

Sesión especial

**SISMOLOGÍA APLICADA  
PARA RESOLVER  
PROBLEMAS EN INGENIERÍA**

Organizadores:

J. Antonio Vidal Villegas  
Rogelio Arce Villa

SE21-1

## MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA EN NUEVO VALLARTA, NAYARIT

Rodríguez Félix Víctor Hugo<sup>1</sup>, Márquez Ramírez Víctor Hugo<sup>2</sup>, Cárdenas Soto Martín<sup>3</sup> y Núñez Cornú Francisco Javier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guadalajara, UdeG  
<sup>2</sup>CONACYT - Universidad de Guadalajara, UdeG  
<sup>3</sup>Facultad de Ingeniería, UNAM  
 victor.mvi@hotmail.com

México tiene un ambiente tectónico complejo principalmente en la Trinchera Mesoamericana (MAT) como consecuencia de la interacción entre la placa de Rivera (RP), la placa de Cocos (CP) y la placa de Norte América (NA). El sismo de mayor magnitud registrado instrumentalmente en México, fue de  $M=8.2$  y ocurrió el 3 de Junio de 1932 en la región de Jalisco-Colima, seguido por otro de  $M=7.8$  que ocurrió 15 días después (Okal, 2011) y produjo grandes daños en Nayarit, principalmente en las zonas costeras. Nuevo Vallarta es una localidad y destino turístico del estado de Nayarit en el municipio de Bahía de Banderas, que ésta sujeta al peligro sísmico debido al ambiente tectónico descrito anteriormente. El "fenómeno de amplificación" documentado durante el terremoto de México de 1985 mostró, que las bajas frecuencias en una onda sísmica pueden amplificarse en sedimentos blandos y provocar el efecto de resonancia en estructuras con frecuencias naturales de vibración bajas (Hel-Hussain et al., 2013). Por ello, para caracterizar el "efecto de sitio" de la región y conocer la frecuencia fundamental de vibración del suelo, se realizó un estudio de microzonificación aplicando la técnica (H/V) mejor conocida como la técnica de Nakamura (1989), para estimar por medio de microtemores la frecuencia fundamental resonante en toda la región. Para este proyecto se utilizó un sensor Lennartz -3D/20 s, con un digitalizador Centaur de 24-bit. Por medio de la paquetería de Obspy se visualizaron las trazas de los registros para desechar los fragmentos de grabación contaminados y se prepararon para su lectura y procesado en Geopsy, software desarrollado dentro del proyecto SESAME (2004). Se siguió el criterio de validación de resultados conforme a las recomendaciones de SESAME 2004 y se encontraron, que las frecuencias fundamentales oscilan en el rango de 0.5 y 3 Hz.

SE21-2

## COMPARACIÓN DE COCIENTES ESPECTRALES H/V CALCULADOS A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE SEÑALES SÍSMICAS

Vidal Villegas José Antonio<sup>1</sup>, Arce Villa Rogelio<sup>1</sup> y Ramírez Ramos Erik Esteban<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE  
<sup>2</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, UABC  
 vidalv@cicese.mx

El uso de la técnica de los cocientes espectrales H/V (CEHV, o método de Nakamura, a partir de registros de vibración ambiental) es ampliamente usada para calcular el periodo natural de un sitio. Sin embargo esta técnica es cuestionada para determinar el factor de amplificación. Una variante en el cálculo de los CEHV es con el uso de registros de temblores, principalmente a partir de la onda S (aunque algunos autores han reportado resultados con el uso de la totalidad del sismograma). Regularmente los valores pico H/V obtenidos son diferentes a los obtenidos a partir de registros de vibración ambiental. Otro aspecto a considerar en la técnica de Nakamura es el tipo de instrumentación a usar en la obtención de los registros: sismómetros o acelerómetros. De acuerdo a la guía de SESAME, es mejor usar sismómetros, ¿por qué, si el acelerómetro también tiene una respuesta lineal en el ancho de banda de interés? En la literatura se han reportado resultados de CEHV en que los registros fueron obtenidos con acelerómetros. Aún más, ¿es posible usar instrumentación de periodo corto en el cálculo de los CEHV? De acuerdo a la guía de SESAME es recomendable usar instrumentación de periodo intermedio (10 s, 5 s a la frecuencia de Nyquist). En el presente trabajo presentamos resultados de CEHV obtenidos a partir de registros de vibración ambiental obtenidos usando varias variantes: con el uso de sismómetros (de periodo corto, periodo intermedio y banda ancha) y de acelerómetros. Adicionalmente, presentamos resultados de CEHV principalmente para 6 sitios ubicados en el ambiente sedimentario del Valle de Mexicali (incluido el Volcán de Cerro Prieto). En estos sitios se encuentran funcionando también estaciones de aceleración. Al presente podemos decir que los valores pico H/V obtenidos con registros de aceleración y de vibración ambiental son muy variables e incluso divergentes entre sí. Sin embargo, los valores del periodo natural son coincidentes ( $T_n \pm 0.3$  s). Por otro lado, reportaremos resultados orientados a dar respuesta a las dos preguntas expuestas en el presente resumen.

SE21-3

## ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA PROFUNDA DE LA VELOCIDAD DE CORTANTE Y LOS FACTORES DE SITIO EN LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO

Rojas Rodrigo<sup>1</sup>, Rodríguez Miguel<sup>1</sup> y Barcena Armando<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
<sup>2</sup>Investigador Consultor  
 rrojash@ingen.unam.mx

En el trabajo se presenta un modelo de la velocidad de propagación de ondas sísmicas de corte para la región oriente de la cuenca de México que alcanza una profundidad de aproximadamente 2000 metros y se discuten los efectos que esta nueva información causa en los factores de sitio de la zona oriente de la cuenca. Para la estimación de la estructura profunda de velocidad, se realizó la exploración utilizando dos arreglos circulares concéntricos con radios de cerca de 300 y 600 metros, con estación central. En cada uno de los arreglos se instalaron diez sensores de periodo intermedio que operaron ininterrumpidamente durante al menos 12 horas, monitoreando el campo de ruido sísmico ambiental en tres componentes. Para la parte somera se añade información de arreglos triangulares con separación de 200 metros aproximadamente entre estación. El procesado de la información en esta ocasión se hizo mediante la estimación de los coeficientes de correlación del componente vertical, siguiendo de cerca la técnica SPAC, para invertir inicialmente por las velocidades de fase y enseguida por la estructura de la velocidad de cortante en profundidad. Los resultados indican que hasta cerca de 500 metros de profundidad las velocidades de corte no exceden los 700 m/s, para incrementarse notablemente en profundidad. La respuesta de la estructura completa indica que la estructura profunda de velocidad puede contribuir al movimiento del terreno de manera significativa en superficie.

SE21-4

## LA RED ACELEROGRÁFICA EN MÉXICO. UNA RETROSPECTIVA

Alcántara Leonardo, Almora David, Pérez Citlali, Ramírez Leonardo, Ruiz Ana Laura, Macías Marco Antonio, Delgado Rosario y Sandoval Héctor  
 Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
 leonardo@pumas.ii.unam.mx

La actividad sísmica de México se debe principalmente a la interacción de las placas tectónicas del Pacífico, Rivera, Cocos y del Caribe con la gran placa de Norteamérica, razón por la cual un alto porcentaje de esta se desarrolla en la costa del Pacífico y se prolonga hacia el noroeste debido a la falla de San Andrés. El impacto causado por sismos históricos, como el de Baviste en 1887 ( $M=7.4$ ), establece la necesidad de contar con un sistema de medición de temblores. En 1910 se establece el Servicio Sismológico Mexicano, sin embargo la información entonces registrada no respondía a las interrogantes surgidas a raíz de los graves daños causados por sismos como los de Acambay (1912,  $M=7$ ), Jalapa (1920,  $M=6.4$ ) y Oaxaca (1931,  $M=7.8$ ). Posterior al sismo de San Marcos de 1957 ( $M=7.8$ ) los ingenieros mexicanos deciden instalar otro tipo de instrumentos de medición "los Acelerógrafos". En 1962 se obtuvieron los primeros registros y a partir de entonces inicia un proceso para instalar un mayor número de acelerógrafos. En los años ochenta surge el proyecto de la Red Acelerográfica de Guerrero, el cual permitió la obtención de una excelente colección de acelerogramas producidos por el gran temblor de Michoacán del 19 de septiembre de 1985 ( $M=8.1$ ). Los devastadores efectos de este gran sismo y la falta de una instrumentación adecuada han motivado el interés, tanto de autoridades como de diversas entidades e instituciones educativas, para crear grupos que instalen y operen infraestructura destinada a registrar y estudiar el fenómeno sísmico. En el trabajo se hace una reseña histórica sobre el surgimiento de las redes acelerográficas en el país, su importancia y evolución; así como de su vital interacción con las actividades que los Sistemas de Protección Civil realizan y la consolidación del proyecto Red Sísmica Mexicana.

SE21-5

## ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DEL SUELO A PARTIR DE RUIDO AMBIENTAL Y DOS EXPLOSIONES DE CANTERA EN LA ZONA SUR DE ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Martínez Romo German, Vidal Villegas José Antonio, Acosta Chang José Guadalupe y Mendoza Garcilazo Luis Humberto  
 Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE  
 germarti@cicese.edu.mx

El propósito del estudio es determinar el periodo natural y la estructura del subsuelo (0 - 30 m), en el Ex Ejido Chapultepec y alrededores (al sur de Ensenada, Baja California). Esta localidad ha tenido un desarrollo habitacional importante en los últimos 10 años y se desconocían los parámetros mencionados, los cuales son útiles para el diseño de estructuras sismo-resistentes. Se realizaron 2 campañas de adquisición de ruido ambiental y se registraron 2 explosiones de cantera detonadas en la zona de estudio. Para la técnica de cocientes H/V se utilizaron sensores de velocidad de periodo corto (2 s, SARA) y periodo intermedio (10 s,

PMD) obteniendo registros de ruido de 30 minutos en cada sitio. Para la técnica SPAC, los registros de ruido (de 30 a 50 minutos de duración) se obtuvieron con equipo SARA y arreglos circulares de 60 m de diámetro. Las explosiones fueron registradas en 4 acelerógrafos distribuidos alrededor de los sitios de detonación. Para el procesamiento descrito a continuación, usamos el software libre Geopsy. En el caso de la técnica de Nakamura, los registros se dividieron en segmentos de 40 segundos en las 3 componentes. Para cada uno de éstos se calculó su transformada de Fourier; la componente H se obtuvo de la raíz cuadrática media de las 2 componentes horizontales. El valor H/V se obtiene de promediar los cocientes obtenidos para cada segmento. Respecto a la técnica SPAC, se determinó la curva de dispersión de ondas Rayleigh, primero calculando el coeficiente de correlación entre la estación de referencia y la de interés. Posteriormente, se calculó la velocidad de fase de la onda Rayleigh para obtener la curva de dispersión. De un proceso de inversión obtuvimos el perfil de velocidades de ondas de corte. La velocidad pico de partícula (Vpp), se determinó como sigue: primero se integró los acelerogramas, para obtener los sismogramas, a continuación se obtuvo la resultante vectorial de las tres componentes. Del sismograma resultante medimos la Vpp. Por otro lado, a partir del espectro de amplitud del sismograma horizontal que presentó la velocidad máxima, medimos la frecuencia correspondiente a la mayor amplitud espectral. La Vpp y la frecuencia medida, las comparamos con la Norma Internacional USBM R18507. Del uso de las técnicas H/V y SPAC, obtuvimos zonificaciones en función del período dominante del suelo y la Vs30. De esta última calculamos la densidad, valor máximo del módulo de cortante y el valor máximo del módulo de Young. Los perfiles de velocidad muestran valores promedio de la Vs30 de 145 a 550 m/s. Los períodos naturales están comprendidos desde 0.4 hasta 6 Hz. De estos resultados deducimos que en la zona hay tres tipos de suelo: roca blanda o suelo muy denso, suelo rígido y suelo blando. La Vpp, obtenida fue de 3.8 mm/s y la frecuencia de 2.7 Hz. De la comparación de estos valores con la Norma Internacional notamos que no se rebasaron los límites permitidos.

SE21-6

### ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS SÍSMICOS. UNA METODOLOGÍA NEURONAL

Alcántara Leonardo y García Silvia  
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM  
leonardo@pumas.ii.unam.mx

Entre las tareas más importantes de la Ingeniería Sísmica está la estimación del movimiento del terreno con el propósito de evaluar el peligro y el riesgo sísmico y en consecuencia aplicar tal conocimiento al diseño sísmo-resistente. Para caracterizar el movimiento sísmico se han definido diversos parámetros utilizando los registros de temblores, una vez establecido un parámetro es necesario desarrollar expresiones que permitan deducir la relación existente entre este y las características del fenómeno (fuente sísmica, trayectoria de propagación, atenuación/amplificación de las ondas sísmicas, etc.) Un parámetro que se ha observado es fundamental tanto en la respuesta del suelo como en la de los sistemas estructurales es el asociado a la duración de la fase intensa del movimiento. Actualmente existen varias expresiones para estimarla, en general todas están en función de la magnitud del sismo y la distancia entre la fuente y sitio de registro; en otros casos también se incluyen las condiciones locales del sitio. Utilizando acelerogramas de la Base Mexicana de Datos de Sismos Fuertes, se presenta una metodología para determinar los valores de la aceleración máxima del terreno (Amax) así como de la duración de la fase intensa (D). Para lo cual se hace uso de los sistemas neuronales basados en el cómputo aproximado; la propuesta establece las relaciones existentes entre los datos y permite a los modelos neuronales hacer una estimación directa de los parámetros indicados. En el desarrollo de los modelos se consideraron como parámetros de entrada al sistema: magnitud, distancia epicentral, profundidad focal, ubicación geográfica de la estación de registro (con respecto al epicentro) y las condiciones del subsuelo. De los resultados se concluye que los sistemas neuronales realizan estimaciones bastante razonables y además ofrecen mejor capacidad predictiva que las expresiones existentes.

SE21-7

### ESTIMACIÓN DE PELIGRO SÍSMICO EN EL NORTE DE BAJA CALIFORNIA, CON APLICACIÓN EN EL CÁLCULO DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UN EDIFICIO

Arce Villa Rogelio, Munguía Orozco Luis y Vidal Villegas José Antonio  
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE  
rarce@cicese.edu.mx

Efectuamos un análisis probabilístico de peligro sísmico (PSHA, por sus siglas en inglés) para el norte de Baja California. Un resultado de este análisis fue un mapa de peligro sísmico, el cual indicó los niveles de aceleración esperados en dos sitios de estudio (uno en Tijuana y otro en Puerto Salina, Baja California) durante la ocurrencia de sismos regionales. Un segundo resultado del PSHA fue un proceso de desagregado del peligro sísmico, el cual mostró de que tamaño y en donde están ubicadas las fuentes sísmicas que plantean el mayor peligro a los sitios de interés. Como tercer resultado del PSHA se obtuvo un espectro de respuesta de peligro uniforme para un edificio de 12 niveles ubicado en Puerto Salina. Con este espectro y con la información de la magnitud de los sismos de peligro potencial, la aceleración esperada y la distancia a los sitios, buscamos un registro de aceleración que sirviera

como fuente externa de movimiento en el edificio bajo estudio. Las características de este registro fueron tales que el espectro de respuesta que se calculó de él es lo más parecido al espectro de peligro uniforme resultante del PSHA. Por tanto, el registro de aceleración encontrado contiene movimientos del suelo muy similares a los que estaría expuesto el edificio considerado, para un sismo de magnitud M y con epicentro a distancia R del sitio. Finalmente el registro de aceleración lo utilizamos para representar la excitación sísmica en la base del edificio y ésta se propagó hacia los niveles superiores produciendo desplazamientos en los doce niveles de la estructura bajo análisis. Una vez conocidos los desplazamientos, éstos fueron utilizados para calcular fuerzas, momentos de volteo y otros parámetros de interés en la respuesta del edificio.