
Estudio Sísmico de Zonas Portuarias de David Mediante las Técnicas de Razón Espectral H/V (HVSR) y Refracción de Microtremores (ReMi)

Samudio, Krysna

Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
krysna.samudio@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0009-0000-2217-5133>

Grajales-Saavedra, Francisco

Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
francisco.grajales@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0003-1705-864X>

Mojica, Alexis O.

Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
alexis.mojica@utp.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0002-9069-7336>

Abstract

The purpose of this study is to carry out a classification of soils in the coastal area of the city of David and surrounding areas using HVSR and ReMi techniques. One of the impacts that this research (and its consequent studies) will generate will be oriented towards the development of updated regulations for the design and construction of future port and non-port structures in the city of David, considering vibrations and seismic forces. It is important to mention that this type of information is very scarce. Additionally, if an extreme event occurs in Chiriquí, the correct construction of structures would represent an important factor in optimizing economic resources and will contribute to the mitigation of human losses.

Keywords: H/V spectral ratio, Environmental Noise, microtremors, vulnerability index, Maximum amplitude, ReMi, HVSR.

Resumen

La finalidad de este estudio es realizar una clasificación de los suelos en la zona costera de la ciudad de David y alrededores mediante las técnicas de HVSR y ReMi. Uno de los impactos que generará esta investigación (y sus estudios consecuentes) estará orientada hacia la elaboración de normativas actualizadas para el diseño y construcción de futuras estructuras portuarias y no portuarias en la ciudad de David, tomando en cuenta las vibraciones y fuerzas sísmicas. Es importante mencionar que este tipo de información es muy escasa. Adicionalmente, de darse un evento extremo en Chiriquí, la correcta construcción de estructuras representaría un factor importante de optimización de recursos económicos y contribuirá a la mitigación de pérdidas humanas.

Palabras claves: Razón espectral H/V, Ruido Ambiental, microtemores, índice de vulnerabilidad, Amplitud máxima, ReMi, HVSR.

1. INTRODUCCIÓN

Los sismos son muy comunes en la provincia de Chiriquí, ya que es una zona muy susceptible debido a la interacción entre las placas tectónicas existentes alrededor de la microplaca de Panamá, pero en la frontera con Colombia y suroeste de Chiriquí se mueven más rápido y por esta razón los sismos allí son más frecuentes que en otras partes del país. La ciudad de David a pesar de ser una de las pocas ciudades en Panamá en tener una planificación urbana, en los últimos años ha estado creciendo a un ritmo rápido y desordenado en su entorno urbano, esto se aprecia más en el sector sur de la ciudad, muy cerca de la zona portuaria en donde el alto riesgo sísmico puede ser notable.

Estudios geotécnicos atienden parte de esta necesidad. Sin embargo, para analizar los efectos sísmicos de sitio de áreas urbanas cercanas a zonas de alta sismicidad, hay que definir mallas compuestas por una densidad significativa de puntos donde se deben realizar las pruebas geotécnicas. Esto genera un consumo significativo de tiempo al no poder optimizarse las actividades de campo, considerando los imprevistos presentados durante el desarrollo de las actividades, elevando finalmente los costos establecidos. [1]. Esta carencia de densidad de puntos de observación se puede solucionar a través del uso del análisis de la razón espectral H/V de microtemores, el cual busca estimar las frecuencias predominantes de un perfil de suelo a través de un análisis de los registros de ruido ambiental (Fig. 1).



Fig.1. Equipo de estudiantes del grupo de investigación de geotecnia aplicada (GIGA) realizando las mediciones geofísicas en la ciudad de David.

El puerto de Pedregal se encuentra a 10 km tierra adentro en la desembocadura del estero Pedregal y a 7 km de la ciudad de David, provincia de Chiriquí, en la parte oeste de la costa pacífica de Panamá. Esta zona no se encuentra afectada por marejadas y existen corrientes fluviales, pero de poca importancia. El muelle es de tipo marginal y existen medios de acceso por carreteras. Un kilómetro más arriba del muelle existe facilidades para el atraque de barcos de pesca y para la exportación e importación de azúcar de las centrales azucareras de la región, fertilizantes y productos a granel entre otros.

El objetivo de esta investigación es llevar a cabo una clasificación de los suelos en la zona costera de la ciudad de David y alrededores, de acuerdo con los valores de las frecuencias predominantes del suelo y máximos valores de la razón espectral H/V y el índice de vulnerabilidad K_g a través de un análisis de razón espectral horizontal-vertical, y a través de ensayos tipo ReMi.

2. MÉTODO

A. Método HVSR

El método de la razón espectral horizontal sobre la vertical del ruido sísmico ambiente (H/V), inicialmente fue propuesta por Nogoshi e Igarashi (1971) y posteriormente modificada por

Nakamura (1989). Es una técnica, que sirve para evaluar las características del suelo como: los tipos de suelo, profundidad y espesores de los depósitos sedimentarios.) [2]. La técnica de la razón espectral H/V es utilizada por investigadores en el área de la geofísica y la ingeniería sísmica para determinar el periodo o frecuencia fundamentales de los suelos. Este es un indicador de los efectos locales de los suelos al ser sometidos a acciones sísmicas. [3] [4]. Para llevar a cabo el estudio y recolección de datos geofísicos HVSR en la ciudad de David, fue necesario la utilización de una serie de dispositivos y herramientas, las cuales se muestran en la Fig 2.



Fig. 2. Materiales utilizados en el ensayo geofísico HVSR. (a) GPS de mano, (b) sismógrafo triaxial, (c) computadora, (d) Batería conectada el sismógrafo.

La metodología HVSR involucra registrar niveles de ruido ambiental en 24 estaciones distribuidas en la ciudad de David empleando un sismógrafo tri-axial de alto rango dinámico en las tres componentes en cada una de las estaciones establecidas. Se lleva a cabo un tratamiento sistemático de las señales de vibraciones obtenidas en cada estación a fin de corregir las formas de onda de posibles fuentes antrópicas capaces de generar ondas

Rayleigh que puedan afectar la interpretación de los resultados. Finalmente se obtendrán gráficos de los espectros promedios en cada componente a fin de identificar aquellas estaciones en donde se obtuvieron señales sísmicas propias del ruido natural del suelo.

B. Método de Refracción de microtremores (Remi)

Es un método geofísico no-invasivo que aprovecha el “ruido ambiente”. Por lo general, el ruido ambiental es generado por el paso de vehículos, funcionamiento de maquinarias, cercanía a fuentes activas, etc. Sin embargo, en casos de que el sitio de estudio sea silencioso, se puede emplear una fuente no controlada de ubicación conocida para enriquecer la razón señal/ruido. El procesamiento de las señales de ruido implica el obtener una curva de dispersión a partir de un espectro de velocidad de fase de las ondas Rayleigh, seguido de un proceso de inversión 1D para obtener un perfil unidimensional de onda de corte (V_s) en función de la profundidad de investigación alcanzada. La profundidad de investigación dependerá de la longitud del tendido, número de geófonos, espaciamiento entre ellos, rango de frecuencias que se exciten con el ruido ambiente (y/o golpes), entre otros aspectos. [5]. En la Fig. 3 se muestra los materiales utilizados en el método ReMi.

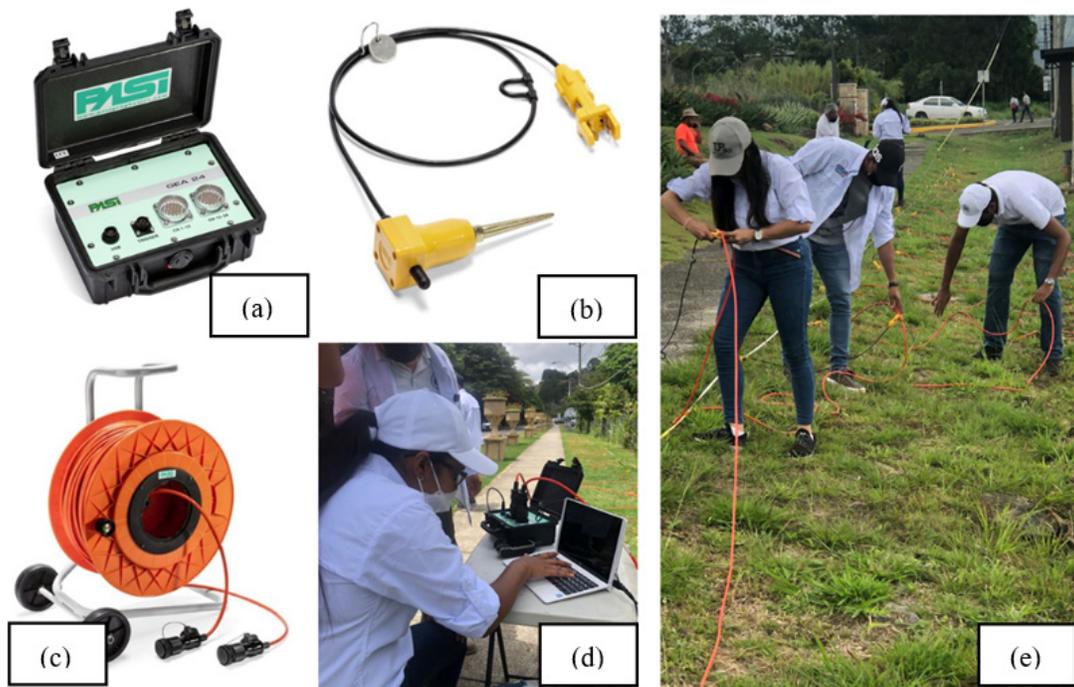


Fig.3. Materiales utilizados en el ensayo geofísico ReMi. (a) sismógrafo PASI GEA24 de 24 canales. (b) geófonos de baja frecuencia – 4.5 Hz, (c) cables de conexión, (d) computadora portátil, (e) proceso de instalación de geófonos.

En cuanto al método ReMi, se realizaron 6 sondeos sísmicos tipo ReMi fueron desarrollados en zonas específicas de la ciudad de David, para cada prueba sísmica, se utilizaron 24 geófonos verticales de baja frecuencia (4.5 Hz) interconectados a un sismógrafo (PASI GEA24), y separados una distancia entre ellos de 2 m. La distancia entre los geófonos se determinó teniendo en cuenta las restricciones y obstáculos presentes en la ciudad, como la presencia de estructuras modernas y calles. En cada punto o estación de monitoreo, se generaron 20 archivos con 24 señales de ruido, cada una con una duración de 32 segundos, utilizando un intervalo de muestreo de 2 milisegundos. [6].

3. RESULTADOS

La distribución espacial de las frecuencias predominantes en la ciudad de David permitió identificar suelos semi-rígidos y suelos duros en un sector importante de la parte sur, y suelos rígidos en el sector central y norte; por otro lado, la distribución espacial de los parámetros A_0 y K_g los cuales corresponden a la amplitud H/V y el índice de sismicidad son un indicativo de los bajos niveles de amplificación y el reducido riesgo de licuefacción que pueden experimentar los suelos de la ciudad ante un sismo de magnitud considerable como se observa en la figura 4. Cabe destacar que los resultados obtenidos con las pruebas ReMi han permitido validar los resultados anteriormente mencionados, ya que los altos niveles de confiabilidad de las mencionadas pruebas se reflejan a través de las bajas discrepancias obtenidas, con la excepción del segundo sondeo R-2 en donde el análisis revela un suelo tipo C, pero con un valor de la V_{s30} muy cercano a los 360 m/s el cual es cercano a suelo tipo D.

4. CONCLUSIONES

Los resultados como parte de este estudio [6] pueden ser importantes para la construcción de nuevas obras civiles, ya que el conocimiento de las propiedades físicas de los suelos permite evitar que estas experimenten la resonancia ante la ocurrencia de sismos importantes, sobre todo en la zona sur de la ciudad, donde se desarrollan importantes actividades portuarias. Con los mapas de distribución espacial sobre las frecuencias predominantes del sector Sur de David (zona portuaria), los rangos del parámetro sugieren que las edificaciones superiores a los 2 niveles podrían sufrir daños por eventos sísmológicos considerados por el efecto de resonancia. Los resultados de este estudio han sido publicados y explicados ampliamente en [6].

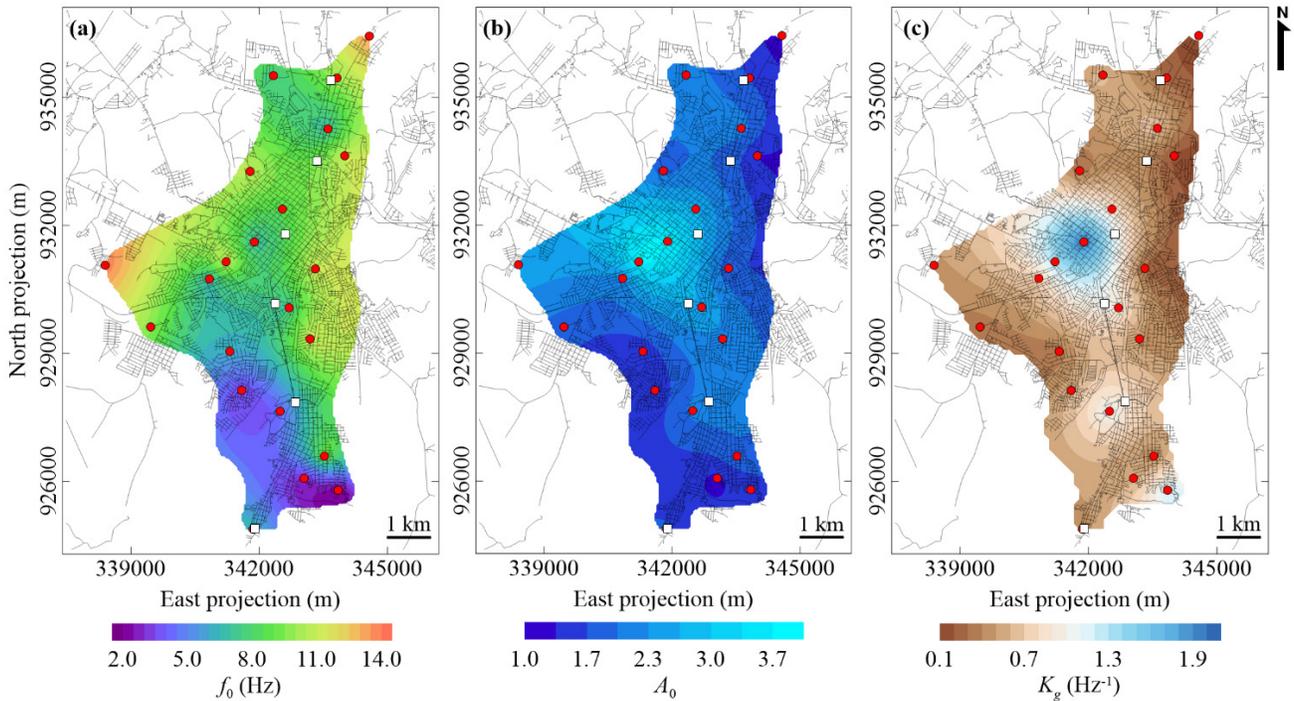


Fig.4. Distribución espacial de los valores de (a) las frecuencias predominantes f_0 , (b) el valor máximo de la razón espectral $H/V A_0$ y (c) el índice de vulnerabilidad K_g obtenidos en la ciudad de David. Fuente: [6].

REFERENCIAS

- [1] Chávez-García, Francisco J, & Montalva, Gonzalo A. (2014). Efectos de sitio para Ingenieros Geotécnicos, estudio del valle Parkway. *Obras y proyectos*, (16), 6-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132014000200001>
- [2] Nogoshi, M.; Igarashi, T. On the Propagation Characteristics of Microtremor. *J. Seismol. Soc. Jpn.* 1970, 23, 264–280.
- [3] Nakamura, Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. *Q. Rep. Rtri.* 1989, 30, 25–33.
- [4] Panou, A.A.; Theodulidis, N.; Hatzidimitriou, P.; Stylianidis, K.; Papazachos, C.B. Ambient Noise Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio in Site Effects Estimation and Correlation with Seismic Damage Distribution in Urban Environment: The Case of the City of Thessaloniki (Northern Greece). *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 2005, 25, 261–274. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0267726105000199?via%3Dihub>
- [5] Servicios Geológico Geodatos S.A.I.C(2010). Retrieved from: [http://www.geodatos.cl/remi.php#:~:text=La%20Refracci%C3%B3n%20de%20Microtremores%20\(ReMi,a](http://www.geodatos.cl/remi.php#:~:text=La%20Refracci%C3%B3n%20de%20Microtremores%20(ReMi,a)
- [6] Grajales-Saavedra, F.; Mojica, A.; Ho, C.; Samudio, K.; Mejía, G.; Li, S.; Almengor, L.; Miranda, R.; Muñoz, M. Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios and Refraction Microtremor Analyses for Seismic Site Effects and Soil Classification in the City of David, Western Panama. *Geosciences* **2023**, 13, 287. <https://doi.org/10.3390/geosciences13100287>

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XIX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XIX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.