



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago  
de Cuba

Cuba

Rivera-Alvarez, Zulima Caridad; Pérez-Alemany, Héctor Alejandro  
**Evaluación de los efectos de sitio a partir de la razón espectral h/  
v de microsismos en zonas aledañas a la bahía de Santiago de Cuba**

Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2019, Octubre-, pp. 1-15  
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba  
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181360994001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org

LUZEM  
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

## EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE SITIO A PARTIR DE LA RAZÓN ESPECTRAL H/V DE MICROSISMOS EN ZONAS ALEDAÑAS A LA BAHÍA DE SANTIAGO DE CUBA

### SITE EFFECTS EVALUATION USING MICROSEISMS´ H/V SPECTRAL RATIO IN NEIGHBORING ZONES OF SANTIAGO DE CUBA BAY

**Autores:**

Zulima Caridad Rivera-Alvarez, [zuli@cenais.cu](mailto:zuli@cenais.cu)<sup>1</sup>

Héctor Alejandro Pérez-Alemaný, [hector@cenais.cu](mailto:hector@cenais.cu)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Santiago de Cuba, Cuba.

#### RESUMEN

*La ciudad de Santiago de Cuba es una de las más afectadas del país por eventos sísmicos, debido a su cercanía con la zona sismogénica Bartlett-Caimán; sin embargo, existen pocos registros instrumentales de eventos fuertes ( $M \geq 6$ ), por lo cual se hace necesario el análisis de efectos de sitio mediante el empleo de diversas técnicas que consideren la vibración ambiental, como el método de Nakamura. Se analizaron 104 puntos localizados principalmente en regiones aledañas a la bahía de Santiago de Cuba, en depósitos sedimentarios. Con la aplicación de esta técnica, se obtuvieron las frecuencias fundamentales y los coeficientes de amplificación del suelo, a partir de la razón espectral de las componentes horizontales y la vertical (H/V) de los registros del movimiento del suelo en estas áreas. Se hizo un análisis de los factores amplificativos con respecto a la litología.*

**Palabras clave:** método de Nakamura, microzonificación sísmica, efectos de sitio, frecuencias fundamentales, coeficientes de amplificación del suelo.

#### ABSTRACT

*The city of Santiago de Cuba is one of the most affected in the country by seismic events, due to its proximity to the Bartlett-Cayman seismogenic zone, however there are few instrumental records of strong events ( $M \geq 6$ ), thus it is necessary for the site effects analysis using various techniques that consider the environmental vibration as the Nakamura method. 104 points located mainly in regions bordering the bay of Santiago de Cuba are analyzed in sedimentary deposits. With the application of this technique, the fundamental frequencies and soil amplification coefficients are obtained, from the spectral ratio of the horizontal and vertical components (H/V) of ground motion records in these areas. Is performed an analysis of the amplifying factors regarding to the lithology.*

**Key words:** Nakamura method, seismic microzonation, site effects, fundamental frequencies, soil amplification coefficients.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad de Santiago de Cuba se encuentra ubicada sobre una cuenca sedimentaria de 400 km<sup>2</sup>, cruzada por incontables estructuras tectónicas activas; se localiza en la zona suroriental de Cuba muy próxima a la Falla Oriente. Esta región es tectónicamente la más activa y de mayor peligrosidad del país, por la frecuencia con que históricamente ocurren terremotos de alta magnitud (Chuy, 1999) y por su ubicación en las proximidades del contacto entre las placas de Norteamérica y la Microplaca de Gonave, lo cual genera todo un movimiento diferencial que convierte a este sistema de fallas transformantes en la principal zona sismogénica del país.

Un elevado porcentaje del daño observado ante terremotos destructivos en todo el mundo está asociado con la amplificación de las ondas sísmicas, debido a efectos de sitio locales (Bard, 1998). Los fenómenos de modificación de la señal sísmica se conocen como efectos de sitio porque están controlados por las condiciones geológicas y topográficas del lugar donde se produce el terremoto.

Las variaciones en las condiciones locales de las capas más superficiales de suelo pueden causar cambios abruptos en los registros de intensidades de eventos sísmicos; por consiguiente, en los daños observados en áreas afectadas y las construcciones vecinas. Parámetros físicos como los cambios de impedancia del gradiente de velocidad, la energía atrapada en capas de suelo blando y los efectos de la topografía superficial dan lugar a variaciones en la propagación de ondas sísmicas.

Entre los métodos empíricos para la evaluación de los efectos de sitio locales, uno de los más comunes es la razón espectral H/V de las vibraciones ambientales (técnica de Nakamura). Las vibraciones ambientales o microsismos son generados por fuentes naturales (Seo, 1992), como por ejemplo: el mar, olas oceánicas, tormentas, los árboles, etc.; por tanto, las características de la amplitud y del período pueden ser afectadas por las condiciones climáticas. Además, existen vibraciones artificiales provocadas por el movimiento de autos, maquinarias o fábricas en funcionamiento, explosiones, entre otras.

En este trabajo se aplica la técnica de Nakamura a 104 registros de vibración ambiental de diversas zonas de la ciudad de Santiago de Cuba, compuestas fundamentalmente por suelos sedimentarios de edad Neógeno-Quaternario. El objetivo fue obtener la frecuencia fundamental del suelo y los factores de amplificación.

## METODOLOGÍA

La razón espectral H/V (es decir, la razón entre el espectro de amplitudes de Fourier de las componentes horizontal y vertical de microsismos) fue introducida primeramente por Nogoshi e Igarashi (1971) y extendida por Nakamura (1989, 1996, 2000). Estos autores lograron difundir el método en la estimación de la respuesta de sitio ante las ondas S. Inicialmente, el objetivo era la interpretación de mediciones de ruido sísmico ambiental. En Lermo y Chávez-García (1993) se aplica la técnica de H/V a las ondas S en registros de terremotos y se desarrolla un basamento teórico mediante la realización de modelaciones numéricas de las ondas (SV). Numerosos investigadores en diversas partes del mundo han estudiado las aplicaciones de esta técnica.

Nakamura (1989) supone que la razón H/V o razón espectral es equivalente a la función de transferencia de los estratos superficiales sometidos a movimientos horizontales. Se basa en la hipótesis de que un microtemblor o microsismo está compuesto por un cuerpo principal de ondas y por ondas superficiales Rayleigh, inducidas por fuentes artificiales (Sandoval y Vera, 2013). Es una técnica experimental que determina ciertas características en depósitos de suelos sedimentarios sueltos y considera que las componentes horizontal y vertical del registro son similares en la base rocosa.

Debido a su bajo costo, tanto para las mediciones como para el análisis, esta técnica ha sido frecuentemente utilizada en investigaciones de microzonificación sísmica (SESAME, 2004). Este método es especialmente recomendable en áreas de sismicidad baja y moderada debido a la carencia de registros de terremotos fuertes en comparación con zonas de alta sismicidad.

La razón espectral H/V del ruido (NHV, por sus siglas en inglés) ha sido estudiada para explicar sus fortalezas y limitaciones (Bonney-Claudet, Cornou, Bard,

Cotton, Moczo, Kristek & Fah, 2006; Cadet, 2007; Bard, 2008; Pilz, Parolai, Leyton, Campos & Zschau, 2009; Lunedei Albarello, 2010). Usualmente la NHV revela la frecuencia dominante del sitio ( $f_0$ ), pero la amplitud de la NHV no es del todo bien entendida (Pilz *et al.*, 2009). Esto quiere decir que aunque ha quedado demostrado que el procedimiento puede ser aplicado para la determinación de la frecuencia fundamental de resonancia (principalmente en sitios de suelos blandos en los cuales haya un elevado contraste de impedancia con respecto a la base de roca subyacente o basamento), aún en la actualidad hay diversos criterios dentro de la comunidad científica en torno a la aplicabilidad de esta técnica para la evaluación de la amplificación del sitio.

Nakamura (1989) ofrece una definición teórica de la técnica de H/V a partir de la utilización de múltiples refracciones de las ondas SH. Por otro lado, según Nakamura (2000), existe un grupo de investigadores que trata de explicar el pico de la razón H/V a partir de las ondas Rayleigh. Si la forma de las curvas H/V está controlada por la resonancia de las ondas S en el interior de los sedimentos (Nakamura, 2000), entonces tanto la frecuencia pico de H/V como la amplitud pueden ser directamente relacionadas con la función de transferencia del suelo (en términos de la frecuencia de resonancia fundamental y del factor de amplificación del sitio). Sin embargo, si la forma de las curvas H/V está controlada por la polarización de las ondas Rayleigh (Kudo, 1995; Bard, 1998; Konno y Ohmachi, 1998), solamente puede existir una correlación indirecta entre la amplitud pico de H/V y la amplificación/de amplificación del sitio. Esta última postura ha quedado demostrada; por tanto, el método es fiable solamente para la determinación de la frecuencia de resonancia del suelo.

Es importante destacar que esta técnica no resulta válida para identificar otros períodos de vibración (de modos superiores); no obstante, es muy eficiente en suelos cuya columna estratigráfica puede estudiarse por el modelo de una sola capa.

Para la aplicación del método son necesarios los siguientes datos:

- Caracterización geológica del área
- Mediciones instrumentales
- Procesamiento y análisis de los datos

## RESULTADOS

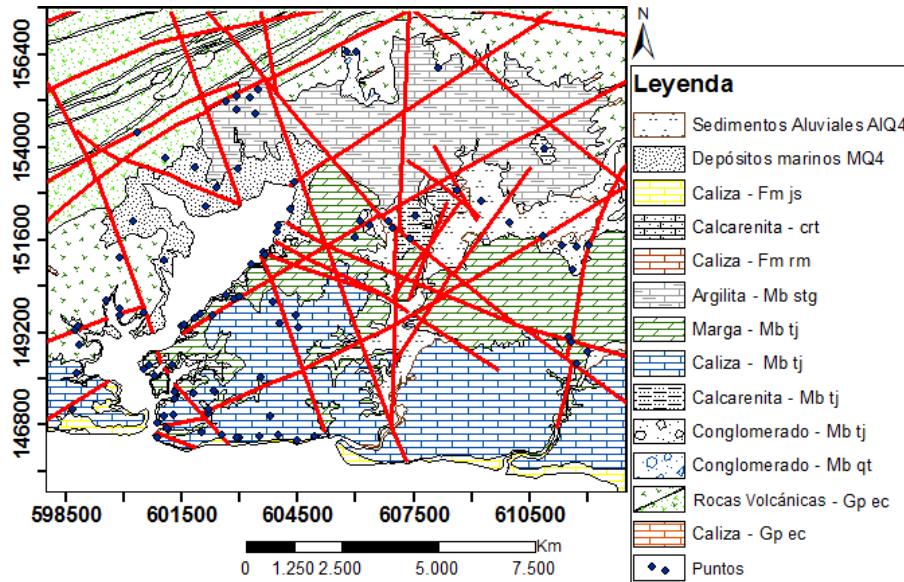
### Caracterización geólogo-tectónica del área de estudio

La geología de la ciudad de Santiago de Cuba se caracteriza por presentar poca complejidad en su variedad litológica (Figura 1). En las proximidades de la costa y valles de los ríos aparecen los sedimentos más recientes del Cuaternario, como son los depósitos de sedimentos marinos (MQ4) y los depósitos aluviales (AIQ4), integrados por arenas, arcillas, limos y gravas de composición y granulometría heterogénea, pertenecientes a depósitos en valles aluviales y depósitos marinos de playas; los cuales yacen discordantemente sobre diversas formaciones, tienen poco espesor aproximadamente hasta 12 m. Al sur de la ciudad, en el borde de la costa, afloran las calizas de la Formación Jaimanitas (js) de poco espesor (10 m) y Formación Río Maya (rm) con espesor entre 30 y 80 m; mientras que al este de la bahía afloran las calcarenitas de la Unidad Informal Camaroncito (crt), todas pertenecientes al Cuaternario.

Sobreyaciendo al Grupo El Cobre (ec) aparecen las margas, calizas, argilitas y conglomerados de edad Neógeno, pertenecientes a la Formación La Cruz (lcz), que cubre la mayor parte de la cuenca y, en ocasiones, sobrepasa los 100 m; representada por los tres miembros que la componen: Mb Santiago (stg) en el piso superior, Mb Tejar (tj) en el piso intermedio y que, a su vez, es el de mayor extensión, y el Mb Quintero (qt) en el piso inferior.

En gran parte de la ciudad afloran las rocas vulcanógenas sedimentarias de edad Paleógeno pertenecientes al Grupo El Cobre (ec), integradas por tobas, lavas, calizas, andesitas, basaltos, etc., en ocasiones cortadas por rocas intrusivas. Estas rocas, a su vez, constituyen el basamento de la cuenca y alcanzan profundidades que pueden sobrepasar los 4 km.

El área de estudio es atravesada por numerosas fallas normales y de *strike-slip* geológicamente activas. Estas cortan la cuenca en diferentes direcciones, pero no existe sismicidad documentada en ellas. Sin embargo, desempeñan un importante papel en la caracterización de la geometría de la cuenca y, consecuentemente, condicionan las características de la amplificación local de los suelos.



**Figura 1.** Distribución de puntos analizados en la ciudad de Santiago de Cuba y formaciones geológicas en las que se ubicaron.

Nota: las líneas en rojo son fallas geológicas (Medina, Escobar, Ortiz, Ramírez, Díaz, Móndeolo,... Acosta, 1999).

### Registros instrumentales utilizados

En la ciudad de Santiago de Cuba se han realizado diversas campañas de mediciones instrumentales; sin embargo, para este trabajo solo se analiza un total de 104 registros, distribuidos en los diferentes tipos de suelos estudiados. Se tuvo en cuenta que los registros fueran obtenidos con el mismo equipo de medición y que tuviesen tiempos de medición similares, por lo cual no se establece una red regular de puntos. Se utilizó un set triaxial CM-3 de mediciones acoplado a un sistema de adquisición de datos sísmicos.

La figura 1 muestra el total y la distribución de los puntos analizados, así como el tipo de suelo en que se encuentran (Tabla 1).

Los sismómetros tienen un período de oscilaciones libres de 1.5 segundos, un amortiguamiento de 0.3 y una sensibilidad de 17; por lo que fue necesario colocar entre estos y el digitalizador un bloque de amplificación con respuesta plana en la banda de frecuencia de interés. Los canales longitudinal y transversal se colocan en las direcciones este-oeste y norte-sur.

Todos los registros analizados tienen una duración de 7-10 minutos, a una frecuencia de muestreo de 100 Hz.

### **Procesamiento de datos**

Para el procesamiento de los registros de microsismos se utilizó el programa computacional GEOPSY2.6.2.

Cada punto de medición tiene tres componentes: dos horizontales (NS y EW) y una vertical (Z). Se escogen los tramos estacionarios de las señales, ya que los no estacionarios pueden afectar los resultados. Se seleccionan ventanas de 20 segundos, en algunos casos por inspección visual y en otros automáticamente a través de un algoritmo antitrigger que elimina los tramos no estacionarios; se toma como promedio de Período Corto (PC) 1 segundo, como promedio de Período Largo (PL) 30 segundos y unos límites para la razón PC/PL de 0.2 y 2.5.

Las ventanas seleccionadas son las que no contienen vibraciones o ruidos de gran energía, comparadas con el ruido de fondo (esto ocurre cuando existe una fuente generadora de ruido, ya sea temporal o permanente cercana al punto de medición).

Para minimizar los efectos de borde, al aplicar la Transformada Rápida de Fourier (TRF) a cada uno de los segmentos escogidos del registro o ventanas, se procede a multiplicar estos por una función “cosinetaper” o “apodización” correspondiente al 5 % del largo total de la ventana, con el objetivo de minimizar las amplitudes al inicio y final de la ventana de selección, ya que la TRF supone que la señal analizada se repite de manera infinita en el tiempo, lo que implica que la señal incluirá siempre períodos completos.

Las razones espectrales se suavizan mediante la relación de Konno y Ohmachi (1998) con un parámetro (b) igual a 40, con el fin de obtener curvas más limpias y libres de frecuencias superpuestas a las frecuencias predominantes. Las componentes horizontales se combinan mediante la utilización del promedio de los cuadrados y se calcula el espectro de frecuencias, considerando un espaciamiento de frecuencias logarítmico entre 0.5 Hz y 10 Hz.

A los valores de frecuencia y sus correspondientes picos de amplitud se les estudia la estabilidad mediante el uso de desviaciones estándar ( $\sigma$ ) con intervalos de confianza (IC) de 90 %.

En la tabla 1 se resumen los rangos de frecuencias de resonancia fundamental ( $f_0$ ) y de los máximos del cociente H/V en aquellas formaciones geológicas o tipos de suelos en las que se llevaron a cabo mediciones de ruido ambiental. A su vez, se ofrecen dos clasificaciones para los suelos, una de ellas a través del Código cubano de diseño sismorresistente NC 46, 2017 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización) y otra a través del Código norteamericano NEHRP (Building Seismic Safety Council (BSSC), 2001).

**Tabla 1.** Rangos de  $f_0$ , H/V y factor de amplificación (Fa) según el código norteamericano NEHRP (BSSC, 2001). Clasificaciones de suelo por la Norma Sísmica Cubana NC 46: 2017 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización)

Formación geológica	No. puntos	Rango de $f_0$ (Hz)	Rango de H/V	Tipo de suelo	NEHRP (Fa)
Jaimanitas	1	1.2	1.2	B	1.0
Río Maya	1	1.5	1.0	B	1.0
Grupo Cobre	7	0.6 - 4.0	1.2 - 1.9	B	1.0
Camaroncito	9	0.6 - 1.1	1.3 - 2.2	C	1.2
Mb Tejar (Calcarenita)	4	0.7 - 0.9	1.9 - 3.0	C	1.2
Mb Tejar (Caliza)	19	0.6 - 1.0	1.2 - 4.8	C	1.2
Mb Tejar (Marga)	21	0.6 - 1.2	0.2 - 3.3	C	1.2
Mb Tejar (Conglomerado)	5	0.7 - 0.8	2.2 - 2.7	C	1.2
Mb Quintero	2	0.5 - 0.8	1.5 - 2.6	C	1.2
Mb Santiago	10	0.6 - 1.2	1.3 - 2.5	D	1.6
Sedimentos aluviales	5	0.6 - 0.8	1.5 - 3.0	E	2.5
Sedimentos marinos	20	0.6 - 1.0	1.5 - 4.0	E	2.5

Se observa que en casi todos los casos los coeficientes de amplificación obtenidos a partir del método de Nakamura (1989) exceden los factores de amplificación obtenidos para el código norteamericano NEHRP (BSSC, 2001), independientemente de la localización particular de cada sitio.

Los nombres de las unidades estratigráficas que se describen en la Tabla 1 son acordes a lo descrito en el mapa geológico 1:25 000 (Medina *et al.*, 1999); sin embargo, los resultados de frecuencia fundamental del suelo ( $f_0$ ) y H/V, obtenidos del análisis de las mediciones instrumentales, en ocasiones no coincide con los valores característicos de este tipo de suelo. La causa de esta aparente contradicción es que las mediciones instrumentales consideran elementos como la presencia de sedimentos sueltos, intemperización de las rocas con degradación del material y humedad, que el mapa utilizado, por su escala, no tiene en cuenta.

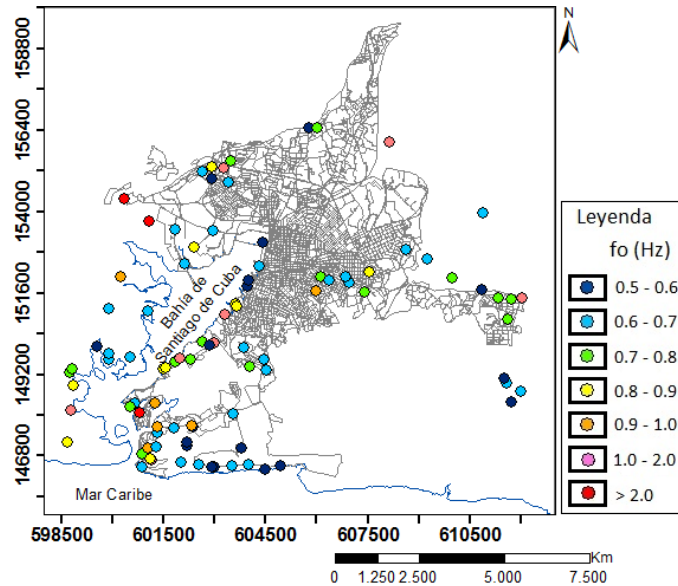
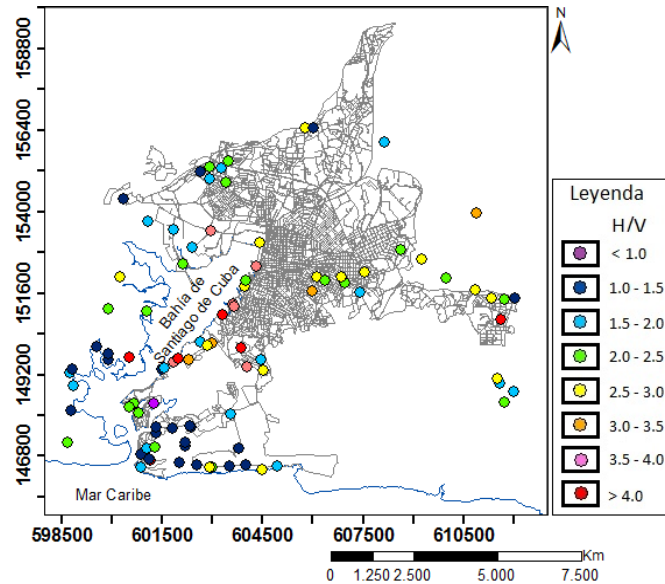


Figura 2. Valores de  $f_0$  en el área de estudio



**Figura 3.** Valores máximos del cociente espectral H/V en el área de estudio

Las figuras 2 y 3 resumen los valores de frecuencias fundamentales ( $f_0$ ) y de máximos de la razón espectral H/V, obtenidos a partir del análisis. Una escala de colores permite visualizar estos resultados agrupados en rangos de valores numéricos cercanos.

No se puede determinar ningún patrón en la distribución de las frecuencias fundamentales, ya que hay una gran variabilidad entre puntos vecinos. Un factor a tener en cuenta en algunos casos es la proximidad a la costa, lo que trae consigo que la componente vertical de los registros posea un nivel de ruido elevado, por lo cual se obtienen niveles de amplificación que probablemente no sean representativos del comportamiento real del suelo.

Es destacable que en el Grupo El Cobre, cuyo suelo se clasifica como B (suelo rocoso muy rígido), se obtiene un rango de  $f_0$  muy abierto (0.6 - 4.0 Hz), así como una cota máxima en el intervalo de amplificaciones de 1.9. Las frecuencias bajas (0,6 Hz) obtenidas en algunos puntos de esta formación geológica claramente contradicen lo que se espera en este tipo de suelos. Esto se debe a la alta meteorización e intemperización de las rocas vulcanógeno-sedimentarias, llegando a ser en los primeros estratos un eluvio areno-arcilloso. Las calas cercanas a los puntos de medición ilustran que el terreno es o bien arcillo-arenoso con una profundidad de hasta 12 m, o bien rocas volcánicas muy fracturadas y

fragmentadas. Lo anterior condiciona que la respuesta obtenida en este caso, a partir del análisis, se corresponda con la litología del sitio.

El resto de las regiones con suelos rocosos muy rígidos, cuya topografía es llana, exhiben curvas poco pronunciadas con valores de picos de H/V alrededor de 1. Esto significa que no se esperan amplificaciones de las ondas sísmicas en estos sitios, característicos de roca.

En el caso de los suelos Tipo C, se observan altos picos de H/V en algunos puntos, así como relativamente pequeños valores de  $f_0$  asociados a estos picos (alrededor de 0.6 Hz). En determinadas ocasiones las calas existentes permiten concluir que esto tiene que ver con la presencia de suelos arcillo-limosos con fragmentos de roca y grava, y/o calizas margosas con cavernas rellenas de arcilla. En otros casos se asocian elevadas amplificaciones a suelos con afloramientos de caliza, los cuales, según datos de calas, tienen textura limo arcillosa y, en muchos casos, son deleznable al tacto.

En los suelos Tipo D y E se obtienen coeficientes de amplificación de hasta 2.5 y 4 respectivamente, en tanto que los valores de  $f_0$  (0.6 a 0.8) son acordes con los esperados en este tipo de terrenos. Los Tipo D son predominantemente arenas de grano fino con arcilla, algo de limo y gravas y los suelos Tipo E son arcillas areno-limosas de 10-20 m de espesor y consistencia muy blanda en estado cenagoso.

La tabla 2 muestra un resumen de los valores de frecuencia de resonancia, así como de coeficientes de amplificación en algunos de los sitios que se encuentran en la zona estudiada. Al convertir los valores de frecuencias a períodos se obtiene que el rango de períodos fundamentales es de 1.0 a 1.7 segundos, lo cual coincide con los estimados de período para esos sitios, a través de la información geotécnica disponible.

**Tabla 2.** Resumen de los valores de  $f_0$  y de los coeficientes de amplificación en algunos de los sitios estudiados

Coord X	Coord Y	Razón espectral H/V	
		$f_0 \pm \sigma$ (Hz)	Máx. H/V $\pm 90\%IC$
601490	149345	0,81 $\pm$ 0,01	1,64 $\pm$ 0,14
594325	147725	0,72 $\pm$ 0,14	1,86 $\pm$ 0,57
601243	148347	1,00 $\pm$ 0,08	0,24 $\pm$ 0,10
603622	151249	0,86 $\pm$ 0,07	3,97 $\pm$ 0,12
600500	148250	0,72 $\pm$ 0,09	2,14 $\pm$ 0,62
601100	146700	0,89 $\pm$ 0,05	1,25 $\pm$ 0,25
600525	149700	0,64 $\pm$ 0,02	1,47 $\pm$ 0,03
598820	149340	Pico plano	< 2,00

Estos resultados confirman una vez más que el método de Nakamura caracteriza solo los estratos superficiales del sitio, independiente de la formación geológica a la que pertenezcan estos suelos, en los que además influye considerablemente el ruido ambiental constante de altas y bajas frecuencias, inducido por la presencia de fábricas, instalaciones en funcionamiento o automóviles, así como el viento o el mar; todo lo cual, en ocasiones, distorsiona los valores obtenidos.

### CONCLUSIONES

- En el rango de frecuencias de 0.6 a 0.8 Hz se obtienen valores pronunciados para la razón H/V; sin embargo, en el rango de 1.0 a 1.2 Hz se observan valores muy pronunciados en prácticamente todos los casos analizados. Estos valores en ocasiones no coinciden con los valores característicos del tipo de suelo.
- En casi todos los casos los coeficientes de amplificación obtenidos a partir del método de Nakamura exceden los factores de amplificación alcanzados para el código norteamericano NEHRP.
- En el caso de los suelos Tipo C, se obtienen valores altos de H/V en algunos puntos, así como relativamente pequeños valores de  $f_0$  asociados a

estos (alrededor de 0.6 Hz). Esto es debido a la presencia de suelos arcillo-limosos con fragmentos de roca y grava y/o calizas margosas con cavernas rellenas de arcilla y, en algunos casos, textura limo arcillosa y deleznales al tacto.

- Los valores  $f_0$  y H/V, obtenidos instrumentalmente, no se corresponde con los valores  $f_0$  para las formaciones descritas en Medina *et al.*, (1999). La causa de esta aparente contradicción puede ser la presencia de sedimentos sueltos, intemperización de las rocas con degradación del material y humedad, que el mapa utilizado, por su escala, no tiene en cuenta.
- Los resultados confirman que el método de Nakamura caracteriza solo los estratos superficiales del sitio, independiente de la formación geológica a la que pertenezcan estos suelos, en los que además influye considerablemente el ruido ambiental constante de altas y bajas frecuencias.

### RECOMENDACIONES

Las mediciones instrumentales deben hacerse lo más cercanas posible a calas geotécnicas, para de esta manera obtener una mejor interpretación de los resultados.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bard, P.Y. (1998). Microtremor measurement: a tool for site effect estimation? In K. Irikura, K. Kudo, H. Okada, T. Sasatami (eds.), *The Effects of surface Geology on Seismic Motion*. Rotterdam, Netherlands: Balkema.

Bard, P.Y. (2008). The H/V technique: capabilities and limitations based on the results of the SESAME project, Foreword. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 6.

Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C., Bard, P.Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J. & Fah, D. (2006). H/V ratio: a tool for site effects evaluation: results from 1D noise simulations, *Geophysical Journal International*, 167(2).

Building Seismic Safety Council (BSSC). (2001). *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and other Structures* (2003 Edition). Washington, D.C: FEMA. Recuperado de [https://www.nehrp.gov/library/guidance\\_new.htm](https://www.nehrp.gov/library/guidance_new.htm)

Cadet, H. (2007). *Utilisation combinee des methodes basées sur le bruit de fond dans le cadre du microzonage sismique* (PhD thesis). Université J. Fourier. Grenoble, France.

Chuy, T. J. (1999). *Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de peligrosidad y microzonación sísmica*. (Tesis doctoral). Fondos del Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA) y del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Santiago de Cuba, Cuba.

Konno, K. & Ohmachi, T. (1998). Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), 228-241. Recuperado de <https://shibaura.pure.elsevier.com/en/publications/ground-motion-characteristics-estimated-from-spectral-ratio-between>

Kudo, K. (1995). Practical estimates of site response, state of the art report. In *Proc. 5th Int. Conf. on Seismic Zonation*. Nice, France.

Lermo, J. & Chávez-García, F. (1993). Site effects evaluation using spectral ratios with only one station. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83(5), 1574-1594. Recuperado de Doi: <https://doi.org/>

Lunedei, E. & Albarello, D. (2010). Theoretical HVSR curves from full wavefield modelling of ambient vibrations in a weakly dissipative-layered Earth. *Geophysical Journal International*, 181(2), 1093 – 1108. Recuperado de Doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04560.x

Medina, A., Escobar, E., Ortiz, G. Ramírez, M., Díaz, L., Móndeolo, ... Acosta, J. (1999). *Reconocimiento geólogo-geofísico de la cuenca de Santiago de Cuba, con fines de Riesgo Sísmico* (Fondos de la Empresa Geominera de Oriente). Santiago de Cuba, Cuba.

Nakamura, Y. (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research*, 30(1), 25-33. Recuperado de <http://www.rtri.or.jp/eng/>

Nakamura, Y. (1996). Real-time information systems for hazards mitigation. In *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*. Acapulco, Mexico.

Nakamura, Y. (2000). Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand.

Cuba. Oficina Nacional de Normalización (2017). *NC 46: 2017. Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción*. La Habana, Cuba. Recuperado de [www.nc.cubaindustria.cu](http://www.nc.cubaindustria.cu)

Nogoshi, M. & Igarashi, T. (1971). On the amplitude characteristics of microtremor (part 2). *Journal of Seismological Society of Japan*, 24(1), 26-40. Recuperado de Doi [https://doi.org/10.4294/zisin1948.24.1\\_26](https://doi.org/10.4294/zisin1948.24.1_26)

Pilz, M., Parolai, S., Leyton, F., Campos, J. & Zschau, J. (2009). A comparison of site response techniques using earthquake data and ambient seismic noise analysis in the large urban areas of Santiago de Chile. *Geophysical Journal International*, 178(2), 713-728. Recuperado de DOI: 10.1111/j.1365-246X.2009.04195.x

Sandoval, V. y Vera, M. (2013). *Estudio de la robustez de la estimación espectral de la técnica H/V de Nakamura para estudios de caracterización dinámica de suelos* (Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil Electrónico). Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Electrónica. Valdivia, Chile.

Seo, K. (1992). A joint work for measurements of microtremors in the Ashigara valley. In *Int. Symp. Effects of Surf. Geol. on Seismic Motion (ESG)*. Odawara, Japan.

Bard, P.I. (Co-ordinator). (2004). *Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation*. SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12. European Commission – Research General Directorate Project No. EVG1-CT-2000-00026 SESAME. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/235623175>

Recibido: 30 de mayo de 2018

Aprobado: 5 de junio de 2019