

# Aplicación del ruido ambiente como técnica de prospección geofísica

J. Delgado<sup>1</sup>, A. Estévez<sup>1</sup>, C. López Casado<sup>2</sup>, A. Cuenca<sup>3</sup> y S. Molina<sup>1</sup>

1 Dpt. Ciencias de la Tierra. Universidad de Alicante. Ap. Correos 99. 03080 Alicante. jose.delgado@ua.es

2 Dpt. Física Teórica y del Cosmos. Universidad de Granada. 18003 Granada. clcasado@goliat.ugr.es

3 Laboratorio de Carreteras. COPUT. Ctra. de Ocaña s/n. Artemio.Cuenca@coput.m400.gva.es

## ABSTRACT

*In this paper we present a method to estimate soil thickness from its frequency of resonance. This frequency is calculated from ambient noise measurements by using the Nakamura's technique. The method is applied to a valley of Alicante province and results show its usefulness in determining the surficial structure of the area, with an error of only 15% in the depths calculated. The errors are mainly due to an excessive simplification of the problem that this method requires. This method has proven to be valid to study the deep and complex structure of a basin if there is enough mechanical contrast between the sedimentary fill and the basin basement. When compared with other standard techniques of geophysical exploration, this method is faster than most of them and gives results of similar nature and/or quality.*

**Key words:** frequency of resonance, geophysical exploration, thickness, microtremors.

## INTRODUCCIÓN

El estudio del ruido ambiente es una técnica de amplio uso en sismología. A partir del mismo se puede determinar la frecuencia de resonancia de las capas superficiales del terreno, dato de gran interés en zonificación sísmica y respuesta del suelo. Desde un punto de vista de prospección geofísica, dicha frecuencia de resonancia tiene el gran interés de estar íntimamente relacionada con el espesor de la capa resonante, pudiendo servir de guía para estudiar cómo varía el espesor de los materiales de interés (Ibs-von Seth y Wohlenberg, 1999; Delgado *et al.*, 2000). Al decir ruido ambiente nos referimos a cualquier perturbación, de muy baja amplitud, que excita al suelo y su origen puede ser natural (viento, oleaje, etc.) o artificial (tráfico, maquinaria, etc.).

En el presente trabajo se presenta el fundamento del uso del ruido ambiente como técnica de prospección y su aplicación práctica en la cartografía del espesor de materiales de diversa índole.

## FUNDAMENTO DEL MÉTODO

Cuando una capa de material (suelo o roca) es excitada por una vibración, entra en resonancia a una frecuencia que viene dada por la siguiente expresión:

$$f = V_s / 4H \quad (1)$$

donde  $H$  es el espesor de la capa investigada y  $V_s$  es su velocidad de cizalla. La velocidad de cizalla del suelo es una propiedad mal conocida; sin embargo, el estudio experimental de esta propiedad ha puesto de manifiesto que, entre otros factores, está íntimamente relacionada con la presión confinante en el medio según una relación del tipo:

$$V_s = a (\rho g H)^b \quad (2)$$

donde  $\rho$  es la densidad de la capa (que se puede considerar constante en su seno),  $g$  es la aceleración debida a la gravedad y  $H$  es la profundidad de investigación. En el caso de investigar  $V_s$  en la base de la capa, la profundidad de investigación corresponde a la potencia del medio estudiado. En tal caso podemos introducir la expresión (2) en (1), resultando:

$$f = (a/4) (\rho g)^b H^{b-1} \quad (3)$$

Dado que  $\rho$  y  $g$  son prácticamente constantes en el seno del material, la anterior expresión puede simplificarse:

$$f = \alpha H^{\beta} \quad H = A f^{\beta} \quad (4)$$

o *relación f-H* de la capa investigada, que relaciona directamente el espesor de una capa con su frecuencia de resonancia. La aplicación práctica de esta relación requiere conocer las dos constantes  $\alpha$  y  $\beta$ . Para establecerlas es necesario disponer de una serie de puntos de control donde tanto  $f$

Tabla 1  
Relación entre el espesor observado y el estimado a partir de ruido ambiente.

Punto	Espesor medido (m)	Frecuencia (Hz)	Espesor estimado (m)	Error (%)
SISIDR	-	1,22	42,9	-
S2	42	1,16	45,7	9
S4	44	1,34	38,2	-13
AG1	29,8	1,46	34,3	15
CBENI	-	-	-	-

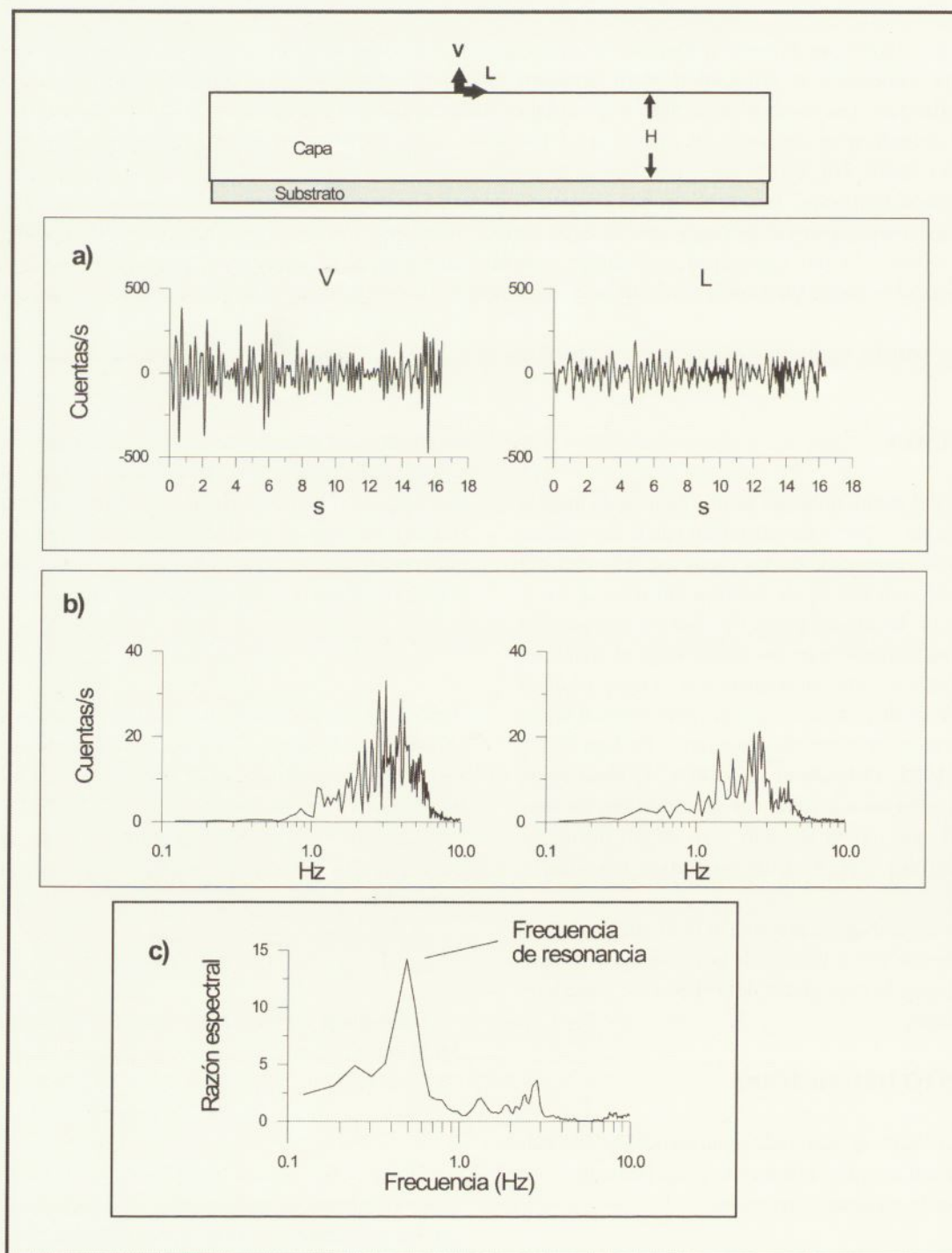


FIGURA 1: Esquema de procesado del ruido ambiente (ver explicación en el texto).

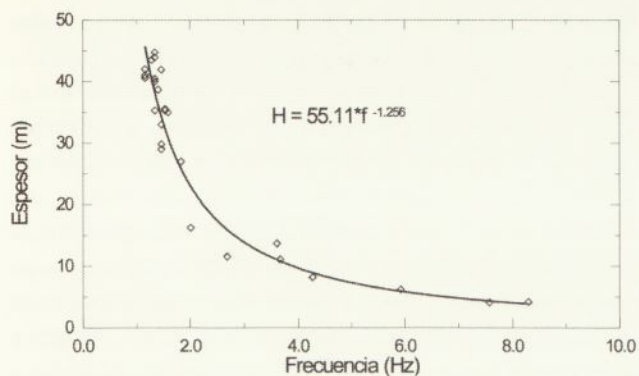


FIGURA 2: Relación entre la frecuencia de resonancia y el espesor de los sedimentos superficiales en la Vega Baja del río Segura.

como  $H$  sean conocidos; al ajustar ambos datos a una relación del tipo (4) se obtienen ambas constantes.

Al objeto de utilizar una relación como la anterior para medir el espesor de una capa de material es de gran importancia poder medir de forma rápida y precisa la frecuencia de resonancia de dicha capa. Para ello resulta muy útil el método denominado de las razones  $H/V$  de microterremotos

o también método de Nakamura (1989). El esquema de trabajo aparece representado en la figura 1. Se parte de las siguientes premisas: (1) el terreno está constituido por una capa menos rígida que el substrato que yace bajo ella (capa sobre un semiespacio); y (2) el ruido ambiente está constituido por ondas superficiales.

Se mide el ruido ambiente en la superficie de la capa mediante un sensor (sismógrafo) triaxial que mide el movimiento del suelo en tres direcciones del espacio perpendiculares entre sí (vertical, longitudinal y transversal, Fig. 1a). A continuación se calcula el espectro de Fourier de cada componente del movimiento del suelo (Fig. 1b) para seguidamente dividir los espectros de las componentes horizontales por el de la vertical. Las razones espectrales resultantes presentan un pico correspondiente a la frecuencia de resonancia de la capa superficial investigada (Fig. 1c). Dado que hay dos componentes horizontales, el resultado final es la media geométrica de la razón espectral de cada una.

Una característica del método es que parte de considerar una sola capa sobre una base más rígida. Sin embargo la experiencia indica que esto puede ocurrir repetidas veces

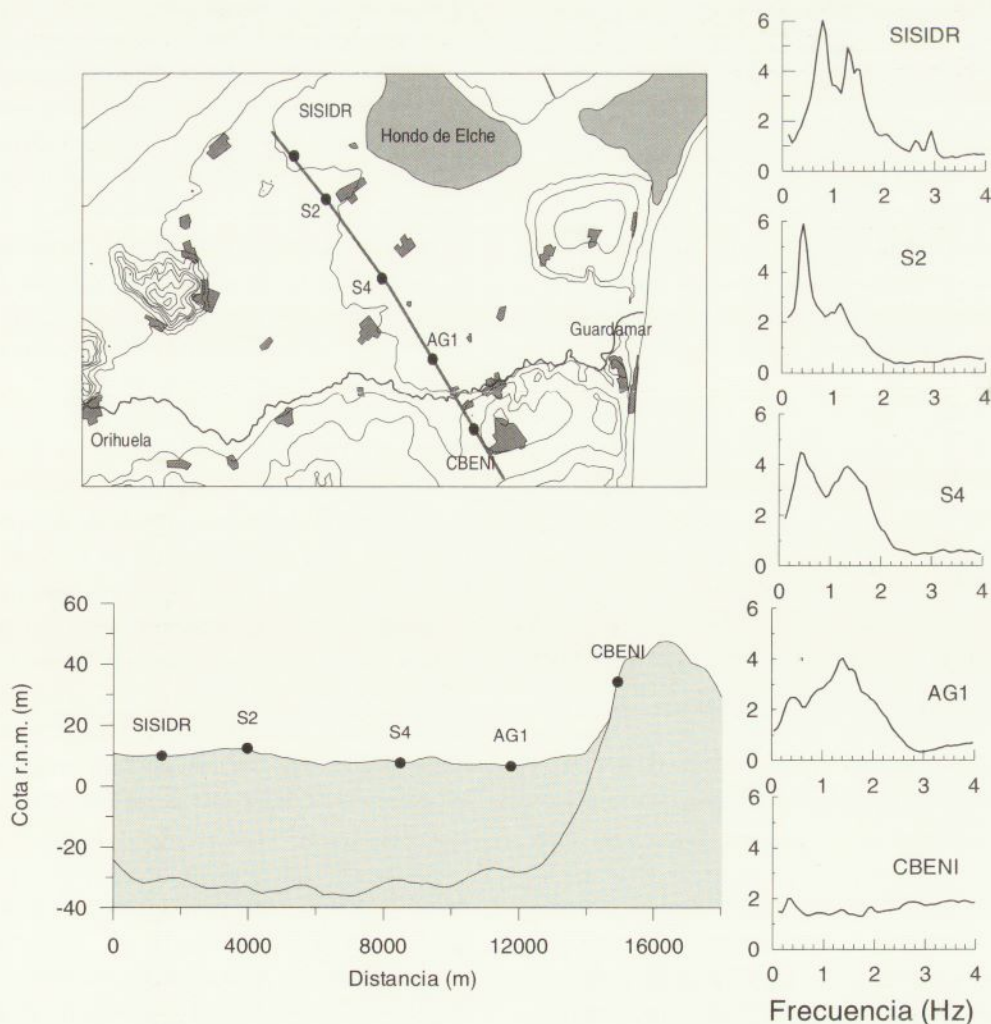


FIGURA 3: Corte geológico realizado a partir de los resultados obtenidos con el ruido ambiente.

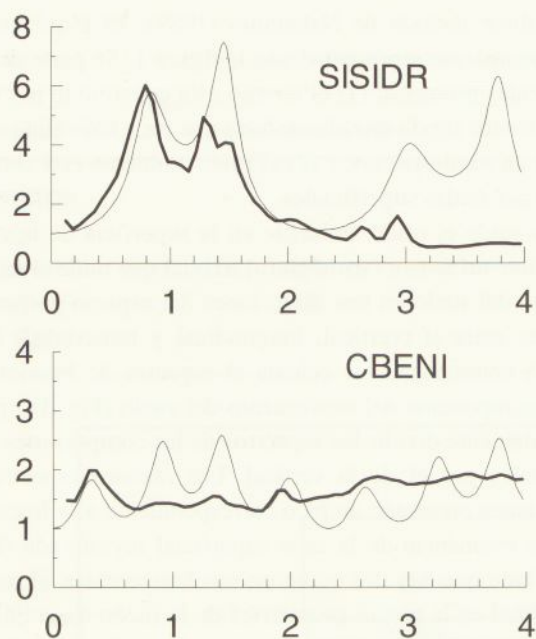


FIGURA 4: Resultados de la modelización del comportamiento de los materiales en los puntos SISIDR y CBENI. La línea gruesa corresponde a las razones espectrales del ruido ambiente; la línea delgada es el resultado de la modelización. Nótese que con el ruido ambiente sólo se obtiene la frecuencia de resonancia del suelo, pero no sus armónicos (sí presentes en la modelización).

en el seno de una columna estratigráfica. En tal caso la(s) capa(s) situada(s) sobre cada interfase de este tipo debería producir su propia resonancia. Dado que la relación  $f-H$  es de tipo exponencial negativa, a mayor frecuencia de resonancia menor será el espesor de la capa resonante y viceversa. La resonancia a más alta frecuencia necesariamente debe corresponder con la interfase más superficial, o capa de menor espesor. En caso de existir otra resonancia, ésta se deberá a otra capa yacente bajo la primera y cuyo espesor corresponderá a la suma de los espesores de ambas capas (superficial y subyacente). Para traducir cada frecuencia en espesor sería entonces necesario disponer de un conjunto de puntos de control donde se conozca tanto  $f$  como  $H$ .

#### APLICACIÓN DEL MÉTODO EN LA VEGA DEL RÍO SEGURA

Utilizando la técnica anteriormente descrita se realizó una campaña de medida del ruido ambiente en diversos puntos repartidos por el valle del río Segura entre las localidades de Orihuela y Guardamar (Alicante), comarca también conocida como la Vega Baja del río Segura. En cada punto se midió al menos 8 minutos de ruido ambiente (oleaje, tráfico, maquinaria, etc.). En 27 de estos puntos se conocía la columna estratigráfica y propiedades geotécnicas, que demostraba la existencia de una capa superficial de suelos de muy malas propiedades geotécnicas (Cuenca

*et al.*, 2000). La figura 2 presenta la relación obtenida entre el espesor de estos suelos y su frecuencia de resonancia.

En la figura 3 se presenta un corte donde se muestra el espesor calculado a partir del ruido ambiente en diversos puntos de la Vega. La Tabla 1 presenta los valores observados en sondeos de dicho espesor. En aquellos sitios donde existen estos sedimentos de malas características geotécnicas se observa un pico de resonancia muy nítido a frecuencias comprendidas entre 1 y 1.5 Hz en las razones espectrales (Tabla 1). En el punto CBENI, situado sobre margas y areniscas del plioceno, no hay una resonancia equiparable a la observada en el resto de los puntos, lo cual es congruente con la ausencia de los sedimentos flojos superficiales, sí presentes en el resto de los puntos.

En la figura 3 se observa que en casi todos los puntos hay más de una resonancia. Al objeto de conocer el origen de la resonancia a baja frecuencia hemos considerado los puntos extremos de la figura 3 (el resto se emplaza sobre el surco del Bajo Segura, con más de 2.000 m de espesor, Gauyau *et al.* 1977, y en ellos la sucesión estratigráfica está mal definida en cuanto a espesor de las unidades). La profundidad al basamento de la cuenca es de aproximadamente 210 m en SISIDR y de 1.180 m en CBENI. Para el primero de los puntos hemos considerado que la sucesión de materiales es la siguiente: 43 m de suelos flojos y 167 m de margas con propiedades idénticas a las observadas en el Plio-Cuaternario de la zona. Para el otro punto hemos utilizado los datos de Montenat (1973) y Gauyau *et al.* (1977): 200 m de Plioceno y 980 m de Mioceno superior. Con estos datos hemos realizado una modelización del comportamiento de la columna de roca al objeto de determinar su frecuencia de resonancia. Los resultados se presentan en la figura 4 y parecen demostrar que la resonancia a baja frecuencia corresponde a la totalidad del relleno sedimentario sobre el basamento de la cuenca en estos puntos.

#### DISCUSIÓN

A la hora de aplicar un método de prospección geofísica resulta de gran interés conocer el error de los resultados que éste ofrece. La Tabla 1 presenta los espesores medidos en sondeos y los estimados a partir del ruido ambiente. Puede comprobarse que hay una buena correlación, con desviaciones no superiores al 15%. Delgado *et al.* (2000) han analizado la naturaleza de estas desviaciones y comprobado que éstas pueden tener un origen múltiple. Entre las causas cabe citar que el método considera que existe una sola capa sobre un substrato rígido; la realidad es más compleja, con una estratigrafía compuesta por una sucesión de capas cuyo espesor y propiedades mecánicas varían dentro de la región de estudio. De otra parte, es frecuente que el límite entre los materiales no sea neto, sino que corresponda a una transición gradual entre las propiedades mecánicas de los medios. En tal caso la posición de tal límite puede variar dentro de un margen dependiendo del criterio

utilizado para situarlo (no debe olvidarse que este método ofrece la frecuencia de resonancia —o el espesor— de la columna de materiales que posee unas propiedades mecánicas diferentes a las de su substrato, es decir, que no necesariamente la “capa” obtenida con este método tiene un significado estratigráfico estricto).

Cuando se comparan los resultados de este método con los obtenidos con otras técnicas de prospección se comprueba que el ruido ambiente ofrece comparativamente poca información del subsuelo con respecto a métodos sísmicos o de georádar (no se obtienen las secciones típicas de sísmica de reflexión o de georádar). En cambio, tiene la ventaja de un menor coste (sólo se precisa una estación y un operario, sin fuente de energía), requerir un procesado de la señal mínimo y permitir una mayor cobertura espacial (se pueden medir más de 40 puntos en un día). Adicionalmente, la profundidad máxima de investigación sólo está limitada por el sensor, no por las características de la fuente de energía. Con respecto a técnicas como magnetismo y corrientes eléctricas, los resultados son equiparables, presentando la ventaja de poder ser utilizado con facilidad en medios urbanos. Por último, con respecto al método gravimétrico, el ruido ambiente presenta la ventaja de dar información acerca de cuantas capas o unidades están involucradas en el problema, mientras que la gravedad da un valor que engloba el efecto de todas ellas. No obstante, ambas técnicas requieren datos previos que permitan calar los resultados, por cuanto la interpretación permite múltiples soluciones.

### CONCLUSIONES

Se ha presentado un método para estimar el espesor del suelo a partir de su frecuencia de resonancia. Dicha frecuencia se determina a partir de una simple medida del ruido ambiente en el sitio, sin necesidad de generar pertur-

baciones artificiales del medio. Los resultados presentados demuestran una excelente correlación entre las variables involucradas y una gran aplicabilidad del mismo para estudiar la posición de la interfase entre medios entre los que existe un contraste mecánico. Ello lo hace especialmente útil en el estudio de suelos con malas propiedades geotécnicas. Los resultados demuestran que el error cometido no es superior al observado con otros métodos de prospección.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto PB96-0327.

### REFERENCIAS

- Cuenca, A., Delgado, J., Doménech, C. y Tomás, R. (2000): El cuaternario reciente de la Vega Baja del río Segura: problemática geotécnica. Guía de campo. V Congreso Geológico de España. Alicante.
- Delgado, J., López Casado, C., Giner, J., Estévez, A., Cuenca, A. y Molina, S. (2000): Microtremors as a Geophysical Exploration tool: Applications and Limitations. PAGEOPH, 157 (en prensa).
- Gauyau, F., Bayer, R. Bousquet, J.C., Lachaud, J.C., Lesquer, A. y Montenat, C. (1977): Le prolongement de l'accident d'Alhama de Murcia et Alicante (Espagne méridionale). Bull. Soc. Géol. France, 7: 501-509.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on ground surface. QR Railway Tech. Res. Inst., 30: 25-33.
- Montenat, C. (1973): Les formations néogènes et quaternaires du Levant Espagnol (provinces d'Alicante et de Murcia). Thèse, Orsay.