

CARACTERIZACIÓN DE SITIO PARA EL ÁREA URBANA DE CHOSICA, UTILIZANDO MÉTODOS SÍSMICOS

Bilha Herrera, Isabel Bernal, Juan Gómez y Hernando Tavera

Instituto Geofísico del Perú, Calle Badajoz169, Mayorazgo, Ate-Perú
bilha.herrera@igp.gob.pe, Isabel.bernal@igp.gob.pe,
Juan.Gomez@igp.gob.pe, Hernando.Tavera@igp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Una de las lecciones aprendidas de los grandes terremotos ocurridos en las últimas décadas, es que la distribución de daños en las ciudades está en función de las características locales de sitio y del tipo de edificaciones construidas en la zona afectada. La caracterización de sitio consiste en identificar las propiedades físicas y mecánicas de suelo al paso de las ondas sísmicas. Si el subsuelo está compuesto por materiales blandos y/o poco consolidados pueden producirse variaciones del movimiento del suelo respecto al valor registrado en emplazamientos cercanos situados sobre roca. Estas variaciones o modificaciones se pueden manifestar como el aumento de la amplitud de las ondas sísmicas, el aumento de la duración del movimiento del suelo y la modificación del contenido frecuencial de la señal sísmica.

En este estudio se hace uso de información geológica y métodos sísmicos y geotécnicos para conocer las características locales de los suelos en el área urbana de Chosica (Distrito de Lurigancho-Chosica, Lima). Las técnicas aplicadas para la caracterización dinámica de suelos se llevó a cabo realizando mediciones de ruido ambiental (técnica H/V), análisis multicanal de ondas superficiales (arreglos lineales), arreglos sísmicos circulares y para determinar características geotécnicas de la zona (tipo de suelo y capacidad portante), se ha utilizado la técnica de calicatas.

Los resultados obtenidos han permitido identificar en el área de estudio (según la Norma E-030), la existencia de dos tipos de suelos: suelos muy rígidos (Tipo S1) y suelos intermedios (Tipo S2).

CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

El área urbana de Chosica se emplaza sobre afloramientos ígneos de los grupos Santa Rosa y Patap; ambos cubiertos por depósitos aluviales pertenecientes al Cuaternario Pleistoceno y Cuaternario reciente; con una morfología de forma típica de “V” dentro de un fondo angosto limitado por cadenas montañosas de pendiente moderada. La zona de estudio se encuentra entre las cotas 750 y 1745 m.s.n.m., resaltando una topografía abrupta disectada por quebradas.

Por otro lado, la estratigrafía superficial del área de estudio ha sido posible determinarla mediante la elaboración de 15 calicatas y el respectivo análisis de muestras en laboratorio han permitido identificar en el área urbana de Chosica la presencia de hasta 7 tipos de suelos caracterizados de acuerdo a la clasificación SUCS. Mediante ensayos de corte directo se determinó la capacidad portante de los suelos. Un 90% del total del área de estudio presenta valores de 1.5 a 2.5 kg/cm²; mientras que, en la parte baja de las quebradas Pedregal, Corrales y Carossio, los valores de la capacidad portante es “Baja” (1.0 a 1.5 kg/cm²).

METODOLOGÍA

Para determinar las características dinámicas del suelo en el área urbana de Chosica se aplicaron tres técnicas empíricas: El cociente espectral H/V de mediciones de vibraciones ambientales, a fin de determinar la frecuencia fundamental del suelo. Esta técnica utiliza como fuente sísmica el ruido ambiental, registrada en sismógrafos triaxiales (E-O, N-S y Z) y se basa en la propiedad de la componente vertical del registro de no amplificarse al atravesar suelos blandos, por lo cual se puede considerar que el cociente espectral entre las componentes horizontales y la vertical, es un buen estimador del efecto de sitio (Nakamura, 1989).

Las dos técnicas siguientes (arreglos lineales y circulares) se basan en los principios básicos de la dispersión geométrica de las ondas superficiales. Este hecho supone que en medios unidimensionales y

heterogéneos las ondas superficiales son dispersivas; es decir, que diferentes frecuencias presentan diferentes velocidades de propagación. El análisis de las ondas superficiales permite obtener el perfil de velocidad de propagación de las ondas S en función de la profundidad.

La técnica de arreglos lineales (MASW), utiliza una fuente activa para determinar las velocidades de las ondas de corte (V_s) en el suelo, analizando la forma en que una onda generada artificialmente se transmite en el suelo y para lo cual, se utiliza arreglos lineales y superficiales de geófonos ubicados en forma equidistante. La onda excitadora se genera por la aplicación de una fuente activa (golpe con un mazo de gran peso sobre una placa metálica, etc.) en superficie. Los geófonos detectan y captan las vibraciones y la forma en que la onda se expande. Este tipo de fuente tienen la ventaja de generar ondas de alta frecuencia o longitud de onda corta las cuales tienen la capacidad de explorar el suelo a profundidades relativamente superficiales (Tokimatsu et al., 1992b).

La técnica de arreglos circulares de sensores colocados en serie, permiten estimar las curvas de dispersión de la velocidad de fase en función de la frecuencia para frentes de ondas contenidas en las ondas superficiales, que son las que mayoritariamente componen el ruido ambiental. La velocidad de las ondas que viajan a una determinada frecuencia puede ser obtenida del procesamiento de registros del movimiento del suelo, simultáneamente en varias estaciones. Este método asume primeramente que las vibraciones ambientales están compuestas en forma mayoritaria por ondas superficiales y que la estructura del subsuelo está formada por estratos horizontales.

Se ha comprobado que la utilización de los registros de vibración ambiental, para la determinación de modelos de velocidad de ondas S, son los que mejor resuelven el problema a diferencia de los obtenidos a partir de datos geotécnicos; además, de llegar a mayor profundidad de investigación (Foti, 2000).

TÉCNICA DE COCIENTE ESPECTRAL H/V

Durante la segunda quincena de Febrero de 2012 se realizaron medidas de ruido sísmico en el área urbana de Chosica. Para la selección de los puntos de medida se tuvo en consideración la topografía, geología y facilidad de acceso a los diferentes emplazamientos de la zona. El equipo utilizado consta de dos sismógrafos de tres componentes marca Lennartz de 5 segundos, dos digitalizadores CityShark de la marca Leas. El tiempo de registro fue de 15 min, y la frecuencia de muestro de 200 Hz, lo cual permite tener buena cantidad de información para su posterior análisis.

Se realizaron 182 medidas puntuales de ruido sísmico, cubriendo toda el área de estudio. Para el procesamiento de datos se utilizó en programa Geopsy 2.8 (www.geopsy.org/) y la metodología descrita por Nakamura (1989). En la Figura 1 se muestra el mapa de frecuencias predominantes para el área de estudio: frecuencias entre 2 y 4Hz (área de color rosado) en zonas de flujos detríticos y fluviales (parte media y baja de las quebradas Quirio, Pedregal, y Santo Domingo y en ambos márgenes del río Rímac) y frecuencias mayores a 4Hz, asociadas a capas superficiales de poco espesor, se encuentran en las zonas de laderas de los cerros y en zonas de relleno antrópico (área de color verde).

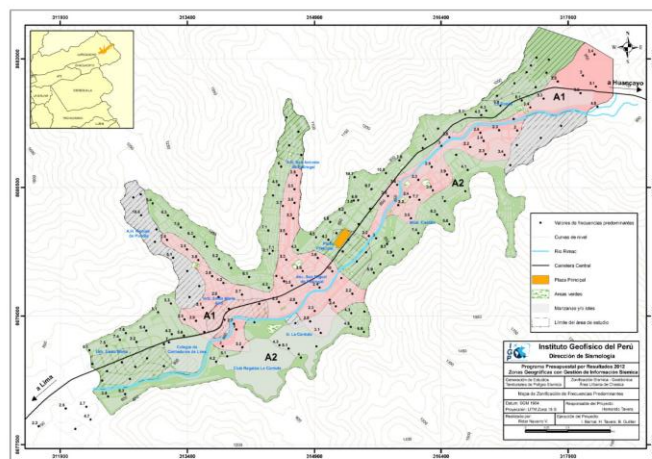


Figura 1. Mapa con la distribución espacial de frecuencias predominantes

TÉCNICA DE ARREGLOS SÍSMICOS LINEALES

Para el registro de la data se ha utilizado un equipo de refracción sísmica que consta de un registrador multipropósito, modelo GEODE (24 canales), geófonos de 4.5 Hz y registros a una resolución de 24 bits. Como fuente de impacto y/o energía para generar ondas sísmicas, se utilizó un martillo de 20 lbs. El espaciamiento entre geófonos fue de 3 metros y el punto de impacto del martillo, variable ya que dependía de la geomorfología de la zona de estudio. La frecuencia de muestreo fue de 4000 Hz con un pre-trigger de -0.1segundo y una longitud de registro de 2 segundos. Para eliminar el registro de ruido de fondo se realizaron entre 6 y 12 golpes en cada punto de disparo, permitiendo el estaqueo temporal de los datos y así, aumentar la coherencia en los resultados.

Se realizaron 4 líneas de refracción sísmica codificadas como: LR01-CHO, LR02-CHO, LR03-CHO, LR04-CHO (ver Figura 2). Las dos primeras fueron tomadas en la Universidad de La Cantuta, la tercera en el estadio del AAHH Nicolás de Piérola y la última el en Convento Maristas, al este de la zona de estudio. Para el procesamiento de datos se utilizó el análisis espectral F-K (Frecuencia-Número de Onda) de alta resolución desarrollado por Capon (1969).

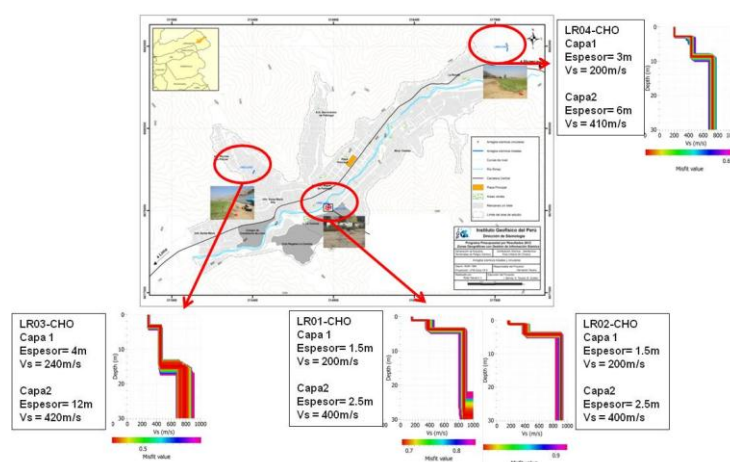


Figura 2. Resultados obtenidos para los arreglos sísmicos lineales en Chosica.

TÉCNICA DE ARREGLOS SÍSMICOS CIRCULARES

Para la medición de ruido ambiental usando arreglos se utilizó un sistema de adquisición de datos constituido por 10 estaciones sísmicas conectadas por un sistema Wi-Fi fueron acondicionadas para este tipo de trabajos (Wathelet, 2008). Cada estación compuesta por un digitalizador sísmico, un sensor sísmico triaxial marca Lennartz, una antena Wi-Fi, una PC portátil, un GPS (para el posicionamiento de cada estación) y un cable de conexión registrador-sensor.

Para la zona de la Cantuta, se realizaron arreglos circulares de 10 metros y 30 metros de radio. Los registros fueron obtenidos en ventanas de 30 minutos a frecuencia de muestreo de 100 Hz. Para el procesamiento de datos se utilizaron los métodos de análisis de Frecuencia vs Número de Onda (F-K) y autocorrelación espacial (SPAC).

Los estudios con arreglos sísmicos lineales y circulares han permitido identificar la presencia de suelos con velocidades de ondas de corte (Vs) de 200 a 300 m/s correspondiente a suelos duros con espesores de 3 a 4 metros, suelos con velocidades Vs de 410 a 420 m/s correspondiente a suelos muy duros con espesores de 5 a 12 metros. La superficie de contacto alcanza velocidades de 800 m/s que corresponde a suelos compuesto por rocas moderadamente duras. Los resultados obtenidos fueron con los resultados obtenidos con la técnica de H/V.

RESULTADOS

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los métodos sísmico, geotécnicos y geología para el área urbana del distrito de Chosica, ha permitido identificar de acuerdo a la Norma de Construcción Sismorresistente (Norma E030), la existencia de 2 zonas sísmicas-geotécnicas, las mismas que corresponden a suelos de Tipo S1 y S2.

ZONA I: Esta zona está conformada por estratos de grava coluvial-aluvial de los pies de las laderas; que se encuentran a nivel superficial o cubiertos por un estrato de material fino de poco espesor. Este suelo tiene un comportamiento rígido con periodos de vibración natural determinados por las mediciones de vibración ambiental que varían entre 0.1 y 0.3 segundos correspondiente al tipo de suelo S1. Asimismo, en esta zona predominan periodos de 0.2 segundos que se concentran en el extremo Norte y Sur del área urbana.

ZONA II: En esta zona se incluyen planicies aluvional conformadas por columnas de gravas con arenas intercaladas con niveles finos limosos y arcillosos cuyas potencias varían entre 3 y 10 metros. Los periodos predominantes del terreno determinados por las mediciones de vibración ambiental varían entre 0.3 y 0.5 segundos correspondiente al tipo de suelo S2. Esta zona considera la zona céntrica del área urbana y próxima al Río Rímac.

Esta clasificación permite proponer el Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica (Comportamiento Dinámico del suelo) para el área urbana de Chosica (Figura 3).

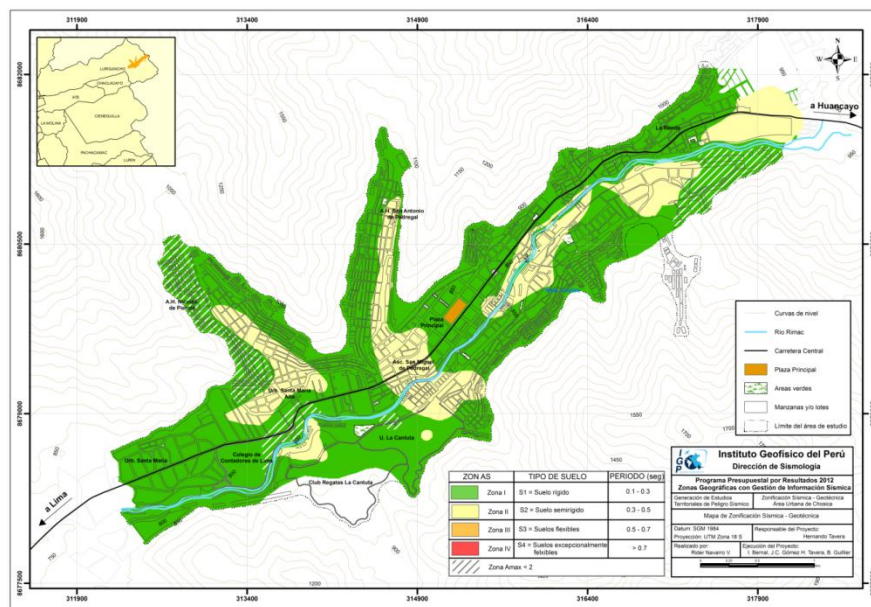


Figura 3. Mapa de Zonificación Sísmica – Geotécnica para el área urbana de Chosica, del distrito de Lurigancho-Chosica.

REFERENCIAS

1. Capon, J. (1969). High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis, Proc. IEEE, 57, 8, 1408-1418.
2. Herrera, B. (2013). Caracterización de sitio para el área urbana de Chosica utilizando métodos sísmicos (Distrito de Lurigancho-Chosica), Tesis de Grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
3. Foti, S. (2000). Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves. PhD dissertation, Politecnico di Torino, Italy.
4. Nakamura, Y. (1989). "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", Quarterly Report Railway Tech. Res. Inst.; 30(1), 25-30.
5. Tokimatsu K., Shinzawa K., Kuwayama S. (1992b). Use of short-period microtremors for Vs profiling, J. Geotechnical Eng., vol. 118 (10), ASCE, pp. 1544-1558.
6. Wathélet, M. (2005). Array recordings of ambient vibrations: surface-wave inversion. PhD thesis from University of Liège, Belgium, 177 pages.
7. Tavera, H. (2012). Zonificación sísmica – Geotécnica del área urbana de Chosica (comportamiento dinámico del suelo), Informe Técnico, IGP.