

Microzonación Sísmica del Área Urbana de El Ejido

Helena Seivane Ramos

Department of Applied Physics, University of Granada, Fuentenueva Campus, Granada 18002, Spain

Abstract. El Ejido is a town located at Almería province (SE Spain). This town presented a high growth rate during the last twenty years. Regional seismic hazard maps show that this region is close to active seismic sources. The most intense seismic activity recently recorded in this region occurred in the late 1993 and early 1994 near Adra town and included two mainshocks with $M_b=4.9$ and $M_b=5.0$. It is therefore necessary to carry out a seismic microzonation of this city to provide a basis for site-specific hazard analysis. In this study, a map of predominant periods at El Ejido urban area is obtained by means of ambient noise observations. These observations were carried out at 52 sites in this area. The predominant periods of the ground were determined from the horizontal-to-vertical (H/V) spectral ratio technique. Moreover, array measurements were performed at two sites to get the shear wave velocity (V_s) profiles employing the spatial autocorrelation method (SPAC) and applying an inversion algorithm to the dispersion curve of Rayleigh waves. The resulting V_s profiles reached a depth of 40 m and they support the classification of the soil, in average, as soft rock according to previous geotechnical studies. All the surveyed points in the area were found to have long predominant periods ranging from 0.8 to 2.3 s. The results from this work suggest that the predominant peaks of low frequency observed in H/V ratios are related with the impedance contrast between a thick column of sediments, whose thickness varies from 200 m in the NW area to 600 m in the SE area of the city, and the underlying bedrock.

Keywords: Microzonation; El Ejido; ambient noise; passive seismic, predominant period; H/V spectral ratio; SPAC.

INTRODUCCIÓN

Las condiciones locales del suelo modifican las características de las ondas sísmicas durante un terremoto. Debido a esto, el efecto local es uno de los factores que contribuyen a la modificación de las características del movimiento del suelo durante una sacudida sísmica. La evaluación del efecto de sitio, debido a las condiciones geológicas del terreno, es un aspecto importante para la prevención y reducción del riesgo sísmico a escala urbana. Los estudios de microzonificación sísmica pretenden determinar la respuesta sísmica de cada tipo de suelo ante un terremoto y su capacidad de amplificación sísmica. La microzonación sísmica está orientada a la planificación del uso del suelo a escala urbana y su objetivo fundamental es subdividir la región sobre la que está dirigido en sectores relativamente pequeños, cada uno con un comportamiento similar de los parámetros relevantes del movimiento sísmico. (Roca and Oliveira, 2002; The Technical Committee for earthquake geotechnical engineering, 1999)

El Ejido se encuentra en un área con un peligro sísmico asociado moderado-alto, existiendo un peligro potencial debido al efecto de amplificación de cuencas sedimentarias de los movimientos del suelo durante un terremoto. El objetivo de este trabajo es hacer una microzonación sísmica mediante medidas de ruido ambiental en 52 sitios distribuidos en el área urbana del Ejido. Este trabajo plantea el uso de técnicas geofísicas y de ingeniería sismológica de gran precisión y su aplicación en el área

urbana estudiada. Se aborda el empleo del método de autocorrelación espacial (SPAC, por sus siglas en inglés) (Aki, 1957) como técnica geofísica para determinar la estructura superficial del terreno en términos de velocidad de cizalla y caracterizar el comportamiento dinámico del terreno mediante la determinación de las frecuencias (periodos) predominantes, usando el método de la razón espectral H/V (Nakamura, 1989)

GEOLOGÍA Y SISMICIDAD

El área de estudio está localizada entre los meridianos 36°45' y 36°47'N y los paralelos 2°47' y 2°50'O. Forma parte de una llanura litoral suavemente ondulada ubicada en el extremo suroriental de Andalucía. Esta llanura, conocida generalmente como Campo de Dalías, ocupa una extensión aproximada de 390 km² (Marín Lechado, 2005). El Campo de Dalías es una cuenca neógeno-cuaternaria que limita al norte con las elevaciones montañosas de la Sierra de Gádor y al sur con la línea de costa del Mar de Alborán.

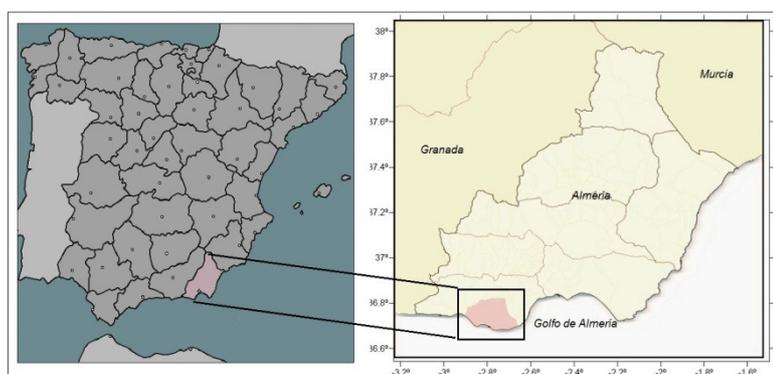


FIGURA 1. Localización geográfica del municipio de El Ejido dentro de la provincia de Almería

El límite norte del núcleo urbano de El Ejido corresponde a las estribaciones de la Sierra de Gádor, la cual está formada por rocas metamórficas pertenecientes al Complejo Alpujarride; es por ello que la Sierra de Gádor representa el basamento metamórfico sobre el cual se ha depositado la cuenca sedimentaria de origen detrítico en la que se sitúa el área urbana de El Ejido.

Varios proyectos geotécnicos han sido analizados y las columnas estratigráficas indican que el sustrato plioceno está formado por calcarenitas, las cuales se encuentran en la mayoría de los sondeos en los primeros 20 m. de profundidad. El Cuaternario más reciente está representado fundamentalmente por los materiales detríticos heterogéneos más o menos cementados, tales como los conglomerados de gravas, arenas, limos y arcillas.

El Ejido muestra un escenario sísmico caracterizado por una sismicidad histórica que ha afectado gravemente a las zonas urbanas circundantes en los últimos siglos (Vidal, 1986), aunque para El Ejido no exista ninguna recopilación histórica debido a que se ha establecido como núcleo urbano hace menos de un siglo la identificación. El estudio de las fallas más importantes, como son la falla de Balanegra (Marín-Lechado et al., 2010) y la de Loma del Viento (Pedrera et al., 2012), indica un posible comportamiento sismogénico capaz de producir terremotos espaciados de gran magnitud.

MEDIDAS Y ANÁLISIS DE DATOS

La toma de datos se programó inicialmente para 25 puntos dentro del casco urbano de la ciudad, conformando una malla cuadrada de 500 x 500 m de lado para cada celda de puntos de medida (Fig. 13 y 14). Posteriormente se densificó el cuadrante inferior dentro de una malla de 250 x 250 m, realizándose medidas fuera del casco urbano de la ciudad con la intención de observar una posible tendencia general de incremento del periodo predominante del suelo, una vez realizado un primer análisis de los datos.

Para los registros de 3 componentes se utilizó en ambas campañas un sismómetro Güralp de banda ancha perteneciente a la Universidad de Almería, equipado con un digitizador de 24 bits y un sensor triaxial que puede medir simultáneamente las componentes verticales, Norte-Sur y Este-Oeste del movimiento del suelo. Cada uno de los tres sensores es sensible a las vibraciones del suelo dentro del rango de frecuencias: 0.033-100 Hz. El modelo utilizado es un CMG-6TD con una respuesta plana en velocidad entre 0.033 Hz y 100 Hz. La frecuencia de muestreo ha sido de 100 muestras por segundo (≈ 100 Hz). En general, para cada localización los registros fueron de 15 minutos de duración.

Para la realización de las medidas con arrays se utilizó un equipo portátil de registro SPC-51 diseñado por la empresa Tokyo Sokushin (Japón) y perteneciente a la Universidad de Almería. Este segundo equipo de registro está formado por un sistema de adquisición, sensores de velocidad VSE-15D con un rango de frecuencia entre 0.1 y 70 Hz y rango dinámico entre $15 \cdot 10^{-8}$ y 0.1 m/s, conversión analógica digital de 16 bit y frecuencia de muestreo variable. En este caso se usó una frecuencia de muestreo de 100 Hz. El equipo SPC-51 permite realizar simultáneamente registros en 6 canales diferentes, por lo que fue usado para la determinación de la estructura superficial del terreno a partir del método SPAC. Se utilizaron arrays pentagonales con diferentes radios en cada emplazamiento, situando los sensores VSE-15D en su componente vertical en los vértices y centro de los pentágonos desplegados (*capítulo 5.2*). El tiempo de registro fue de 30 minutos para cada uno de los radios utilizados.

El software de código abierto Geopsy (<http://www.geopsy.org>), desarrollado para las aplicaciones e investigaciones en geofísica dentro del proyecto Europeo SESAME (<http://sesame.geopsy.org/index.htm>) ha sido la herramienta utilizada para el procesamiento y aplicación del método H/V usando los registros obtenidos en las campañas de medida. El filtrado de todas las señales se ha realizado aplicando un filtro Butterworth de paso alta de orden 4 con una frecuencia de corte de 0.02 Hz. El método de suavizado escogido ha sido el de Konno&Onachi, con un valor 40 para la constante de suavizado. La longitud de ventana para todas las señales ha sido de 40 s, con un solapamiento del 50%.

Para el procesamiento y aplicación del método SPAC sobre los registros obtenidos en las campañas de medida se ha utilizado un software desarrollado en Matlab por el grupo de Geofísica Aplicada de la Universidad de Almería. Todas las señales han sido divididas en ventanas de longitud 20 s con un solapamiento del 80% y pasadas al dominio de la frecuencia mediante la Transformada Discreta de Fourier (DFT).

RESULTADOS

Los periodos fundamentales de resonancia identificados en la ciudad de El Ejido dan valores relativamente altos, variando entre 1.1 y 2.3 s dentro del casco urbano, apreciándose una tendencia, casi generalizada, de aumento del periodo hacia la parte sudeste de la malla experimental, concentrándose en este cuadrante la mayoría de los periodos mayores a 1.9 s. Esto concuerda con los resultados de los sondeos profundos de trabajos precios (Marín Lechado, 2005) donde se muestran que los materiales Alpujarrides presentes en la Sierra de Gador aparecen a profundidades del orden de los 300 a los 600 m en el área urbana del Ejido.

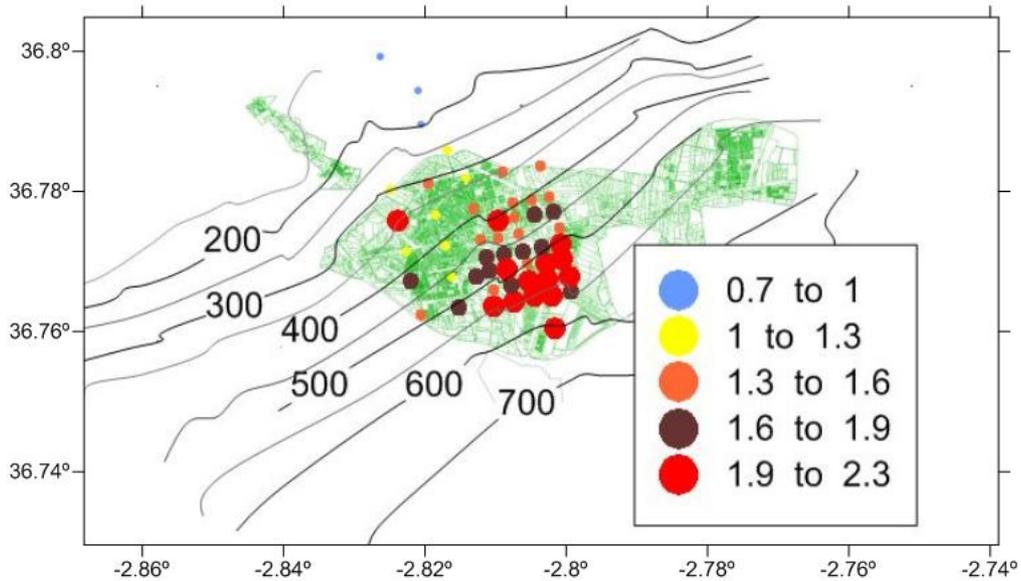


FIGURA 2 Mapa de distribución de los periodos predominantes en el caso urbano de El Ejido superpuesto sobre las isocintas de potencias de sedimentos cuaternarios y neógenos de la parte norte del Campo de Dalías, Marín Lechado (2005).

Los resultados de los perfiles de velocidad de cizalla muestran, para los puntos de aplicación del método SPAC, velocidades de cizalla máximas de 1070 y 1028 m/s a profundidades de 40 y 38 m respectivamente.

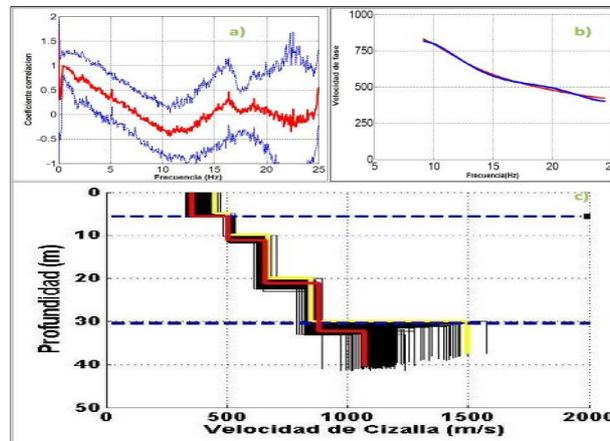


FIGURA 3 Ejemplo de los tres pasos en el procesamiento del método SPAC en uno de los puntos del estudio **a)** Coeficiente de correlación (rojo) obtenido para el radio de 40 m. **b)** Curvas de dispersión, teórica (roja) y observada (azul). **c)** Modelo de velocidad de cizalla obtenido en el punto spac1. La línea amarilla representa el modelo inicial de partida y la línea roja el modelo final.

CONCLUSIONES

Los valores N-SPT, extraídos de los proyectos geotécnicos analizados, muestran que el suelo urbano de la ciudad de El Ejido presenta una gran heterogeneidad en superficie, con valores V_S^{30} estimados comprendidos entre 207 y 479 m/s.

Los perfiles de velocidad calculados mediante el método de SPAC muestran un suelo semi-duro con valores V_S^{30} comprendidos entre 550 y 650 m/s (suelo Tipo II, NCSE-02).

Los valores del periodo predominante del terreno dentro del área urbana de El Ejido se encuentran por encima de 1s, llegando a alcanzar valores superiores a los 2s en la parte más meridional de la ciudad. Del análisis de la distribución de los periodos predominantes se observa una tendencia creciente del valor del periodo según la dirección NO-SE. Este resultado es concordante con la distribución de las isopacas de sedimentos Neógenos y Cuaternarios en el área de estudio (Marín Lechado 2005)

En 8 puntos de medida se observa que la razón espectral H/V muestra más de un pico dominante, alguno de los cuales en el rango 2-6 Hz. Este pico a altas frecuencias puede interpretarse como debido a la existencia de contrastes de velocidades más superficiales. Este resultado es especialmente relevante si se analiza la posible resonancia entre el suelo y los edificios existentes en la ciudad ante una sacudida sísmica.

REFERENCIAS

1. Aki, K., 1957. Space and time spectra of stochastic waves, with special reference to microtremors. 22 35, 415–456.
2. Marín Lechado, C., 2005. Estructura y evolución tectónica reciente del Campo de Dalías y de Níjar en el contexto del límite meridional de las Cordilleras Béticas orientales: tesis doctoral. Editorial Universidad de Granada, Granada.
3. Marín-Lechado, C., Galindo-Zaldívar, J., Gil, A.J., Borque, M.J., de Lacy, M.C., Pedrera, A., López-Garrido, A.C., Alfaro, P., García-Tortosa, F., Ramos, M.I., Rodríguez-Caderot, G., Rodríguez-Fernández, J., Ruiz-Constán, A., de Galdeano-Equiza, C.S., 2010. Levelling Profiles and a GPS Network to Monitor the Active Folding and Faulting Deformation in the Campo de Dalías (Betic Cordillera, Southeastern Spain). *Sensors* 10, 3504–3518. doi:10.3390/s100403504
4. Nakamura, Y., 1989. A method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *QR of RTRI* 30, 25–33.
5. NCSE-02 (2002). “Normativa de Construcción Sismorresistente Española“, Real Decreto 997/2002. Boletín Oficial Del Estado No. 244, 11 October, 2002, Spain
6. Pedrera, A., Marín-Lechado, C., Stich, D., Ruiz-Constán, A., Galindo-Zaldívar, J., Rey-Moral, C., de Lis Mancilla, F., 2012. Nucleation, linkage and active propagation of a segmented Quaternary normal-dextral fault: the Loma del Viento fault (Campo de Dalías, Eastern Betic Cordillera, SE Spain). *Tectonophysics* 522-523, 208–217. doi:10.1016/j.tecto.2011.12.001
7. Roca, A., Oliveira, C. (Eds.), 2002. *Earthquake Microzoning*. Birkhäuser Basel, Basel.
8. The Technical Committee for earthquake geotechnical engineering, T. ISSMGE, 1999. *Manual for zonation on seismic geotechnical hazards (Revised version)*. The Japanese Geotechnical Society, Tokyo.
9. Vidal, F., 1986. *Sismotectónica de la región Béticas-Mar de Alborán*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Granada, Granada.