

Simulación numérica de efectos locales en la ciudad de Barcelona *Numerical simulation of site effects in the city of Barcelona*

Javier Cid⁽¹⁾, Sara Figueras⁽¹⁾, Xavier Goula⁽¹⁾, Teresa Susagna^(1,2), Antoni Roca⁽¹⁾

⁽¹⁾ Institut Cartogràfic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona, sfigueras@icc.es

⁽²⁾ Observatori Fabra, Rambla dels Estudis, 115, 08002 Barcelona

SUMMARY

From 1995 to nowadays the city of Barcelona has been object of several studies for the evaluation of their seismic risk, in which diverse investigating institutions have participated. Particularly we present the seismic zonation of the city based on the seismic response of the soil. Almost the whole of the city is built on a Quaternary covert that yields on a Paleozoic or Tertiary basement depending on the sector, and that could produce possible seismic amplifications. The seismic response of the subsoil of the city of Barcelona has been simulated numerically in 70 points, using Shake'91, a one-dimensional lineal-equivalent method. A Montecarlo process has been integrated in order to analyse the associated uncertainties. In the proposed seismic zonation of the city of Barcelona three zones are classified in coincidence with the kind of Pleistocene or Holocene outcrop and the kind of Paleozoic or Tertiary basement.

1. INTRODUCCIÓN

La zona del NE de la Península Ibérica, donde se sitúa la ciudad de Barcelona, es considerada de actividad sísmica moderada y catalogada con una intensidad VI MSK para un período de retorno de 500 años por la Norma Sísmica Española (NCSE-94,1995). Recientes estudios (Secanell, 1999; Goula et al., 1998) evalúan esta intensidad como VI-VII MSK para materiales terciarios aflorantes en la ciudad. La presencia de una cobertera Cuaternaria (Pleistocena-Holocena), sobre la cual se cimientan prácticamente la totalidad de las viviendas de la ciudad, puede producir un aumento considerable del movimiento del suelo haciendo necesaria la evaluación de esta posible amplificación, debido a la alta densidad de población y al alto índice de vulnerabilidad de las construcciones.

En este estudio se presenta como resultado final la zonación sísmica de la ciudad de Barcelona basada en métodos de simulación numérica de efectos locales, así como resultados parciales que a su vez fundamentan esta zonación.

2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

La ciudad de Barcelona se sitúa sobre la llanura del pedimento de la Sierra de Collserola que pertenece a la Cordillera Litoral Catalana, de dirección aproximadamente paralela a la línea de costa, y está limitada al NE por el delta del río Besòs y al SW por el del Llobregat. Podemos distinguir dos unidades geomorfológicas: los relieves montañosos que constituyen el substrato de la ciudad, en los que encontramos materiales Paleozoicos (metamórficos y graníticos) y Terciarios (Montjuïc); y el llano de Barcelona, dividido a su vez en otras dos unidades geomorfológicas: la zona central de la ciudad compuesta de materiales de edad Pleistocena, y los depósitos deltaicos de los ríos Besòs y Llobregat, compuestos por materiales recientes de edad Holocena.

Diferentes parámetros dinámicos de los suelos son necesarios para la simulación numérica de los efectos que éstos producen en la propagación de las ondas sísmicas. Una metodología que permite estimar los parámetros dinámicos de los suelos a partir de parámetros geotécnicos, usuales en la obra pública, fue definida por Cid (1996), solucionando así el problema de la ausencia de valores experimentales de las propiedades dinámicas de los suelos para Barcelona. Estimamos, del ensayo de penetración estándar (SPT) u otros ensayos de penetración, una columna de suelo con un valor N homogéneo para cada capa, con un sentido representativo, estimativo y estocástico de cada emplazamiento. En total se han analizado 184 sondeos geotécnicos con un resultado de 70 columnas representativas (ver figura 1).

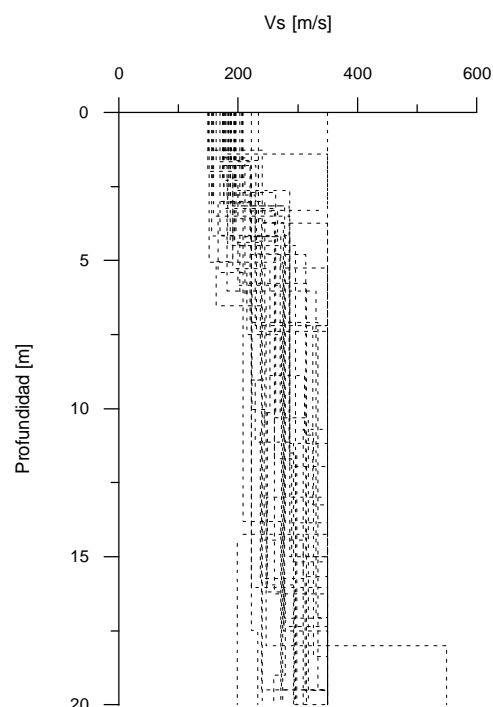


Figura 1. Variación de V_s para los metros más superficiales de las 70 columnas representativas analizadas con afloramiento Holoceno. (Variation of V_s for the uppermost metres of the 70 representative columns analysed with Holocene outcrop).

En general, la información geotécnica no está disponible para profundidades mayores de 20 metros. Aunque en la zona alta de la ciudad encontramos el basamento Paleozoico a profundidades menores de 20 metros, es suficiente la información geotécnica para definir un modelo de capas planas unidimensional. Sin embargo, a medida que nos acercamos hacia la línea de costa, con un aumento del espesor de materiales Terciarios, la base del Terciario no es accesible a los estudios geotécnicos debido a su gran profundidad. Es por ello que hemos recurrido a unos resultados preliminares de estudios de inversión de prospección gravimétrica detallada, que permiten estimar de una forma preliminar la profundidad del techo Paleozoico. La estimación del techo Terciario está basada en información geotécnica y en extrapolaciones geológicas fundamentadas básicamente en el mapa geotécnico de la ciudad de Barcelona (Losan, 1978). Una vez definido el espesor de las capas hasta el basamento

Paleozoico, es necesario definir los parámetros dinámicos en el resto de la columna donde no hay sondeo geotécnico. Estos parámetros dinámicos han sido estimados en base a diversos factores como profundidad, litología, grado de alteración y estudios previos.

3. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE EFECTOS LOCALES

Una vez definidos los modelos dinámicos unidimensionales del subsuelo de los diferentes puntos en estudio, así como el nivel de deformación de cizalla a la que será sometido el subsuelo a partir de una serie de pulsos de Ricker, se ha seleccionado el método lineal-equivalente Shake'91 (Idriss y Sun, 1992), debido a su nivel de estandarización y a las condiciones locales de la zona de estudio. Para analizar el grado de incertidumbre en los resultados se ha utilizado un proceso de Montecarlo (500 cálculos). Las curvas de variación para diferentes tipos de materiales del módulo de cizalla dinámico (G) normalizado al módulo de cizalla dinámico máximo ($G_{m\acute{a}x}$) y de la razón de amortiguamiento (D) respecto la deformación de cizalla que serán utilizadas en el cálculo, están basadas en los datos experimentales del valle de Volvi (Cid, 1998).

Se han obtenido las funciones de transferencia entre la superficie y el basamento (considerado aflorante) para distintas señales de entrada en cada uno de los 70 puntos de estudio, promediando el resultado obtenido para 500 cálculos, resultado de la incorporación de un proceso de Montecarlo. Estos resultados permiten realizar una clasificación en tres grupos, correspondientes a 3 áreas geográficas de la ciudad.

En la figura 2 se han representado las funciones de transferencia representativas de cada zona, las cuales corresponden al promedio de las funciones de transferencia relativas a materiales terciarios aflorantes en la ciudad (emplazamiento de referencia).

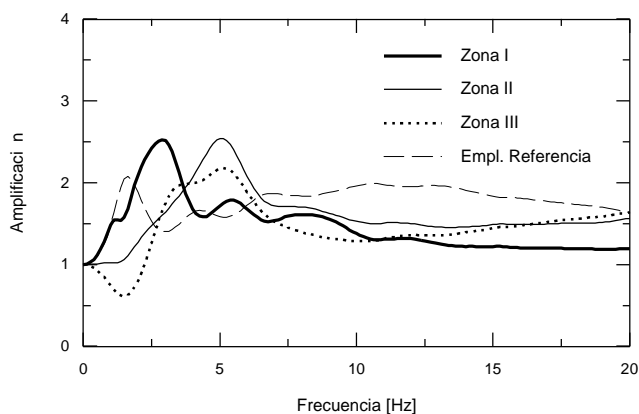


Figura 2. Funciones de transferencia (R.S.R.) representativas de cada una de las zonas definidas, y función de transferencia del emplazamiento de referencia, aplicando en ambas un proceso de Montecarlo. (Representative transfer functions (R.S.R.) of each zone and transfer function of the reference site, applying a Montecarlo process).

De esta forma, cada una de las zonas definidas posee las siguientes características:

- Zona I, afloramientos holocenos. La función de transferencia presenta un pico de amplificación máxima próximo a 2.5 Hz, con un valor de amplificación en torno a 2.5.
- Zona II, afloramientos pleistocenos con substrato Terciario de espesor lo suficientemente grande como para que influya en la respuesta. La función de transferencia presenta un pico de amplificación máxima próximo a 5 Hz, con un valor de amplificación en torno a 2.5.

- Zona III, afloramientos pleistocenos sin substrato Terciario de espesor lo suficientemente grande como para que influya en la respuesta. La función de transferencia presenta un pico de amplificación máxima próximo a 5 Hz, con un valor de amplificación en torno a 2.25, y una desamplificación de las bajas frecuencias.

De la consideración de estas tres zonas definidas y la zona que quedaría definida por los afloramientos rocosos (Zona 0) obtenemos la zonación sísmica de la ciudad de Barcelona que se presenta en la figura 3. El incremento del nivel de aceleración máximo respecto al emplazamiento de referencia es el siguiente: Zona 0, 1; Zona I, 1.69; Zona II, 1.65; y Zona III, 1.43.

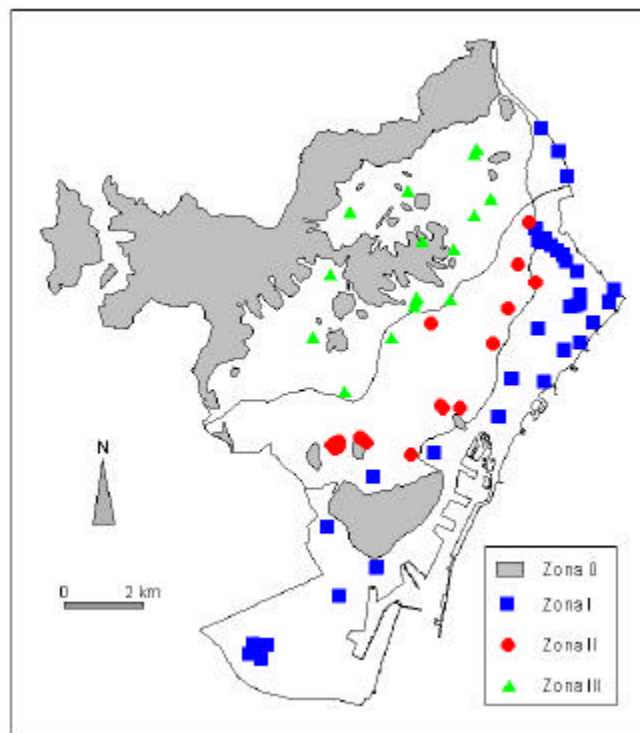


Figura 3. Distribución geográfica de los 70 puntos de estudio que definen la zonación sísmica de la ciudad de Barcelona. En esta figura se ha representado el contacto Terciario-Paleozoico basado en Losan (1978), en el que se presenta en gris la zona 0 de afloramiento rocoso. (Geographical distribution of the 70 study points which define the seismic zonation of the city of Barcelona. In this figure is represented the Tertiary-Paleozoic contact based on Losan (1978), where in grey is showed the zone 0 (rocky outcrops)).

4. REFERENCIAS

Cid, J. (1996). "Estimació dels paràmetres dinàmics dels sòls, procediment i aplicació a Barcelona". Tesis de Master. Universitat Politècnica de Catalunya, p. 227.

Cid, J. (1998). "Zonación sísmica de la ciudad de Barcelona basada en métodos de simulación numérica de efectos locales". Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya, p. 215.

Goula, X., Susagna, T., Fleta, J. y Secanell, R. (1998). "Informació territorial i anàlisi del risc pel pla SISMICAT. Part I: Perillositat Sísmica". Report Institut Cartogràfic de Catalunya. No. GS165/98.

Idriss, I. M. & Sun J. I. (1992). "Shake'91: a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits". User's Guide. University of California, p. 13.

Losan (1978). "Mapa geotécnico de Barcelona, Badalona, Esplugues, L'Hospitalet, Sant Adrià y Sta. Coloma". Barcelona, 32, 1 mapa.

NCSE-94 (1995). Normativa de Construcción Sismorresistente Española NCSE-94. Real Decreto 2543/94. B.O.E. 33. 8 de febrero de 1995.

Secanell, R. (1999). "Avaluació de la perillositat sísmica a Catalunya: Anàlisi de sensibilitat per a diferents models d'ocurrència i paràmetres sísmics". Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.