

EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA RESONANTE DE SITIO NO-LINEAL EN PUNTA MALDONADO

Julio César Cuenca Sánchez
Miguel Rodríguez González

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, 04510, México
jccsa@pumas.iingen.unam.mx

INTRODUCCIÓN

Actualmente investigaciones del efecto de sitio (amplificación del suelo) se han deducido a partir de registros sísmicos, ya sea con microtemores, movimientos fuertes y débiles o usando la coda. También retrasos de tiempo de viaje de las ondas ocurren después de un evento fuerte durante la ruptura co-sísmica alrededor de la fuente sísmica (zona de falla). Asimismo, se le atribuye un cambio de velocidad en un sitio movido (dañado) por un evento fuerte. La instrumentación usando arreglos tanto superficiales y de pozo se han realizado para analizar un efecto no-lineal, como es el caso de USA (Rubinstein et al., 2011) y Japón (Aguirre y Irikura, 1997), calculando cocientes espectrales (H/V) entre un registro superficial contra el de pozo a cierta profundidad. Singh et al. (1988) reporta que las arcillas de la ciudad de México mostraron un pequeño efecto no lineal durante el terremoto del 19-septiembre-1985 (M8.1).

En este trabajo, se examina el efecto de sitio no-lineal usando el registro de la réplica mayor M6.0 en aceleración, obtenida en superficie (campo libre) con equipo acelerométrico K2 Serie Altus de 1G del Instituto de Ingeniería UNAM.

EFECTO NO-LINEAL

En una estructura geológica de una capa de suelo sobre un semi-espacio, el efecto de sitio no-lineal resulta en una deriva (cambio) de la frecuencia resonante de la capa, hacia valores bajos (en frecuencia) con el incremento de la amplitud de excitación (observada en el espectro de amplitud del movimiento del suelo). Dicha disminución en frecuencia está asociada a una reducción en la velocidad de cortante. La deamplificación es referida al efecto no-lineal de la reducción en la amplificación del movimiento fuerte de alta magnitud (generando altas aceleraciones) comparado con el movimiento débil de mediana magnitud (Benesnev et al., 1995).

La evaluación de la respuesta característica del suelo usando sismos de pequeña intensidad o magnitud ha sido y puede ser extrapolada para obtener la respuesta de futuros terremotos mayores. Así, la respuesta sísmica de la no-linealidad del suelo es encontrado cuando ocurren sismos fuertes y es condición que esto suceda en suelo o roca blanda.

Comparando la respuesta de sitio durante un fuerte sismo y un sismo débil, es la manera de identificar un comportamiento de sitio no-lineal. La respuesta no-lineal es una disminución en la frecuencia resonante del material o como una reducción a una banda más baja en frecuencia. En corto tiempo cambia y puede regresar a la frecuencia original en minutos a días y las velocidades son reducidas por periodos de meses a años.

RESPUESTA DE SITIO NO-LINEAL EN PUNTA MALDONADO

Punta Maldonado es un puerto en la costa del Pacífico perteneciente al Estado de Guerrero y muy cerca al límite con el Estado de Oaxaca (Figura 1), donde el 20 de marzo del 2012 ocurrió un fuerte sismo superficial M7.4 (SSN) con daño en muchas casas de adobe y algunas iglesias mayormente en las partes altas alejado y dentro de continente.

En el área de Cuajinicuilapa y Punta Maldonado (en los límites de los estados de Guerrero y Oaxaca), se tiene un amplio afloramiento de arenas y areniscas bien consolidadas (Servicio Geológico Mexicano, 2007). Cardoso-Vásquez (2000) define estos depósitos sedimentarios denominados Formación Punta Maldonado. Le atribuyen una edad de Mioceno al Plioceno-Pleistoceno (Figura 2).



Figura 1.- Mapa de ubicación de pueblo de Punta Maldonado, con la Ciudad de México (DF en rojo). En amarillo y verde los Estados de Guerrero y Oaxaca.



Figura 2.- Geología superficial (marrón) la formación del pleistoceno compuesta de conglomerados, areniscas y limos consolidados a poco consolidados (Carta Geológica Minera, en Cartografía del Servicio Geológico Minero, 2009). Línea negra gruesa es el límite entre Estados.

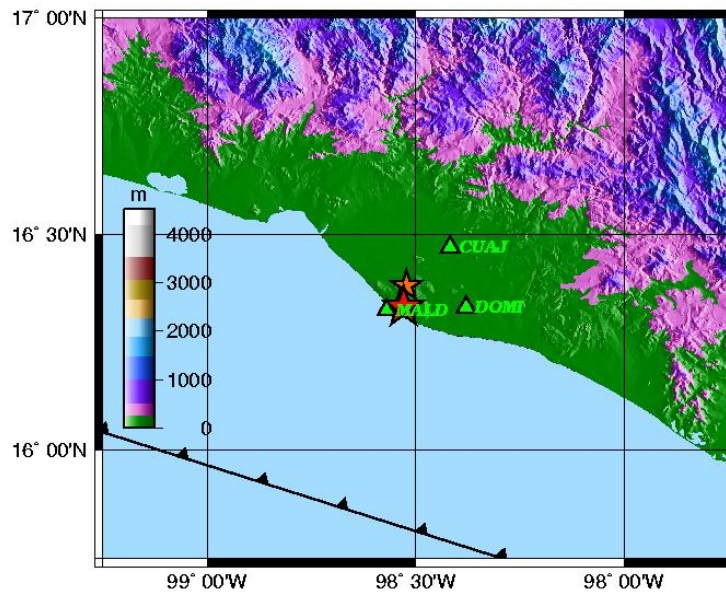


Figura 3.- Mapa de ubicación mostrando la topografía, las estaciones temporales del Instituto de Ingeniería, en triángulos verdes CUAJ (en Cuajinicuilapa). DOMI (en Sto. Domingo) y MALD (en Punta Maldonado). Estrella roja sismo principal M7.4, y estrella naranja la réplica mayor M6.0.

INSTRUMENTO Y DATOS

En campo se instaló en el pueblo de Punta Maldonado un acelerómetro K2 marca Kinematics de 1G con sensores de tres componentes FBA y conectado un GPS para el Tiempo Universal, como parte de una red para registrar réplicas. Los datos se grabaron por umbral de disparo de tal manera que grabara los eventos sísmicos con pre y post evento en formato EVT a 100 muestras/segundo. En el procesador se convirtió de formato EVT a formato SEISAN para generar una base de eventos.

Por otro lado, se convirtió a formato MSEED para procesarlos con el programa GEOPSY, para el análisis espectral. Se eligieron ventanas individuales e iguales de 40 segundos de duración para calcular cocientes espectrales, desde una primera hasta una quinta ventana, para comparar desde la ocurrencia del evento réplica mayor M6.0 (Figura 3) y las pequeñas réplicas posteriores (Figura 4).

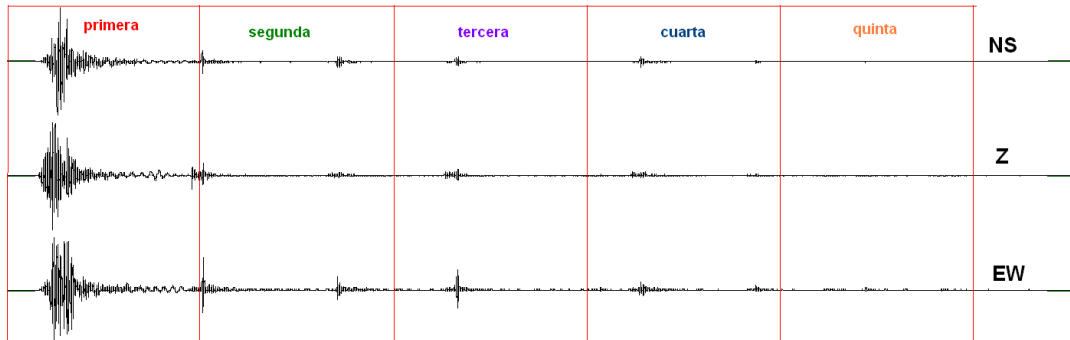


Figura 4.- Registros en aceleración de Punta Maldonado de la réplica mayor M6.0 (2-abril-2012) localizada superficialmente y muy cerca. Se observa 5 réplicas menores posteriores. Duración 217 segundos.

INTERPRETACIÓN

La comparación de la réplica mayor de M6.0 del 2 de abril del 2012 con las sub-réplicas de menor magnitud disparadas inmediatamente dentro de los tres primeros minutos posteriores (Figura 4), se observa una caída co-sísmica en la frecuencia pico. Esta reducción en la frecuencia pico resonante medidas con cocientes espectrales (H/V) durante el movimiento del suelo causado por la réplica fuerte (M6.0), le sigue una recuperación rápida a el nivel similar de la réplica mayor.

Parecería que la habilidad del suelo en Punta Maldonado a amplificar las ondas sísmicas puede ser perdida, cuando la amplitud del movimiento llega a ser suficientemente fuerte, ya que el H/V de la primera ventana que contiene al sismo de M6.0 tiene menor amplificación, que las réplicas posteriores incluidas de la segunda a la quinta ventana analizada (Figura 5). El comportamiento no-lineal se demuestra con la reducción en frecuencia, de 0.35 Hz en la primera ventana (incluyendo al evento M6.0) a 0.27 Hz en la segunda y en la tercera, y a 0.30 y 0.31 en la cuarta y quinta ventana respectivamente y en su amplificación 7 (para el evento M6.0), 10, 11, 13, 8 veces donde aparecen réplicas menores.

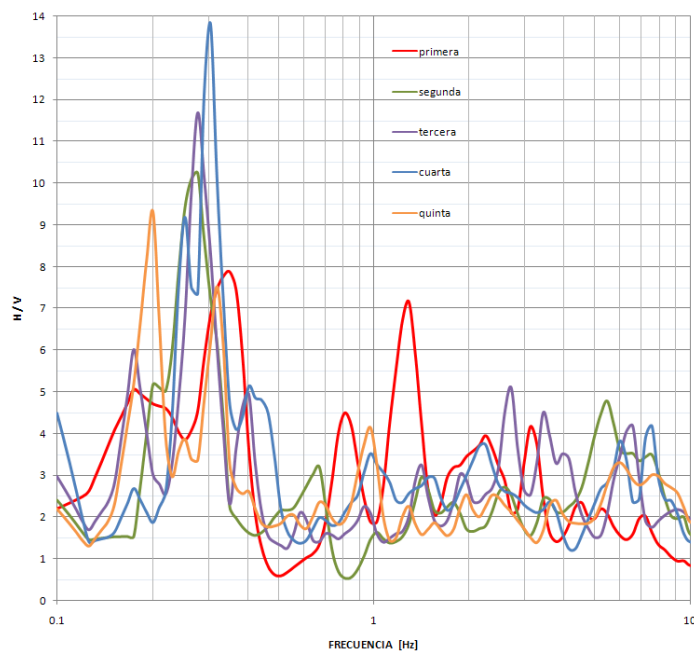


Figura 5.- Cocientes espectrales (H/V) para cinco ventanas iguales de 40 segundos de duración (Figura 4).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, J. and K.Irikura (1997). Nonlinearity, liquefaction, and velocity variation of soft soil layers in Port Island, Kobe, during the Hyogo-Ken Nanbu earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, 5, 1244-1258.
- Cardoso-Vázquez, E.A., 2000, El Terreno Xolapa en el área de Cuajinicuilapa, Guerrero: Taxco, Guerrero, México, Universidad Autónoma de Guerrero, Escuela Regional Ciencias de la Tierra, tesis profesional, 88 p.
- Carta Geológica Minera (2009). Estado de Guerrero y Estado de Oaxaca, en Cartografía del Servicio Geológico Minero, Escala 1:1'000,000.
- Beresnev, I.A., K.-L. Wen and Y. Yeong, 1995. Seismological evidence for nonlinear elastic ground behavior during large earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 14, 113-114.
- Sing, S.K., E. Mena and R. Castro (1988). Some aspects of source characteristics of the 19 September 1985 Michoacán earthquake and ground motion amplification in and near Mexico City from strong motion data Servicio Geológico Mexicano, 2007. Texto Explicativo de la Carta Geológica de México. Escala 1:2'000,000 / 6ta edición, 31 p.
- Rubinstein, J.L. (2011). Nonlinear site response in medium earthquake near Parkfield, California. *Bull. Seism. Am.* 101, 1, 275-286.