

Cálculo e Interpretación del Cociente espectral H/V a lo largo del perfil Venta Pampanico-Guardias Viejas (AL-03, Campo de Dalías, Almería)

Rubén Candela Medel

Tutores: Manuel Navarro Bernal

Antonio García Jerez

Abstract. The Horizontal-to-Vertical (H/V) spectral ratio of ambient noise (Nakamura, 1989) has been obtained along a N-S seismic profile carried out in Campo de Dalías (Almería province). A total of 22 recording points with average interspace of 500m were surveyed by means of this technique. Most of the curves show clear peaks with predominant periods ranging from 0.5 s to 2.7 s. The general trend of this variation agrees well with the thickness of the Neogene and Quaternary sediments inferred from boreholes and the pre-existing active seismic survey. Furthermore, the local subsoil seismic velocity structure has been modelled by inversion of the experimental H/V curves using an innovative method. Average S-wave velocities have been calculated for the main geological units.

1. Introducción

El sureste de la península ibérica es la zona de mayor sismicidad dentro del contexto nacional, debido a la convergencia entre la placa euroasiática y la africana. Concretamente, en el área de Granada y Almería, se han registrado terremotos históricos de intensidades máximas entre III y IX, siendo el estudio de las características sísmicas del terreno de gran importancia para prevenir y mitigar los efectos de posibles terremotos futuros.

El área de estudio de este trabajo se sitúa en la comarca del Campo de Dalías (Almería), que se extiende de Este a Oeste entre las localidades de Aguadulce y Balanegra, limitada al Sur y Este por el litoral mediterráneo y al Norte por la Sierra de Gádor.

El objetivo de este trabajo de fin de master consiste en el cálculo e interpretación de la razón espectral H/V del ruido ambiental en una amplia banda de frecuencias en base a un método novedoso (Sánchez-Sesma et al., 2011; García-Jerez et al., 2016) aplicado a lo largo del perfil Al-03, en el Campo de Dalías, del que se tenía información previa de calidad.

2. Contexto geológico y sísmico

El Campo de Dalías se localiza en la vertiente meridional de la Sierra de Gádor, unidad fisiográfica perteneciente al Macizo de Mantos Alpujárrides del Sector Oriental de la Zona interna de las Cordilleras Béticas. Se trata de una cuenca neógena y cuaternaria limitada al Norte por rocas del Complejo Alpujárride y rocas del Complejo Nevado-Filábride, que constituyen el basamento de esta depresión (Fig.1)

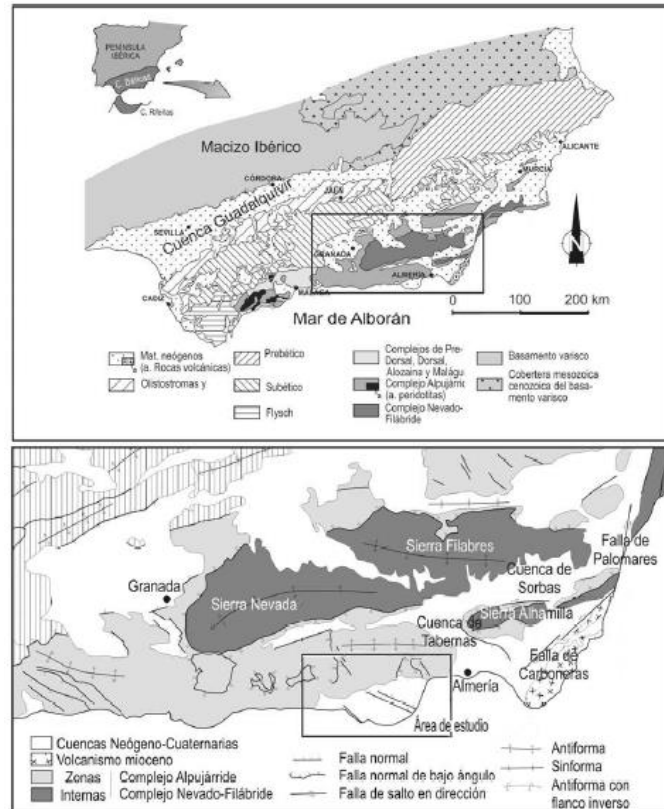


Figura 1: Localización geológica regional del área de estudio.

La región de las Béticas constituye la región de mayor actividad sísmica de la península, debido a la convergencia entre las placas Euroasiática y africana. Los lugares de mayor actividad son las costas de Adra (Almería) y la cuenca de Granada. Si bien el número de sismos de magnitud superior a 5 en la etapa instrumental es escaso, en algunos casos se han alcanzado magnitudes superiores a 6, como es el caso del terremoto profundo de Granada en 2010. Éste sismo, de magnitud $M_w=6.3$ y profundidad de 613 km fue utilizado por Alguacil et al. (2011), para estudiar los efectos de sitio en la red de acelerómetros existente dentro de la ciudad.

3. Metodología

Se trata de métodos de ruido ambiental, los cuales permiten obtener información sobre una estructura geológica sin requerir del uso de fuentes controladas de ondas sísmicas. En éste caso, se utiliza el microtremor o ruido sísmico ambiental como fuente de excitación sísmica, el cual consiste en vibraciones debidas a fenómenos de origen natural y a la actividad humana que se propagan por el suelo en forma de ondas elásticas (Taga, 1993; Bard, 1999).

3.1 Método H/V

El método empleado para obtener información sobre la estructura superficial usando medidas de ruido ambiental consiste en el estudio del cociente entre las amplitudes espectrales de las componentes horizontal y vertical del movimiento. Este método, originalmente propuesto por Nakamura (1989), ha sido ampliamente difundido y utilizado por la fiabilidad de los resultados y la facilidad y rapidez con la que se obtienen los datos.

Sánchez-Sesma *et al.* (2010; 2011a) han propuesto que los microtremores forman un campo difuso conteniendo todos los tipos de ondas elásticas (ondas de cuerpo y superficiales) en proporciones energéticas fijas (aunque dependientes de la estructura).

Utilizaré el programa HV-Inv (García-Jerez, et al. 2016) basado en dicho modelo de campo difuso, en el que se asume que la estructura se puede aproximar localmente por capas elásticas plano-paralelas. Este programa, además del cálculo directo de $H/V(\omega)$ proporciona herramientas para la inversión de la estructura bajo el sitio de medida mediante el ajuste de la curva experimental.

3.2 Registro y análisis de datos

La toma de datos se realizó en una única campaña durante los días 11, 12 y 13 de mayo de 2016, con un total de 22 registros de 3 componentes cada 500 metros aproximadamente y 30 minutos de duración, a lo largo de la línea sísmica A1-03. Se utilizaron dos sismógrafos triaxiales Güralp 6TD de banda ancha, capaz de cubrir frecuencias entre 0.033 y 100 Hz y movimientos de suelo entre 1nm y 10mm.

El procesamiento de las señales se llevó a cabo con la ayuda del software libre Geopsy, el cual permite calcular las razones espectrales de las señales ingresadas de manera simple y rápida. En la Tabla 1, se muestran los parámetros utilizados para el cálculo del cociente espectral H/V con el programa Geopsy.

Tabla 1: Parámetros utilizados para el cálculo H/V con el programa Geopsy.

| Parámetro | Valor |
|------------------------|----------------------|
| Longitud de ventanas | 80 s |
| Solapamiento | 50 % |
| Suavizado | Konno & Ohmachi (40) |
| Ancho del taper coseno | 5% |
| Frecuencia | 0.1 Hz a 25 Hz |

Una vez realizadas las operaciones con Geopsy en cada señal, se utilizó el software HV-Inv para invertir el modelo de estructura a partir de las razones espectrales.

4. Resultados y discusión

En la figura 3 se observa un corrimiento de la curva de los cocientes espectrales H/V hacia largos periodos a partir del kilómetro 4 (punto de medida M4) que suponemos indicativo de un aumento de la profundidad del basamento. Se puede observar por tanto un aumento en el periodo predominante del suelo (el periodo entre los puntos A1 y M4 oscila entre 1 y 2 segundos, mientras que a partir de ahí comienza a aumentar por encima de 2 segundos), concordando bastante bien con la geometría del basamento que se obtiene de los sondeos mecánicos.

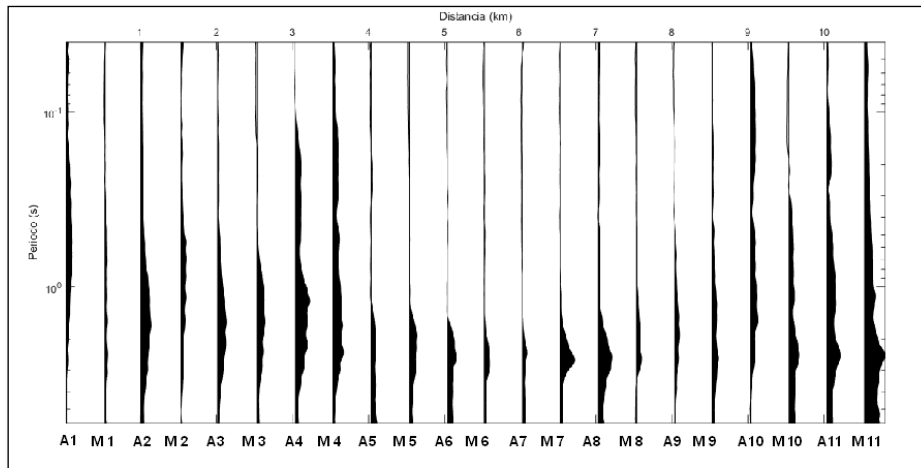


Figura 3: Corte de H/V a lo largo del perfil sísmico AL-03. En el eje de ordenadas se representa el periodo en segundos, mientras que en el eje de abscisas se representan los correspondientes valores de H/V en cada punto de medida, así como la distancia en kilómetros medida en horizontal desde el punto A1 (extremo norte).

En lo que se refiere a la inversión de los cocientes espectrales H/V, en los casos más favorables pudimos encontrar modelos cuyas curvas H/V teóricas están siempre dentro de la banda de error experimental. En cuanto a los modelos que no han conseguido reproducirse satisfactoriamente, en algunos casos se debe a que el pico del H/V presenta amplitudes muy altas que el método no es capaz de reproducir, mientras que, en otros casos, se echa en falta más información previa para poder haber reducido la envergadura del problema.

Se seleccionaron los puntos M3, A5, M5, A6, M6, A7, M7 y A8, en los que los espesores pueden ser contrastados con sondeos mecánicos cercanos, obteniendo las velocidades V_s medias que se muestran en la tabla 2 para las principales unidades:

Tabla 2. Valores de V_s obtenidos a partir de medidas cercanas a sondeos mecánicos.

| Material | Edad | Nº valores | V_s media (m/s) | Desviación típica (m/s) |
|---|-------------|------------|-------------------|-------------------------|
| Conglomerados | Cuaternario | 4 | 718 | 220 |
| Limos, arenas, conglomerados y calcarenitas | Plioceno | 7 | 941 | 156 |
| Margas y limos | Mioceno | 4 | 1214 | 233 |
| Dolomías, filitas | Triásico | 7 | 3009 | 641 |

5. Conclusiones

En este trabajo de fin de master hemos explorado las posibilidades del método de la razón espectral H/V de registros de ruido ambiental para determinar las propiedades de los materiales neógenos y cuaternarios en el perfil denominado AL-03 que cruza de N a S el Campo de Dalías (Almería, España). La caracterización de la estructura en términos de perfiles de velocidad de ondas S, ha sido un objetivo primordial, por la influencia que tienen los contrastes de velocidad del terreno en la amplificación sísmica y por no existir determinaciones experimentales de velocidad de onda S específicas para el área de estudio (los sondeos sísmicos activos previos presentan modelos de V_p).

El entorno de trabajo, con profundidad del basamento, de hasta 1km aproximadamente en algunos puntos, la utilización de equipos portátiles de registro en superficie, las medidas en ambientes agrícolas sujetos a fuentes cercanas, tales como movimiento de camiones de mercancías, estaciones de bombeos etc, y la duración relativamente breve de las medidas han representado un importante reto en la determinación de la respuesta del terreno y su caracterización en términos Vs.

Para obtener curvas de H/V suficientemente estables hasta frecuencias bajas (~ 0.2Hz) en las que puedan apreciarse picos a periodos tan altos como 2.8s (0.36 Hz) hizo falta utilizar ventanas de 80s y media hora de registro continuo de ruido ambiental.

La representación de las curvas de H/V experimentales muestran una clara correlación con la forma del basamento inferida de los sondeos mecánicos y sondeos sísmicos previos. Los valores del periodo predominante del terreno a lo largo del perfil AL-03, varían entre 0.58 segundos y 2.8 segundos. Los valores por debajo de 2s se encuentran limitados a la zona norte del perfil, a excepción de algunos puntos en la zona media-sur. En la zona intermedia se encuentran valores por encima de 2s, hallándose los valores máximos en la zona A6-A8. Este resultado es consistente con los cortes y columnas realizados por otros autores.

Los resultados de la inversión arrojan variaciones en la profundidad del basamento desde los 100 metros hasta superar incluso los 800 metros en algunos puntos. Basándonos en las inversiones realizadas para puntos cercanos a los sondeos mecánicos, hemos calculado velocidades Vs experimentales medias para las principales unidades geológicas.

Estos resultados concuerdan básicamente con los modelos elaborados en estudios previos, en particular con los de Pedrera et al. (2015). Dichos estudios se apoyan en gran medida en sondeos mecánicos profundos, que alcanzan el basamento triásico, y que son abundantes en la parte norte de la llanura, pero pierden fiabilidad en la parte S y SE donde tales perforaciones escasean. El método de la razón espectral podría por tanto utilizarse para mejorar o verificar los modelos en esas zonas peor resueltas.

En algunos casos los modelos del terreno no consiguieron ajustar correctamente la razón espectral H/V. Esto puede justificarse por la necesidad de incluir mejor información a priori del modelo de partida (especialmente en la zona sur), realizar cálculos más intensivos, preferiblemente en equipos informáticos más potentes y en algunos casos puntuales confirmar nuestras medidas experimentales.

Referencias

- Alguacil, G., Vidal, F., & Feriche, M. (2011). Efectos Locales del terremoto profundo de Granada del 11 de Abril de 2010 y MW=6.3. *4º Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*.
- Bard, P. Y. (1999). Microtremor Measurements: A Tool for Site Effect Estimation? En K. Irikura, K. Kudo, H. Okada, & T. Satasini, *The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, vol. 3* (págs. 1251-1279). Rotterdam: Balkema.

- García-Jerez, A., Piña-Flores, J., Sánchez-Sesma, F. J., Luzón, F., & Perton, M. (2016). A computer code for forward calculation and inversion of the H/V spectral ratio under the diffuse field assumption. *Computers & Geosciences*, *In press*.
- 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. Granada: Editorial Universidad de Granada.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI)* 30, 25-33.
- Sánchez-Sesma, F. J., Rodríguez, M., Iturrarán-Viveros, U., Luzón, F., Campillo, M., Margerin, L., . . . Rodríguez-Castellanos, A. (2011a). A theory for microtremor H/V spectral ratio: application for a layered medium. *Geophysical Journal International* 186, 221-225.
- Sánchez-Sesma, F. J., Rodríguez, M., Iturrarán-Viveros, U., Rodríguez-Castellanos, A., Suarez, M., Santoyo, M. A., . . . Luzón, F. (2010). Site Effects Assessment Using Seismic Noise. *In Proc. 9th International Workshop on Seismic Microzoning and Risk Reduction, 21st - 24th February, Cuernavaca, México*.
- Taga, N. (1993). En *Earthquake motion and ground conditions* (págs. 315-325). Tokyo: Ed. The Architectural Institute of Japan.