

ESTIMACIÓN DEL T_s EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA

Samuel Pachón, Ingeniero Civil, INGEOMINAS. spachon@ingeomin.gov.co
Samuel Martínez, Ing. Civil, INGEOMINAS. smartine@ingeomin.gov.co
María Luisa Bermúdez, Ing. Civil, M.Sc., INGEOMINAS. mbermu@ingeomin.gov.co
Anibal Ojeda, Ing. Civil, MPhil, Ph.D., INGEOMINAS. aojeda@ingeomin.gov.co

RESUMEN: Las condiciones locales o efectos de sitio, son de los factores más influyentes en la distribución de los daños en una ciudad durante un sismo, de allí la importancia de adelantar estudios tendientes a determinar el comportamiento dinámico de los suelos y su respuesta cuando están sometidos a cargas dinámicas como son las de un sismo. Dentro de este estudio, se llevó a cabo la determinación de efectos de sitio mediante la utilización de registros de microtrepidaciones o vibraciones ambientales y también con datos sísmicos obtenidos de una red local de acelerógrafos instalada en el área, la información sísmica sirvió de base para calibrar y verificar los resultados obtenidos con las microtrepidaciones. Para el análisis de las microtrepidaciones y los registros sísmicos se utilizó la técnica de Nakamura. Los resultados nos evidencian zonas de comportamiento dinámico distinto con períodos que van desde 0.10 seg. hasta valores del orden de 0.50 seg. Donde los períodos más cortos se presentan sobre la roca y los más largos en los sitios donde el estrato rocoso se empieza a profundizar. En este estudio se presenta el mapa de isoperíodos a partir de microtrepidaciones para el área metropolitana de Bucaramanga (Incluyendo Floridablanca, Piedecuesta y Girón), donde se da una idea de la distribución de los períodos fundamentales del suelo en el área de interés; los mapas obtenidos a partir de microtrepidaciones, pueden ser considerados como una zonificación preliminar de la zona de estudio, que debe ser complementada con estudios geotécnicos y modelaciones más detalladas del comportamiento dinámico de los suelos con el fin de establecer zonas preliminares de respuesta sísmica similar de tal forma que se puedan definir algunas recomendaciones iniciales para el diseño y construcción de edificaciones. Estas recomendaciones dependen fundamentalmente de la respuesta de sitio, que a su vez está ligada a las características geotécnicas y topográficas del mismo.

PALABRAS CLAVES: Microtrepidación, período fundamental (T_s), cociente espectral, espectro de respuesta, isoperíodo.

1. METODOLOGIA Y DATOS.

Instrumentación Sísmica.

En la ciudad de Bucaramanga se han instalado siete estaciones acelerográficas, cuya localización se observa en la Figura 1, repartidas en toda su área metropolitana, las cuales tienen por objeto el registro de sismos en los diferentes tipos de suelo presentes en la ciudad, con el fin de observar efectos de amplificación o atenuación de las ondas sísmicas debido a efectos locales. Esta red funciona desde Julio de 1996 y ha sido operada y mantenida por la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC). Actualmente se tienen registros de alrededor de ciento veinte (120) acelerogramas triaxiales, los cuales en su mayoría provienen del Nido Sísmico de Bucaramanga. El primer acelerógrafo instalado por la RNAC en Bucaramanga fue el 26 de Julio de 1995 en la hacienda La Esperanza, propiedad de la CDMB. Durante el año de 1996 se instalaron dos estaciones más, en la Universidad Industrial de Santander (UIS) y en las oficinas de la Unidad Operativa Regional de INGEOMINAS (UOR). La última fase de instalación se llevó a cabo en 1997, año en el cual cuatro acelerógrafos nuevos fueron ubicados y se retiró el acelerógrafo de INGEOMINAS. Esta red funcionó con las seis estaciones hasta Junio de 2001, fecha en la cual fue necesario trasladar los equipos ubicados en CBUC3, CBUC4 y CBUC6, ha otra región del país. En la actualidad la ciudad cuenta con tres acelerógrafos instalados, CBUC1, CBUC5, y CBUIS.

Los acelerógrafos de la Red Local de Bucaramanga son de marca KINEMATRICS, modelos SSA-2MC y ETNA de tres componentes con 16 y 24 bits de resolución, respectivamente. Los acelerógrafos disponen de almacenamiento en tarjetas de memoria PCMCIA de 1 a 5 Mbytes; algunos datos importantes sobre los instrumentos y su ubicación son presentados en la Tabla 1. Todos los sitios escogidos garantizaban el buen funcionamiento y la seguridad de los equipos.

Estación	Código	Modelo	Latitud (°)	Longitud (°)	Geología	Topografía	Observaciones
CDMB	CBUC1	ETNA	7.0695	-73.0716	Roca	Ondulada	En funcionamiento
INGEOMINAS	CBUC2	ETNA	7.0719	-73.0838	Suelo	Plana	Retirado (Julio/97)
PTAR	CBUC3	SSA-MC	7.0652	-73.1298	Suelo	Plana	Retirado (Junio/01)
GIRON	CBUC4	ETNA	7.0618	-73.1660	Suelo	Plana	Retirado (Junio/01)
PIEDRECUESTA	CBUC5	ETNA	6.9972	-73.0659	Suelo	Plana	En funcionamiento
CAÑAVERAL	CBUC6	ETNA	7.0696	-73.1044	Suelo	Plana	Retirado (Junio/01)
UIS	CBUIS	ETNA	7.1407	-73.1185	Suelo	Plana	En funcionamiento

Tabla 1 Características de la Red Local de Acelerógrafos de Bucaramanga

Microtrepidaciones en el área Metropolitana de Bucaramanga.

Las microtrepidaciones son vibraciones de baja amplitud del terreno y están conformadas por ondas internas y superficiales, pueden ser de período largo y corto. Las primeras mayores a 1 seg. y están conformados por ondas superficiales Rayleigh y Love generadas por fuentes naturales, como el viento, olas del mar y variaciones de presión de aire; las segundas son de período menor a 1 seg. y son producidos por fuentes artificiales tales como el tráfico vehicular, actividad de plantas industriales, maquinarias, es decir, básicamente de carácter antrópico.

La zona de estudio considerada, corresponde al área metropolitana de Bucaramanga, la cual comprende la ciudad de Bucaramanga y los municipios de Floridablanca, Piedecuesta y Girón. El trabajo tuvo una duración de seis meses, en los cuales se realizaron dos fases de mediciones en campo, la primera durante Octubre de 2000, tomando 154 sitios para el registro de microtrepidaciones, la segunda fase durante Diciembre de 2000, con el fin de complementar la información previa, tomando datos en 83 sitios adicionales. En total se tomaron registros en 237 sitios distintos, en cada uno de estos sitios se tomaron al menos tres registros de vibración ambiental con una duración alrededor de 20 seg., durante lapsos de tiempo donde los ruidos locales fueran bajos, para que la señal no se viera afectada. La posición geográfica de cada uno de los puntos se obtuvo con medidas de GPS, su localización se muestra en la Figura 1. Para la selección de los sitios se tuvieron en cuenta varios factores: que fuera un suelo representativo de la zona, que no se tuvieran ruidos locales cerca, que estuviera en campo libre, que no pasaran vías de alto flujo vehicular cerca y que estuviera alejado de edificios o árboles altos.

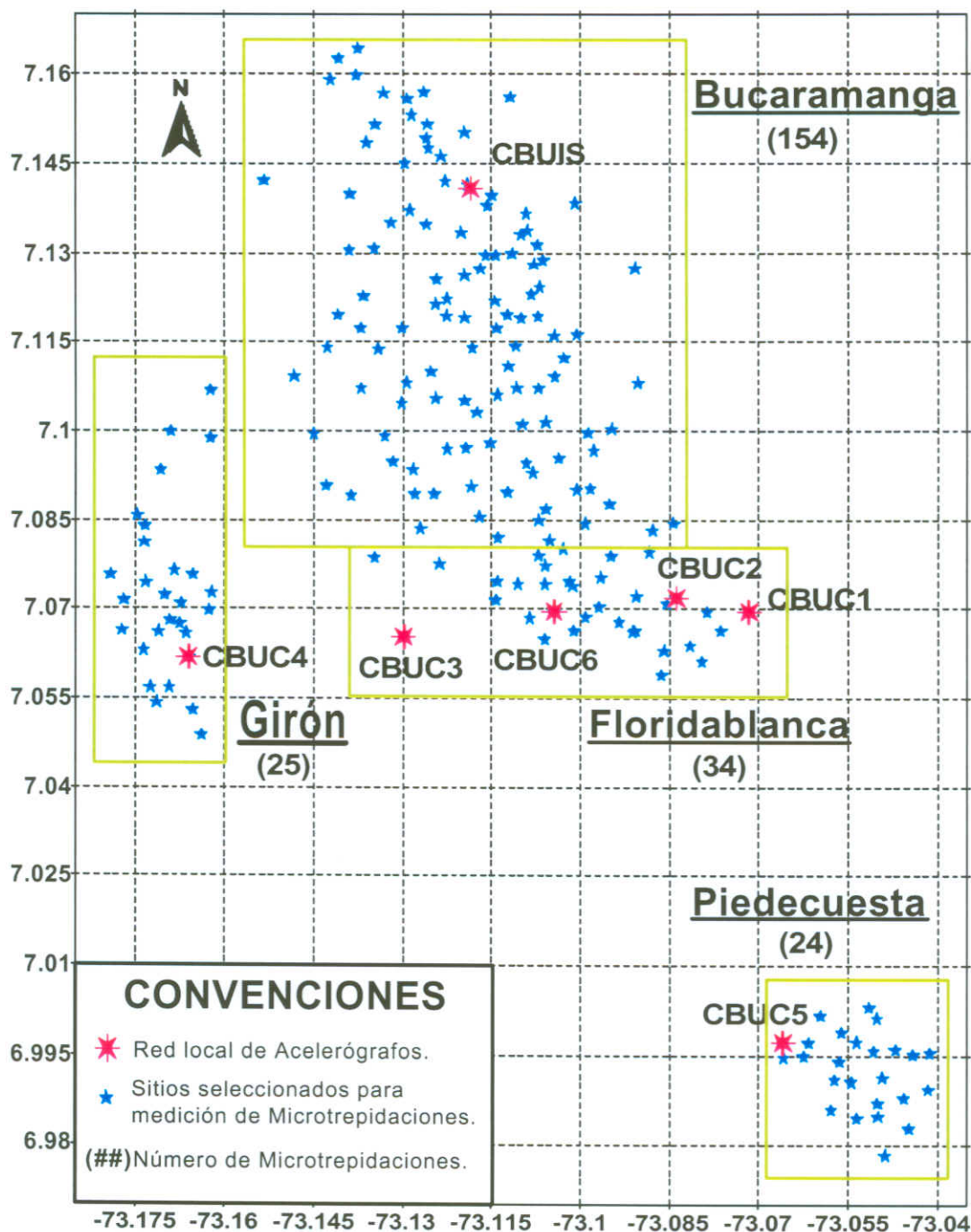


Figura 1 Localización de la Red local de Acelerógrafos de Bucaramanga y de los puntos donde se realizaron mediciones para el estudio de vibración ambiental (Microtrepidaciones).

El equipo utilizado para registrar las microtrepidaciones fue un acelerógrafo Kinematics, Modelo ETNA con tres sensores FBA triaxiales ortogonales con rango dinámico de 108 dB y 24 bits de resolución. La frecuencia de muestreo utilizada fue de 200 muestras por segundo, (frecuencia de Nyquist 100 Hz). La respuesta lineal de los sensores va desde DC hasta 80 Hz. El mecanismo de disparo se configuró de forma manual, activado por un computador portátil.



Técnica utilizada en el Análisis de Microtrepidaciones.

Para el análisis de microtrepidaciones, se utilizó el cálculo de las relaciones espectrales entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio o técnica de Nakamura.

Técnica de Nakamura

Nakamura (1989), propuso que las microtrepidaciones podían evaluar los efectos de sitio simplemente evaluando la relación o cociente espectral entre las componentes horizontales y verticales del movimiento registrado en el mismo sitio. El método asume que :

Las microtrepidaciones consisten de ondas Rayleigh, propagándose en una capa que está encima de un espacio infinito.

El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas. Las fuentes locales no afectan el movimiento de las microtrepidaciones en la base del estrato de suelo.

Considerando un estimador de los efectos de sitio de interés, estarían dados por :

$$S_E = H_s(w) / H_b(w) \quad (1)$$

donde S_E representa el espectro de los efectos de sitio, $H_s(w)$ es el espectro de la onda horizontal en superficie y $H_b(w)$ es el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento.

Puesto que las ondas internas de las microtrepidaciones contienen ondas de superficie es necesario corregirlas removiendo los efectos de ondas superficiales. Nakamura asume que el efecto de las ondas Rayleigh (A_s), está incluido en el espectro de ondas verticales superficiales (V_s) y no en la base del movimiento (V_b) y consecuentemente este puede ser definido como:

$$A_s(w) = V_s(w) / V_b(w) \quad (2)$$

Removiendo el efecto de ondas Rayleigh, el espectro de sitio modificado queda definido por:

$$S_M(w) = S_E(w) / A_s(w) = (H_s / V_s) / (H_b / V_b) \quad (3)$$

Nakamura demostró experimentalmente, usando registros de borehole y microtrepidaciones que:

$$H_b(w) / V_b(w) \approx 1 \quad (4)$$

De lo anterior queda que:

$$S_M(w) \approx H_s(w) / V_s(w) = N_s(w) \quad (5)$$

De esta manera, Nakamura concluyó que la relación o cociente espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio puede ser usada como un estimativo de los efectos de sitio para ondas internas. La técnica de Nakamura es muy atractiva, ya que elimina los efectos de fuente, patrón de radiación, directividad y camino que se presentan en los sismos. Sin embargo, la validez de la técnica de Nakamura no ha sido aun bien establecida, especialmente en estratos de suelos blandos muy profundos.

Lermo y Chávez-García (1994), modelaron las microtrepidaciones como ondas Rayleigh propagándose a través de una capa sobre un semiespacio infinito, la técnica de Nakamura fue evaluada en este modelo y los resultados mostraron que las hipótesis de Nakamura es consistente con la propagación de ondas Rayleigh.

Lachet y Bard (1995), investigaron la aplicabilidad tanto numérica como teórica de la técnica de Nakamura, considerando registros en una estación sujeta a fuentes de ruido aleatorio. Ellos concluyeron, que la técnica de Nakamura puede ser usada para determinar la frecuencia fundamental de resonancia del estrato de suelo blando, pero falla al predecir la amplificación de las ondas en superficie. Además, ellos mostraron que la frecuencia fundamental de resonancia del estrato obtenida con la técnica de Nakamura, usando simulaciones de ruido ambiental es independiente de la fuente de excitación, dependiente de la relación de Poisson's y controlada por la curva de polarización de las ondas Rayleigh.

Yamanaka (1996), investigó la aplicabilidad de la técnica de Nakamura en microsismos de la región de Kanto Plain, Japón. Él encontró que el espectro obtenido con la técnica de Nakamura es estable con el