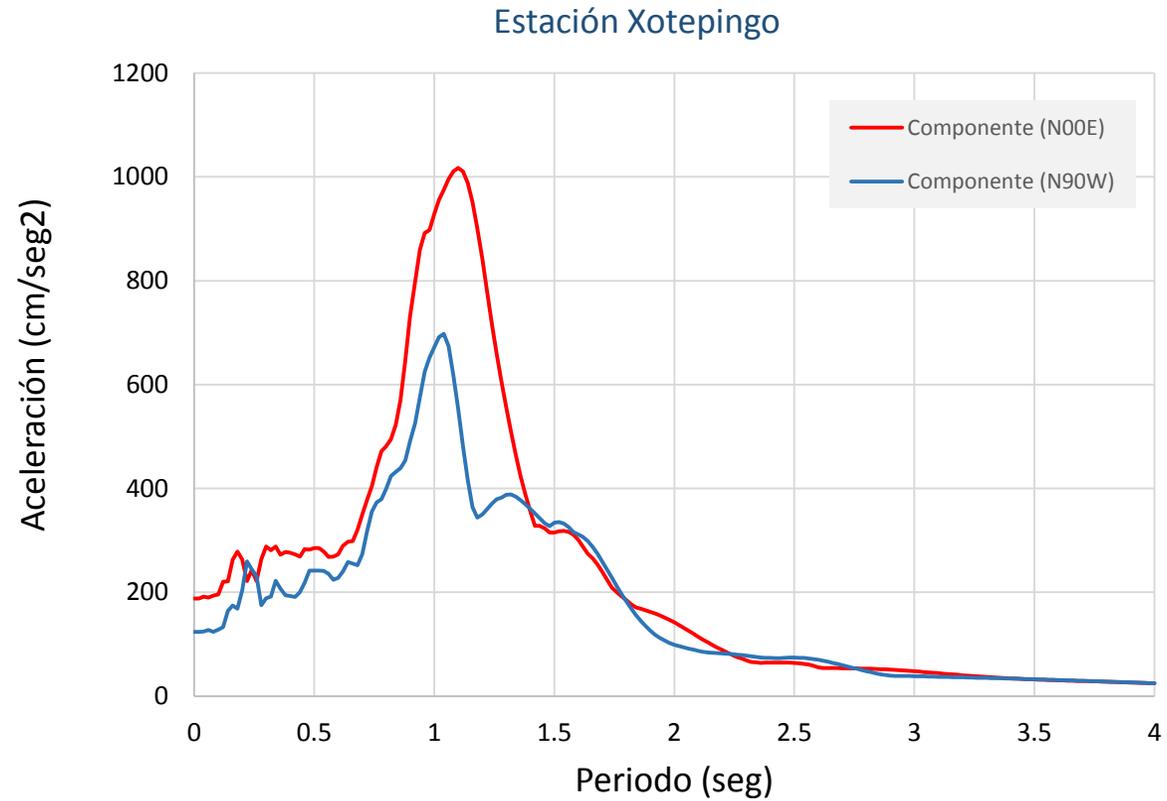


Figura 13.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
DGCOH Xotepingo,  
Col. Ciudad Jardín, Av. División del Norte esq. con  
calle Xotepingo.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

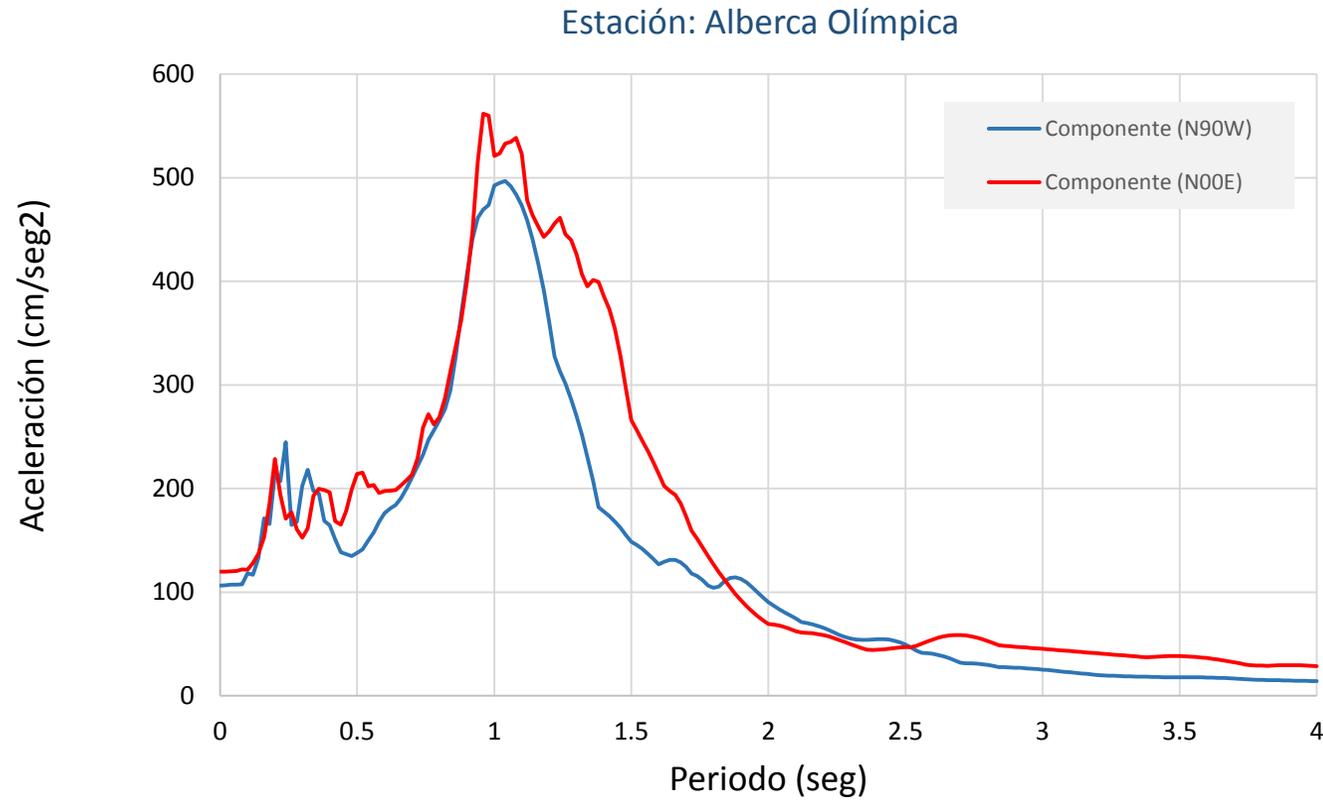


Figura 14.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. General Pedro María Anaya,  
Río Churubusco y División del Norte.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

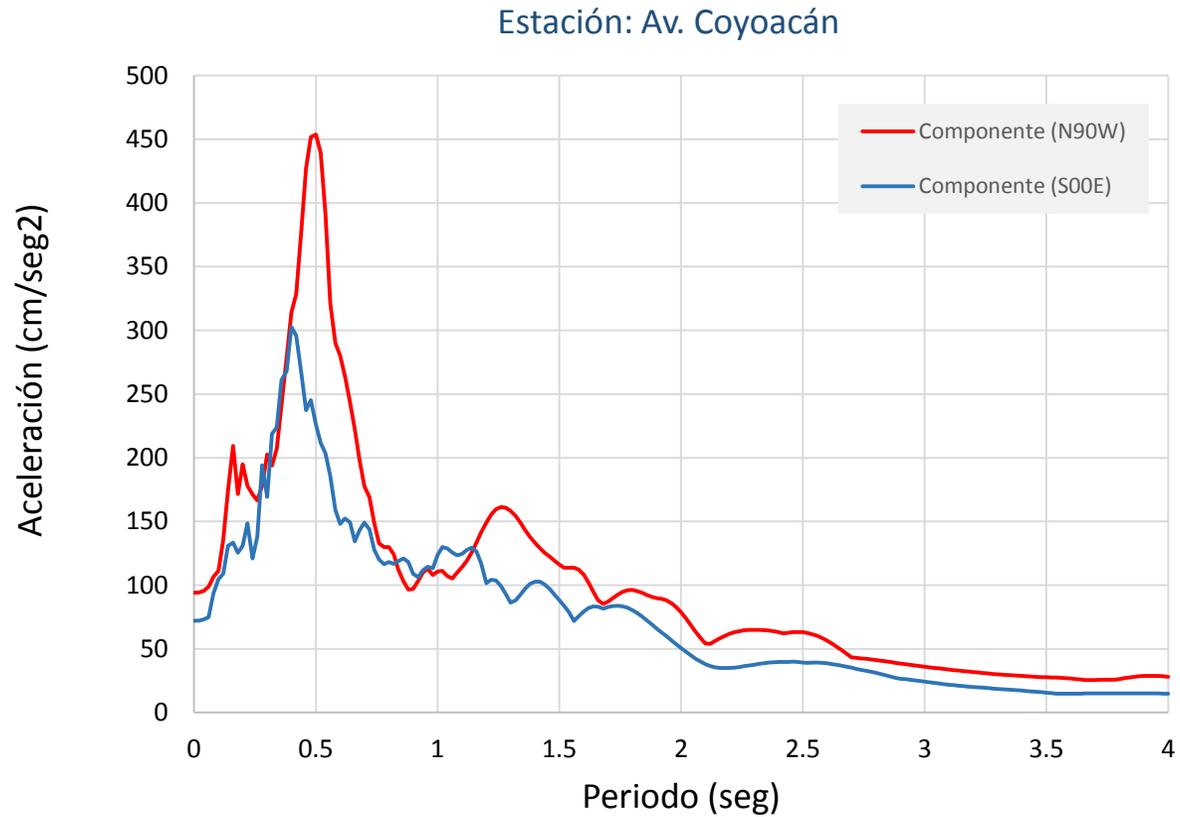


Figura 15.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. del Valle,  
Av. Coyoacán entre Av. Félix Cuevas y calle San  
Lorenzo.

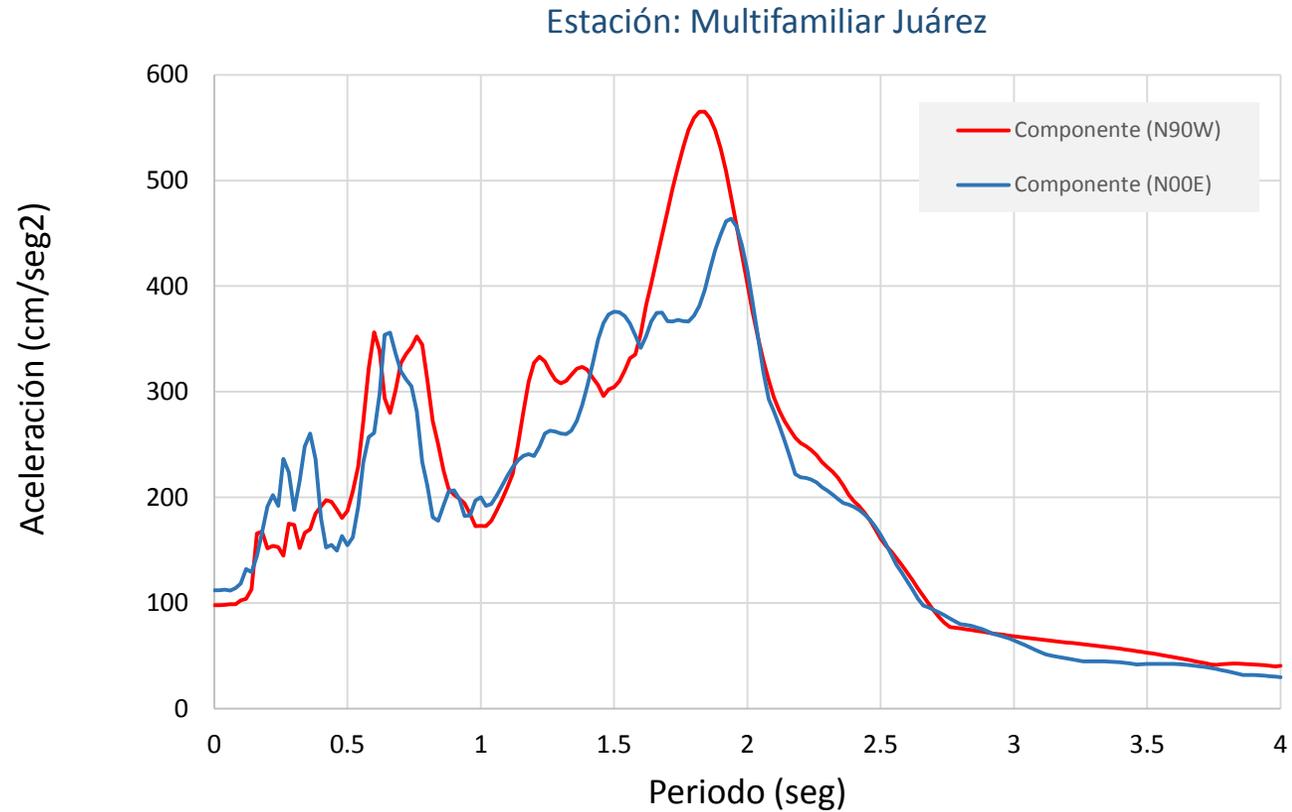


Figura 16.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. Roma,  
Prol. Orizaba, entre calles Antonio M. Anza y  
Huatabampo.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

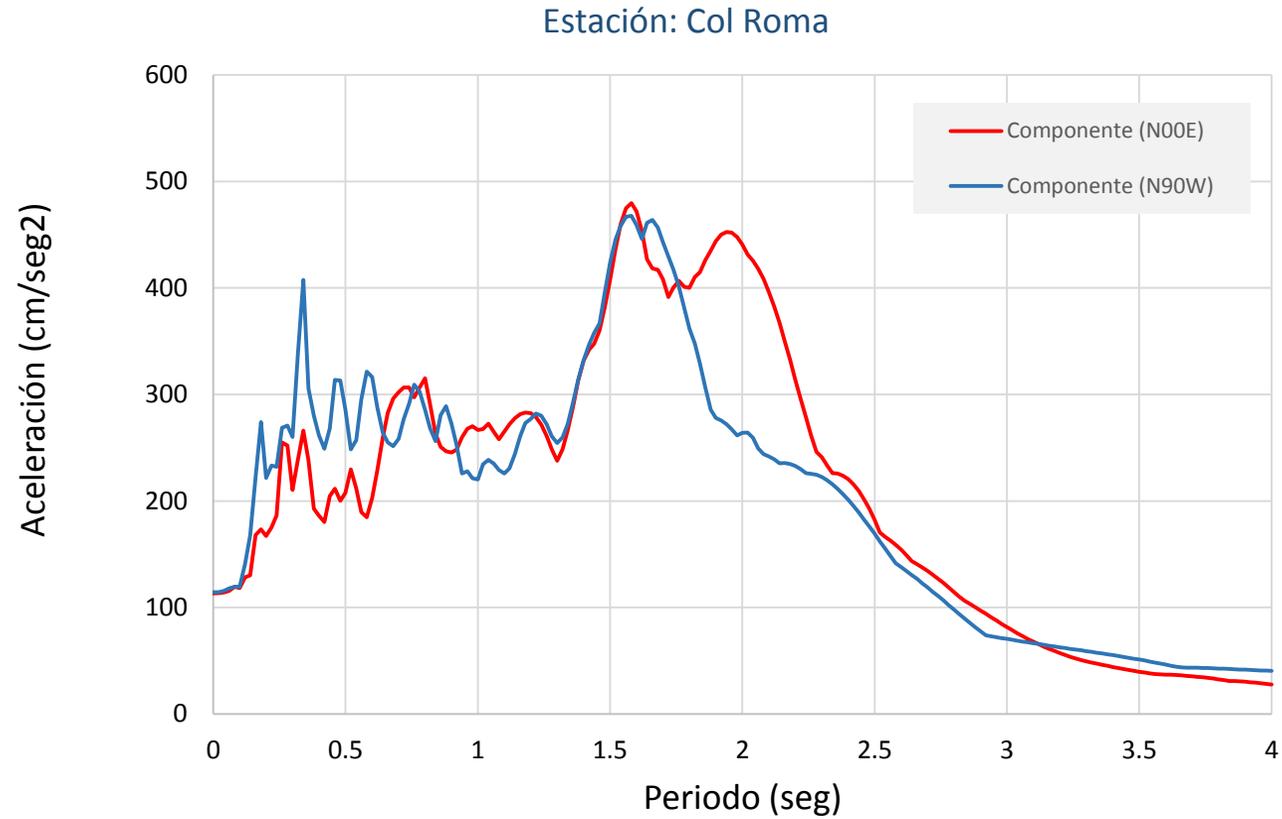


Figura 17.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. Roma Norte,  
Colima , entre calles Oro y Medellín



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

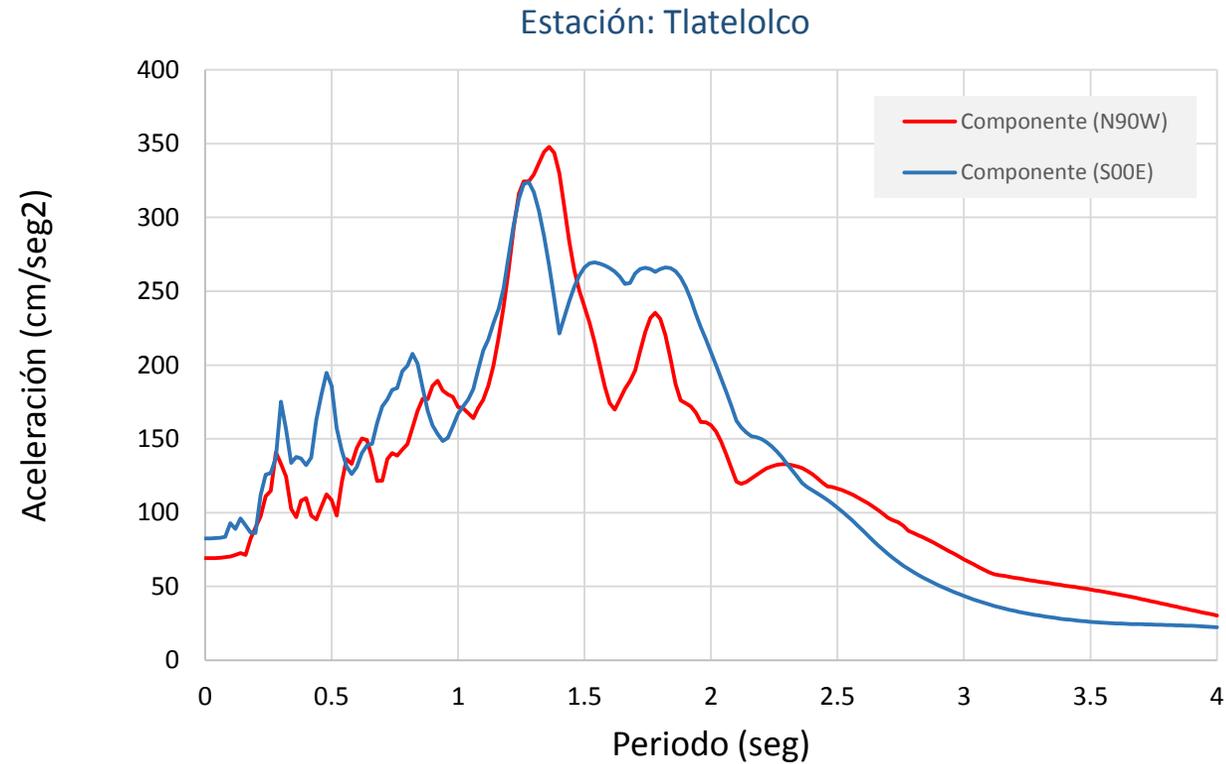


Figura18.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Deportivo 5 de Mayo,  
U. Hab. Nonoalco Tlatelolco, Av. Manuel González  
entre calle Lerdo y Eje 1 Pte. Guerrero.



Sismo: 19 de septiembre de 2017  
M=7.1

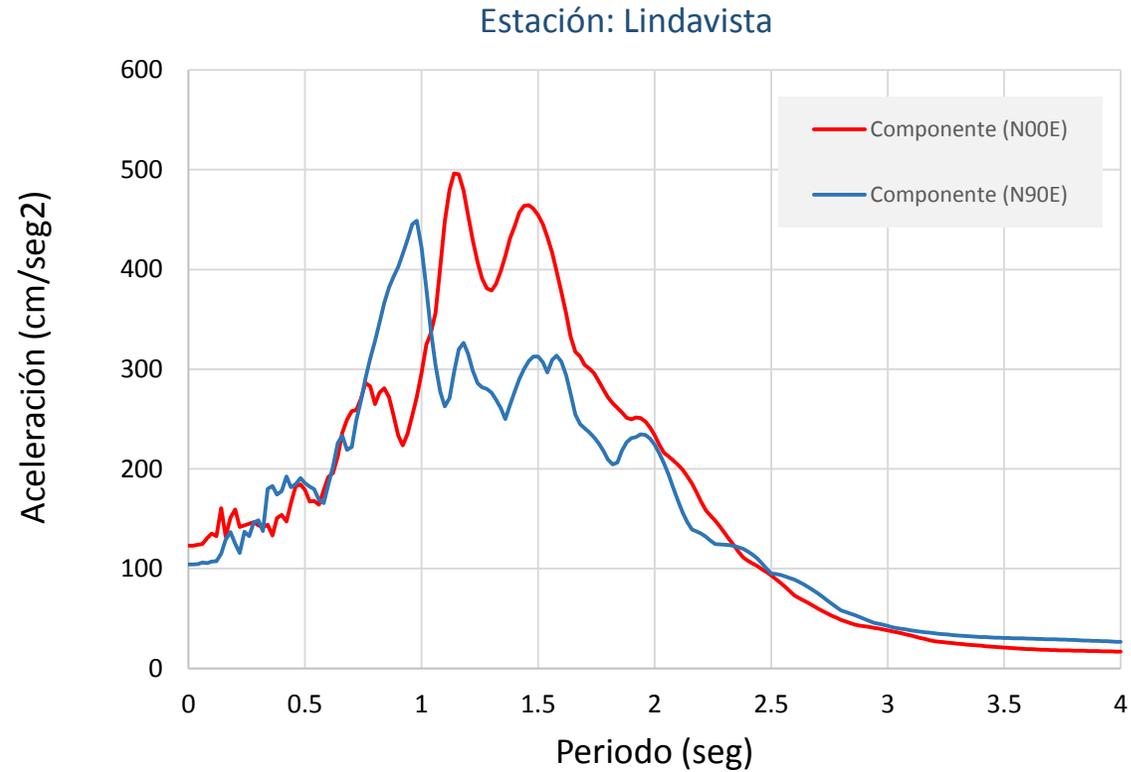


Figura 19.- Espectros de respuesta para 5% de amortiguamiento

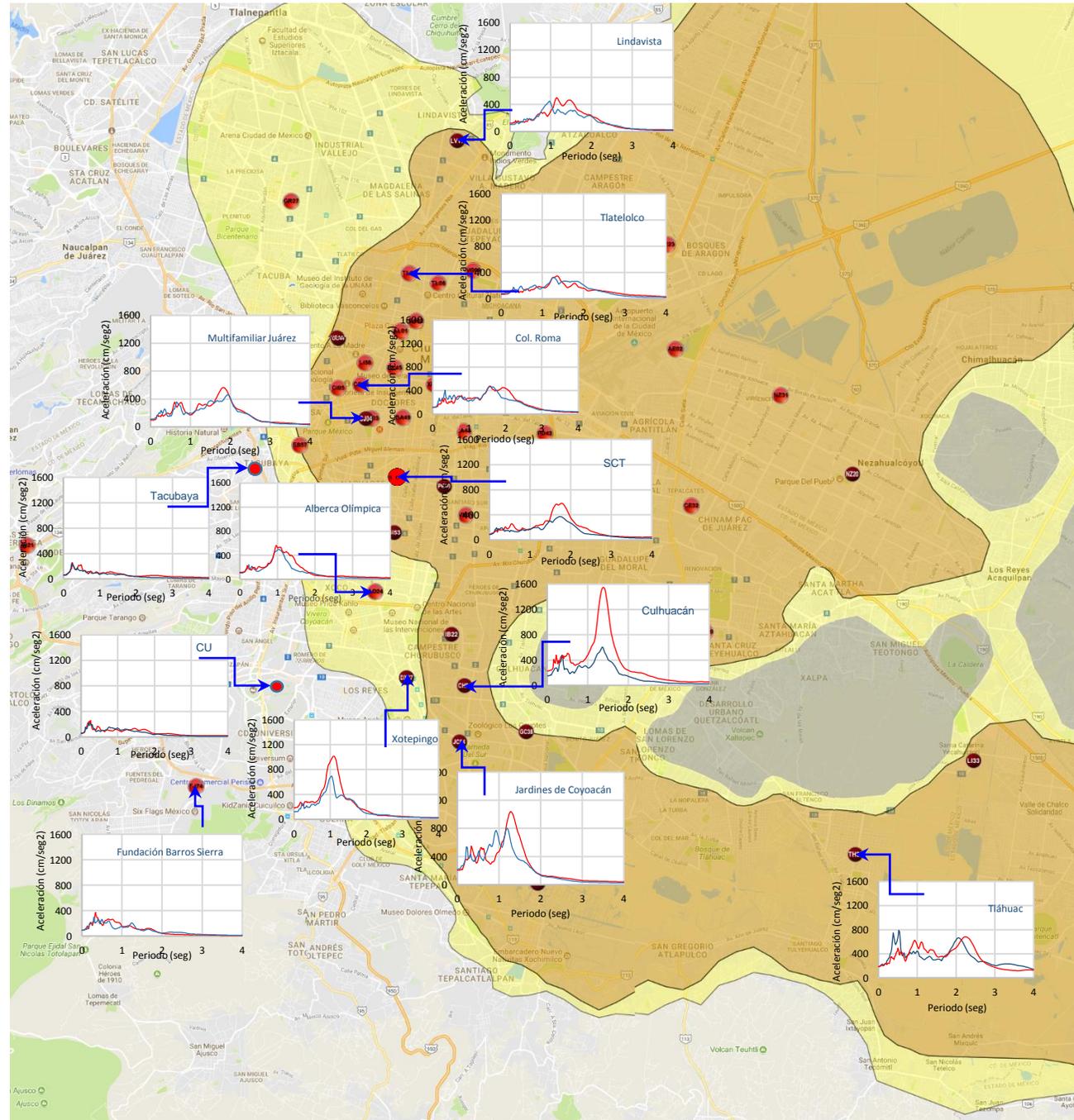
LOCALIZACIÓN DE LA ESTACIÓN:  
Col. Lindavista  
Av. Lindavista entre calles Matanzas y Lima.



## Variación espacial

Figura 20.- Se muestra la variación espacial de la respuesta sísmica en la Cd. de México durante el sismo 19 de septiembre de 2017.

Además de la amplificación de las ondas, la duración del movimiento del suelo es también mucho mayor dentro de los sedimentos blandos.





## Conclusiones

Este documento solo tiene la finalidad de mostrar los resultados obtenidos en diversos sitios de la Cd. de México durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 y los significativos efectos de sitio, en los que, además de la amplificación de las ondas, la duración del movimiento del suelo es también mucho mayor dentro de los sedimentos blandos. Queda mucho por analizar.

No debemos olvidar que bajo las costas del estado de Guerrero, por ejemplo, existe una brecha sísmica de 250 km de longitud en dónde podría ocurrir un sismo de magnitud superior a 8. Este segmento se encuentra a unos 300 km de la Ciudad de México. Es decir, aproximadamente a 150 km más cerca que la zona epicentral del terremoto de 1985. Estimaciones hechas por sismólogos de la Universidad Nacional Autónoma (UNAM) sugieren que, si este sismo ocurriera en un futuro, las aceleraciones del suelo blando en la Ciudad de México podrían ser, bajo ciertas condiciones, superiores a las del sismo reciente, (Cruz Atienza, et al, 2017).



## Referencias:

- SSN Servicio Sismológico Nacional, UNAM. *Reporte Especial*. (2017)  
<http://www.ssn.unam.mx/>

Cruz Atienza V. M. ;Krishna Singh Shri; Ordaz Schroeder M. *Nota Informativa. El sismo del 19 de septiembre de 2017*, (2017)

REALIZADO POR: CARLOS ROBERTO TORRES ÁLVAREZ

27 de septiembre de 2017