



Frecuencias predominantes del suelo en laderas y acantilados del Río Mendoza - Argentina

F. Calderón (1), E. Giolo (1), C. Frau (1), A. Cueto (1), S. Vía (1), S. Panella (1) y F. Luján (1)

(1) Investigadores, CEREDETEC – UTN – Facultad Regional Facultad Mendoza - Argentina.
francisco.calderon@frm.utn.edu.ar

Resumen

En el presente trabajo se muestra el resultado de frecuencias predominante de suelo obtenidas en zonas del pedemonte, ubicado al oeste de la ciudad de Mendoza. La geografía pedemontana se caracteriza por tener terrenos con pendientes y terrazas en laderas y acantilados que han permitido la urbanización en dicha zona. Las frecuencias predominantes de suelo se han obtenido mediante el procedimiento del cociente espectral H/V a través de la medición de vibraciones ambientales con acelerómetros digitales. Se comparan los valores de frecuencias obtenidas tanto en zonas llanas como en zonas pedemontanas. Por otro lado, se presenta una comparación de las frecuencias predominantes en dos direcciones ortogonales horizontales. En las conclusiones se resalta la variación de la frecuencia y su amplitud en diferentes posiciones de las laderas hasta el acantilado adyacente al río Mendoza, como así también la variación entre las dos direcciones horizontales ortogonales medidas.

Palabras claves: Frecuencias de los suelos – acantilados - laderas – H/V.

Abstract

In the present work the result of predominant soil frequencies obtained in areas of the foothills, located to the west of the city of Mendoza, is shown. The foothills geography is characterized by having land with slopes and terraces on slopes and cliffs that have allowed urbanization in that area. The predominant frequencies of the ground have been obtained through the procedure of the spectral ratio H/V through the measurement of environmental vibrations with digital accelerometers. The frequency values obtained both in flat areas and in foothill areas are compared. On the other hand, a comparison of the predominant frequencies in two horizontal orthogonal directions is presented. The conclusions highlight the variation of the frequency and its amplitude in different positions from the slopes to the cliff adjacent to the Mendoza river, as well as the variation between the two measured orthogonal horizontal directions.

Keywords: Soil frequencies - Cliff - Slope – HVSR.

1 Introducción

Algunos de los peligros potenciales asociados a la actividad sísmica son la licuación de suelos, deslizamiento de tierras, caída de rocas, efectos de sitio debido a terremotos, variaciones topográficas, tsunamis entre otros. Es posible definir el riesgo sísmico como la convolución entre la peligrosidad y la vulnerabilidad [1]. Relacionado directamente con la peligrosidad sísmica local está la respuesta del suelo ante la ocurrencia de terremotos. Es bien conocido que las condiciones y efectos locales de un sitio son un factor de importancia en la respuesta de suelos blandos ante terremotos y que este aspecto necesita ser considerado adecuadamente [2]. Entre los métodos experimentales para conocer el comportamiento del sitio, han tenido gran aceptación los basados en microtemores o vibraciones ambientales los cuales permiten determinar el período fundamental cuando existe un contraste de impedancia importante entre los estratos que conforman el depósito sedimentario [3]. Entre las diferentes técnicas, el método de los cocientes espectrales H/V ([4],[5]), también conocido como método de Nakamura, ha alcanzado una gran aceptación en varios países, por lo que ha sido aplicado en un gran número de regiones diferentes en todo el mundo. Entre otras razones, su amplia difusión se debe a que sólo requiere analizar los datos registrados por una estación de tres componentes emplazada en la superficie del sitio a auscultar, lo que lo hace un método económicamente aceptable. Si bien los antecedentes sobre comportamiento sísmico de terrenos inclinados representan una sólida base que permiten identificar algunas de las variables que condicionan la respuesta del suelo, actualmente no hay un criterio unificado respecto a la evaluación analítica o experimental del periodo característico de un terreno inclinado [6].

En el presente trabajo se escoge una zona en el pedemonte, ubicado al oeste de la Ciudad de Mendoza, contigua al Río Mendoza, en Argentina la cual se caracteriza por presentar terrenos con pendientes, terrazas en laderas y acantilados, cuyas características topográficas han permitido la urbanización en dicha zona. De esta manera se evalúan las frecuencias predominantes del suelo en ocho puntos estratégicos.

2 Marco teórico – Área de estudio

El creciente aumento del conglomerado urbano, conocido como Gran Mendoza, y la necesidad de urbanizar nuevos terrenos, ha tomado varias direcciones, una de ellas es hacia el oeste de la ciudad de Mendoza, Argentina. El área de estudio se encuentra ubicada en la zona denominada pedemontana, al oeste de la ciudad de Mendoza, sobre las adyacencias del Río Mendoza con coordenadas geográficas 33°02'30" de latitud Sur y 69°02'50" de longitud Oeste, Fig. 1. Esta zona se caracteriza por unidades litológicas de edad cuaternarias, que se extienden a lo largo de la Precordillera, Cordillera Frontal, Cerrillada Pedemontana y Bloques de San Rafael. Dichas unidades estratigráficas se encuentran representadas por terrenos sedimentarios y volcánicos. Algunas unidades estratigráficas más modernas, aflorantes en la zona de estudio, son: *Depósitos Llanura de Inundación y cauces Río Mendoza*, en la llanura nororiental del río Mendoza, donde se observan gravas y arenas fluviales. *Depósitos de Llanura aluvial Río Mendoza*, formados por arenas finas limosas, limos en parte salinos y algunas capas de gravilla, e integran depósitos de cauces y barras fluviales, meandros abandonados y llanuras de inundación. *Depósitos del abanico aluvial del Río Mendoza*, forman afloramientos reducidos que en la mayor parte de su extensión están cubriendo una capa de pocos metros de espesor de limos. *Formación El Zampal*, Limos-Arcillas, depósitos que

tienen amplia distribución superficial en la zona pedemontana y llana, próxima a los frentes cordilleranos y precordilleranos, constituido por limos amarillentos, en parte calcáreos, que alternan con capas de cenizas volcánica, arenas fluviales y específicamente en su parte inferior lentes de gravas [7].

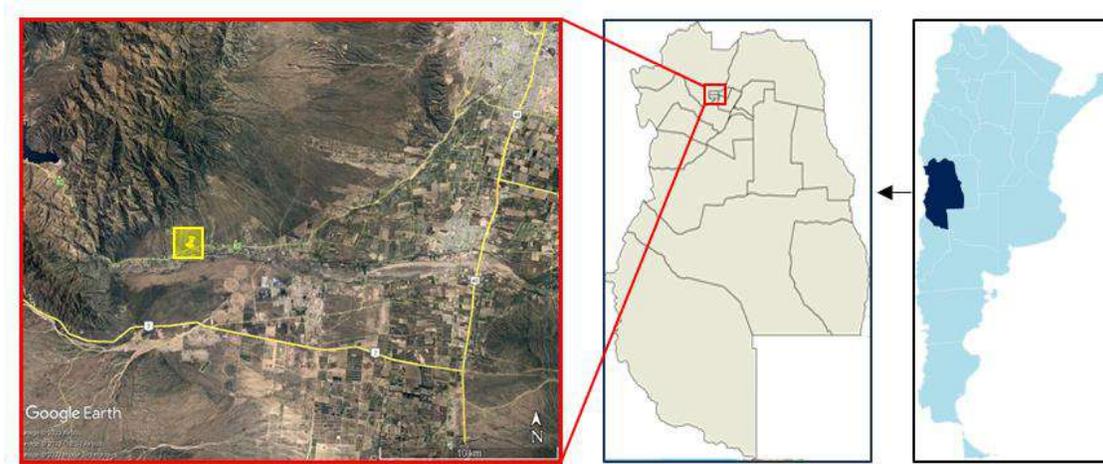


Fig. 1 – Ubicación geográfica de la zona considerada en este estudio al oeste de la provincia de Mendoza, Argentina.

En la Fig. 3, se observa el área estudiada en un rectángulo rojo y una falla geológica activa (verde) y una fotografía aérea donde se aprecian dos zonas (roja y azul). Las pendientes promedio de estas áreas son 4.5 % y 5.2 %. En total el desnivel topográfico es de 15 m aproximadamente de un extremo a otro del terreno estudiado los cuales divididos en estas dos áreas por un desnivel de 5 m. Luego existe otro desnivel importante (acantilado) junto al río de 26 m aproximadamente.

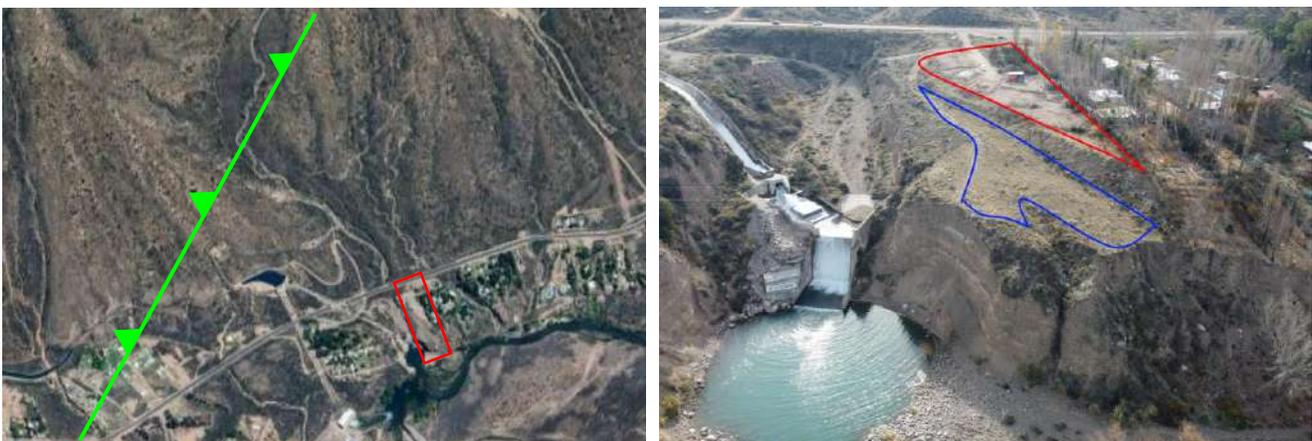


Fig. 3 - a) Terreno estudiado, la falla inversa Aguada Pizarro a 600 m. b) Zonas aterrazadas y borde acantilado.

2.1 Efectos de sitio

La experiencia de terremotos pasados ha mostrado en repetidas oportunidades que la intensidad del movimiento del suelo y el daño que producen están fuertemente influenciados por las condiciones

locales de cada sitio. Ante un terremoto, sitios cercanos entre sí pueden presentar respuestas diferentes en función de las condiciones geotécnicas locales ([8]). Posibles efectos de sitio, efecto de cuenca o variaciones de la topografía conducen a variaciones en la respuesta del sitio. Así, el término efecto de sitio representa los efectos en la respuesta local del suelo o sea la influencia de los materiales de las capas superficiales sobre la propagación vertical de las ondas de cuerpo. El término efecto de cuenca hace referencia a la influencia de una cuenca sedimentaria bi o tri-dimensional sobre el movimiento del suelo debido a la reflexión de las ondas de cuerpo en los límites de la cuenca y la generación de ondas de superficie. Los accidentes topográficos pueden generar amplificaciones del movimiento debido a la presencia de escarpes o en taludes; o de-amplificaciones como es el caso de los pies de taludes ([9], [10]). Los efectos locales de sitio pueden influir significativamente en las características del movimiento del suelo debido a un sismo tales como amplitudes, frecuencias y duración de la fase principal del movimiento. Físicamente, el efecto de sitio consiste en conservación de la energía elástica. Cuando una onda sísmica atraviesa una capa de suelo con una densidad ρ diferente y por ende una velocidad de onda de corte diferente V_s (menos la energía disipada por amortiguamiento), hay un solo camino, modificar la velocidad de la partícula de suelo \dot{u} , esto es la energía de flujo $\rho V_s \dot{u}^2$ [9]. Por supuesto, la amplificación del movimiento depende de la razón de amortiguamiento ξ , el espesor del estrato H y V_s que representa la rigidez del estrato. La respuesta de un modelo simple de suelo con amortiguamiento (una capa de suelo uniforme) sobre un lecho rocoso considerado rígido viene dada por la Ec. (1). El efecto topográfico es producido por la forma de las vaguadas o crestas de un valle. La amplificación de las ondas sísmicas depende de la forma convexa o cóncava de la topografía, esto fue estudiado por Faccioli (1991) [11].

$$F(\omega) = \frac{1}{\sqrt{\cos^2(\omega H / v_s) + [\xi(\omega H / v_s)]^2}} \quad (1)$$

Con respecto a los sitios que presentan ciertas inclinaciones, se han realizado diversos estudios sobre los efectos que se generan en estos tipos de terrenos, si bien existen algunos casos particulares como el de Tarzana Hill, en Los Ángeles, Estados Unidos, donde se mostraron efectos topográficos importantes a pesar de las pequeñas alturas ($H= 18\text{m}$) y el bajo ángulo de inclinación del terreno [12], también se ha observado que en terrenos con pendiente inferior a 15° , la influencia de la topografía es muy baja [13]. Por lo tanto, la determinación de su periodo característico, así como la definición de su clasificación sísmica podría realizarse de forma razonable aplicando criterios de clasificación y procedimientos de medición análogos a los usados en terreno planos. [6]. Aunque no existe un acuerdo generalizado para la toma de datos utilizando el método HVSR, la mayoría de los autores coinciden que el método es adecuado para obtener la frecuencia predominante del sitio, incluso en terrenos con pendiente ([14], [15]). En su estudio, Díaz Segura, hace referencia al uso del método HVSR en un terreno con pendiente media de 28° y sin irregularidades importantes, contrastando los resultados obtenidos en las mediciones de campo con los resultados obtenidos mediante modelos de elementos finitos, destacando más de una frecuencia predominante en este tipo de sitios.

2.2 Clasificación de sitios

Registros de terremotos pueden mostrar distintas amplitudes en sitios con diferentes características geológicas. Los principales criterios de clasificación utilizados para representar las condiciones de un

sitio son: a) velocidad media de onda de corte en los primeros 30 m de profundidad, Vs30 ([16], [17]); b) geología superficial ([18], [19]) y c) datos geotécnicos como por ejemplo rigidez de los sedimentos o tipo de material y potencia de los estratos ([20], [21]). La Vs30 es el parámetro más utilizado en los códigos de diseño sísmico ([22]), pero este método es costoso y en ciertas ocasiones no es posible obtener resultados satisfactorios ([23]); además su uso para caracterizar sitios ha sido cuestionado ([24]).

2.3 Frecuencia natural de un sitio

Existe una relación teórica entre la velocidad de la onda de corte Vs y la frecuencia del suelo f , Ec. (2), donde Vs representa en cierta medida la rigidez de los estratos, por lo que suelos más rígidos tendrán velocidades mayores que suelos menos rígidos. La profundidad (H) del estrato nos da una idea de la masa involucrada. En los últimos años, el método HVSr (horizontal to vertical ratio spectra) ha sido uno de los procedimientos más utilizados para determinar la frecuencia natural de suelos y amplificación sísmica ([4], [5], [25]). Esto es debido a que el procedimiento es expeditivo y de bajo costo computacional. Con ayuda de otros métodos es posible utilizarlo para la determinación de la estructura del estrato de suelo superficial [26]. Debido a esto y a los problemas que presenta la utilización de la Vs30, existen nuevas clasificaciones de sitios basadas en el período natural del depósito de suelo ([27], [28], [29], [30]). Otros métodos para la determinación de efecto de sitios se pueden encontrar en [31].

$$f = \frac{V_s}{4H} \quad (2)$$

3 Metodología

3.1 Microtremores

En el presente estudio se utilizó la medición desde la superficie con microtremores (estudiados inicialmente por Omori [32]) para la auscultación del subsuelo. Este tipo de vibraciones puede ser originado por fuentes naturales o por fuentes artificiales, los originados por fuentes naturales están caracterizados por ondas de periodos largos (también llamados microsismos) y compuestos principalmente por ondas Rayleigh; las fuentes artificiales generan ondas de periodos cortos (conocidos como microtremores) y están compuestos por ondas de corte (S) y ondas Rayleigh.

3.2 Instrumentos de medición

Las mediciones se realizaron con acelerómetros Basalt de Kinematics. Poseen un sensor triaxial interno (Epi Sensor Force Balance), además cuenta con un sistema GPS. El sensor permite configurar el rango de aceleraciones y la frecuencia de muestreo de 1 a 200 Hz, el amortiguamiento del mismo es de 70 % y la frecuencia natural es de 200 Hz. Complementando el acelerómetro, se utilizó una batería de 12 Volt y una computadora personal.

3.3 Mediciones

Actualmente no existe un acuerdo generalizado sobre la metodología para la toma de datos, el procesamiento de los mismos y la interpretación de los resultados. Estudios realizados en los últimos años destacan la importancia de la influencia de una interface entre el equipo de medición y el suelo en la fiabilidad de los resultados; así las condiciones climáticas, estructuras cercanas, ruido transitorio o una incorrecta operación de los equipos repercute en los resultados, por lo que es necesario

controlar frecuentemente los equipos con datos certeros de zonas ya conocidas ([33], [16]). En nuestro estudio se siguieron las directrices dada por el manual del proyecto SESAME ([34]) y el software Geopsy. Las mediciones se realizaron utilizando una razón de muestreo de 200 Hz. Los acelerómetros utilizados fueron configurados para medir de forma continua, almacenando los registros cada 10 minutos. El tiempo de duración en cada sitio fue de aproximadamente 40 minutos. No se utilizó interface entre el instrumento y el suelo, colocándolo preferiblemente sobre suelo consolidado. Se tomaron un total de 8 mediciones en la zona de estudio, la ubicación de los puntos auscultados puede observarse en la Fig. 4.



Fig. 4—Puntos medidos en una zona contigua al Río Mendoza.

3.4 Metodología del cociente espectral H/V

El método H/V consiste en la utilización de microtemores para la determinación de efectos de sitio a través de la frecuencia natural, mediante la realización de un cociente entre los espectros de Fourier de las componentes horizontales y verticales de un registro en el sitio estudiado. Se estima que los microtemores contienen predominantemente ondas S, por lo que la relación espectral H/V es igual a la función de transferencia de dichas ondas entre la superficie y la base de la capa sedimentaria; así, el pico del espectro resultante es el correspondiente a la frecuencia fundamental del sitio. De esta manera, la excitación de la capa superficial provoca la amplificación del efecto de sitio producto de las ondas S. Por otro lado, las ondas Rayleigh que se propagan en las capas sedimentarias sobre lechos rocosos provocan el mismo efecto en las componentes horizontales y verticales del movimiento en la superficie. Esta metodología trata de eliminar el efecto que producen las ondas Rayleigh, de esa manera la función de transferencia queda determinada por ondas de cuerpo S.

Simplificadamente se plantea un modelo en el cual un suelo sedimentario está apoyado sobre un estrato rocoso donde la principal diferencia entre estos estratos es la velocidad de la onda S. Para el desarrollo del procedimiento, se plantea una serie de relaciones entre las amplitudes de los espectros de Fourier de las distintas componentes del movimiento tanto en superficie como en el lecho rocoso.

Siendo H_b y V_b , las amplitudes espectrales del movimiento horizontal y vertical en el lecho rocoso respectivamente, y H_s y V_s las amplitudes espectrales de las componentes horizontal y vertical del movimiento en superficie. Considera que en el lecho rocoso la propagación de las ondas va a ser la misma en todas las direcciones $H_b(\omega) = V_b(\omega)$ se llega a la Ec. (3). Se puede estimar el efecto de sitio mediante $S_M(\omega)$, la Ec. (3) es conocida como Espectro de Cuasi Transferencia (QTS).

$$S_M(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{V_s(\omega)} \tag{3}$$

4 Resultados

4.1 Frecuencias naturales de los sitios

En el presente apartado se vuelcan los resultados de las frecuencias naturales f_0 obtenidas en cada uno de los 8 sitios auscultados o bien su período natural $T_0=1/f_0$ mediante la técnica H/V a partir de microtremores. La Fig. 5 muestra los espectros para cada punto, en este caso se optó por realizar un gráfico en 3D para evidenciar la variación de las frecuencias en el espacio, vale decir, a medida que nos acercamos al acantilado.

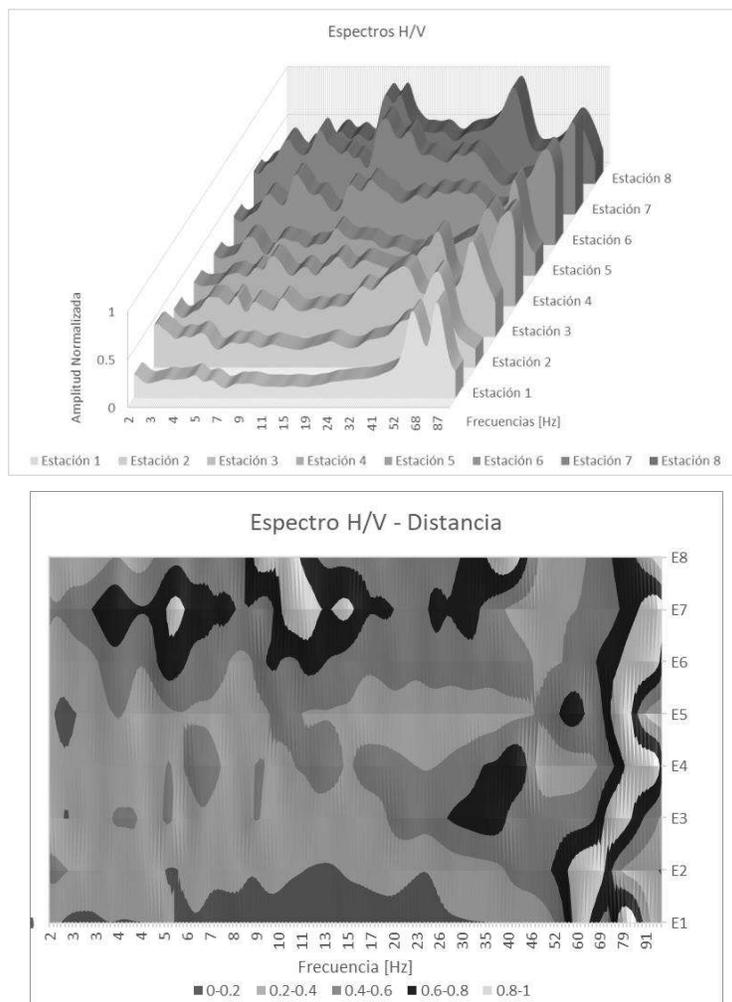


Fig. 5 – Variaciónn de los espectro H/V para las diferentes estaciones de medición.

Por otro lado, se estudió los espectros para dos direcciones en cada estación. Estas dos direcciones se determinaron para cada una de las 8 estaciones, en función de los resultados obtenidos al realizar el espectro H/V rotado. La Fig. 6 presenta los espectros rotados para las 8 estaciones y la Fig. 7 presenta los espectros para las dos direcciones determinadas para cada estación y en la Fig. 8 se presentan las direcciones por separado y su distribución espacial.

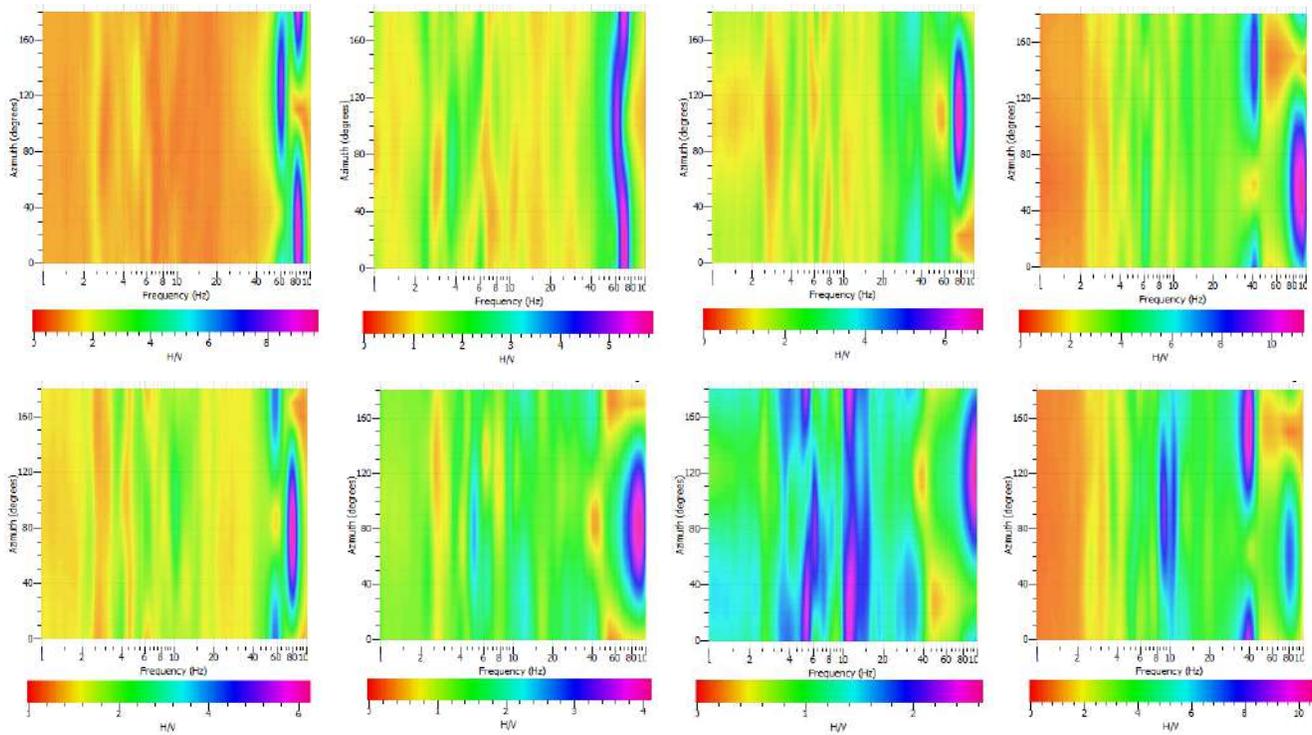


Fig. 6 – Espectro H/V para las diferentes estaciones de medición rotados hasta 180°.

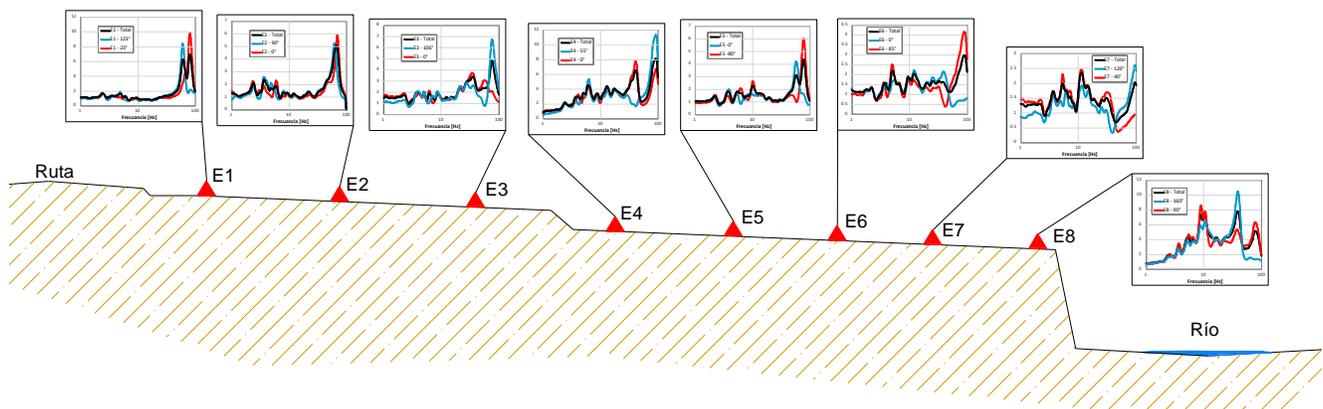


Fig. 7 – Espectro H/V para las diferentes estaciones de medición, para el total, y las dos direcciones predominantes.

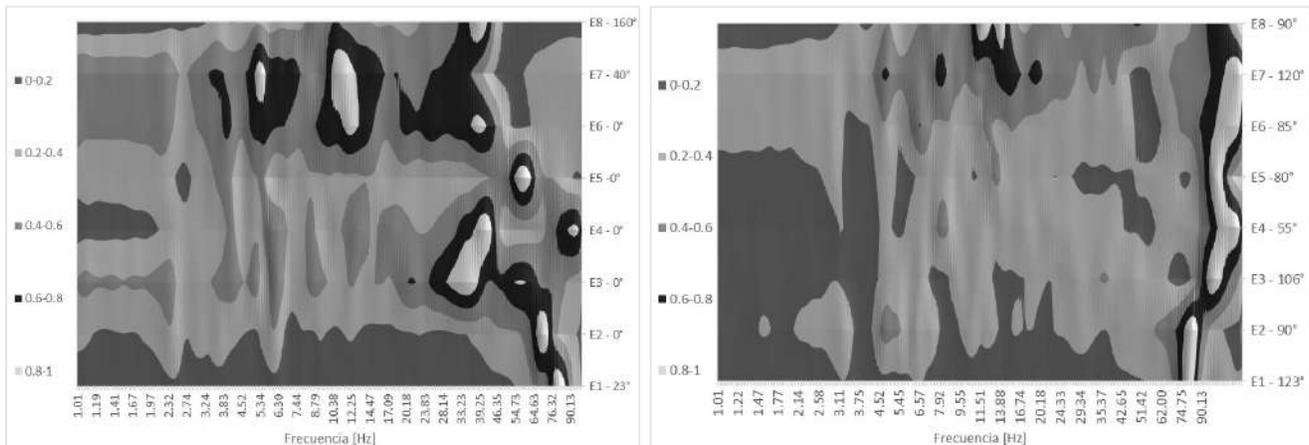


Fig. 7 – Espectro H/V para las diferentes estaciones de medición y las componentes de mayor amplitud.

5 Conclusiones y Discusiones

Como primera conclusión y la más previsible desde el comienzo es que las frecuencias predominantes del sitio en zonas con pendientes, acantilados y laderas; son altamente variables. En segundo lugar, en vista de la geometría del terreno la cual es variable en las tres dimensiones, lo que hace que las frecuencias varíen en las direcciones horizontales. Esto denota un marcado comportamiento tridimensional, lo que hace muy complejo la caracterización de estos sitios desde el punto de vista sísmico.

Si bien en este trabajo no se ha analizado, un posible uso del monitoreo pasivo de laderas contiguas a acantilados en la posibilidad de determinar la inminencia del colapso de una cuña de deslizamiento por medio de parámetros como la frecuencia o en el dominio del tiempo por medio del aumento de velocidad de desplazamiento, generalmente monitoreado mediante radar.

Se plantean aquí nuevas incógnitas que surgen del estudio, por ejemplo, si el sitio tiene frecuencias predominantes diferentes en dos direcciones, ¿podría suponerse diferente respuesta en esas direcciones? Por otro lado ¿es un problema solamente geométrico o hay propiedades del subsuelo que contribuyen a este comportamiento diferencial en diferentes direcciones?

Finalmente se concluye la importancia de la modelación tridimensional en estos tipos de sitios especiales a fin de conocer la demanda sísmica presente durante terremotos.

6 Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad Tecnológica Nacional, dado que la presente investigación se desarrolló en el marco del proyecto “Evaluación de la amenaza sísmica del Gran Mendoza para ordenamiento territorial y uso del suelo” (PID ECECBME0008099TC).

7 Referencias

- [1] Elnashai Amr, S. y Di Sarno, L. 2008. *Fundamentals of Earthquake Engineering*. England, Wiley.
- [2] Bastías, H., G. Perucca, y J. Paredes 1993. Peligro sísmico y neotectónica. En XII Congreso Geológico Argentino Relatorio, de V. Ramos, 645-658.
- [3] Langer, K., Rideout, M. 2010. Reporte Geofísico de estudio gravimétrico en el proyecto Villa Marini Provincia de Mendoza, Argentina para la FRM – UTN. QGA-276 (inédito).
- [4] Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. *Quartely Report of Railway Technical Research Institute* 30: 25-33.
- [5] Nakamura, Y. 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand. Paper 2656.
- [6] Díaz Segura, E. (2017) Incertidumbres en la estimación del periodo fundamental de terrenos inclinados. *Obras y Proyectos* 21, 38-44.
- [7] [Carta de Peligrosidad Geológica 3369-II MENDOZA. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina, Boletín N°324, 2002].
- [8] Giolo, E., Frau, C., Calderón, F., Pagano, S. Y Tornello, M. 2018. Natural frequencies of soil in the urban core of Mendoza city (Argentina). *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras* Vol. 23,2, 157 – 188.
- [9] Kramer, S. L. 1996. *Geotechnical Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice Hall.
- [10] Kramer, S. L. y Stewart, J. P. 2004. *Geotechnical Aspects of Seismic Hazards*. In “Earthquake Engineering from Engineering Seismology to Performance-Based Engineering.”, Bozorgnia y Bertero. CRC PRESS.ASCE/SEI 7_10, 2010. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineering.
- [11] Faccioli, E. 1991. Seismic Amplification in the Presence of Geological and Topographic Irregularities. *Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. Paper 13.
- [12] Bouchon, M. and Barker, J.S. (1996). Seismic response of a hill: the example of Tarzana, California. *Bulletin of the Seismological Society of America* 86(1A): 66–72
- [13] Assimaki, D., Kausel, E. and Gazetas, G. (2005). Soil-dependent topographic effects: a case study from the 1999 Athens earthquake. *Earthquake Spectra* 21(4): 929-966
- [14] Lermo, J. and Chávez-García, F.J. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America* 83(5), 1574-1594
- [15] Chávez-García, F.J., Sánchez, L.R. and Hatzfeld, D. (1996). Topographic site effects and HVSR. A comparison between observations and theory. *Bulletin of the Seismological Society of America* 86(5), 1559–1573.
- [16] Borchardt, R. D. 1994. Estimates of site-dependent response spectra for design. *Earthquake Spectra*: 10:617-653.
- [17] Dobry, R. y otros 2000. New site coefficients and site classifications system used in recent building seismic code provisions *Earthquake Spectra* 16: 41-67.
- [18] Park, S., y Elrick S. 1998. Predictions of shear wave velocities in southern California using surface geology. *Bull. Seim. Soc. Am.*: 88, 677-685.

- [19] Stewart, J. P., Liu A. H. y Choi Y. 2003c. Amplification factors for spectral acceleration in tectonically activities regions. *Bull. Seism. Soc. Am.*: 93,332-352.
- [20] Seed, H. B., y Idriss I. M. 1982. Ground motions and soil liquefactions during earthquakes. Monograph Series, 5, Earthquake Engineering Research Institute.
- [21] Rodríguez-Marek, A., y Bray, J. D. 2001. An empirical geotechnical seismic site response procedure. *Earthquake Spectra*: 17,65-87. Bastías, H. 1985. Fallamiento Cuaternario en la Región Sismotectónica de Precordillera. San Juan, Argentina: Universidad Nacional de San Juan, 147.
- [22] ASCE/SEI 7_10, 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineering.
- [23] Pitalakis, K. 2004. Site effects. En *Recent advances in earthquake geotechnical engineering and microzonation*, de A. Ansal, 139-197. Kluwer, Dordrecht.
- [24] Pitalakis, K., Riga E., and Anastasiadis A. 2013. New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database. *Bulletin of Earthquake Engineering*: 11, 925-966.
- [25] Nakamura, Y. 2008. On the H/V spectrum. *Proceedings of the 14th WCEE*. Beijing, China.
- [26] Dal Moro, G. 2015. Joint analysis of Rayleigh-wave dispersion and HVSR of lunar seismic data from the Apollo 14 and 16 sites. *Icarus*: 254,338-349.
- [27] Japan Road Association, 1990. Specifications for Highway Bridges, Part. V, Seismic Design. Maruzen Co., Ltd.
- [28] Cadet, H., Macau A., Benjumea B., Bellmunt F. y Figueras S. 2008. From ambient noise recordings to site effect assessment: The case study of Barcelona microzonation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 31, nº 3: 271-281.
- [29] Hassani, B. y Atkinson, G. M. 2016a. Applicability of NGA-West2 site effects model for central and eastern North America. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 106: 1331-1341.
- [30] Hassani, Bhazad, y Atkinson, G. M. 2016b. Applicability of th site fundamental frequency as a Vs30 proxy for central and eastern North America. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 106: 653-664. Bendimerad, F. 2003. The Boumerdes, Argelia, Earthquake of May 21, 2003. EERI Learning from Earthquakes Reconnaissance.
- [31] Calderón, F. A., Giolo, E. G., Frau, C. D., Guevara, M. G. J., Rodriguez, H. Tornello, M., Lujan, F. and Gallucci, R. 2017. Seismic Microzonation and Site Effects Detection Through Microtremors Measures: A Review. Chapter 9 in *Handbook of Research on Trends and Digital Advances in Engineering Geology* Edited by Nurcihan Ceryan. pp 326 - 349. DOI: 10.4018/978-1-5225-2709-1.ch009.
- [32] Omori, F. 1908. On Micro-tremors. *Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Committee*: 2,1-6.
- [33] Chatelain, J. L., Guillier B., Cara F., Duval A., Atakan K. y Bard P. 2007. Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bulletin of Earthquake Engineering* 6, nº 1: 33-74.
- [34] SESAME European Research Program 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations, measurements, processing and interpretation.