
INFLUENCIA DE ENERGÍAS (SPT) EN LA RESPUESTA DE ANÁLISIS DE FRECUENCIA DEL SUELO: TÉCNICA NAKAMURA

Moreno, Bruno

bruno.moreno@utp.ac.pa

Martínez, Roderick

roderick.martinez2@utp.ac.pa

Gallardo, José

jose.gallardo@utp.ac.pa

Rodríguez, Stephania

stephania.rodriguez@utp.ac.pa

Atencio, Amir

amir.atencio@utp.ac.pa

Universidad Tecnológica de Panamá
David, Panamá

Abstract

Nakamura analysis is a pivotal technique in assessing the seismic response of soil during an earthquake and has gained significance over the past 30 years due to its advantages in seismic geotechnical engineering and site characterization. However, there has been debate regarding the influence of energy generated during measurements on result accuracy, as this energy can impact soil properties without precise measurement of its magnitude and duration.

This study aims to analyze the correlation between energy generated during standard penetration testing (SPT) and Nakamura analysis results when no deliberate artificial energy is introduced. The standard methodology for H/V Spectral Ratio (HVSr) application involves avoiding the introduction of external forces to the soil to prevent biasing the site response. Acceleration data from 9 sites in the city of David were collected for over 1500 minutes while conducting SPT with different configurations of triaxial accelerometers. Spectral analysis of the recorded signals was performed to identify the presence or absence of artificial energy, highlighting frequency peaks indicating hammer impact.

The results demonstrated that in Nakamura analysis, both with and without external

energy, a significant similarity in identified frequencies was observed. This suggests that the presence of ambient noise or induced energy is negligible for a positive assessment of this technique.

Keywords: Seismic, characterization, energy, Nakamura, impact.

Resumen

El análisis de Nakamura es una técnica crucial en la evaluación de la respuesta sísmica del suelo durante un terremoto y ha ganado importancia en los últimos 30 años debido a sus ventajas en la ingeniería geotécnica sísmica y la caracterización de sitios. Sin embargo, se ha debatido la influencia de la energía generada durante las mediciones en la precisión de los resultados, ya que esta energía puede afectar las propiedades del suelo sin una medida precisa de su magnitud y duración.

Este estudio se propuso analizar la correlación entre la energía generada durante la prueba de penetración estándar (SPT) y los resultados del análisis de Nakamura cuando no se introduce energía artificial deliberadamente. La metodología estándar para la aplicación de HVSr (H/V Spectral Ratio) implica evitar la introducción de fuerzas externas al suelo para no sesgar la respuesta del sitio.

Se recopilaron datos de aceleraciones de 9 sitios en la ciudad de David durante más de 1500 minutos, mientras se realizaban pruebas SPT con diferentes configuraciones de acelerómetros triaxiales. Se realizó un análisis espectral de las señales registradas para identificar la presencia o ausencia de energía artificial, destacando picos de frecuencia que indicaran el impacto del martillo.

Los resultados mostraron que en el análisis de Nakamura sin energía externa y con energía, se observó una gran similitud en las frecuencias identificadas, lo que sugiere que la presencia de ruido ambiental o energía inducida es insignificante para un análisis positivo de esta técnica.

Palabras claves: Sísmica, caracterización, energía, Nakamura, impacto.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de David se caracteriza por activos eventos sísmicos lo cual es una fuente de estudios necesaria para los suelos de nuestro país. Pese a esto el conocimiento en este tema es escaso al nivel del distrito, por esta razón este estudio busca poder verificar si la información obtenida por los sensores al momento de agregar energía antrópica al suelo en este caso la energía generada por la prueba de penetración estándar (SPT), puede afectar en la estimación de la frecuencia natural del suelo la cual se obtiene utilizando la técnica de

Nakamura. El análisis de la frecuencia fundamental de vibración del suelo desempeña un papel crucial en campos como la ingeniería civil y la sismología, ya que afecta directamente la planificación, diseño y seguridad de estructuras. Comprender cómo vibra el suelo es como conocer su “ritmo natural” conociendo las componentes de las ondas que viajan por el mismo. Esta respuesta revela cómo este reacciona ante terremotos y otros eventos, informando sobre su capacidad para amortiguar o transmitir ondas sísmicas y vibraciones [1]. Nogoshi e Igarashi en 1971 investigan las características de propagación de los microsismos descubriendo que están compuestos tanto de ondas de cuerpo como de ondas superficiales [3], otros autores como Tokimatsu [2] consideran también que en ocasiones las vibraciones ambientales reflejan más características de la fuente que del suelo. Nakamura y Ueno [4] establecen el método HVSR (razón espectral horizontal vertical) o mejor conocido como el método Nakamura, en el que los efectos de la fuente se minimizan al dividir la componente horizontal de movimiento del suelo entre la vertical [5], permitiendo obtener la frecuencia fundamental de los suelos.

2. MÉTODO

Instrumentación y registros de Vibración Ambiental:

En este estudio se utilizaron registros de las vibraciones inducidas al suelo por la prueba de SPT en 9 puntos específicos de la ciudad de David, en la Fig.1 se puede observar el mapa con la ubicación de los puntos de control. Las mediciones se realizaron haciendo uso de 3 acelerógrafos triaxiales marca Etna, modelo Altus, con una banda de frecuencia que fluctúa entre 0.2 y 40 Hz, el arreglo de sensores que se hizo en campo corresponde a un sensor fijo ubicado a una distancia de 10m del equipo de SPT en cual tiene una duración de ventana de tiempo aproximada de 3h 30min lo que demoraba la prueba los otros dos sensores se colocaban a una distancia inicial de 5 y 10m a partir del sensor fijo los mismo tiene una duración de ventana de 22min según lo recomendado por SESAME [6] y luego de cumplido su tiempo de grabación se reubicaban hasta completar los 40m a partir del sensor fijo. Toda esta data es almacenada en la memoria de cada uno de los equipos, para luego enviarlas al portátil y procesar la información.



Figura 1. Mapa de ubicación de puntos de estudio.

Extracción de datos

Una vez transcurrido el período de medición, los datos registrados se obtienen utilizando el software Altus File Assistant. Este programa facilita el acceso a los archivos almacenados en las tarjetas de memoria de 64 Mb del acelerómetro ETNA. De esta manera, se puede recuperar la información capturada durante la medición para su posterior análisis.

Procesamiento de datos

Se optó por utilizar el lenguaje de programación Python para el análisis y procesamiento de los datos capturados por el acelerómetro ETNA, debido a su facilidad en operaciones científicas y matemáticas.

Se desarrolló un código de programación que permite la lectura de los archivos obtenidos del sensor ETNA. En este proceso, se aplica la técnica de transformada de Fourier a los datos recopilados en los ejes x, y, z. Posteriormente, se realiza una división entre los valores horizontales y verticales, y se segmentan en intervalos de tiempo llamados ventanas.

Dentro de cada ventana, se aplica un filtro basado en la desviación estándar de la media (MADS) con el fin de identificar y eliminar ventanas con valores atípicos. Luego, se calcula el promedio de los valores restantes en cada ventana. A partir de estos promedios, se crea una representación gráfica que visualiza la evolución de los valores promedio a lo largo del tiempo.

3. RESULTADOS

A continuación, se podrá apreciar los análisis respectivos de la frecuencia fundamental de dos de los puntos de control, representado su espectrograma Fig. 2 y Fig. 3 calculado con el método de NAKAMURA que consiste en el Radio espectral H/V. Seguidamente se presenta el Gráfico 1 que corresponde a la variación entre la frecuencia obtenida en función de la energía dividida entre la frecuencia fundamental del sitio frecuencia base calculada con la técnica de Nakamura la cual cumple con los criterios de SESAME. Y el Gráfico 2 correspondiente a los mismos criterios mencionados anteriormente, pero utilizando la media de las frecuencias de cada sitio.

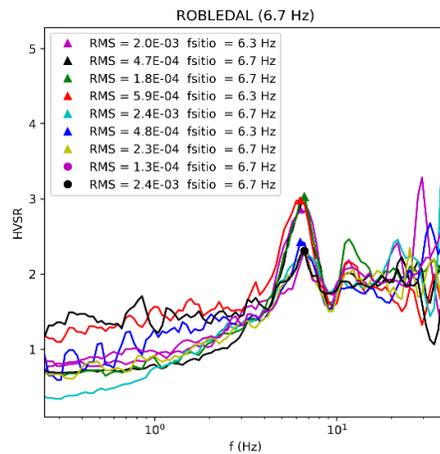


Figura 2. Frecuencias de sitio (Robledal)

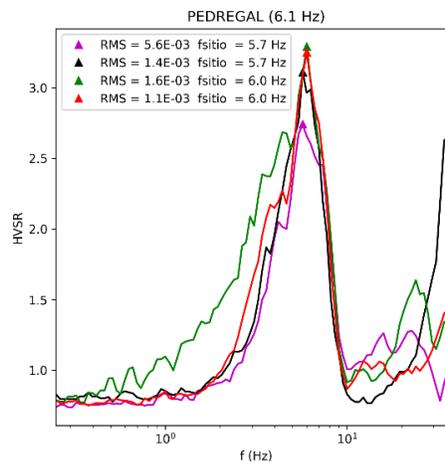


Figura 3. Frecuencias de sitio (Pedregal)

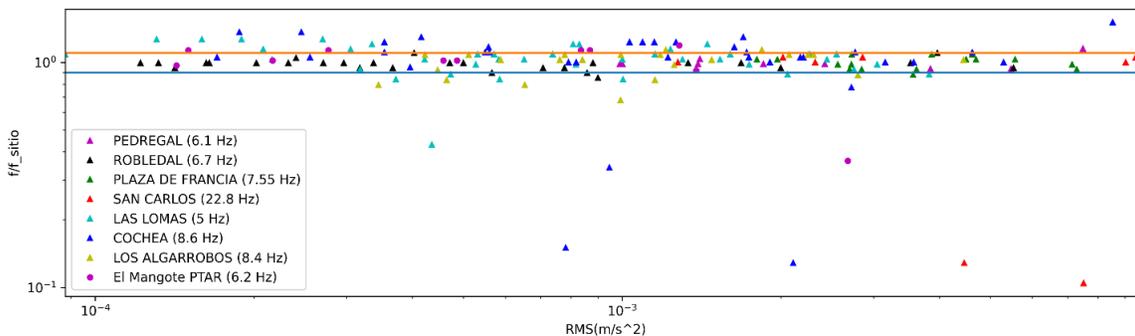


Gráfico 1. Confiabilidad de frecuencias de acuerdo con energía (Todos los registros).

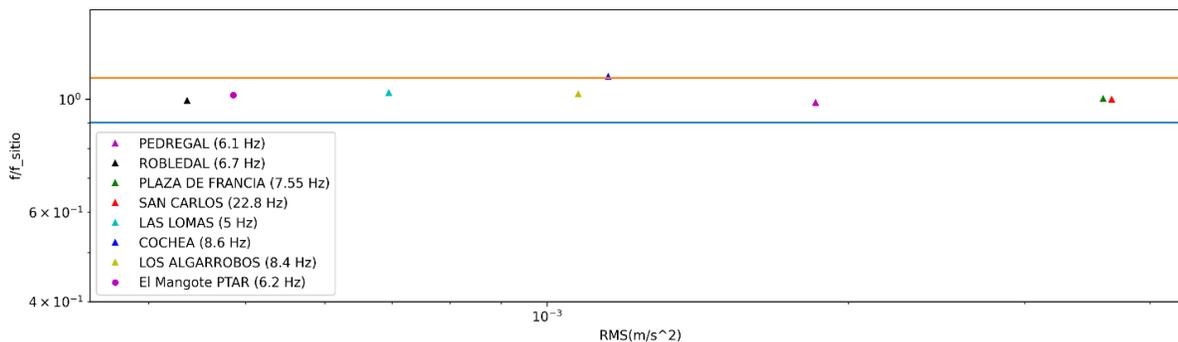


Gráfico 2. Confiabilidad de frecuencias de acuerdo con energía usando la media de cada sitio

4. CONCLUSIONES

1. Se puede establecer una recomendación aceptable en la implementación del uso de energía externa inducida de manera de impacto para el cálculo de la frecuencia predominante con el método de Nakamura.
2. Los registros analizados cumplen en su gran mayoría los requisitos de SESAME.
3. Se observa una buena respuesta de frecuencia de sitio respecto a la cantidad de energía reconocida en el análisis (baja o alta) Gráfico1.
4. Se presenta una tendencia de confiabilidad de acuerdo con la ubicación de la energía ideal para las frecuencias conocidas.
5. En los gráficos de HVSR vs RMS muestra el patrón de convergencia en cada sitio con sus distintas aceleraciones pico Figura3 y Figura4.
6. Se recomienda la implementación de mayores cantidades de arreglos entre sensores, aumentando la distancia entre ellos de acuerdo con la posible frecuencia de sitio y la fuente de excitación del suelo.

REFERENCIAS

- [1] “Geotechnical Earthquake Engineering (Kramer 1996)”.
- [2] Youtaka NAKAMURA, “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface”.
- [3] A. De La, N. Técnica E-030, “ Diseño, C. Geofísicas, L. Mercedes, and A. García, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, GEOFÍSICA Y MINAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOFÍSICA Tesis presentada por la Bachilleren.”
- [4] P. Bard, “Microtremor measurement : a tool for site effect estimation?,” *K. Irikura K. Kudo H. Okada T. Sasatami Eds*, no. August, 1998.
- [5] C. Lachet and P. Y. Bard, “Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura’s Technique,” *Journal of Physics of the Earth*, vol. 42, no. 5, 1994, doi: 10.4294/jpe1952.42.377.
- [6] La, D. E., De, T., Relación Espectral H/V En, L. A., & Ambientales, V. (n.d.). DIRECTRICES PARA LA IMPLEMENTACIÓN MEDICIONES, PROCESAMIENTO Y INTERPRETACIÓN Proyecto de investigación europeo SESAME WP12-Entregable D23.12 Comisión Europea-Dirección General de Investigación Proyecto N° EVG1-CT-2000-00026 SÉSAMO diciembre de 2004. www.onlinedoctranslator.com

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.