

5.4 ANALISIS DE LA RESPUESTA DINAMICA

Los efectos de sitio que se analizan a continuación, serán discutidos en términos de un modelo de una dimensión, y cuyos principales resultados son el periodo predominante y los factores máximos de amplificación de los suelos presentes en el Area Metropolitana.

5.4.1 Resultados del modelo usando pruebas SASW

Las Figuras V-6 y V-7 muestran las funciones de transferencia obtenidas a partir de los modelos propuestos para cada uno de los sitios con base en los resultados de las pruebas de SASW para sismos débiles ($PGA < 0,15$ g) y fuertes ($PGA > 0,15$ g), respectivamente.

Primeramente, es fácil notar que al utilizar registros sísmicos fuertes para el modelado, los valores de periodo correspondientes a los picos de las funciones de transferencia se incrementan ligeramente con respecto a los obtenidos con sismos débiles (observar específicamente el promedio de cada gráfico).

Dentro de los resultados obtenidos usando registros débiles, al tener todos un nivel semejante de PGA, se observa que las funciones de transferencia son muy semejantes entre ellas y muy parecidas al promedio de cada sitio. El periodo fundamental más corto lo presentó el sitio Desamparados (0,25 s) y el más alto Napoleón Quesada (0,38s), lo que indica una variación no muy grande entre los periodos fundamentales modelados con registros de valor bajo de PGA. Con respecto a los niveles de amplificación del primer modo de vibración, se observa en la Tabla V-2 que son bastante semejantes para todos los sitios analizados, siendo el mayor en Hatillo (HAT) y menor en el Parque Nacional.

Para el caso de sismos fuertes, se observa un incremento en el rango de los valores del periodo fundamental, observándose en Desamparados un valor mínimo de 0,28s y en Guadalupe (Napoleón Quesada) el máximo de 0,44s. Los niveles de amplificación obtenidos de las razones espectrales (Salas, 1999), continúan siendo semejantes entre todos los sitios pero menores que para sismos débiles, como era de esperarse (Tabla V-2).

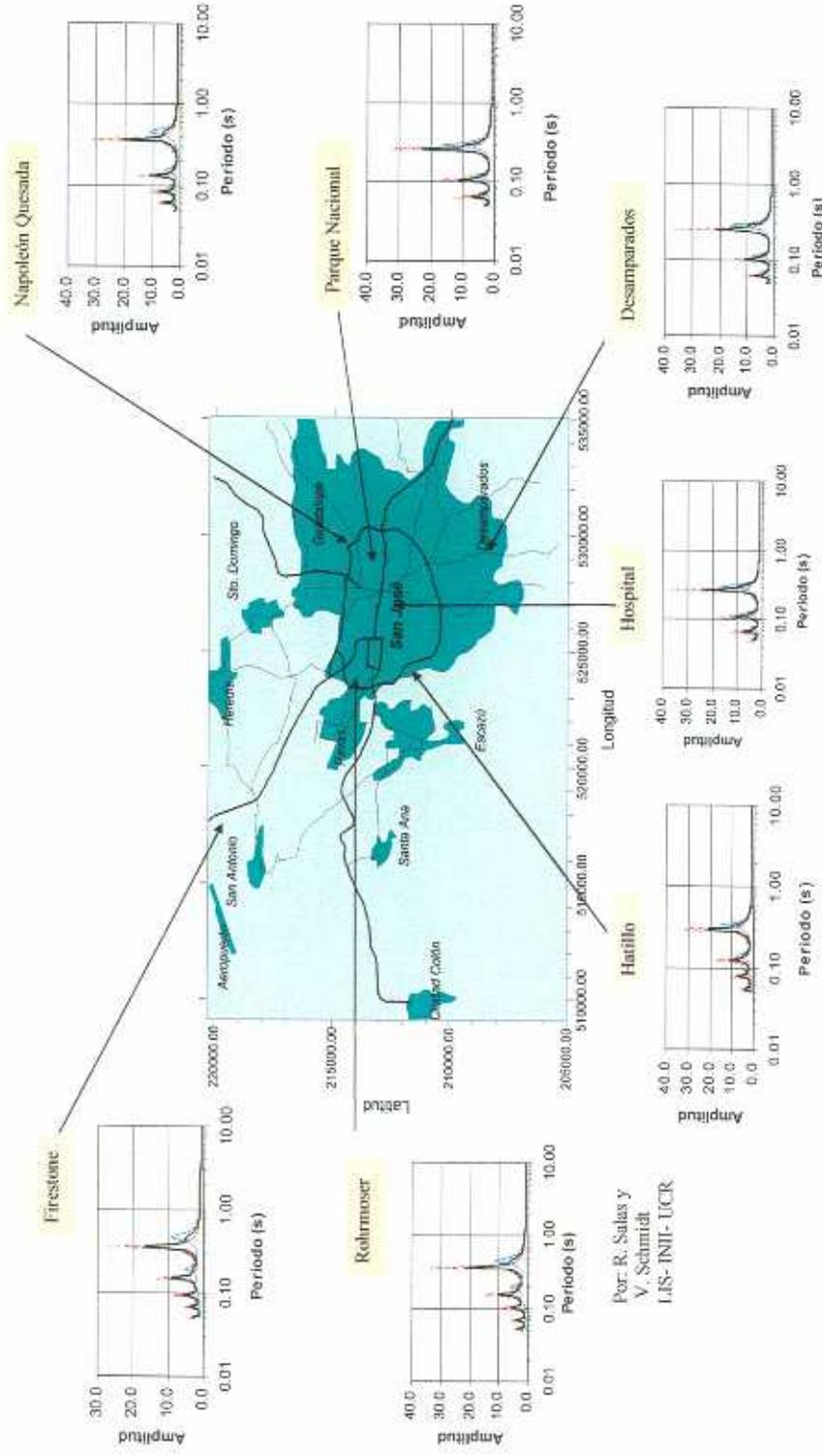
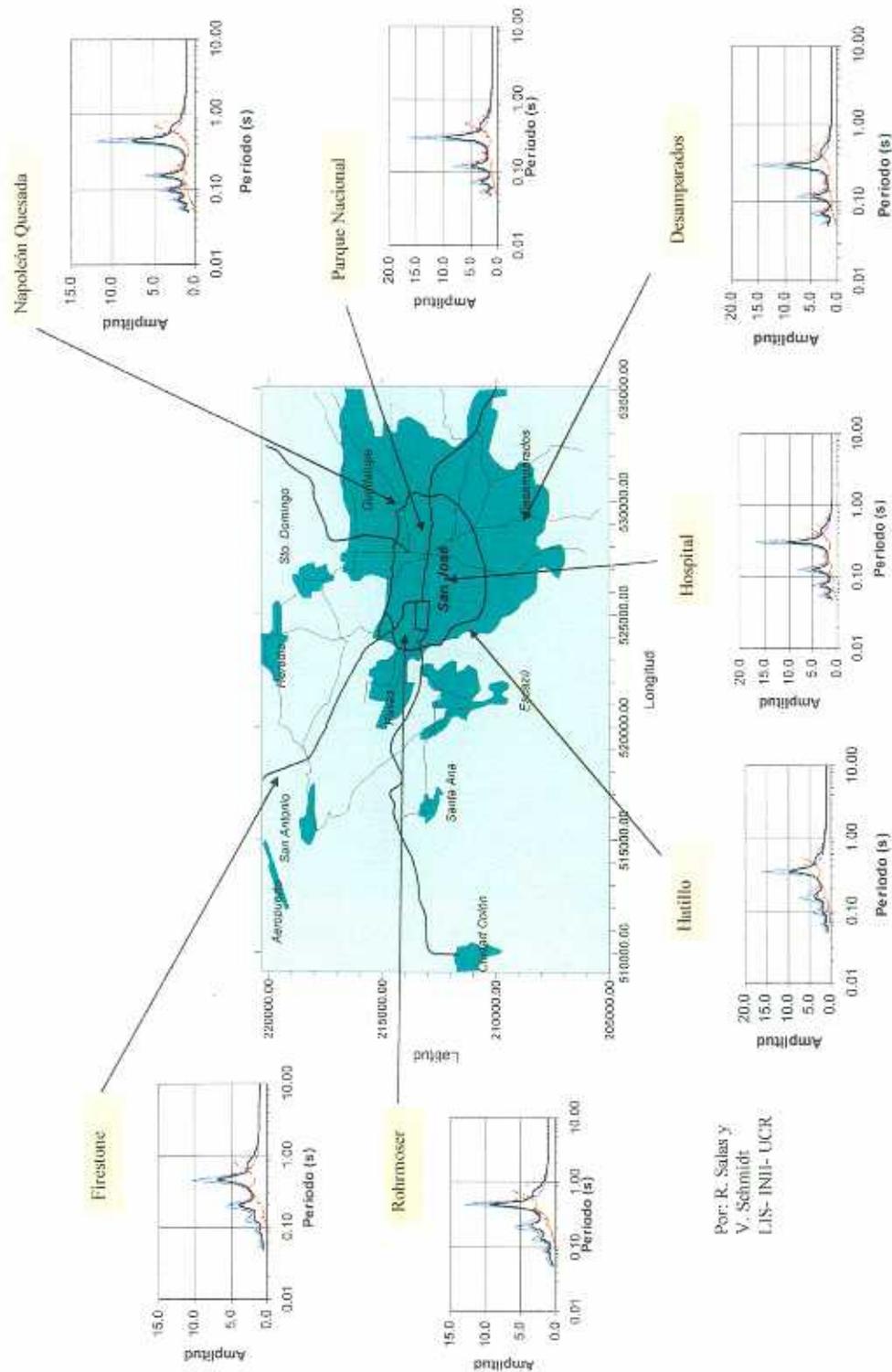


Fig. V-6. Funciones de transferencia modeladas con el programa SHAKE, a partir de velocidades de onda cortante obtenidas por medio de las pruebas SASW, para señales débiles de entrada.

Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de San José



Por: R. Salas y
V. Schmidt
LIS- INII- UCR

Fig. V-7. Funciones de transferencia modeladas con el programa SHAKE, a partir de velocidades de onda cortante obtenidas por medio de pruebas SASW, para señales fuertes de entrada.

Tabla V-2. Amplificaciones máximas obtenidas de las razones espectrales modeladas con el programa Shake, para el primer modo de vibración.

Estación	Amplificación máxima según razones espectrales modeladas			
	PGA < 0,15 g		PGA > 0,15 g	
	SASW	R. Sísmica	SASW	R. Sísmica
ROH	5,0	5,4	4,1	4,1
FIR	5,0	-----	3,8	-----
HAT	5,2	4,6	4,2	4,0
DES	4,0	-----	3,5	-----
CAR / Nap. Quesada	4,0	-----	2,9	-----
Ribera	-----	5,0	-----	3,1
Hospital	4,7	-----	3,9	-----
P. Nacional	4,3	-----	3,8	-----
UCR / Deport.	-----	5,1	-----	4,9
Gravilias	-----	4,5	-----	3,9
Curridabat	-----	4,9	-----	2,0
Sabana	-----	5,3	-----	2,7

Es importante mencionar que los altos niveles de amplificación determinados en el sitio denominado como ROH, tanto del primer como del segundo modo, pueden estar relacionados con los daños observados después del terremoto de Piedras Negras (22/12/90) en Rohrmoser. Las estructuras más dañadas en esta zona fueron casas de habitación (estructuras de uno y dos pisos, que son consideradas como rígidas), cuyo periodo fundamental se puede estimar entre 0,1 y 0,2 segundos. Los resultados del modelo dan una importante amplificación en el segundo modo (estimado en 0,2 s). Esto pudo haber provocado importantes efectos de resonancia entre el medio y algunas estructuras rígidas, aún cuando se encontraban ubicadas a una distancia epicentral aproximada de 20 km.

5.4.2 Resultados del modelo usando pruebas de refracción sísmica.

Las funciones de transferencia obtenidas a partir de datos suministrados por pruebas de refracción sísmica se muestran en las Figuras V-8 y V-9.

Para sismos débiles, se observa que el rango de periodos fundamentales (el promedio por sitio) varía entre 0,16 s (en Escazú) a 0,67 s (en Sabana), que es un rango bastante más amplio que el dado por los análisis realizados con las pruebas SASW. Debe mencionarse además que se obtuvo una mejor lectura de los parámetros dinámicos de capas

profundas de suelo cuando se utilizaron pruebas de refracción sísmica, específicamente para profundidades mayores que los 15 m.

Los sitios Curridabat y Sabana presentan características singulares, ya que tienen velocidades de onda cortante bajas aún a espesores profundos en comparación con los otros sitios (Fig. V-1). Estas parecen ser situaciones específicas dentro del área de estudio, ya que los demás sitios mostraron gran similitud en los valores de velocidad de onda cortante. Debido a lo anterior, los resultados obtenidos en Sabana y Curridabat no pueden generalizarse para toda el área de estudio, además, deben ser considerados como resultados puntuales para los sitios de medición, aún dentro de las zonas conocidas con esos nombres.

Los niveles de amplificación del primer modo de vibración modelado (Tabla V-2) varían entre 4,9 y 5,4, valores que son semejantes a los observados para los de pruebas SASW. Con respecto a los resultados obtenidos a partir de registros sísmicos fuertes, los periodos fundamentales de los perfiles considerados se incrementan. En este caso se tiene un rango de variación entre 0,30 (Escazú) y 1,2 s (Sabana), siendo nuevamente los correspondientes a los puntos singulares (Sabana y Curridabat) los de mayor valor de periodo. Una particularidad de los modelos obtenidos para estos dos sitios, es que los niveles de amplificación del primer y segundo modos de vibración identificados son muy semejantes, por lo que varios tipos estructurales verán amplificada su respuesta (Tabla V-3). En el caso del sitio puntual denominado como Curridabat, según el modelo tendrán resonancia con el medio estructuras de 1, 2 y 10 pisos.

Tal y como lo muestran las Figuras V-6, V-7, V-8 y V-9, para los demás sitios en los que se realizaron pruebas de geofísica, tanto los niveles de amplificación como del rango de periodos son semejantes a los obtenidos a partir mediciones hechas con pruebas SASW.

Tabla V-3. Amplificaciones obtenidas a partir de modelos para el primer y segundo modos en los sitios de Curridabat y Sabana, para sismos fuertes como excitación de entrada

Sitio	Primer modo (s)	Segundo modo (s)	Amplificación 1er. Modo	Amplificación 2do. Modo
Curridabat	1,2	0,15	2,0	1,5
Sabana	1,1	0,35	2,2	1,6

Microzonificación Sísmica del Área Metropolitana de San José

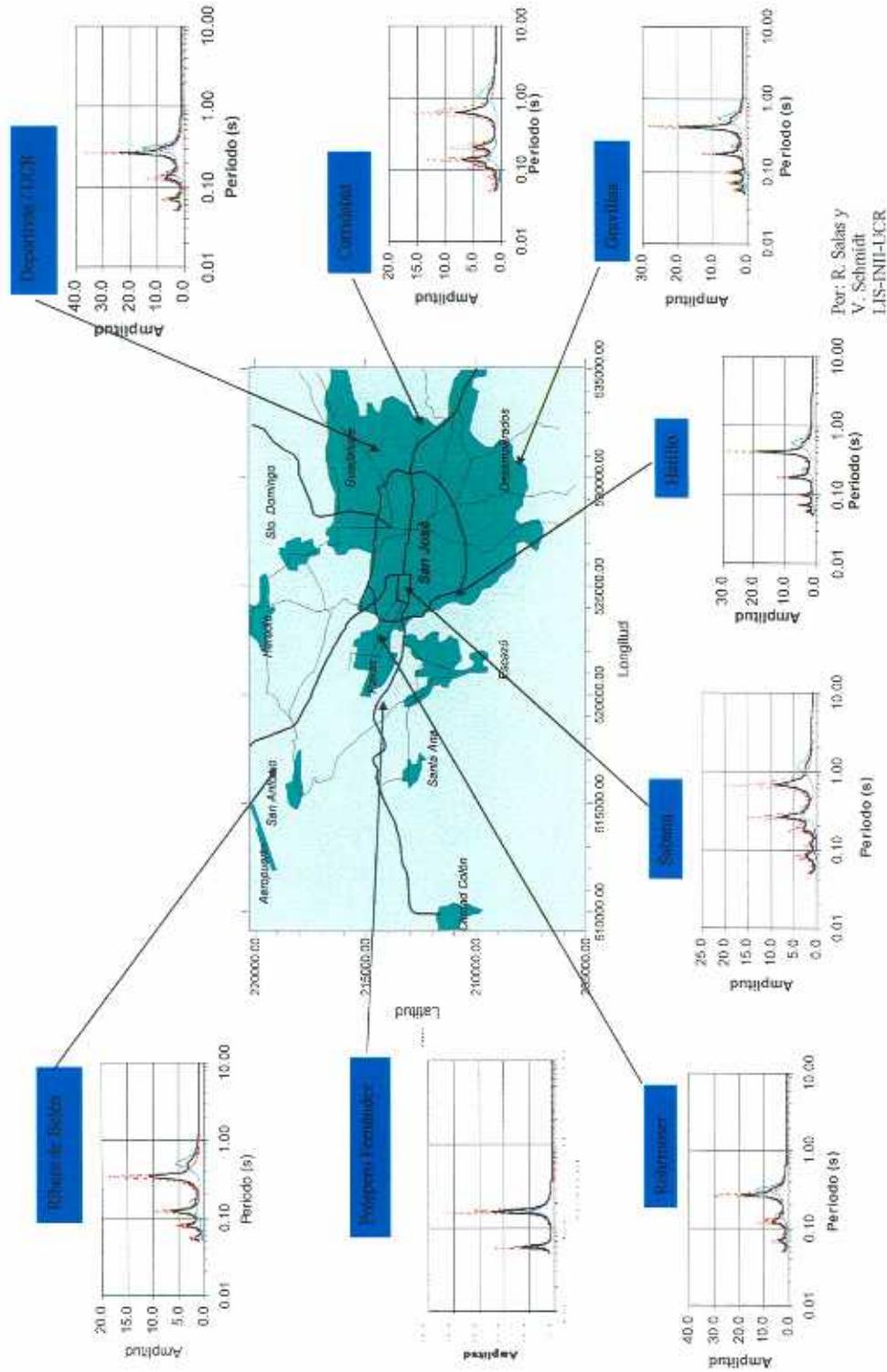


Fig. V-8. Funciones de transferencia modeladas con el programa SHAKE, a partir de velocidades de onda cortante obtenidas por medio de pruebas de refracción sísmica, para señales débiles de entrada.

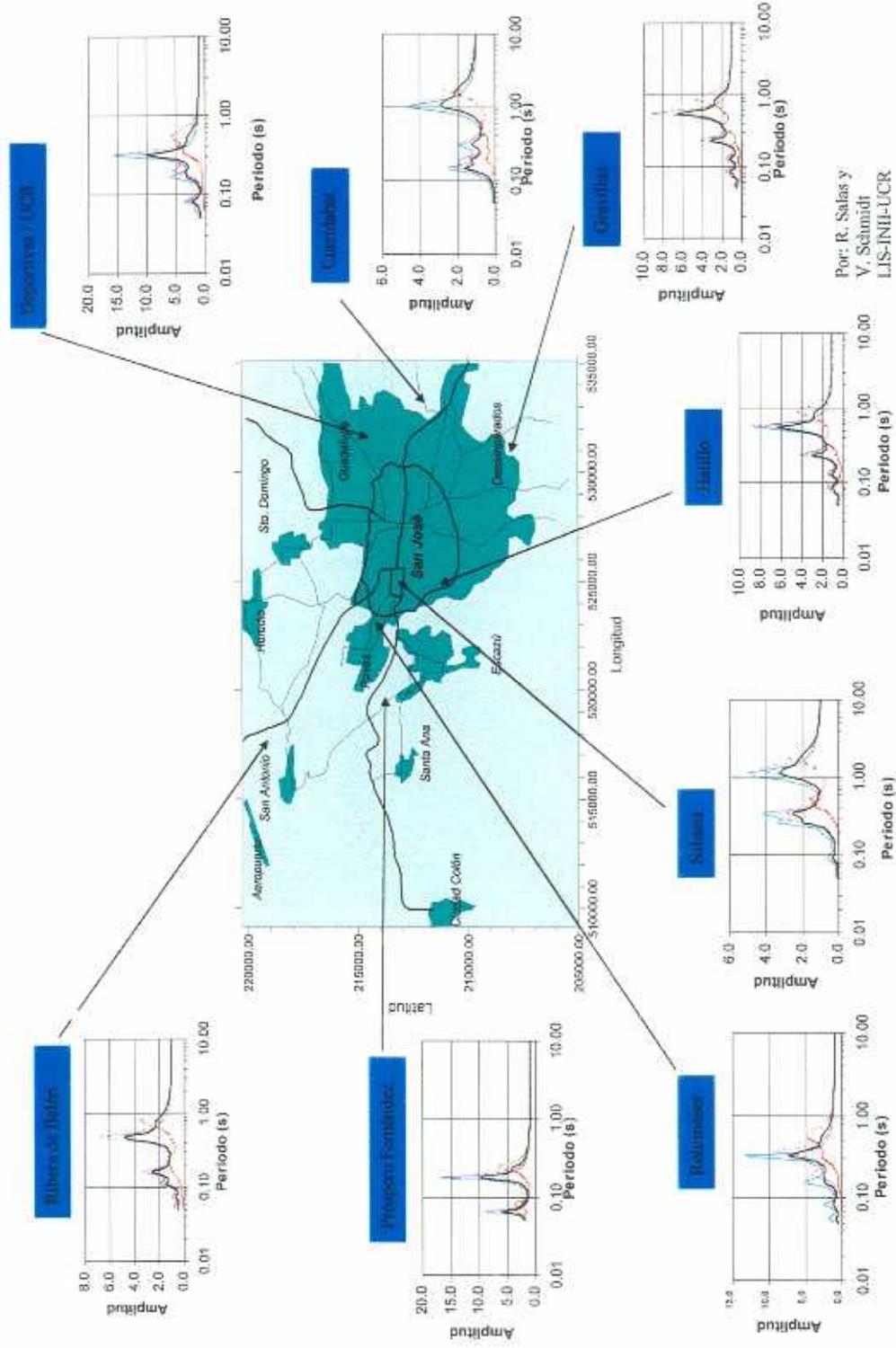


Fig. V-9. Funciones de transferencia modeladas con el programa SHAKE, a partir de velocidades de onda cortante obtenidas por medio de pruebas de refracción sísmica, para señales fuertes de entrada.

5.5 CONCLUSIONES

En este capítulo se utilizó una técnica de estimación analítica para caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos en el área de estudio. De los resultados obtenidos se ha determinado un rango de valores entre 0,25s (en suelos más firmes) y 0,45s (suelos menos firmes), utilizando registros débiles como entrada (aceleraciones menores que 0,15 g). Este rango de periodos fundamentales se incrementó a valores entre 0,3s y 0,55s para los registros moderados y fuertes (aceleraciones mayores que 0,15g). Hay dos sitios que presentaron condiciones singulares: Sabana y Curridabat, ya que las velocidades de onda cortante en las capas más superficiales son menores que 100 m/s. Esto produjo un incremento considerable en el periodo fundamental de estos sitios con respecto al resto de los puntos analizados, llegando los mismos a ser de 1,0s.

En el caso de los factores de amplificación, se encontró valores promedio de entre 2 y 2,5 los cuales concuerdan bastante bien con curvas empíricas desarrolladas a nivel mundial con base en promedios de velocidad de la onda cortante en el sitio (Bard, 1995), y a los utilizados regularmente para provisiones de carga sísmica en los códigos de diseño y construcción (API, 1993; NEHRP, 1997; Borchardt, 1994).

5.6 REFERENCIAS

American Petroleum Institute, 1993: Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platform-load and resistance factor design. API Recommended Practice 2A-LRFD, First edition, July 1.

Borchardt, R., 1994: Estimates of site-dependent response spectra for design (Methodology and Justification). Earthquake Spectra, Vol. 10, No.4, 617-653.

EduPro Civil Systems, Inc., 1998: PROSHAKE Ground motion analysis program. Users's manual. Version 1.0, Redmond, Washington. 52 pp.

Nadim, F., 1991: AMPLE, A computer program for analysis of amplification of earthquakes. Internal Report No. 51508-20, rev.2 Norwegian Geotechnical Institute. 23 pp.

NEHRP, 1997: NEHRP Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Part 1: Provisions (FEMA 302)

Salas, R., 1999: Análisis de la amplificación dinámica de suelos del Area Metropolitana de San José mediante perfiles de suelo. Informe final de Trabajo de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José. 114 pp.

Schmidt, V. y R. Salas. 1999: Efectos de sitio en suelos del Area Metropolitana de San José, evaluados a partir de modelos. Informe parcial de investigación. Universidad de Costa Rica. 20 pp.

Selnes, P.,1997: SHAKE (N), A computer program for earthquake response in horizontally layered sites. Norwegian Geotechnical Institute. Report No. 51508-23. 43 pp.

Shnabel, P., J. Lysmer y H. Bolton, 1972: SHAKE, A Computer Program for Earthquake Response in Horizontally Layered Sites. Report No. EERC 72-12. Earthquake Engineering Research Center. University of California in Berkely. 88 pp.