

# ***INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA***

*CARACTERIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE  
PROPAGACIÓN DE ONDAS S EN EL SUBSUELO  
MEDIANTE EL ANÁLISIS MULTICOMPONENTE DE  
ONDAS SUPERFICIALES*

*Cehegín, Murcia, 28 de septiembre de 2018*

## ÍNDICE

OBJETIVO DEL INFORME .....	3
PERFIL DE BÚSQUEDA.....	3
BASES DE DATOS DE PATENTES .....	3
BASES DE DATOS DE REVISTAS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS .....	4
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.....	4
OFERTAS Y DEMANDAS TECNOLÓGICAS .....	4
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
REFERENCIAS.....	9

En Cehegín, Murcia, a 28 de septiembre de 2018

## 1. OBJETIVO DEL INFORME

El presente informe tiene como finalidad informar a las empresas del sector del mármol, piedra y materiales de las últimas novedades científico-tecnológicas que han sido desarrolladas en el ámbito temático de la **caracterización de la velocidad de propagación de ondas S en el subsuelo mediante el análisis multicomponente de ondas superficiales**. De esta forma, se logra una vectorización de la zona del material de interés, calidad de la roca y localización de las heterogeneidades en el subsuelo que condicionan la calidad de los recursos mineros y las condiciones de explotación. Se trata de identificar y extraer la información publicada en las distintas bases de datos y fuentes de información consultadas en el período comprendido entre enero y junio de 2018.

## 2. PERFIL DE BÚSQUEDA

### - BASES DE DATOS DE PATENTES

INVENES: base de datos de invenciones en español de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM). Con el objetivo de difundir la información tecnológica contenida en los documentos de patentes y una cobertura nacional, INVENES contiene información sobre patentes y modelos de utilidad españoles y latinoamericanos así como sobre diseños industriales españoles.

ESPACENET: Base de datos de la Oficina Europea de Patentes que proporciona acceso gratuito a más de 80 millones de documentos de patente (solicitudes,

- 3 de 9 -

patentes concedidas, traducciones, modelos de utilidad, etc.) publicados desde 1836, en más de 90 países.

#### - BASES DE DATOS DE REVISTAS Y ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

ScienceDirect: Science Direct es una colección multidisciplinar que ofrece acceso al texto completo de más de 12 millones de artículos y a más de 59 millones de resúmenes de artículos de todos los campos de la ciencia.

ICYT: base de datos del CSIC que recoge la literatura científica contenida en publicaciones españolas de ciencia y tecnología.

#### - PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

TESEO: tesis doctorales leídas en las universidades españolas.

Tesis en Red: tesis doctorales de treinta universidades españolas a texto completo.

Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes: ofrece acceso a aquellas tesis o sobre lenguas hispánicas defendidas con éxito en cualquier país del mundo.

DART-Europe: acceso global a las tesis doctorales europeas.

OPENTHESIS

OATD: open access theses and dissertations.

CDTI: <https://www.cdti.es/index.asp?MP=7&MS=25&MN=3&IDR>

CORDIS: constituye el principal portal y repositorio público de la Comisión Europea para difundir información sobre todos los proyectos de investigación financiados por la Unión Europea y sus resultados de toda clase.

#### - OFERTAS Y DEMANDAS TECNOLÓGICAS

SEIMED: es la parte de la Red Enterprise Europe Network que ofrece sus servicios a las pequeñas y medianas empresas de la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia.

Su objetivo es ayudar a las PYME a desarrollar su pleno potencial y su capacidad innovadora a través de la internacionalización, la transferencia de tecnología y el acceso a financiación.

## - RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los métodos geofísicos actuales se basan en la inversión de las curvas de dispersión de las ondas superficiales para obtener modelos de velocidad de propagación de las ondas S con la profundidad. En la actualidad existen dos fuentes principales de error en los modelos de velocidad de propagación de ondas S a partir de ensayos de dispersión de ondas superficiales:

- Identificación incorrecta de los modos de vibración.
- Utilización de una sola componente en los registros de vibración.

Uno de los parámetros geofísicos más empleados para estimar la respuesta sísmica en un sitio determinado lo constituye el promedio de las velocidades de ondas de cizalla (ondas S) en los primeros 30 m de espesor (denominado VS30). La velocidad de onda de corte (VS) permite obtener de manera directa el módulo de rigidez (conociendo la densidad del material por donde la onda se propaga).

La naturaleza y la distribución del daño sísmico están muy influenciadas por la respuesta del suelo frente a cargas cíclicas. Dicha respuesta está controlada en gran medida por las propiedades del suelo. Por ejemplo, la susceptibilidad de un depósito de suelo para amplificar el movimiento depende de las propiedades dinámicas, siendo el módulo de rigidez,  $G$ , y el amortiguamiento,  $\xi$ , los principales parámetros para modelar la respuesta sísmica del suelo. Estos parámetros se relacionan con otras propiedades del suelo, de carácter más físico, como por ejemplo el índice de poros, la densidad relativa y la velocidad de las ondas de cizalla.

Un parámetro clave en estudios de evaluación de la respuesta sísmica de suelos es la velocidad de las ondas S. Normalmente su valor se deduce a partir de ensayos o técnicas de reconocimiento de suelos, por ejemplo, se han estudiado a lo largo del tiempo correlaciones con el valor N en el ensayo de penetración estándar (SPT) con la velocidad de la onda S. Por lo tanto, se han revisado los principales ensayos de laboratorio in situ relacionados con este tema. Sin embargo, estos métodos sólo alcanzan una profundidad limitada y por lo tanto se requieren modelos que

reduzcan la incertidumbre asociada a dichos valores con la profundidad y a su vez se necesita de más profundidad de investigación para los yacimientos de roca ornamental.

### **Modos de vibración**

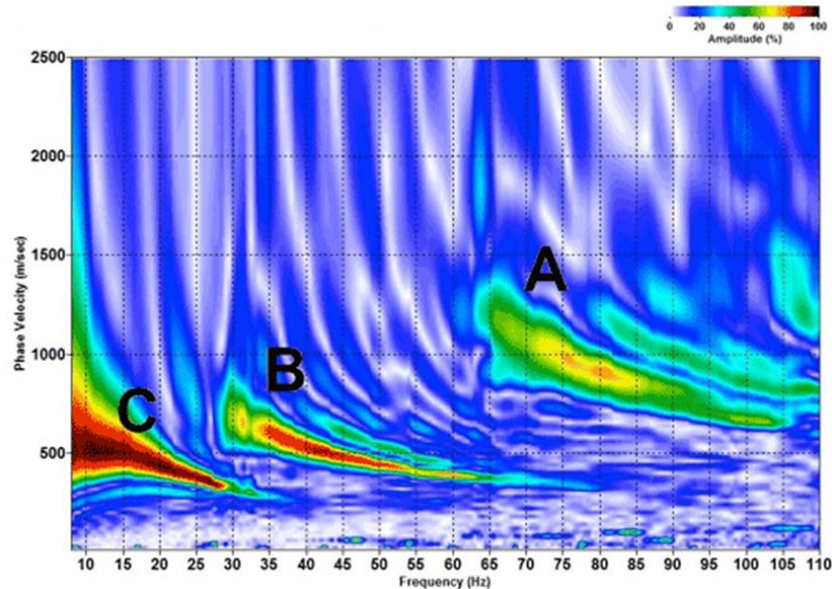
En este tipo de estudio se emplea un tipo de ondas sísmicas denominadas ondas superficiales. Existen dos tipos fundamentales de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love. Las primeras son ondas que tienen dos componentes de vibración restringidas en un plano vertical en la dirección de propagación y las segundas oscilan en una única dirección perpendicular a la dirección de propagación.

Habitualmente se registra el movimiento del terreno en la componente vertical que se produce al impactar verticalmente con una maza en la superficie del mismo.

Estos registros son procesados para obtener un espectro de velocidad como el que se muestra en la Figura 1.

Existen casos en los que la estructura del terreno produce espectros de vibración en los cuales no es posible distinguir de manera correcta los modos de vibración (por ejemplo, en presencia de capas de baja velocidad próximas a la superficie). En estos casos es habitual que se produzca una identificación errónea del modo de vibración y que esta mala identificación se aporte como dato de entrada al proceso de generación del modelo de velocidad. La consecuencia es la obtención de modelos erróneos con ajustes (comparación entre los datos de entrada y los sintéticos producidos por el modelo final) buenos, dando una falsa apariencia de exactitud en las soluciones obtenidas.

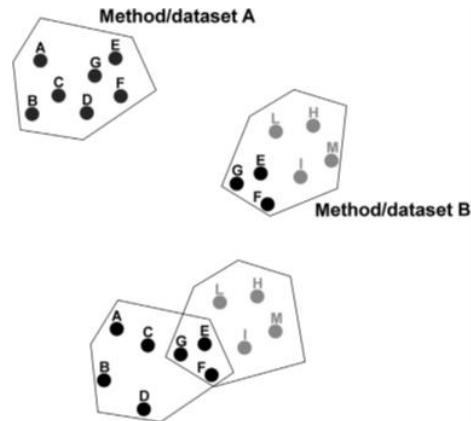
Para evitar este problema se debe evitar el proceso (subjetivo) de la identificación de los modos de vibración. Esto se consigue sustituyendo la curva de dispersión como parámetro de entrada por el espectro de velocidad en su totalidad. De este modo no es necesario que el usuario identifique los modos de vibración (de manera más o menos acertada) y emplea el espectro en su totalidad.



**Figura 1.** Espectro de velocidad obtenido a partir de registros de vibración de componente vertical. C indica el modo fundamental de vibración. B indica el primer modo superior. A indica el segundo modo superior.

### Inversión conjunta

Estos procesos basados en métodos inversos generan soluciones (modelos) que no son únicas, esto es, existen diferentes modelos que justifican igual de bien los datos de partida. La manera de reducir el número de candidatos finales a la solución es emplear lo que se denomina como inversión conjunta (*joint inversion*). Consiste en introducir observaciones independientes, cada una de las cuales, con una familia de soluciones propia, que tienen en común un número reducido de elementos (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de inversión conjunta. El método 1 produce la familia de soluciones A a F. El método 2 produce la familia de soluciones F a M. La combinación simultánea de los métodos 1 y 2 tiene como soluciones comunes la familia E, F y G.

Empleando más de un método de manera simultánea se reduce el número de posibles soluciones y de esta manera se reduce la ambigüedad en la solución elegida finalmente.

En este caso se propone combinar las distintas componentes de los registros de vibración. Tradicionalmente se viene empleando únicamente la componente vertical de vibración. Estos registros suponen únicamente una fracción de la información disponible ya que se desecha la componente radial de la onda Rayleigh y, sobre todo, la componente transversal de la onda Love.

Empleando la combinación de geófonos verticales y horizontales y golpeando la superficie del terreno en dirección vertical y horizontal se podrán registrar las distintas componentes de vibración del terreno y se podrán combinar los espectros de velocidad de la componente vertical de la onda Rayleigh, la componente radial de la onda Rayleigh y la componente transversal de la onda Love. Las soluciones que se obtendrán mediante la combinación de las tres componentes tendrán un grado de precisión muy superior a los modelos que se producen en la actualidad. Esto provoca el aprovechamiento de todos los componentes y de las ondas, lo que en la actualidad no se produce por lo que este proyecto es innovador y a su vez puede provocar una revolución en el tratamiento de las ondas S.



## Referencias

- Menke, W. (1989). Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory. Academic Press, 4 oct. 1989, 289 páginas.
- Park, C.B., Miller, R.D. and Xia, J. (1999) Multichannel Analysis of Surface Waves. Geophysics, Vol. 64, N 3 (May-June 1999); P. 800–808.
- Schwab, F. & Knopoff, L., 1972. Fast surface wave and free mode computations, Methods in computational physics. vol. 11, p. 87-180, ed. B. A. Bolt, Academic Press, New York.
- Socco, L. V. and Boiero, D. 2008. Improved Monte Carlo inversion of surface wave data. Geophysical Prospecting, 56(3):357–371.
- G. Dal Moro, M. Pipan, E. Forte, and I. Finetti, Determination of Rayleigh wave dispersion curves for near surface applications in unconsolidated sediments. Exploration Geophysics Group, Department of Geological Environmental and Marine Sciences, University of Trieste, Italy.