

## **Estimación del período predominante del suelo a partir de microtemblores.**

### **Aplicación a Barcelona**

Alfaro, A. <sup>(1)</sup>, Goula, X <sup>(2)</sup>, Susagna, T <sup>(2)</sup>, Pujades, L.G. <sup>(1)</sup>, Canas, J.A. <sup>(4)</sup>,  
Navarro, M. <sup>(3)</sup>, Sánchez, J. <sup>(3)</sup>

(1) Departamento de Ing. Del Terreno y Cartográfica. Universidad Politécnica de Cataluña.

(2) Servei Geològic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya

(3) Universidad de Almería. Departamento de Física

(4) Instituto Geográfico Nacional. Madrid.

#### **RESUMEN**

*La utilización de microtemblores para caracterizar zonas se realiza desde los años 50. La metodología propuesta por Nakamura en 1989 para la estimación de los períodos predominantes de amplificación da resultados fiables, de forma rápida y a bajos costos.*

*Se presenta un mapa con los períodos predominantes de los suelos de Barcelona estimados a partir de la medición de microtemblores. El análisis de la información ha permitido diferenciar diferentes tipos de suelo, de acuerdo con características geotécnicas. Para los sitios localizados sobre afloramientos rocosos en la Sierra del Tibidabo-Collserola, se aprecia un período predominante de 0.06 s; para los sitios del material denominado Triciclo, que es la zona más extensa y también la más heterogénea, el período predominante varía desde 0.10 s hasta 2.0 s dependiendo del espesor del material; en el delta del Besós se presentan dos zonas: la ribera del río con períodos entre 0.50 s y 0.83 s y la segunda zona con períodos entre 1.0 y 2.1 s; finalmente, para el delta de Llobregat los períodos son bastante homogéneos y sus valores están alrededor de 0.72 s.*

**Palabras clave:** microtemblores, mocrzonificación, efectos de sitio, Barcelona.

## **INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con la AFPS (1995), los estudios de microzonificación sísmica implican analizar la peligrosidad regional a partir de las estructuras tectónicas activas; la peligrosidad local, a partir de la modificación de la señal sísmica debido a las condiciones geotécnicas locales; y finalmente, fenómenos inducidos como pueden ser la licuefacción de suelos, los asentamientos, los deslizamientos y otros.

Esta comunicación trata del estudio de la modificación de la señal sísmica, desde el basamentorocoso hasta la superficie, en la ciudad de Barcelona, interesa determinar la función de transferencia de los suelos de la ciudad, cuantificando la amplificación y la banda de frecuencias asociada dicha amplificación, debido a que la mayor parte de la ciudad de Barcelona se encuentra ubicada sobre depósitos sedimentarios yacentes sobre un basamento rocoso. Dichos depósitos presentan heterogeneidades tanto laterales como en profundidad.

Se encuentran además importantes variaciones topográficas, que son básicamente afloramientos rocosos con diferentes características geotécnicas, debidos tanto a su origen como a diferentes grados de meteorización.

Desde hace algunos años el Servei Geològic de Catalunya, la Universidad Politécnica de Catalunya y otras instituciones están trabajando en el proyecto de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Barcelona. Se vienen realizando estudios de campo y simulaciones numéricas para estimar los efectos de sitio. Esta comunicación es parte de los estudios que se están realizando para este fin.

## **CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**

Siguiendo a Candela (1983), el área estudiada se encuentra en el denominado Llano de Barcelona, llanura costera que se extiende desde el macizo del Garraf al Oeste, hasta las estribaciones de la Cordillera Litoral pertenecientes a la comarca del Maresme.

Su extensión queda limitada por la Sierra del Tibidabo-Collserola y la cordillera Litoral. Los materiales paleozoicos forman los relieves de dichas formaciones, aunque también existen afloramientos en varios barrios de la ciudad, como Horta, Guinardó, Gracia, Sant Gervasi y Sarriá, formando elevaciones llamadas Turons.

En segundo término, el Neógeno de facies marina de aguas someras, aflora en los relieves que constituyen Montjuïc (Mioceno) y el Mont Tàber, sobre el que se halla el centro de la ciudad antigua (figura 1).

El afloramiento de Montjuïc consta de una serie de capas de conglomerados y arenas cuarcíticas de cemento silíceo, con intercalaciones de margas, margas arenosas y arenas

sueltas. La potencia de estos materiales excede de los 200 m, como puede verse en el escarpe de Montjuïc vecino al puerto. Dicho afloramiento ha sido extensamente explotado en zonas determinadas como material de construcción (Ventayol et al., 1978).

Por otro lado, los materiales del cuaternario son básicamente Triciclo, depósitos torrenciales de las rieras y los deltas de los ríos Besós y Llobregat. Los materiales que componen la unidad denominada Triciclo están constituidos por una costra calcárea, limos amarillentos con nódulos calcáreos y arcillas rojas a veces con brechas (Candela 1983).

La potencia máxima de los materiales del Triciclo suele ser de unos 20 m, donde el grosor de la costra calcárea oscila entre 2 m hasta desaparecer en forma de nódulos arracimados. La superposición de materiales y su origen implica que las superficies de contacto entre ellos no sean planas, sino correspondientes a las zonas donde la masa de derrubios antigua fue más o menos hendida por la erosión, antes de la sedimentación de nuevos aportes.

Por otro lado, los depósitos torrenciales de las rieras son más recientes y están situados y encajados en los materiales del Triciclo. Están formados por depósitos procedentes del Tibidabo arrastrados por los cursos torrenciales. Tienen potencias hasta de 7 m, formados por materiales heterogéneos (fragmentos de costra, nódulos de caliza y elementos angulosos).

Finalmente, los deltas del Besós y del Llobregat presentan una litología similar. Básicamente están constituidos por una cuña impermeable (arcillas y limos), entre dos formaciones detríticas permeables (arenas y gravas), con espesores máximos de unos 70-80 m en el Llobregat y 50 m en el Besós (Ventayol et al. 1978).

## **DETERMINACIÓN DE LOS PERÍODOS PREDOMINANTES**

Para la estimación de los períodos predominantes del suelo se ha utilizado el muy divulgado método de Nakamura (1989), que a partir de registro en superficie pretende determinar la función de transferencia de las capas de suelo desde el basamento rocoso a la superficie, mediante la relación entre el espectro de Fourier de la componente horizontal y el de la componente vertical. En primera instancia, con el fin de detectar la presencia de fuentes puntuales de ruido que no actúan durante todo el transcurso del día, como también problemas del instrumental o la metodología del procesamiento de la información, se realizaron pruebas de estacionariedad, tanto en afloramiento rocoso como en suelo blando.

Dichas pruebas se realizaron durante 24 horas seguidas, una en el Observatorio Fabra y otra en el campus de la Universidad Politécnica de Cataluña (Navarro et al., 1997). Los resultados fueron satisfactorios como se puede observar en las figuras 2<sup>a</sup> y 2<sup>b</sup>.

Las mediciones se han realizado con un acelerómetro triaxial K2 de Kinematics, con respuesta plana 50 Hz y con un velocímetro prototipo con respuesta plana entre 2 y 10 Hz. Las campañas de medición se han desarrollado tanto durante el día como durante la noche.

## RESULTADOS

En esta comunicación se presentan 195 períodos predominantes del suelo de Barcelona, que cubren los diferentes tipos de materiales y todos los distritos que la conforman, como puede observarse en la Figura 3. El número de mediciones (204) no coincide con el número de períodos reportados (195), ya que existen 9 mediciones simultáneas de velocidad y aceleración en nueve sitios.

Los períodos predominantes para los afloramientos rocosos paleozoicos del Tibidabo y Collserola son bastante homogéneos y presentan un valor de 0.06 s. Esto se debe a que no es roca completamente sana, sino que tiene hasta 2 metros de material meteorizado cubriéndolo (Ventayol et al. 1978), y con velocidades de cizalla mayores que otros suelos.

Por otro lado, los períodos predominantes del afloramiento terciario de Montjuïc son heterogéneos, van desde valores de 0.09 s hasta 0.91 s. Esto se puede deber a que esta zona se ha explotado como cantera, y se ha rellenado con materiales de calidades bien diferenciadas.

El material Cuaternario del Triciclo es el más heterogéneo de todos, esto se debe a los cambios de espesor, que van de cero en el piedemonte del Tibidabo-Collserola y de Montjuïc, a profundidades medias de 20 m, con pequeñas zonas con profundidades de hasta 50 m. Además el Triciclo está cortado en innumerables sitios por rieras que van de la Sierra al Mediterráneo. Los períodos reflejan esta morfología, con valores que van de 0.10, 0.20, 0.30 s en las zonas de mayor pendiente, a períodos mayores a 0.70 s en la mayor parte del Llano.

Los materiales del delta del Besós presentan períodos predominantes superiores a 0.50 s alcanzando inclusive el máximo valor registrado de 2.1 seg. Sin embargo, se pueden diferenciar dos zonas: la primera con períodos entre 0.50 y 0.83 s siguiendo el curso del Besós y la segunda zona con períodos entre 1.0 y 2.1 seg para el resto del material deltaico, contando, sin embargo con una subzona cuyos períodos van de 0.67 a 0.91 s.

Finalmente la Zona Franca, ubicada sobre el delta del Llobregat presenta una gran homogeneidad en los resultados obtenidos, con períodos promedio de 0.72 s, siendo 0.77 s una constante en 19 mediciones.

El mayor número de puntos (204 mediciones) de esta comunicación, complementan los resultados consignados en el trabajo precedente (Alfaro, 1997), en el que se analizan las mediciones de 106 puntos.

## **CONCLUSIONES**

Dentro de los trabajos de microzonificación sísmica de núcleos urbanos, la determinación de las amplificaciones de la señal sísmica y la banda de frecuencias asociadas es una labor prioritaria. El método de Nakamura, por su sencillez tanto en la parte experimental, como en el procesamiento de la información, se ha convertido en una buena alternativa para identificar los períodos predominantes del suelo. En el caso de la experimentación de Barcelona, la aplicación del método ha permitido diferenciar zonas.

Los afloramientos rocosos son de características diferentes y la aplicación de la técnica lo ha reflejado. En los depósitos sedimentarios del Triciclo, se observa la variación del período con el espesor del material. La zona del Cuaternario reciente del delta del Llobregat aparece homogénea en su comportamiento, a diferencia de los análisis realizados en la margen derecha del delta del Besós que presenta un comportamiento heterogéneo.

Sin embargo, se debe seguir estudiando acerca del origen y ondas que conforman los microtemblores, para complementar el método de Nakamura y poder explicar resultados dispersos y anomalías que se presentan en ciertos casos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A. Alfaro cuenta con una beca ICI de la AECI y un crédito del ICETEX Instituto Colombiano de Crédito Educativo y de Estudios Técnicos en el Exterior.

Este proyecto ha sido financiado parcialmente por la CICYT proyecto AMB96-0996, y por la Commission of the European Communities, Directorate General XII for Science, Research and Development proyectos ENV4-CT96-0279, EV5V-CT93-0281 y ENV4-CT96-0255.

El Apoyo logístico para las campañas de medición lo ha dado la División de Parques y Jardines, el Cuerpo de Bomberos del Ayuntamiento de Barcelona, y para las campañas diurnas se contó con la colaboración de la Guardia Urbana, todos ellos coordinados por Protección Civil.

## REFERENCIAS

- AFPS, 1995. *Guidelines for Seismic Microzonation Studies*. París.
- Alfaro, A., 1997. Estimación de Períodos Predominantes de los Suelos de Barcelona a partir de Microterremotos. *Tesis de Máster*, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. España.
- Candela, L., 1983. Cartografía Geotécnica Automática. Aplicación al Llano de Barcelona. *Tesis Doctoral*, Universidad de Granada, Granada. España.
- Navarro M.; J. Sánchez; A. Alfaro; L. G. Pujades y J. A. Canas, 1997. *Primera campaña de densificación Microzonificación Sísmica de Barcelona*, Departamento de Física. Universidad de Almería. Departamento de Ing. Del Terreno y Cartográfica. ETSECCPB. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of surface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Rep of RTRF*, 30, 1, February, 25-33.
- Ventayol et al., Eds. 1978. Mapa Geotécnico de Barcelona, Badalona, Esplugues, LHospitalet, Sant Adrià, Santa Coloma. Barcelona.

### PIES DE FIGURAS

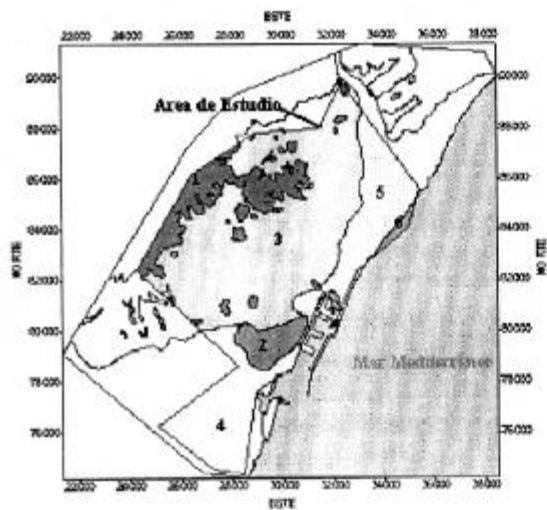


Figura 1. Geotecnia del Area de Estudio

- 1.-Afloramientos Rocosos en la Sierra del Tibidabo-Collserola (Paleozoico)
- 2.-Afloramiento Rocoso de Montjuic (Terciario).
- 3.- Depósitos Triciclo (Cuaternario).
- 4.- Delta del Llobregat (Cuaternario Reciente).
- 5.- Delta del Bcsós(Cuaternario Reciente).
- 6.- Terrenos ganados al mar (1992).

Figura 1. Geotecnia del Área de Estudio

- 1.- Afloramientos Rocosos en la Sierra del Tibidabo-Collserola (Paleozoico)
- 2.- Afloramiento Rocoso de Montjuic (Terciario)
- 3.- Depósitos Triciclo (Cuaternario)
- 4.- Delta del Llobregat (Cuaternario Reciente)
- 5.- Delta del Besós (Cuaternario Reciente)
- 6.- Terrenos ganados al mar (1992)

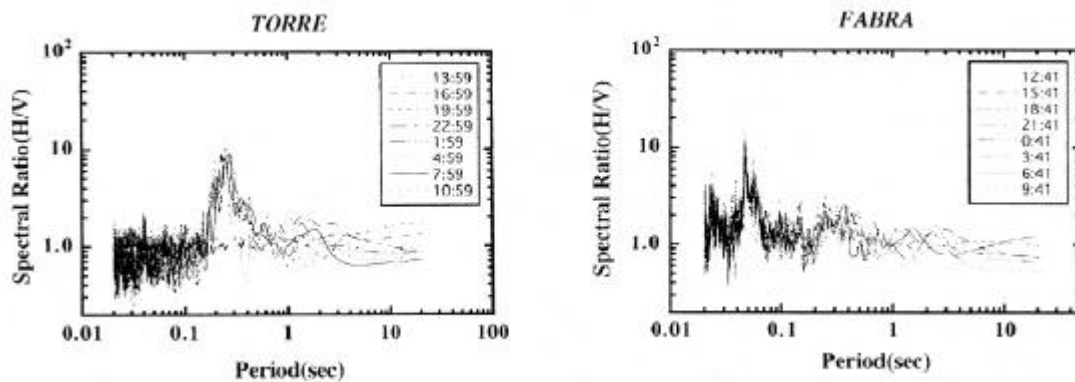


Figura 2a. Prueba de estacionariedad en suelo blando. Campus de la Universidad Politécnica de Cataluña.

Figura 2b. Prueba de estacionariedad en afloramiento rocoso. Observatorio Fabra.

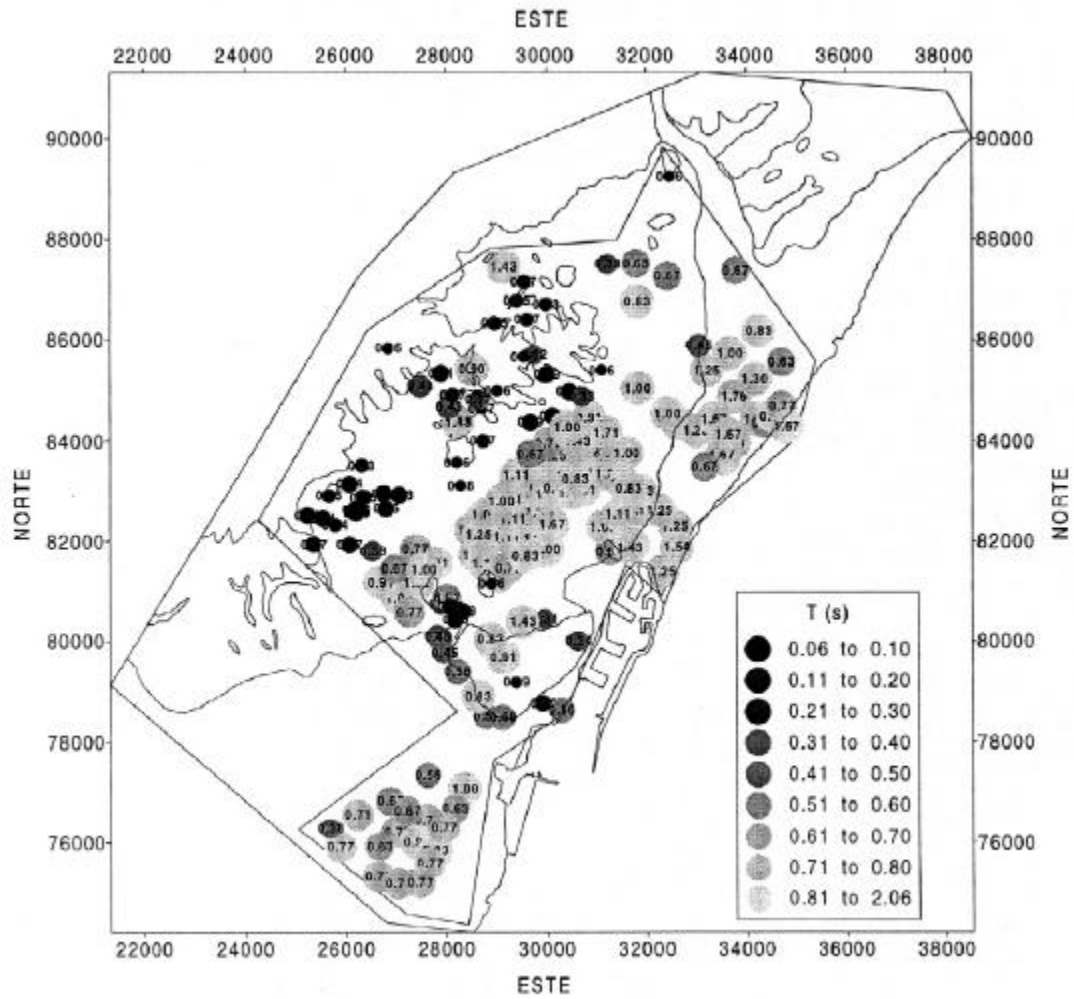


Figura 3.- Períodos predominantes de los suelos de Barcelona.