



El Proyecto RESIS-II:

Reducción de Riesgos Sísmicos en Guatemala, El Salvador y Nicaragua con Cooperación Regional a Honduras, Costa Rica y Panamá

Identificación de las características de suelo en áreas urbanas en San Salvador (El Salvador) usando la técnica de razón de espectro, H/V

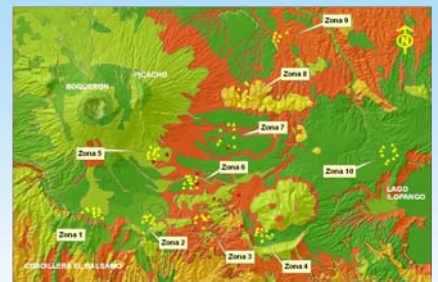
1 Introducción

La ciudad de San Salvador (El Salvador) está amenazada por actividad sísmica y volcánica, relacionada con un proceso de subducción entre la placa del Caribe y la placa de Cocos. El área urbana de San Salvador está cubierta con sedimentos que provienen principalmente de depósitos volcánicos. El creciente desarrollo urbano en combinación con la gran amenaza sísmica en la región, hace que sea prioridad la mejora del conocimiento de las características del subsuelo (espesor de la capa sedimentaria H, velocidad de ondas de corte vs, y las frecuencias predominantes fn) y la correspondiente amplificación. Es por esto que en el 2007, el gobierno Noruego otorgó fondos para un proyecto de cooperación enfocado a la reducción de riesgo sísmico en América Central llamado RESIS II, en la que se propuso realizar labores de microzonificación en el área urbana de San Salvador. Con esto en mente, la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) eligió diez zonas de 1 x 1 km² en tamaño dentro de la capital. Las investigaciones instrumentales se realizaron durante el día usando sismómetros Lennartz LE-3D/5s en combinación con digitadores portables de 24-bit, Nanometrics Taurus. En cada una de estas zonas hasta 12 sitios de grabación fueron elegidos para identificar la variabilidad espacial de las condiciones de subsuelo dentro de cada zona. El estudio basado en la técnica de razón espectral, H/V y un método híbrido de clasificación de sitio fueron usados (Lang, 2004; Lang y Schwarz, 2006) para encontrar las frecuencias predominantes como también las estimaciones de los espesores de la capa sedimentaria H y las velocidades de onda de corte vs de los registros obtenidos. Usando el esquema de clasificación propuesto por Bray y Rodríguez-Marek (1997), se pudo realizar una clasificación de los sitios a la metodología NEHRP (International Building Code, 1997) pudo ser llevada a cabo. En este trabajo, las clasificaciones de NEHRP son a su vez subdivididas aun más de acuerdo a los rangos de los espesores sedimentarios H. Las mayores profundidades sedimentarias encontradas fueron mayores de 200 m y las velocidades de onda de corte vs varían entre 180 y 360 m/s. Los resultados de la microzonificación serán aplicados en estudios de riesgo sísmico y perdidas para toda la ciudad de San Salvador.

2 El área urbana : Geología local y selección de sitios para la medición de ruido



La Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) eligió las zonas de estudio de acuerdo a términos físicos y de vulnerabilidad social (e.g., densidad de población) o por importancia a futuro en temas de desarrollo urbano. Diez zonas de aproximadamente 1 km² fueron definidas (Zona 1 a 10 en la figura adyacente) y entre 6 a 10 puntos fueron elegidos para adquirir los registros de ruido.

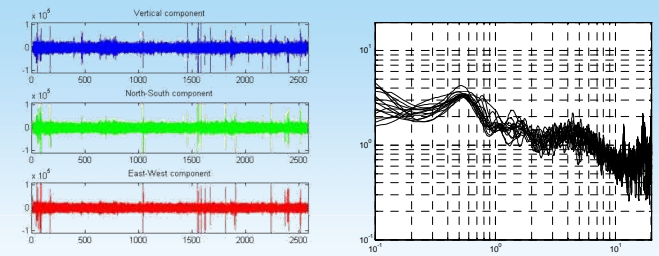


La geología del área urbana está constituida principalmente por materiales volcánicos como puede ser visto en el mapa. No existen muchos pozos en la zona. Algunas de las existentes han sido graficadas en el mapa con puntos rojos, pero la profundidad de los pozos es siempre bajo 10 m y solo la información de SPT es disponible. El mapa geológico fue entregado por el grupo de investigación del proyecto ANDES <http://redgeomatica.redis.es/andes/>.

3 Adquisición de datos y análisis H/V



En Febrero 2008, las investigaciones instrumentales fueron realizadas durante el día usando sismómetros Lennartz LE-3D/5s en combinación con digitadores portables de 24-bit Nanometrics Taurus. Los equipos fueron amablemente provistos por el Instituto Geográfico Nacional (Madrid, España). Las mediciones fueron llevadas a cabo en distintos tipos de condiciones. En la mayoría de los casos el sensor era instalado en un hoyo hecho en la tierra, cubierto con un cubo para evitar la influencia del viento. Cuando no era posible instalar los instrumentos en tierra, se procedía a realizar las mediciones en asfalto o concreto, también cubierto con el cubo para evitar las influencias del viento. La frecuencia de muestreo se fijó en 100 Hz y la longitud temporal de la medición era de 30 minutos.



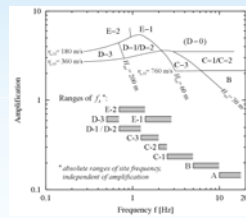
La señal registrada fue subdividida en ventanas de 92 segundos y el H/V fue calculado para cada una de las ventanas, usando el algoritmo dado por Lang & Schwarz (2006). Todas las ventanas contenían ruido artificial que afectaba el procedimiento H/V, estas fueron removidas del análisis. Finalmente el H/V obtenido de las ventanas elegidas fue promediado para poder calcular el valor medio y la desviación estándar, que sirve para identificar la frecuencia predominante de la columna de suelo (Nakamura, 1989).

4 Clasificación de suelo usando los resultados del análisis H/V

Si siguiendo el procedimiento de Lang y Schwarz (2006), los sitios fueron clasificados usando la sub-categorización de las clases de sitios de NEHRP (BSSC, 1995) de acuerdo a los rangos de espesores de las capas sedimentarias propuestas por Bray y Rodríguez-Marek (1997).

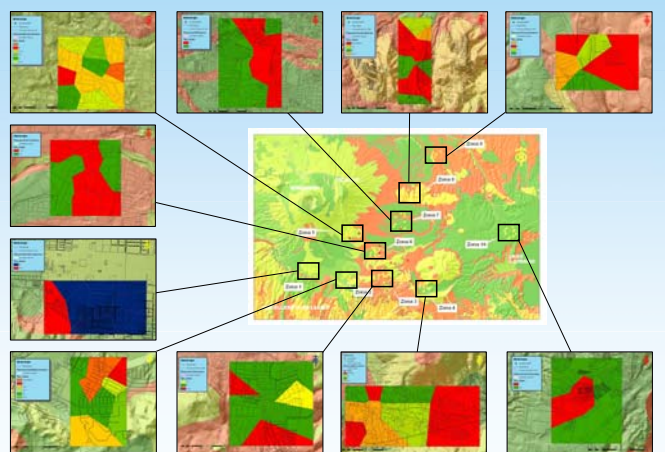
NEHRP (Clase de sitio)	Descripción	Rango de velocidad de onda de corte c_w	Comentario sobre espesor de capa sedimentaria H	f_{sp} [Hz]
A	Roca dura o más	$c_w > 1500$ m/s	-	0.30
B	Roca dura o más en fallas	-	$H < 6$ m de suelo	0.50
C-1	Roca maciza y blanda	$c_w > 760$ m/s	$H < 6-30$ m	2.25
C-2	Deposito de arena y arena ligera	-	6-30 m	2.25
C-3	Deposito de arcilla y arcilla ligera	-	$H < 30-60$ m	0.75
D	Suelo profundo y rígido del tipo arena o arcilla	$c_w > 180$ m/s	$H < 60-200$ m	0.67
D-1	Suelo profundo del tipo arena, arena arcilla	-	$H < 60-200$ m	0.67
D-2	Suelo profundo y arena ligera	-	$H < 200$ m	0.65
E-1	Capa de arena de profundidad media	$c_w > 180$ m/s	300 días base $H < 3-12$ m	1.14
E-2	Capa de arena profunda	-	$H < 12$ m	0.67
F	Protección, e.g. pared de muros de hormigón	no disponible	no disponible	0.10

* Refined NEHRP site classes according to Bray and Rodríguez-Marek (1997).
** Predominant frequency of the subsol profile (site frequency).



Rangos cuatridimensionales de posibles ubicaciones de máximos de funciones de transferencia en una dimensión para clases de sitio refinadas de tipo NEHRP por Bray & Rodríguez-Marek (1997).

5 Implementación SIG y zonificación de los resultados obtenidos usando Tesselation



6 Conclusiones

- El uso de mediciones en base a ruido ambiente y la aplicación de la técnica de razón espectral H/V han probado ser útiles para obtener las frecuencias predominantes del sitio fin como también para clasificar el tipo de suelo del área metropolitana de San Salvador (AMSS) en clases de NEHRP.
- Los resultados instrumentales muestran que la mayoría de las áreas investigadas están cubiertas con suelos tipo C (vs = 360-760 m/s) y D (vs = 180-360 m/s), mientras que las capas sedimentarias de mayor espesor se encuentran en la Zona 10 (clase D3).
- En principio, no se encuentra disponible ninguna información de pozos que puedan ser usadas para calibrar los resultados instrumentales. La única información disponible consiste en pruebas de penetración estándar (SPT) hasta los 10 m de profundidad. Sin embargo, buenas correlaciones existen entre los resultados obtenidos y la topografía.
- Póligonos de Thiessen son usados para dibujar las condiciones equivalentes en el suelo como una primera aproximación para identificar los lugares donde estudios más detallados deben ser conducidos y serán usados para elegir el tipo de suelo en los distritos de la ciudad para un futuro estudio de riesgo sísmico.
- Finalmente todos los resultados e información compilada han sido implementados en un SIG (ArcGIS) que permitirá a la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) tomar mejores decisiones a futuro en cuanto a la planificación urbana, la que será mejorada con futuros estudios.

Referencias

Bray, J.D., and A. Rodríguez-Marek (1997). Geotechnical site categories, Proceedings of the First PEER PG&E Workshop on Seismic Reliability of Utility Lifelines, San Francisco/California, 1997.
Building Seismic Safety Council BSSC (1995). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings, FEMA 222A/223A, Vol. 1 (Provisions) and Vol. 2 (Commentary), developed for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
International Conference of Building Officials ICBO (1997). Uniform Building Code (1997-UBC). Whittier/CA, United States of America, 1997, 492 pp.
Lang, D.H. (2004). Damage potential of seismic ground motion considering local site effects, Scientific technical reports 1 (ISBN 3-86068-227-X). Dissertation. Earthquake Damage Analysis Center, Bauhaus-University Weimar, 2004, 293 pp.
Lang, D.H. and J. Schwarz (2006). Instrumental subsol classification of Californian strong motion sites based on single-station measurements. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, United States, 2006.
Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, QR of RTRI 30 (1), February 1989.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo el marco del proyecto de cooperación regional RESIS-II, financiado por el gobierno Noruego y coordinado por CEPREDENAC. Los autores quieren reconocer el apoyo recibido por la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), Protección Civil, Universidad Centroamericana José Simón Cañas (UCA) y el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

También estamos en deuda por la ayuda del Instituto Geográfico Nacional (Madrid, España) que prestó los instrumentos necesarios para realizar las mediciones en terreno y en particular muchas gracias por la ayuda prestada de parte de la Dr. María Belén Benito.

Información de contacto:

Dr. Sergio Molina (Universidad de Alicante)
email: sergio.molina@ua.es
<http://www.norsar.no/>

Dr. Dominik H. Lang (NORSAR)
email: dominik@norsar.no
<http://www.norsar.no/>