

Estimation of the seismic response of the site using microtremor measurements in the Pan de Azúcar area, Ejido, Mérida

Pedro J. Montilla M.

*Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes, Núcleo La Hechicera. Mérida, Venezuela,
Telf. 0274-240.28.62 mpedro@ula.ve*

Abstract

The lessons learned from destructive earthquakes in the recent past show that the dynamic response or site effects play a decisive role in the evaluation, quantification and distribution of the damage in a seismic disaster area. Measurements of microtremor or environmental vibration from its appearance have been an important tool for the estimation of the dynamic behavior of the site. These have become one of the most common, versatile, inexpensive and efficient methods in the modern Earthquake Engineering. Its use and application in this field has spread around the whole world, being validated and accepted as a viable technical tool for estimating the likely effects of site, particularly useful in areas with low seismicity or seismic activity. In this paper, we estimate the site effects in an area populated by a number of stations seismometer, strategically located in the Pan de Azúcar area, trying to cover possible critical points and discontinuities of the terrain susceptible to unequal dynamic behavior. The measurements were done with measuring devices of digital signals, high range and resolution. The technique of Nakamura, based on the transfer function of the recorded signal, was applied to determine the dynamic parameters of soil, frequency and dominant periods of vibration and likely soil amplification range, at each station.

Key words: environmental vibrations, microtremor, Nakamura method, amplification, period dominant, site effects.

Estimación de la respuesta sísmica del sitio usando mediciones de microtemblores en el sector Pan de Azúcar, Ejido, estado Mérida

Resumen

Las lecciones aprendidas de sismos destructores en el pasado reciente muestran que la respuesta dinámica o efectos de sitio desempeñan un rol determinante en la evaluación, cuantificación y distribución de los daños ocurridos en una zona de desastre sísmico. Las mediciones de microtemblores o vibraciones ambientales desde su aparición han sido una herramienta importante para la estimación del comportamiento dinámico del sitio, constituyéndose en uno de los métodos más usuales, versátiles, económicas y eficientes en la Ingeniería Sísmica moderna. Su uso y aplicación en este campo se ha extendido mundialmente, siendo validada y aceptada como una herramienta viable para la estimación de los probables efectos de sitio, particularmente útil en aquellas zonas con muy baja sismicidad o actividad sísmica. En este trabajo se estiman los efectos de sitio, mediante una serie de estaciones sismométricas estratégicamente ubicadas, en el sector Pan de Azúcar, tratando de cubrir posibles puntos críticos o discontinuidades del terreno susceptibles de presentar comportamiento dinámico desigual. Las mediciones se efectuaron con equipos de medición de señales digitales de alto rango y resolución. Se aplica la técnica de Nakamura, basada en la función de transferencia de la señal registrada, para determinar los parámetros diná-

micos del suelo, frecuencias y períodos dominantes de vibración y rango de amplificación probable del suelo, en cada estación.

Palabras clave: vibración Ambiental, microtemblores, método de Nakamura, amplificación, período dominante, efectos de sitio.

Introducción

Las ciudades de Mérida, Ejido y sus alrededores se encuentran asentadas sobre la Cordillera Andina, zona geográfica en la que históricamente se ha registrado la mayor actividad sísmica y daños sísmicos en el país. Las lecciones aprendidas de sismos destructores ocurridos en el pasado reciente han mostrado que, entre los factores que potencian la capacidad destructora de un terremoto en una determinada zona, los efectos locales o de sitio, que son influenciados principalmente por las condiciones y características geológicas y geofísicas del sitio de interés [1, 2], desempeñan un rol determinante al momento de evaluar y cuantificar la respuesta sísmica local y la distribución de los daños ocurridos en un determinado escenario de desastre sísmico. Prueba de ello han sido los casos de Caracas, Venezuela, durante el terremoto de 1967; México, durante el terremoto de 1985; Leninakan, durante el terremoto de Armenia en 1988; San Francisco, durante el terremoto de Loma Prieta en 1989; y más recientemente en Japón, durante el terremoto de Kobe en 1995 y Cariaco, Venezuela, durante el terremoto de Cariaco en 1997 [3, 4, 5]. La evaluación de los efectos de sitio puede enfocarse en dos aspectos esenciales, la determinación del periodo fundamental de vibración del suelo subyacente y la amplificación local probable ante la ocurrencia de un evento sísmico.

Uno de los métodos geofísicos más ampliamente extendido y usado se basa en las mediciones de microtemblores o vibraciones ambientales, las cuales, desde su aparición, han venido ocupando un lugar importante en la estimación del comportamiento dinámico del sitio, constituyéndose en una de las herramientas más usuales, versátiles, económicas y eficientes en la investigación y la práctica de la Ingeniería Sísmica actual. Su uso y aplicación se ha extendido y popularizado ampliamente en toda la geografía mundial, particularmente útil e importante en aquellas zonas con muy baja sismicidad o actividad sísmica [6-9]. Su validez y viabilidad ha sido

analizada por diversos investigadores a nivel mundial con resultados muy prometedores, entre los que podemos citar a Montilla [4]; Lermo *et al.* [7, 8, 10]; Field *et al.* [11, 12]; Rovelli *et al.* [13]; Ferrito [14]; Teves-Costa y Matías [15]; Palme *et al.* [16] y Proyecto SESAME [17], entre otros. La estimación de los efectos de sitio es esencial para la evaluación de potenciales escenarios de daños, estudios de vulnerabilidad, riesgo sísmico y microzonificación sísmica de zonas urbanas. Este trabajo presenta un estudio sobre la evaluación de los efectos de sitio, con uso de mediciones de vibraciones ambientales, en correlación con las características geológicas y geofísicas del terreno de una zona urbana específica, el Sector Pan de Azúcar, Municipio Campo Elías del estado Mérida. Se aplica la metodología más conocida y ampliamente usada a nivel mundial para la estimación de la respuesta dinámica del sitio basada en el uso de mediciones de vibraciones ambientales o microtemblores, el Método de Nakamura [18].

Ubicación, geología y geomorfología de la zona ocupada por el sector

Ubicación del área de estudio

El área objeto de estudio se encuentra ubicada en la región de los Andes, sobre la vía que une a la ciudad de Mérida con Ejido. Ocupa el flanco Sur de la Serranía de la Culata. Tiene una extensión de 4 kilómetros cuadrados y limita al norte con la carretera Panamericana, al sur con la Avenida Centenario que une a Mérida con Ejido, al Este con el río Albarregas y la urbanización Alma Mater y al Oeste con el Barrio Manzano Alto (Figuras 1 y 2).

Topografía y relieve

El área se presenta bastante irregular en toda su extensión. Predominan las colinas, de cumbres redondeadas y vertientes convexas alineadas en dirección NE-SW separadas por valles entallados (Figura 2). Este relieve ha sido el re-



Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio.

sultado de procesos de remoción de masas antiguos y recientes que han configurado la morfología de la zona. Las elevaciones varían entre 1200 m.s.n.m y 2000 m.s.n.m. Topográficamente, el sector se caracteriza por presentar dos zonas claramente definidas. La primera situada en la parte Sur del Barrio en contacto con la vía entre Mérida y Ejido, la cual presenta una topografía relativamente plana con pendientes entre 4 y 8%, de cota más baja y forma parte de la terraza de Mérida. La segunda, se encuentra localizada hacia la par-

te norte y presenta una topografía muy irregular, con pendientes superiores al 30%.

Elementos estructurales regionales

El rasgo estructural más importante que afecta a la región Mérida-Ejido, lo constituye la zona de fallas de Boconó. Se trata de una falla de carácter transcurrente dextral con dirección NE-SW, que atraviesa longitudinalmente a los Andes Venezolanos. Hacia el límite NE del área, la falla de Boconó converge con otras estructuras de carácter regional como la falla de Albarregas cuya dirección también es NE. Elementos estructurales regionales que se evidencian claramente en las fotografías aéreas convencionales por medio de largos y nítidos fotoalineamientos (Figura 2). Como consecuencia directa de estos efectos tectónicos, se observa abundante diaclasamiento, cuyo patrón estructural representa una importante ayuda para comprender la génesis y desarrollo de la inestabilidad de algunas zonas, donde se incluye el área objeto del presente estudio [19].

Geología local

En el área de estudio se encuentran las siguientes unidades geológicas [19]:

Formación Sabaneta: La unidad rocosa que aflora en la zona de estudio corresponde a la

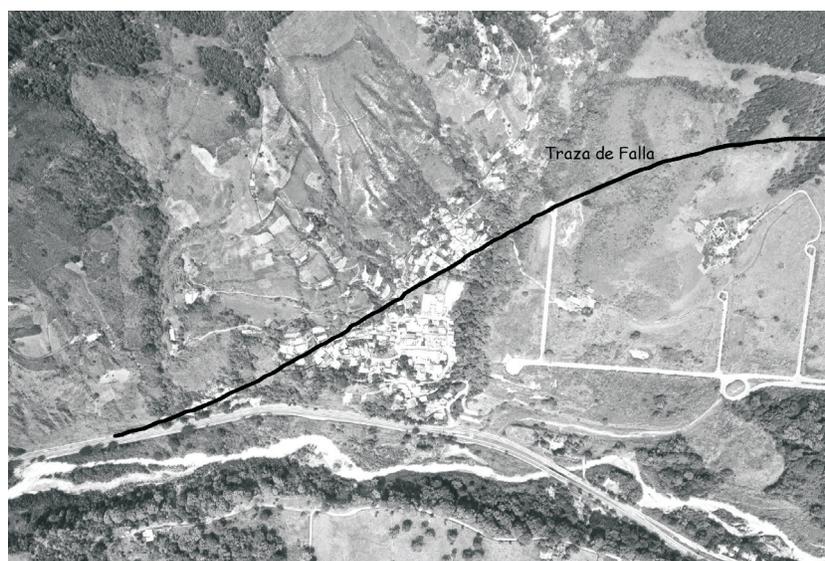


Figura 2. Vista aérea del Sector Pan de Azúcar (Cortesía IMPRADEM-Mérida, octubre 2002). La línea continua negra representa una traza de falla que atraviesa la zona noroeste del sector.

secuencia paleozoica superior del Carbonífero/Pérmico de la Formación Sabaneta. Aflora hacia la parte superior de la vertiente en contacto con la carretera Panamericana, parte superior del sector. Litológicamente está conformada por meta-conglomerados, meta-areniscas de color rojo violeta, así como filitas de color gris verdoso. Esta unidad ocupa muy poca distribución espacial, alcanzando apenas un 5% del área total.

Depósitos recientes: Estos depósitos recientes aflorantes en la zona de estudio pueden ser subdivididos en dos unidades perfectamente diferenciables y cartografiables (Figura 3):

- Unidad de terraza – Unidad 1: En esta unidad incluye todas las formaciones superficiales correspondientes al Cuaternario antiguo. Localizada en la parte sur del sector, ocupa una franja relativamente extensa y se presenta generalmente heterométrica, de cantos y bloques redondeados, heterogénea y con una abundante matriz arena-limo-arcillosa. Posee un grado de cementación relativamente alto y presenta materiales heterogéneos y heterométricos representados por depósitos aluviales y coluviales que, debido a su cohesión, tienen ángulos de reposo relativamente altos, buenas características mecánicas y buenas condiciones de estabilidad.
- Unidad coluvial – Unidad 2: Corresponde a un conjunto de bloques rocosos cuyo diámetro oscila entre 1 y 2 metros desplazados por movimientos de masas rocosas. En asociación con este material, se encuentran fragmentos que varían entre 5 y 25 cms de diámetro. Corresponden a rocas pertenecientes a la Formación Sabaneta, que aflora en la parte alta de la zona, en particular meta-areniscas, meta-conglomerados y filitas los cuales presentan colores rojizos en roca sana y gris verdoso en superficie de meteorización. Este conjunto se encuentra embebido en una matriz de carácter arcillo-limoso. Esta unidad ocupa la mayor extensión en la zona de estudio. Se localiza en la parte media a superior de la vertiente, en una franja longitudinal con pendientes superiores al 30%. Se considera que el material coluvial descrito corresponde a deslizamientos antiguos (paleo-deslizamientos).

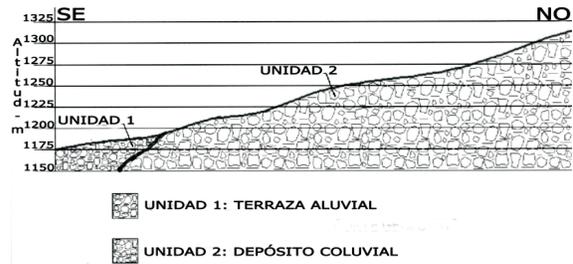


Figura 3. Corte Geológico del Sector Pan de Azúcar.

Vibraciones ambientales, instrumentación, medición y procesamiento

Las mediciones de microtemblores o vibraciones ambientales son registros digitalizados de las señales vibratorias permanentes emitidas por el suelo subyacente o por las edificaciones que se posan sobre él, cuando se encuentran bajo la acción de excitaciones vibratorias provenientes de fuentes naturales lejanas producto de la actividad atmosférica, geográfica, industrial, del medio ambiente y socio-cultural normal que circunda al sitio o la estructura objeto de estudio, tales como, oleaje marino, explosiones lejanas, actividad volcánica, actividad industrial de gran escala, pruebas de dispositivos explosivos nucleares, etc. Esta se ha convertido en la técnica por excelencia para la determinación de las propiedades dinámicas de suelos con fines de estudios de microzonificación sísmica [2, 7, 10, 15] y de edificaciones existentes, con miras a su evaluación sísmica [7]. Esto, a la luz de lo engorroso, demorado y económicamente costoso de implementar otras técnicas, producto de la instrumentación sísmica por largos períodos de tiempo. Esto es particularmente difícil cuando se trata de zonas donde hay poca o muy escasa actividad sísmica.

Instrumentación y metodología

La adquisición de los registros de vibración ambiental, en estudios de comportamiento dinámico de suelos y de edificaciones existentes, es independiente de la técnica que se use para su análisis y evaluación. En este caso, se han utilizado equipos de medición especializado marca KINEMATRICS, que consisten en una grabadora

digital de estado sólido modelo SSR-1, con tres canales de adquisición de datos y un convertidor A/D de 16 bits de precisión, y tres sensores unidireccionales independientes de banda ancha, de alta sensibilidad, modelo WR-1, cuya frecuencia nominal es de 20 Hz y una respuesta plana y eficiente en el dominio de período entre 0,05 y 5,00 seg. Los sensores tienen capacidad para registrar aceleraciones máximas de hasta 1,0 g. Este sistema es integrado y controlado por una computadora portátil tipo laptop (Figura 4). El equipo de medición es configurado para operar con una tasa de muestreo de doscientas muestras por segundo (200 sps) por canal de medición.

Los tres sensores son estacionados sobre una superficie plana, con sus ejes longitudinales simulando los tres ejes ortogonales, dos de ellos en el plano horizontal y formando un ángulo de 90°, orientados según las direcciones N-S y E-W, y el tercero en posición vertical (Figura 4). Instalada la estación de medición, se procede a configurar y programar la grabadora digital SRR-1, con uso de la computadora portátil y el programa de computación suministrado por el fabricante [20], estableciéndose un período de grabación de datos de 5,0 minutos por cada estación de medición. Cada medición consta de 10 ventanas, programadas para medir ininterrumpidamente por un lapso de 5,0 minutos, tomando 30,0 seg. de registro en cada una. En cada ventana se tienen las mediciones simultáneas de los tres (3) canales (dos (2) horizontales, CH1 y CH3, y uno (1) vertical, CH2). En la programación de la grabadora digital, se fija un filtro tipo Butterworth que suprime frecuencias superiores a 15 Hz. Luego, con uso del programa DEGTRA, elaborado por Ordaz y Montoya [21], se obtienen los Espectros de Fourier y cocientes espectrales de Nakamura (HVSR) o funciones de transferencia para cada canal horizontal.

Microzonificación sísmica del área de estudio. Mediciones de vibración ambiental

Se sectoriza la zona de estudio y se efectúan las mediciones de vibración ambiental en cada estación sismométrica representativa del sector, tratando de cubrir toda el área de estudio, a los fines de detectar posibles irregularidades dinámicas o zonas erráticas del terreno. Se planteó un

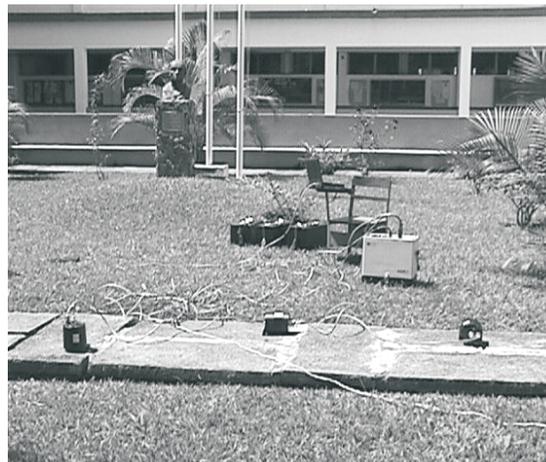


Figura 4. Instrumentación para la medición de vibraciones ambientales. Equipo KINEMATRICS SSR-1/WR-1.

total de nueve (09) estaciones de medición, de la Z01 a la Z09, distribuidas a lo largo y ancho de la zona de estudio. La distribución y ubicación de los puntos seleccionados como estaciones sismométricas para llevar a cabo las mediciones de vibración ambiental se encuentra señalada en el plano general de ubicación de estaciones sismométricas en la zona de estudio (Figura 5).

Método de Nakamura

La metodología de Nakamura [18, 22] representa un exitoso avance en la determinación de los efectos de sitio, ya que elimina la necesidad de la estación de referencia, usando registros obtenidos con sólo una estación de medición de vibraciones ambientales ubicada en la superficie del estrato de suelo superficial [7, 12, 18, 22]. Los parámetros que representan el comportamiento dinámico del suelo pueden ser obtenidos mediante el cociente entre los espectros de Fourier de las componentes Horizontal y Vertical de los registros de vibración ambiental (HVSR) con sólo una estación de medición ubicada en la superficie del terreno que se analiza. Esto se basa en que, cualquiera que sean los factores que influyen la transmisión y propagación de las ondas a través de los diferentes estratos que conforman el suelo subyacente, al dividir el espectro de la componente horizontal entre el espectro de la componente vertical se está depurando la medición, eliminando los factores perturbadores implícitos en ambos registros que contaminan la



Figura 5. Plano general de ubicación de las estaciones sismométricas en el Sector Pan de Azúcar.

medición, incluido el efecto de la onda Rayleigh en ambas componentes. Esto se fundamenta en que la componente vertical, durante todo el proceso de propagación de ondas en los estratos de suelo presentes, conserva las características dinámicas fundamentales del manto rocoso y no es amplificada al pasar de un estrato a otro. El Proyecto SESAME [17] efectuó avances y aportes significativos sobre el alcance, validez y aplicación de este método.

Cocientes espectrales (HVSRR) de los espectros de Fourier en cada estación sismométrica

En la Figura 6 se presentan los cocientes espectrales (HVSRR) o Funciones de Transferencia y función promedio obtenidas para las medicio-

nes en cada estación sismométrica para el canal CH1. Por similitud de los espectros de los registros horizontales sólo se presentan los cocientes espectrales para el canal horizontal CH1. En la Tabla 1 se muestra la ubicación topográfica, frecuencias y períodos de vibración predominantes y rango de amplificación probable en el suelo en cada una de las estaciones sismométricas del área de estudio.

Resultados, discusión y análisis

Los resultados de los posibles efectos de sitio en la zona de estudio muestran que el suelo subyacente es bastante denso, consolidado. La forma de los espectros, las frecuencias, períodos dominantes y amplificaciones probables obtenidos así lo indican. Este comportamiento es característico de suelos densos a muy densos, catalogados por la Norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistentes [23] como suelos de forma espectral tipo S2. Sin embargo, existe una zona, definida por las estaciones Z03, Z04 y Z05 (Figuras 5 y 6), donde se aprecia claramente que hay un ligero aflojamiento del terreno, determinado por períodos predominantes más largos, indicando la presencia de una zona de transición en esta área. Esto corresponde con la zona de transición entre unidades identificada por el estudio geológico (Figura 3), el cual reporta el solapamiento de unidades geológicas en la zona de estudio, donde, muy probablemente, como lo indica dicho estudio, se generó un depósito de material aluvial, producto del deslizamiento de terreno proveniente de la parte más alta de la zona. En esta zona de transición se incrementan ligeramente las amplificaciones sísmicas probables que pudieran generarse en esta área.

El comportamiento dinámico de las estaciones Z07, Z08 y Z09 explica la proximidad al afloramiento rocoso que se produce hacia la parte más alta del terreno que ocupa el poblado. En general, el perfil longitudinal del suelo del poblado muestra, con excepción de la zona de transición, cierta paridad en cuanto a los valores de período predominante y amplificación probable esperada, correspondiéndole a la zona de transición, el área más poblada del sector, un comportamiento sísmico un tanto anómalo. En esta zona se deben tomar ciertas previsiones técnicas de carácter sismorresistente en las construcciones a desa-

Tabla 1
Frecuencia, período de vibración predominante y rango de amplificación probable del Terreno en cada Estación Sismométrica

Estación	Ubicación Topográfica		Frecuencia Dominante (Hz)	Período Predominante (Seg.)	Amplificación Probable/Rango (und.)
	Coord. X (m)	Coord. Y (m)			
Z01	256420	947243	1,60	0,63	1,80-2,30
Z02	255952	947216	1,90	0,53	1,70-2,00
Z03	255952	947332	1,30	0,77	1,90-2,00
Z04	255922	947441	1,15	0,87	1,90-2,00
Z05	255878	947309	1,20	0,83	1,70-1,90
Z06	255847	947237	1,85	0,54	1,90-2,40
Z07	255853	947529	1,95	0,51	1,40-1,50
Z08	255906	947705	1,75	0,57	1,50-1,70
Z09	255660	947214	1,50	0,67	1,30-1,40

rollar, a los fines de garantizar su adecuado comportamiento dinámico y estabilidad estructural ante la probable ocurrencia de un evento sísmico de magnitud moderada a severa. Los valores de la Tabla 1 se aproximan a los obtenidos por Zambrano *et al.* [24], para una zona muy cercana a la zona objeto de estudio.

Conclusiones y recomendaciones

Los cocientes espectrales de Nakamura (HVSR), así como, los posibles efectos de sitio obtenidos confirman la existencia de una zona de transición entre las dos unidades geomorfológicas evidenciadas por el estudio geológico realizado. Correspondiéndole a una de las áreas más pobladas del sector la zona de transición, en la cual, por su comportamiento sísmico un tanto anómalo, se deben tomar ciertas previsiones y prescripciones técnicas de carácter sismorresistente en las construcciones allí desarrolladas, a los efectos de garantizar su adecuado comportamiento dinámico y, por ende, su seguridad y estabilidad estructural ante la probable ocurrencia de un evento sísmico de magnitud moderada a severa.

El período predominante y nivel de amplificaciones relativas probables tienden a ser mayor hacia la parte central y cercanías de la zona de transición, disminuyendo hacia las zonas más altas y alejadas de esta. La discontinuidad topo-

gráfica, la zona de transición, la profundidad de los depósitos aluvionales y los efectos de sitio muy probablemente serán factores determinantes en el comportamiento dinámico del terreno y de las edificaciones existentes en este centro poblado ante la ocurrencia de un evento sísmico de magnitud considerable.

Los resultados obtenidos muestran que el terreno es bastante denso, consolidado, con alta probabilidad de comportamiento similar al de suelos densos a muy densos, catalogados por la Norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistentes, Zona Sísmica 5, como suelo de forma espectral tipo S2. Esto puede ser decisivo, ya que el diseño y construcción de la gran mayoría de las edificaciones existentes en esta zona poblada popular, con abundancia de edificaciones informales de mampostería de uno y dos niveles, de bajo costo, no ha seguido disposiciones ingenieriles sismorresistentes. Esto puede resultar altamente perjudicial, pues el período predominante del suelo de fundación pudiera llegar a aproximarse al período de vibración fundamental de las edificaciones sobre él, pudiendo éstas incursionar en el fenómeno de resonancia vibratoria, con el consecuente daño excesivo, destrucción o colapso de las mismas.

La determinación de los efectos de sitio probables en este tipo de suelos, con características

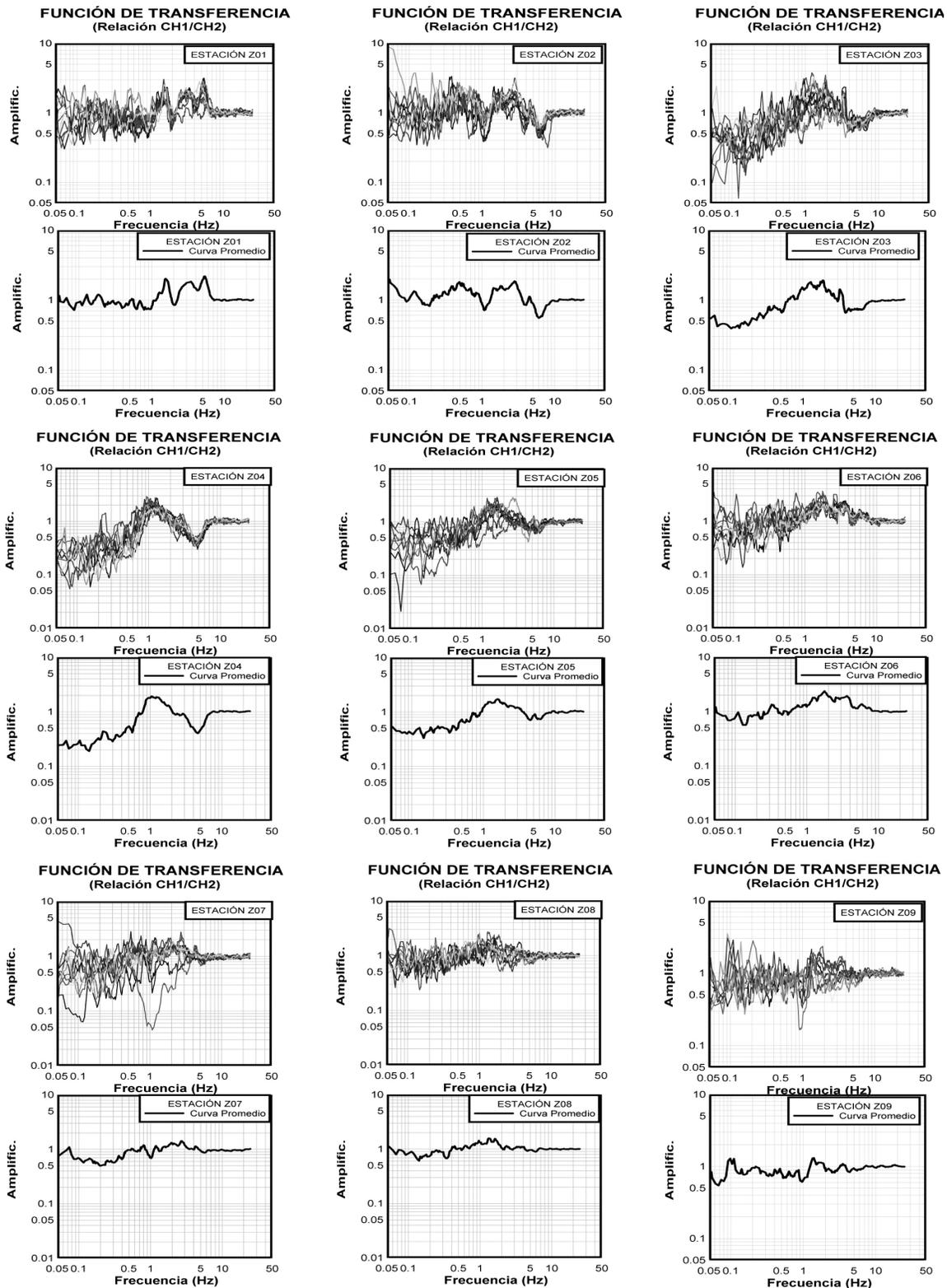


Figura 6. Cocientes Espectrales (Nakamura-HVSR) (sup.) y cociente espectral promedio (inf.) de los registros para cada estación sísmométrica.

de densos a muy densos, usando sólo los espectros de Fourier, no ofrece garantía de total confiabilidad, validez y precisión de los resultados, ya que los espectros se muestran dispersos, algo erráticos y poco precisos, por lo que, es imprescindible acudir a técnicas más elaboradas, tales como los cocientes espectrales (HVSR) recomendados por Nakamura en su metodología.

Referencias bibliográficas

1. Mândrescu N., Radulian M. and Mârmureanu Gh.: "Geological, geophysical and seismological criteria for local response evaluation in Bucharest urban area". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 27 (2007) 367-393.
2. Liam W. D.: "Effects of Local Soil Conditions on Site Response". Invited State of The Art Paper of 4th International Conference on Seismic Zonation, Stanford, California, USA (1991).
3. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, FUNVISIS: "Evaluación Preliminar Sismo de Cariaco, 09 de Julio 1997, Estado Sucre, Venezuela". Caracas, Venezuela (1997).
4. Rivera de U. I., Torres R., Montilla P., Ramírez de H. M. y Grisolia D.: "Informe de daños ocasionados por el sismo del 09 de Julio de 1997 en el Estado Sucre". Grupo de Investigaciones Sísmicas, Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida, Venezuela (1997).
5. Lang D. H., Raschke M. and Schwarz J.: "The Cariaco, Venezuela, Earthquake of July 09, 1997: Aftershock Measurements Macro-seismic Investigations and Engineering Analysis of Structural Damage". *Memorias del VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica*, CDROM, Mérida, Venezuela (1999).
6. Montilla M. P. J.: "Estacionaridad de la respuesta del sitio en depósitos aluvionales profundos.". *Memorias del X Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica*, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica (1998) 53-64.
7. Lermo J.: "Observaciones de microtremores en México y su aplicación en la Ingeniería Sísmica.". Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México (1992).
8. Lermo J. y Chavez-García F. J.: "Are microtremors useful in site response evaluation?". *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 84 (1994) 1350-1364.
9. Hernández M. y Grassi de D. A.: "Determinación del período predominante del suelo de la Ciudad de Mérida, usando vibración ambiental.". *Memorias del X Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica*, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica (1998) 65-75.
10. Lermo J., Rodríguez M. and Singh S. K.: "The Mexico Earthquake of September 19, 1985-Natural Period of Sites in the Valley of Mexico from Microtremor Measurements and strong Motion Data". *Earthquake Spectra*, Vol. 4 (1988) 805-814.
11. Field E. H., Hough S. E. and Jacob K. H.: "Using Microtremors to Assess Potential Earthquake Site Response: A Case Study in Flushing Meadows, New York City". *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 80 (1990) 1456-1480.
12. Field E. H. and Jacob K. H.: "A Comparison and Test of Various Site-Response Estimation Techniques, Including Three That Are Not Reference-Site Dependent". *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 85 (1995) 1127-1143.
13. Rovelli A., Singh S. K., Malagnini L., Amato A. and Cocco M.: "Feasibility of the Use of Microtremors in Estimating Site Response During Earthquakes: Some Test Cases in Italy". *Earthquake Spectra*, Vol. 7 (1991) 551-561.
14. Ferrito J. M.: "Repetability of Microseism Measurements in Port Hueneme Case Study". *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 86 (1996) 428-435.
15. Teves-Costa P. and Matias L.: "Seismic behavior estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.15 (1996) 201-209.
16. Palme C., Choy J. E. y Guada C.: "Determinación de Efectos de Sitio Utilizando el Méto-

- do de Nakamura: Aplicación al Núcleo Universitario Rafael Rangel, Estado Trujillo, Venezuela.”. Boletín Técnico IMME, Facultad de Ingeniería, UCV, Vol. 36, No. 1 (1998) 43-57.
17. SESAME Project, “Site Effects Assessment Using Ambient Excitations”, European Commission, Research General Directorate, Project No. EVG1-CT-2000-00026 (2001-2004). <http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>.
 18. Nakamura Y.: “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of SubSurface using Microtremor on the Ground Surface”. *QR of RTRI*, Japan, Vol. 30, No. 1 (1989) 25-33.
 19. Montilla P., Laffaille J., Castrillo J., Odreman O., Bongiorno F. y Vilchez G.: “Evaluación de Condiciones Físicas y Análisis de Vulnerabilidad como Base al Establecimiento de Niveles de Susceptibilidad del Sector Pan de Azúcar, Municipio Campo Elías del Estado Mérida”. UAPIT, ULA, INFRAM, Gobernación del Estado Mérida, Mérida, Venezuela (2002).
 20. KINEMETRICS: “Seismic Workstation Software, SWS-1.”. KINEMETRICS Systems, Pasadena, California, USA (1989).
 21. Ordaz M. y Montoya C.: “Programa de Computación DEGTRA A4 versión 4.06”. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México (2002).
 22. Nakamura Y.: “Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura’s Technique and Its Applications”. Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, 12WCEE, CDROM, Auckland, New Zealand (2000) paper No. 2656.
 23. Norma COVENIN 1756-2001-1, 1ª revisión: “Edificaciones Sismorresistentes”. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), Caracas, Venezuela (2001).
 24. Zambrano O., Choy J., Mazuera F., Guada C. y Cerrada M.: “Determinación del Modelo Geofísico del Subsuelo Mediante la Adquisición de Datos de Ruido Sísmico Ambiental de la Zona Suroeste del Área Metropolitana de Mérida Venezuela”. *GEOMINAS*, Vol. 38, No. 53 (2010) 181-186.

Recibido el 8 de Enero de 2012

En forma revisada el 20 de Mayo de 2013