

Determinación de períodos predominantes en edificaciones de mediana altura en la ciudad de Mérida

Determination of dominant periods in medium height buildings located in the city of Mérida

A. de De Barcia* y J. C. Barboza.
Departamento de Estructuras, Facultad de Ingeniería, ULA.
Mérida 5101, Venezuela
*gadriana@ing.ula.ve

Resumen

En este trabajo se estudiaron once edificios de concreto reforzado, ubicados a lo largo de la terraza de Mérida, con cuatro pisos de altura, considerada ésta como la representativa de las edificaciones de mediana altura para la ciudad. La técnica usada fue la de medición de vibraciones ambientales. Se realizaron mediciones en la azotea y planta baja de cada edificación. Se determinaron los espectros de Fourier de las señales de los tres canales usados, ubicados uno en el sentido longitudinal del edificio (CH1), otro en sentido transversal (CH3) y el tercero en sentido vertical (CH2); se obtuvieron los cocientes espectrales entre los espectros de Fourier de los registros obtenidos en la azotea y planta baja; adicionalmente se aplicó la técnica de Nakamura. De la aplicación de las tres técnicas planteadas se obtuvieron períodos fundamentales estructurales en un rango de 0.17 a 0.30 segundos. Para estudiar la posibilidad de resonancia, se compararon estos resultados con períodos obtenidos en estudios anteriores realizados al suelo de la ciudad de Mérida, usando vibración ambiental (Montilla, 1998; Hernández et al, 1998). En consecuencia, se espera que algunos de los edificios de la ciudad, con características similares a los estudiados en el presente trabajo, entren en resonancia con el suelo.

Palabras claves: Vibración ambiental, sensores, período, resonancia, espectros de Fourier, cocientes espectrales, técnica de Nakamura.

Abstract

This paper shows a study of eleven reinforced concrete buildings, located along the terrace of the city of Mérida, with a height of four stories which is considered representative of medium height buildings in the city. The technique used was that of microtremor measurements. The microtremor measurements were carried out at the fourth and first floors of each building. Fourier spectra were determined for the signals of the three channels used, located one in the longitudinal direction of the building (CH1), the other in the transverse direction (CH3) and the third in the vertical direction (CH2); Fourier spectral ratios were obtained between fourth and first floors and in addition, Nakamura ratios were also determined. As a result of the three techniques used, structural fundamental periods in a range from 0.17 to 0.30 seconds were obtained. To study the possible occurrence of resonance, these results were compared to periods obtained from previous microtremor measurements conducted to the soil of the city (Montilla, 1998 ; Hernández et al, 1998). In consequence, it is expected that some of the buildings of Mérida with characteristics similar to those studied in this work, might suffer the effect of resonance.

Keywords: Microtremors measurements, sensors, period, resonance, Fourier spectra, spectral ratios, Nakamura technique.

1 Introducción

Este trabajo surgió como parte del estudio de microzonificación de la ciudad de Mérida que lleva a cabo el grupo de Investigaciones Sísmicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes. Trabajos anteriores realizados por los integrantes del grupo, usando

vibraciones ambientales, probaron que esta técnica y el método de Nakamura pueden ser aplicados para la predicción de la respuesta sísmica de depósitos aluviales profundos como los de la terraza de Mérida, y que los períodos predominantes en la parte central de la terraza están en un rango de 0.25 a 0.50 segundos. (Montilla, 1998; Hernández et al, 1998). A esto se agrega el hecho de que:

1) la ciudad de Mérida está ubicada en una región de alto riesgo sísmico, ya que está recorrida en toda su extensión por la falla Boconó y otras fallas secundarias, causantes todas de gran parte de la actividad sísmica importante de la zona andina venezolana (Altuve, 1998) y 2) la sismicidad histórica e instrumental permiten predecir que la zona andina y muy probablemente la ciudad de Mérida sufrirán el efecto de un sismo destructor cuyo epicentro

puede estar muy cercano a la ciudad (Ferrer et al, 1998). Se planteó como objetivo fundamental usar el equipo de mediciones ambientales para determinar las frecuencias predominantes de edificaciones de mediana altura ubicadas a lo largo de la terraza de Mérida, ya que de acuerdo a la información presentada estarían dentro del grupo de las más vulnerables y afectadas al encontrarse sus frecuencias cercanas o dentro del rango de las del suelo.

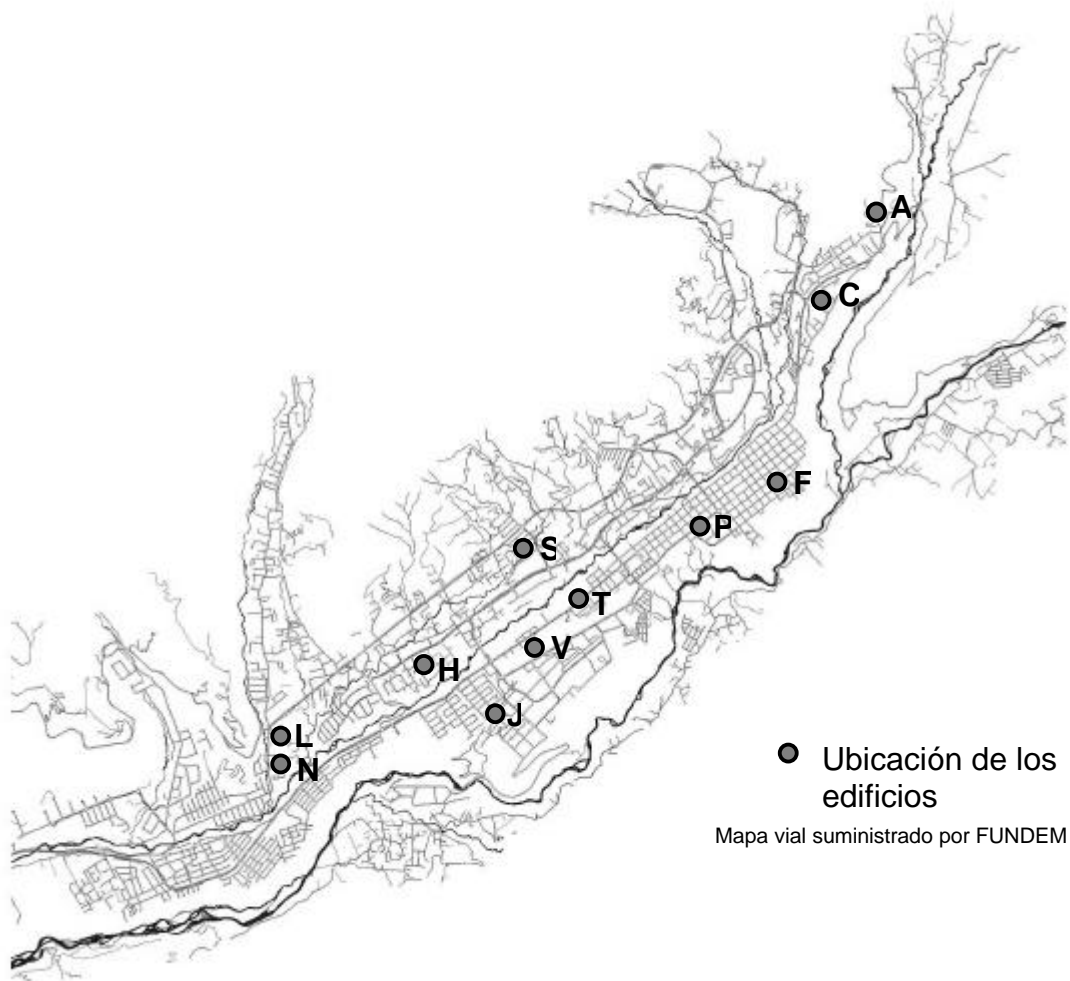


Fig. 1 Ubicación de los edificios estudiados en la ciudad de Mérida

2 Desarrollo

Se seleccionaron once (11) edificios de concreto armado, ubicados según se muestra en la Fig. 1, con la característica en común de poseer 4 pisos de altura y que pueden dividirse en 3 categorías: a) Construcciones tipo Banco Obrero (INAVI). Son edificios ubicados en diferentes sectores de la ciudad y son complejos habitacionales que albergan numerosas familias: Los Sauzales (S), Humboldt (H), Santa Juana (J) y Lagunillas (L); b) Construcciones realizadas por empresas privadas

que poseen características similares a las anteriores (complejos habitacionales): La Arboleda (A), Los Caciques (C) y Los Naranjos (N); c) Edificaciones individuales construidas por particulares y que tienen cuatro pisos: Ferago (F), Tacarica (P), Tulipán (T) y Venusa (V). Se determinaron los períodos fundamentales de cada estructura y del suelo de fundación haciendo mediciones de vibración ambiental en la azotea y planta baja de cada sitio. Cada edificio se identifica con la letra indicada en paréntesis anteriormente y una A o una P si es azotea o planta baja,

respectivamente. Las mediciones de vibración ambiental se realizaron con tres sensores de banda ancha WR-1, marca Kinematics, conectados a una grabadora digital Kinematics SSR-1. La programación de registros y adquisición de datos se realizó mediante una computadora portátil. En cada sitio se colocaron los dos sensores horizontales, uno paralelo a la dirección longitudinal de cada edificio (CH1) y el otro en la dirección transversal (CH3). El tercer sensor se colocó en dirección vertical (CH2). Antes de comenzar las mediciones, se esperó un tiempo prudencial para asegurar la estabilización de los sensores. Las mediciones corresponden a nueve ventanas de 30 segundos cada una. La fase de instalación comprende conexión, nivelación y calibración de los sensores. El procesamiento de los registros se realizó usando el software de Kinematics y el programa DEGTRA (Ordaz y Montoya, 1991). Los gráficos se obtuvieron mediante el programa DPLOTW, versión 1.2.

3 Resultados

Tabla 1. Señales de los canales

Señales de los canales (seg.)		
Edificio	Sentido Longitudinal	Sentido Transversal
Arboleda	0.177	0.177
Caciques	0.143	0.177
Ferago	0.276	0.276
Humboldt	0.142	0.168
Sta Juana	0.187	0.159
Lagunillas	0.187	0.187
Naranjos	0.159	0.159
Tacarica	0.197	0.220
Sauzales	0.159	0.177
Tulipán	0.177	0.177
Venusa	0.197	0.208

Para el análisis de los resultados, se usaron diferentes métodos ya que en muchos de los casos no se obtuvo un solo pico predominante como se esperaba. Al igual que en las mediciones de suelo, se observó que no es una tarea fácil el obtener resultados precisos de mediciones de vibración ambiental dadas las propiedades físicas particulares del suelo de la ciudad de Mérida. Se determinaron para cada edificio, los espectros de Fourier de las señales de los tres canales (dos horizontales y uno vertical) cuyos valores se muestran en la Tabla 1.

A continuación se obtuvieron los cocientes espectrales de Fourier de azotea entre planta baja, tanto para el sentido longitudinal (CH1) como el sentido transversal (CH3) del edificio. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos. Luego se aplicó la técnica de Nakamura, buscando eliminar las vibraciones de altas

frecuencias y resaltar el período del edificio. En esta técnica se dividen las dos componentes espectrales horizontales entre la vertical.

Tabla 2. Cocientes Azotea/ Planta Baja

Cocientes Azotea/Planta Baja (seg.)		
Edificio	Sentido Longitudinal	Sentido Transversal
Arboleda	0.155	0.150
Caciques	0.197	0.197
Ferago	0.143	0.182
Humboldt	0.141	0.148
Sta Juana	0.177	0.155
Lagunillas	0.148	0.176
Naranjos	0.159	0.159
Tacarica	0.183	0.205
Sauzales	0.163	0.163
Tulipán	0.155	0.162
Venusa	0.176	0.197

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos para las mediciones en azotea.

Tabla 3. Cocientes según técnica de Nakamura

Cocientes Nakamura (seg.)		
Edificio	Sentido Longitudinal	Sentido Transversal
Arboleda	0.168	0.159
Caciques	0.192	0.192
Ferago	0.192	0.192
Humboldt	0.140	0.170
Sta Juana	0.192	0.149
Lagunillas	0.160	0.190
Naranjos	0.160	0.160
Tacarica	0.170	0.230
Sauzales	0.163	0.163
Tulipán	0.160	0.160
Venusa	0.190	0.210

A modo de ejemplo, las Figs. 2, 3 y 4 muestran los espectros obtenidos para el edificio Los Sauzales, en ellos se observa una sola curva porque se trabajó con el promedio de las 9 ventanas en cada caso.

Por último se determinó el período de los edificios según indica la Norma COVENIN 1756-98, usando la expresión para edificaciones aparcadas:

$$T_a = C_1 h_n^{0.75} \tag{1}$$

donde $C_1 = 0.07$ (edificios de concreto armado), $h_n =$ altura del edificio medida desde el último nivel hasta el

primer nivel, cuyos desplazamientos estén restringidos total o parcialmente. El valor que se obtuvo fue de 0.39 segundos. Es de resaltar que este valor es independiente de la forma y configuración estructural de las edificaciones.

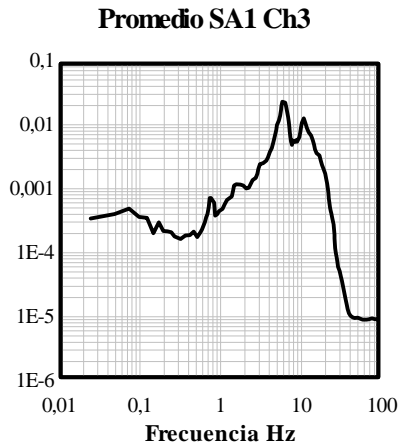


Fig. 2. Espectros de Fourier edificio Los Sauzales.

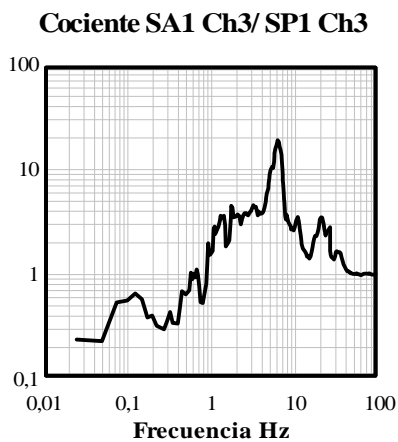


Fig. 3. Espectros de Fourier edificio Los Sauzales.

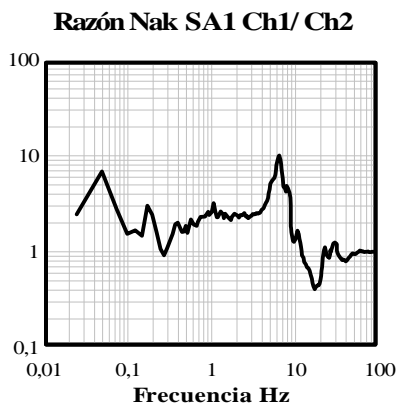


Fig. 4. Razón de Nakamura edificio Los Sauzales.

4 Conclusiones

Al comparar los valores mostrados en las tablas 1, 2 y 3, se observa que en general los resultados obtenidos para cada edificio son similares. Sacando un promedio por edificio se tiene que cuatro de ellos tienen un período de 0.20 segundos, seis tienen un período de 0.17 segundos y uno está en 0.30 segundos. Estos valores obtenidos mediante las mediciones realizadas resultan considerablemente menores que el valor que da la Norma COVENIN para sistemas apertados, indicando que los edificios medidos son más rígidos de lo que considera la fórmula de la Norma. Esta situación, reconocida por la norma, posiblemente se debe a dos razones: 1) La fórmula de la norma no incorpora el efecto rigidizador de la tabiquería y 2) La fórmula está basada en un análisis dinámico estructural teórico de edificaciones con poco ajuste comparativo con resultados de vibración ambiental. Es de hacer notar que la Norma en sus comentarios indica que “mediciones realizadas en edificios de Caracas han dado siempre valores menores a los obtenidos mediante la fórmula, ya que ésta proviene de registros acelerográficos obtenidos en edificios durante el terremoto de San Fernando y por tanto corresponden a movimientos fuertes del terreno con amplitudes de vibración y contenidos de frecuencias mayores que las correspondientes a otras técnicas de medición”. Buscando explicar los resultados, se procesaron dos edificios en construcción, de la misma altura que los analizados en este trabajo, pero que aún no tenían colocada la tabiquería y dieron un período de aproximadamente 0.40 segundos. Se podría pensar que la participación de los elementos no estructurales en la respuesta de la estructura, hacen que la misma sea más rígida y por lo tanto el período de la estructura sea menor. Tomando como representativo el valor promedio del período de las edificaciones estudiadas el de 0.20 segundos, el comparar con los períodos de 0.25 a 0.50 segundos que reportan estudios anteriores realizados al suelo de Mérida (Montilla, 1998; Hernández et al, 1998), resulta razonable ya que en todos estos estudios se usaron las mismas metodologías, técnicas y aparatos. Se observa que el período representativo obtenido para las edificaciones es ligeramente más bajo que el del suelo, pero hay que considerar que en caso de ocurrir un sismo, al agrietarse los elementos, estructurales o no, se produce una degradación de la rigidez de los mismos, flexibilizando la estructura y aumentando su período de vibración. Esto provoca que el acoplamiento vibracional entre suelo y estructura sea cada vez más posible; con el riesgo de que pudieran entrar en resonancia, sometiendo a la edificación a una sollicitación sísmica de severidad y consecuencias extremas.

Se recomienda en futuros trabajos, usar otros métodos o técnicas para medir el período de estructuras

similares a fin de corroborar los resultados obtenidos en esta investigación.

5 Agradecimiento

A los profesores Marina de Hernández y Pedro Montilla por su valiosa colaboración y asesoramiento en la discusión de este trabajo.

Referencias

- Altuve F, 1998, El gran terremoto de los andes venezolanos y las juntas de socorro. Primeras Jornadas de Sismicidad Histórica en Venezuela. Trujillo, Venezuela.
- DPLOTW, Versión 1.2, Programa para graficar señales.
- Ferrer, C y Laffaille, J, 1998, El alud sísmico de la playa: causas y efectos. el terremoto de Bailadores (1610). Primeras Jornadas de Sismicidad Histórica en Venezuela. Trujillo, Venezuela.
- Irie Y y Nakamura K, 2000, Dynamic characteristics of a r/c building of five stories based on microtremor measurements and earthquake observations, 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.
- Laffaille J, 1996, Escenario sísmico de la ciudad de Mérida, Tesis de Maestría, ULA. Mérida, Venezuela.
- Montilla P, 1998, Estacionaridad de la respuesta del sitio en depósitos aluvionales profundos, X Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, San José, Costa Rica.
- Nakajima Y, Abeki N y Watanabe D, 2000, Study on the stability of h/v spectral ratio of microtremor in short period range for the estimation of dynamic characteristics of subsurface geology, 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.
- Nakamura Y, 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface. Japón.
- Norma COVENIN 1756-98. Edificaciones Sismorresistentes, Caracas, Venezuela.
- Ordaz M y Montoya D, 1997, Programa DEGTRA, UNAM, México.
- Ramírez de H M y De Barcia A, 1998, Determinación del período predominante del suelo de la ciudad de Mérida, usando vibración ambiental, X Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sísmica, San José, Costa Rica.
- Ramírez de H M y De Barcia A., 1998, Determinación de períodos predominantes del suelo usando vibración ambiental, IV Jornadas Científico Técnicas de la Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Ramírez de H M y De Barcia A, 1999, Estudio comparativo entre sismos pequeños y registros de vibración ambiental, para la determinación de frecuencias predominantes del suelo, VI Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica, Mérida, Venezuela.