

Estimación del perfil de velocidad de onda cortante en suelos residuales de Panamá mediante correlaciones con ensayo de penetración estándar

Pinzon-Atencio, Wenddy

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0009-9857-6262

Vergara, Nicomedes

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0006-4781-0707

Harris, José

Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
jose.harris@utp.ac.pa

Mojica, Alexis

Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0000-0002-9069-7336

Vergara, Rosana

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0002-1382-2823

Castillero, Manuel

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
manuel.castillero@utp.ac.pa

Agudo, Naicolette

Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
naicolette.agudo@utp.ac.pa

Liao, Boris

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0008-4639-4179

Mogoruza, Rogelio

Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0009-0000-3578-3189

Velásquez, Yarisel

Centro Experimental de Ingeniería, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
yarisel.velasquez@utp.ac.pa

Grajales-Saavedra, Francisco

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá
0000-0003-1705-864X

Abstract

Panama is a territory with predominantly residual soils and highly seismic zones. An important parameter for site categorization and dynamic analysis of soil-structure interaction is the shear wave velocity profile at the first 30 m depth (V_{s30}). The purpose is to determine which set of correlations for rocks, estimates more accurately the V_{s30} profile in relation to one measured in-situ for residual soils with similar characteristics in Panama. For this, the standard penetration test, laboratory tests and geophysical tests were carried out at the Victor Levi Sasso campus of the Technological University of Panama. The least squares method was applied to determine 3 combinations of equations that best estimated the V_{s30} profile.

Keywords: Shear wave velocity, SPT, correlations, microtremors, rock

Resumen

Panamá es un territorio con suelo predominantemente de carácter residual y zonas altamente sísmicas. Un parámetro importante para la categorización del sitio y el análisis dinámico de la interacción suelo - estructura es el perfil de velocidad de onda cortante en los primeros 30 m de profundidad (V_{s30}). El propósito es determinar qué conjunto de correlaciones para rocas, estiman con mayor precisión el perfil V_{s30} con relación a uno medido in-situ para suelos residuales con características similares en Panamá. Para ello, se realizó una prueba de penetración estándar, ensayos de laboratorio y ensayos geofísicos en el campus Victor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá. Se aplicó el método de los mínimos cuadrados para determinar 3 combinaciones de ecuaciones estimaba mejor el perfil V_{s30} .

Palabras claves: velocidad de onda cortante, SPT, correlaciones, microtremores, roca.

1. INTRODUCCIÓN

Panamá es un territorio con formaciones geológicas relativamente nuevas, con suelo predominantemente de carácter residual. El mismo forma parte de la microplaca de Panamá, y cuenta con zonas altamente sísmicas [1]. Por lo que en la industria de la construcción se hace indispensable la correcta caracterización del suelo previo al diseño de cualquier estructura, para estos efectos un parámetro del suelo importante es el perfil de velocidad de onda cortante en los primeros 30 m de profundidad [2]. Pues este se utiliza para caracterizar el comportamiento dinámico del suelo. La misma se puede obtener mediante ensayos de alto costo como, por ejemplo: downhole y crosshole, y de bajo costo como refracción de microtremores; así como también por correlaciones [3], [4].

La estimación de la velocidad de onda cortante mediante ecuaciones tiene la desventaja que la mayoría son ecuaciones basadas en los números de golpes del ensayo de penetración estándar (SPT) en las capas de suelo. Por lo que en zonas donde hay afloramientos de roca previo a los 30 m de profundidad se deben utilizar ecuaciones que tengan correlaciones con las propiedades de la roca encontrada en sitio. Algunas de las correlaciones para roca involucran parámetros como velocidad de onda compresiva, densidad y esfuerzo no confinado [5], [6].

Esta investigación está basada en un estudio previo realizado dentro del campus Victor Levi Sasso de la Universidad Tecnológica de Panamá. La cuál posee formaciones intrusivas y extrusivas de basalto del mioceno medio y tardío de acuerdo con el mapa de caracterización geológica de [7]. El objetivo es determinar si existen otras correlaciones para rocas que estimen con mayor precisión el perfil de velocidad de onda cortante con relación a un perfil medido en sitio, además de aquellas propuestas por [8].

2. MÉTODO

La investigación se basa en los estudios geotécnicos realizados en [8], la cual consistió en realizar ensayos de campo y laboratorio del sitio para obtener las propiedades del suelo. En esta se realizó una prueba de penetración estándar (SPT) y ensayos geofísicos para determinar propiedades dinámicas del suelo; refracción de microtremores (ReMi) y ensayo de la razón del espectro horizontal-vertical (HVSr). De igual forma, usaron 25 correlaciones existentes, que utilizan el número de golpes SPT no corregidos para arcillas, incluidas dentro de la “Guía de estimaciones de perfiles de velocidad de onda cortante” del PEER por sus siglas en inglés Pacific Earthquake Engineering Research de California para los estratos de suelo. Mientras que, para los estratos de roca, se usan dos correlaciones basadas en la densidad y velocidad de onda compresiva del material. La figura 1, muestra esquemáticamente la metodología presentada.

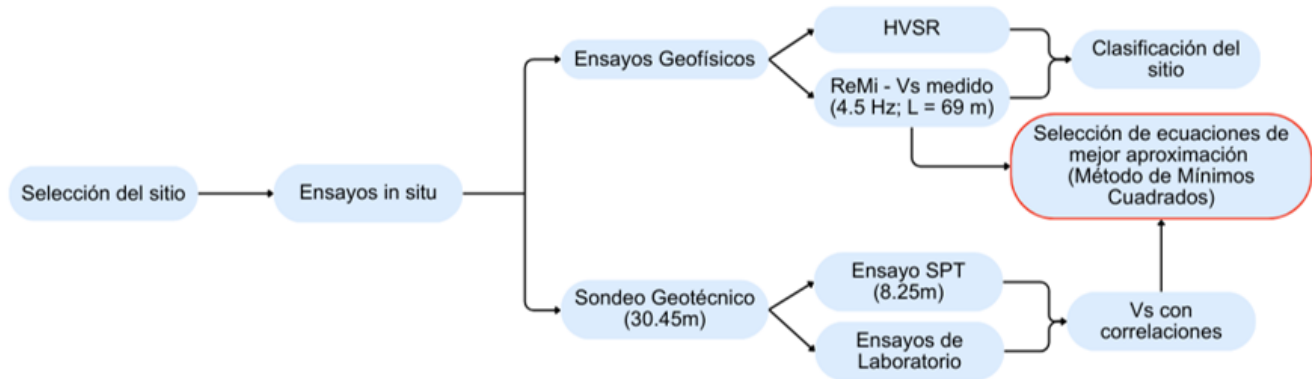


Figura 1. Esquema de la metodología.

Esta investigación realiza una revisión literaria sobre las correlaciones existentes para el cálculo de onda cortante correspondientes a la roca ígnea encontrada en el sitio. Se evalúan 3 ecuaciones adicionales a [8] basadas en la densidad, onda compresiva y esfuerzo no confinado de la roca. La tabla 1, muestra las correlaciones encontradas en la revisión literaria y empleadas en la investigación.

Tabla 1. Correlaciones para roca ígnea

<p>Gómez & Tobón (2017) $V_p = 67.683\rho_w - 875.91$ (1) donde V_p está en m/s ρ_w está en kN/m^3</p>	<p>Carroll (1969) $V_s = 0.937562V_p^{0.81846}$ (2) donde V_s y V_p están en kft/s</p>
<p>Brocher (2005) $V_p = 39.128\rho - 63.064\rho^2 + 37.083\rho^3 - 9.1819\rho^4 + 0.8228\rho^5$ (3) $V_s = 0.7858 - 1.2344V_p + 0.7949V_p^2 - 0.1238V_p^3 + 0.0064V_p^4$ (4) donde V_s y V_p están en km/s; y ρ está en g/cm^3</p>	
<p>Majstorovic, et al. (2019) $V_s = \frac{\text{UCS} + 153.58}{0.1121}$ (5) donde UCS está en MPa</p>	

3. RESULTADOS

Las correlaciones existentes para las capas de suelo sugeridas por [8] con el número de golpes SPT tienen la forma de $a \cdot N_{spt}^b$, en donde cada uno de los diferentes autores ha calibrado los factores “a” y “b” para su sitio de estudio conforme al tipo de suelo. Para el estrato de roca se encontraron las ecuaciones (1) con muestras de rocas de Colombia [9], (2) con muestras de rocas de Nevada, U.S.A. [5], (3) y (4) con muestras de rocas de California, USA [6] y por último (5) [10] con muestras de rocas de Serbia.

La figura 2 muestra en color rojo el perfil de velocidad de onda cortante medido en campo y en tonalidades verdes, azules, naranjas y moradas los perfiles obtenidos mediante correlaciones. Cabe destacar, la numeración de las ecuaciones para el estrato de suelo corresponde a la numeración de [8]. Se observa que, para el estrato de suelo, hay varias ecuaciones que se aproximan al valor medido (línea roja); no obstante, para el estrato de roca, 2/3 de las ecuaciones encontradas se alejan notoriamente.

La figura 3 muestra las tres mejores combinaciones de ecuaciones que de acuerdo con el método de mínimos cuadrados, se aproximan al perfil medido en campo con el ensayo ReMi (línea roja). Siendo el gráfico “a” la de mayor ajuste, “b” y “c” las siguientes respectivamente. Se observa que para los estratos de roca solo las ecuaciones propuestas por [8] se aproximan al perfil medido.

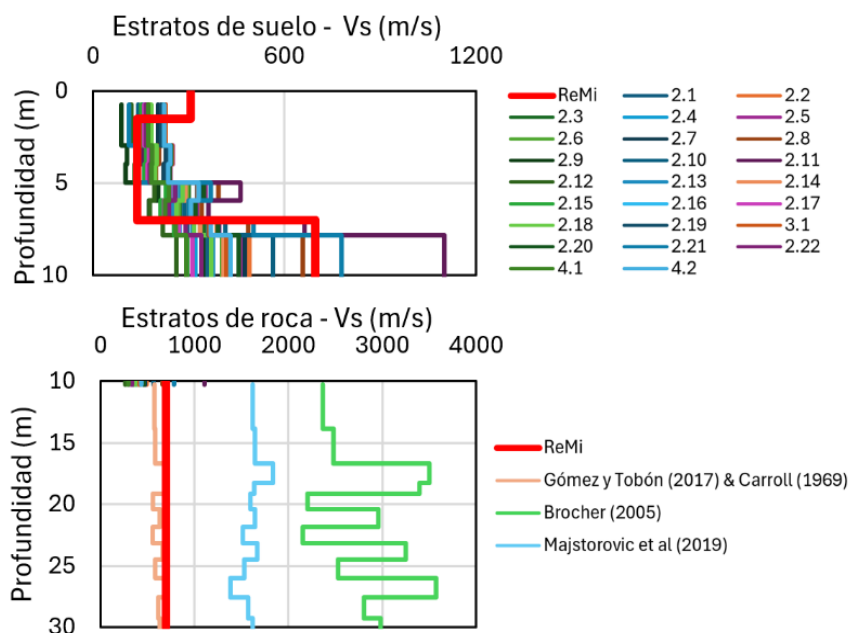


Figura 2. Perfiles Vs30 estimados con correlaciones versus medido.

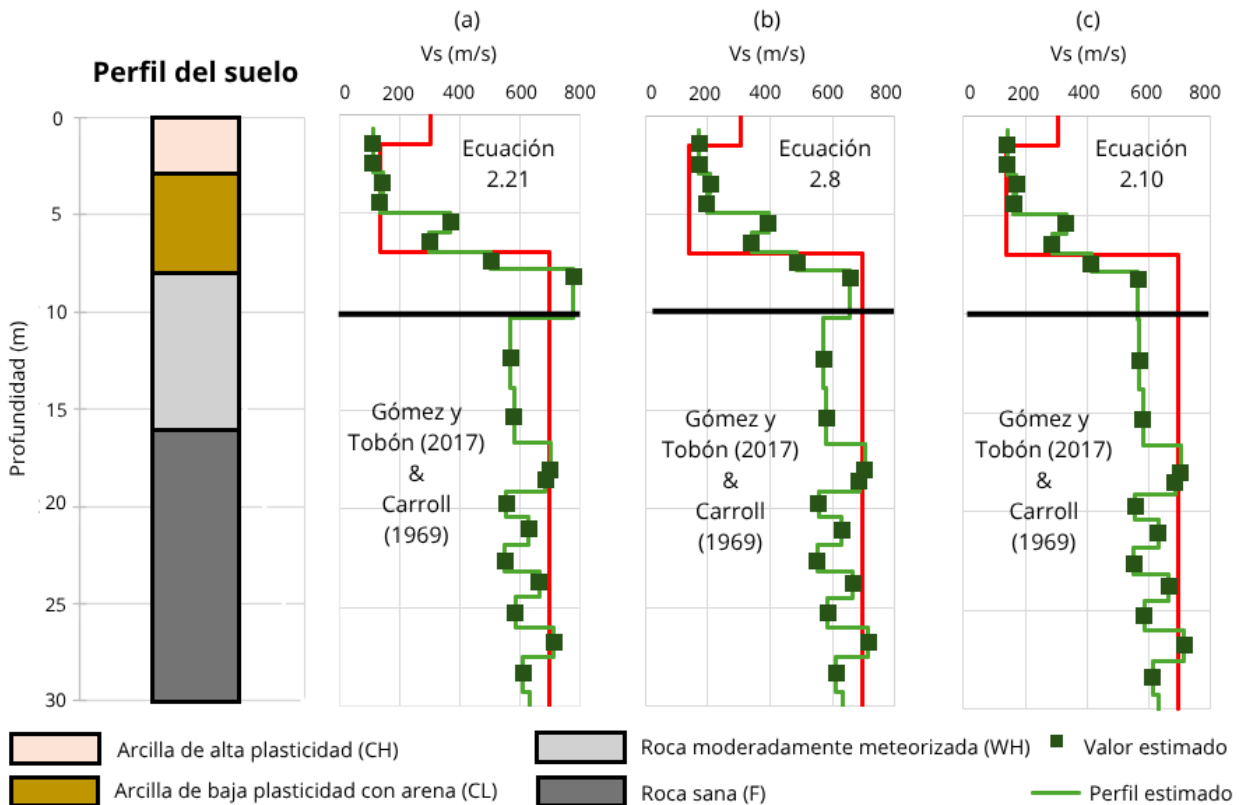


Figura 3. Perfiles Vs30 con mayor aproximación al medido.

4. CONCLUSIONES

No se encontraron correlaciones específicas para suelos residuales similares a los de Panamá. Sin embargo, algunas ecuaciones se aproximan de manera aceptable a los valores medidos.

Se encontraron 3 correlaciones de velocidad de onda cortante para rocas ígneas en función de la densidad o compresión axial no confinada

Se observó que 2 de 3 correlaciones para rocas, pese a ser para el tipo encontrado en campo, sobrestiman los valores de onda cortante, brindando resultados que están asociados a una roca con mejor calidad a la encontrada. Por lo que, la ecuación 2 [5], a partir de la velocidad de onda compresiva estimada de la ecuación 1 [9] es la más conveniente para las rocas ígneas encontradas en el sitio de estudio.

Se evidenció que las correlaciones utilizadas están calibradas para diferentes tipos de rocas distintos a los presentes en Panamá. Por lo que el uso de algunas ecuaciones sin previo conocimiento puede resultar en estimaciones erróneas, esto en atención a la diferencia en las características geológicas de Panamá.

Referencias

- [1] T. L. Pratt, M. Holmes, E. S. Schweig, J. Gomberg, y H. A. Cowan, "High resolution seismic imaging of faults beneath Limón Bay, northern Panama Canal, Republic of Panama", *Tectonophysics*, vol. 368, núm. 1–4, pp. 211–227, jun. 2003, doi: 10.1016/S0040-1951(03)00159-8.
- [2] ASCE, Minimum design loads for buildings and other structures 7-05. American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute, 2006.
- [3] M. K. Akin, S. L. Kramer, y T. Topal, "Empirical correlations of shear wave velocity (V_s) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey)", *Eng Geol*, vol. 119, núm. 1–2, pp. 1–17, abr. 2011, doi: 10.1016/j.enggeo.2011.01.007.
- [4] H. A. Muktaf, Wiyono, y B. D. Tampubolon, "New Approach for Developing Correlation of NSPT and Shear-Wave Velocity (V_s): Bantul Case Study", *Indonesian Journal on Geoscience*, vol. 9, núm. 3, pp. 395–413, dic. 2022, doi: 10.17014/ijog.9.3.395-413.
- [5] R. D. Carroll, "THE DETERMINATION OF THE ACOUSTIC PARAMETERS OF VOLCANIC ROCKS FROM COMPRESSIONAL VELOCITY MEASUREMENTS*", Pergamon Press, 1969.
- [6] T. M. Brocher, "Empirical relations between elastic wavespeeds and density in the Earth's crust", *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 95, núm. 6, pp. 2081–2092, dic. 2005, doi: 10.1785/0120050077.
- [7] R. H. Stewart, J. L. Stewart, y W. P. with collaboration by Woodring, "Geologic map of the Panama Canal and vicinity, Republic of Panama", IMAP, 1980, doi: 10.3133/I1232.
- [8] W. Pinzon-Atencio et al., "Seismic soil classification for tropical residual soils using non-destructive geophysical methods and SPT blow count correlations", LACCEI (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions), ago. 2025. doi: 10.18687/laccei2025.1.1.2149.
- [9] D. Gómez Ramírez y D. Tobón Angel, "CORRELACIONES ENTRE ALGUNAS VARIABLES GEOTÉCNICAS Y VELOCIDADES DE ONDA COMPRESIVA (V_p) Y DE CORTE (V_s)", Universidad EAFIT, 2017.
- [10] J. Majstorović, M. Gligorić, S. Lutovac, M. Negovanović, y L. Crnogorac, "CORRELATION OF UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH WITH THE DYNAMIC ELASTIC MODULUS, P-WAVE VELOCITY AND S-WAVE VELOCITY OF DIFFERENT ROCK TYPES", 2019.

Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XX 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 XX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.