

Capítulo VII

Resultados del programa de análisis de respuesta sísmica del terreno

7.1 Movimientos sísmicos de entrada y su influencia en la amplificación sísmica

Como se mencionó en el Capítulo IV los principales factores que influyen en el movimiento sísmico del terreno son:

1. Magnitud del sismo
2. Distancia del sitio a la fuente de liberación de energía
3. Características geológicas de las rocas a lo largo de la trayectoria de las ondas sísmicas desde la fuente hasta el sitio
4. Mecanismo de la fuente sísmica
5. Los efectos de la interferencia de ondas relacionado con la dirección y rapidez de la ruptura de la falla
6. Condiciones locales del suelo en el sitio

La importancia del nivel energético de un sismo en los niveles de deformación de las capas del suelo o roca se traduce en las diferencias observadas en los resultados obtenidos. Sismos de características diferentes pueden producir diferentes niveles de deformación en las capas del suelo o roca y las propiedades de estos dependen del nivel de deformación. Por ejemplo si en un estudio de análisis teórico de respuesta del terreno como el análisis lineal equivalente se utilizan sismos con diferente aceleración máxima es posible que hayan cambios en los resultados de las funciones de transferencia. La tabla 7.1 y las figuras 7.1 y 7.2 muestran los valores espectrales de aceleración y velocidad para los sismos de Limón y Loma Prieta. El sismo de Limón cuyo epicentro tuvo lugar cerca de la costa atlántica de Costa Rica y mecanismo de ruptura inverso difiere del sismo de Loma Prieta en que este ocurrió a lo largo del segmento este de la Falla San Andrés y sur de Santa Cruz, California, el cual está asociado a un mecanismo de ruptura de desplazamiento de rumbo. Debe de esperarse que el patrón de radiación de la energía sea diferentes en ambos casos. Para efectos del estudio se supone que lo mejor es utilizar un sismo de subducción registrado en roca en la Península de Nicoya a una distancia promedio de 115 km desde la fuente sísmica al sitio de evaluación que puede presentar amenaza de amplificación sísmica. Sin embargo por razones de disponibilidad el sismo de Limón registrado en roca en la estación Cachí se consideró como buena opción para la evaluación de la amplificación sísmica en la Península de Nicoya, y comparar los resultados con el sismo de Loma Prieta cuyo escenario geológico es diferente al de Costa Rica. El sismo de Limón registrado en la estación Cachí presenta la ventaja de contener un rango de frecuencias bajas parecido al de un sismo de subducción, debido a que fue registrado a una distancia de 80 km. Al parecer los sismos de subducción registrados a largas distancias tienden a filtrar las altas frecuencias debido a la trayectoria de las ondas. El Anexo 1 muestra las principales características de ambos movimientos de entrada. Se puede observar que los niveles energéticos son diferentes al evaluar la intensidad de Arias y los espectros de potencia de la aceleración; el contenido de frecuencias al evaluar los espectros de aceleración de Fourier y la respuesta espectral en los espectros de respuesta para ambos sismos.

Tabla 7.1: Valores espectrales de los movimientos sísmico de entrada utilizados

	Sismo de Limón			Sismo de Loma Prieta							
	Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	Estación	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	Estación
Aceleración espectral	1	0.55	1.82	0.38		Cachi	0.65	1.54	0.21		Y.B.
	2	0.85	1.18	0.28		Cachi	0.32	3.13	0.15		Y.B.
	3	0.24	4.17	0.29		Cachi	0.46	2.17	0.16		Y.B.
Velocidad espectral	1	0.65	1.18		37.60	Cachi	0.65	1.54		21.70	Y.B.
	2	0.55	1.82		32.60	Cachi	1.44	0.69		19.50	Y.B.
	3	1.38	0.72		25.30	Cachi	2.13	0.47		19.60	Y.B.

Fig 7.1: ESPECTRO DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES "SISMO DE LIMÓN" (5% amortiguamiento)

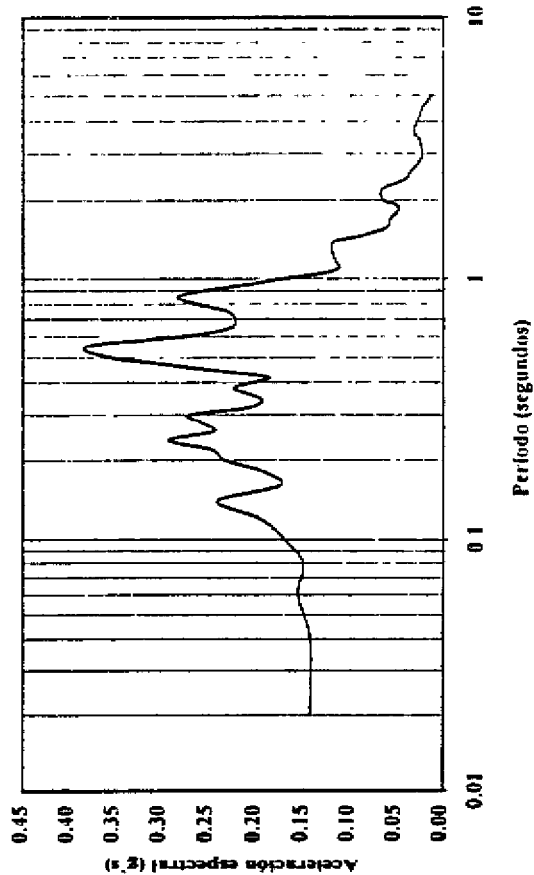
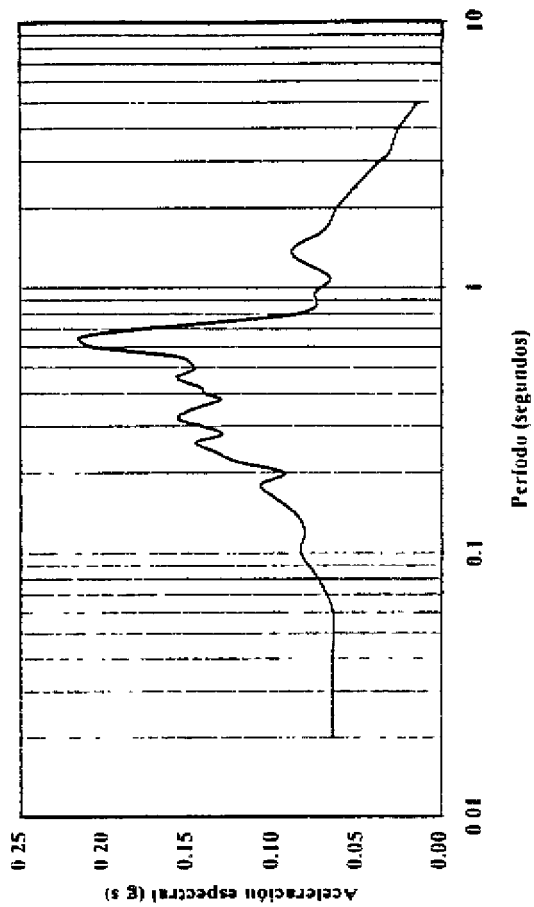


Fig 7.2: ESPECTRO DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES "SISMO DE LOMA PRIETA" (5% amortiguamiento)



7.2 Resultados generales del programa

El programa presenta un ploteo de los resultados de cada pozo analizado agrupados en seis parámetros principales, a partir de los cuales se pueden correlacionar los resultados. Los presenta para cada una de las capas del modelo geológico de capas utilizado. Para este estudio se consideraron los resultados de la última capa.

1. Parámetros del movimiento del terreno: presenta los registros sintéticos de aceleración, velocidad y desplazamiento; las amplitudes de Fourier de las aceleraciones, velocidades y desplazamientos; los espectros de potencia de las aceleraciones, velocidades y desplazamientos;
2. Parámetros de esfuerzo y deformación: presenta la variación temporal de las deformaciones y esfuerzos de cizalla; las amplitudes de Fourier para las deformaciones y esfuerzos de cizalla; los espectros de potencia para las deformaciones y esfuerzos de cizalla;
3. Parámetros espectrales: se presentan los espectros de respuesta para un amortiguamiento dado de las aceleraciones, velocidades y desplazamientos;
4. Parámetros variables con la profundidad para cada capa del modelo de capas geológicas utilizado: aceleración pico; velocidad pico; desplazamiento pico; esfuerzo de cizalla pico; deformación por cizalla pico; deformación por cizalla efectiva; módulo de cizalla; razón de amortiguamiento; razón de esfuerzo cíclico;
5. Otros parámetros de interés en la ingeniería sísmica: se incluyen para cada capa del modelo de capas la aceleración pico, velocidad pico, desplazamiento pico, aceleración RMS, intensidad de Arias, intensidad de respuesta espectral, período predominante y duración Bracketed;
6. Funciones de Transferencia que incluye amplitud, ángulo de fase, parte real y parte imaginaria.

Todos estos parámetros de interés en la ingeniería sísmica se presentan como ejemplo para un solo pozo en el Anexo 2 (primer grupo de estudio pozo CN-73). También se presenta el perfil geológico de cada pozo y una tabla con las principales características de cada perfil. Para propósitos de esta investigación se consideraron solamente los parámetros espectrales y las funciones de transferencia de la primera capa geológica dada en el modelo de capas geológicas de cada pozo analizado en cada grupo de estudio. Sin embargo observando los resultados de cada capa del perfil geológico, principalmente para aquellos parámetros que varían con el tiempo, se nota una fuerte influencia de las características de la fuente sísmica que representa en este caso el movimiento de entrada (acelerograma) con los resultados obtenidos en cada capa del modelo de capas geológicas.

En el apartado 7.4 se analizan los resultados espectrales y las funciones de transferencia obtenidos de los pozos analizados en el área de estudio. Con esto se correlacionan los principales factores involucrados en la amplificación sísmica para los dos movimientos sísmicos utilizados.

7.3 Métodos espectrales y funciones de transferencia

Los métodos espectrales se basan en el cálculo del "Espectro de Respuesta". Existen varios aspectos que tienen influencia en las características del espectro de respuesta, como la magnitud, el mecanismo de ruptura de la falla y la distancia entre la estación y el epicentro, parecen ser los más importantes.

Los depósitos de suelos se comportan como un filtro que atenúa las diferentes frecuencias de las ondas que forman la señal base. Este proceso de filtrado o transformación del terreno y su importancia en el comportamiento de las estructuras se logra visualizar en forma más clara, cuando se utiliza el espectro de respuesta del registro obtenido de la superficie.

Dicho filtro es una función de tipo espectral (función que depende de la frecuencia o el período), que denominamos generalmente como espectro de amplificación del depósito de suelo en particular, o función de transferencia, que toma la señal base y la transforma a medida que está viajando hacia la superficie. Obsérvese también que la señal en suelo se amplifica para los períodos largos con respecto a la respuesta en roca (fig 4.10, Cap IV).

La función de transferencia se define como la razón entre la amplitud del movimiento del suelo en la superficie respecto a la amplitud en roca aflorante, y se supone que es característica de cada sitio. Permite determinar a cuáles frecuencias o períodos se producen las mayores amplificaciones en el terreno. Los factores de amplificación obtenidos de dichas funciones se aplican a los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento espectral.

Los espectros de respuesta describen la respuesta máxima de un sistema de un grado de libertad ante una excitación sísmica o historia de aceleraciones dada, como una función de la frecuencia natural y amortiguamiento propios del sistema. Por tanto las formas de los espectros de respuesta indican que los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento están asociados a rangos de frecuencia diferentes. Por eso generalmente estos se dividen en tres zonas: zona de dominio de la aceleración (frecuencias altas); zona de dominio de la velocidad (frecuencias intermedias); y zona de dominio del desplazamiento (frecuencias bajas). Dado que el espectro representa el movimiento en una componente, lo usual es evaluar este en una región determinada a partir de un registro de aceleración del terreno, tomando la componente horizontal de mayor amplitud que representa el movimiento de estrada en el programa. Como es sabido las velocidades y desplazamientos se obtienen por integración y por lo tanto pueden tener errores implícitos en el proceso de integración. Los resultados que se presentan a continuación están divididos en tres grupos de estudio y presentados principalmente en términos de los espectros de respuesta de las aceleraciones como ploteos espectrales. Sin embargo en las tablas se presentan los valores de aceleraciones y velocidades espectrales para cada grupo de estudio y sus respectivas funciones de transferencia. Con esto se pueden correlacionar los tres parámetros y obtener resultados generales del área de estudio. La importancia de las funciones de transferencia trasciende en el hecho de que constituyen una forma de corroborar los datos espectrales, dado que en principio los resultados de estas dependen más de las características del perfil geológico que del movimiento de entrada.

7.4 Espectros de respuesta propuestos y funciones de transferencia

Partiendo del conocimiento geológico y geotectónico del área, la metodología de trabajo permitió distribuir el estudio de amplificación en tres regiones a lo largo de lo que se considera el eje sinclinal de la cuenca del Tempisque (ver Mapa de Pozos, fig 6.1). De esta forma los resultados se exponen en tres grupos. En el estudio se analizó solamente la litología considerada como suelo blando, clasificado como aluvión (Qal) de amarillo en el Mapa Geológico y Tipo D en el Mapa Tipos de Suelos (fig 6.1), o bien considerados como depósitos inconsolidados.

El primer grupo se ubica en la parte noroeste de la región, comprendiendo aquellos depósitos inconsolidados ubicados en las Hojas Carrillo Norte y Belén (tabla 7.2 y fig 6.1), cuyo espesor de suelo blando varía entre los 33 y 60 metros (Anexo 2). La tabla 7.2 muestra los resultados de aceleración y velocidad espectral para los siete pozos que forman este primer grupo. También se muestran los resultados de las funciones de transferencia que integran este primer grupo. Los resultados muestran la respuesta de la última capa del modelo de capas geológicas para los dos movimientos de entrada (Sismo de Limón, 1991; Sismo de Loma Prieta, 1989). Se muestran los espectros de respuesta de las aceleraciones para 5% de amortiguamiento (figs 7.3 y 7.4), de los cuales se obtuvo el espectro de respuesta promedio (media aritmética) que se observa en la fig 7.5.

Fig 7.3: ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMÓN" (5% amortiguamiento)

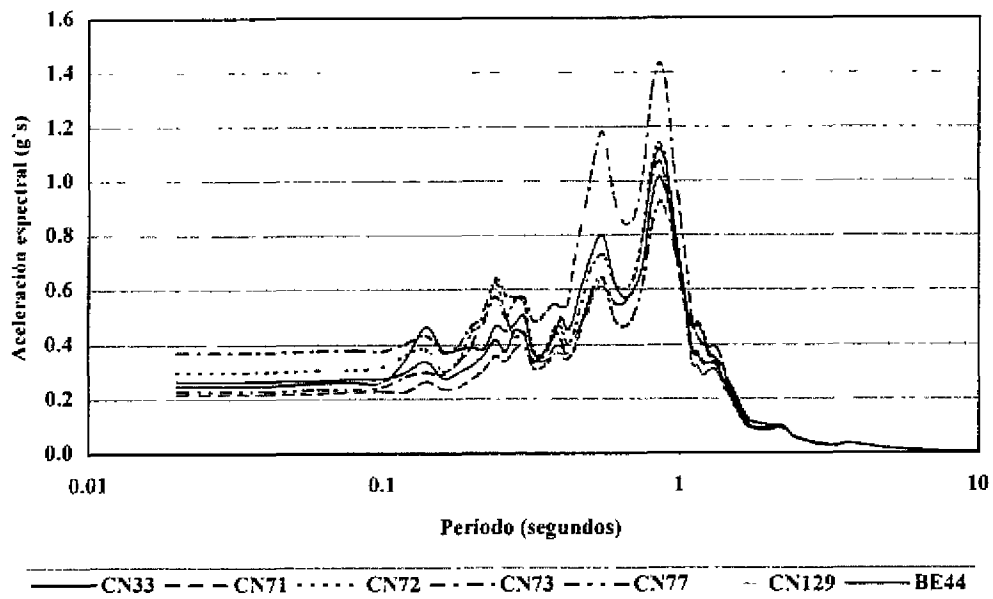


Fig 7.4: ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA" (5% amortiguamiento)

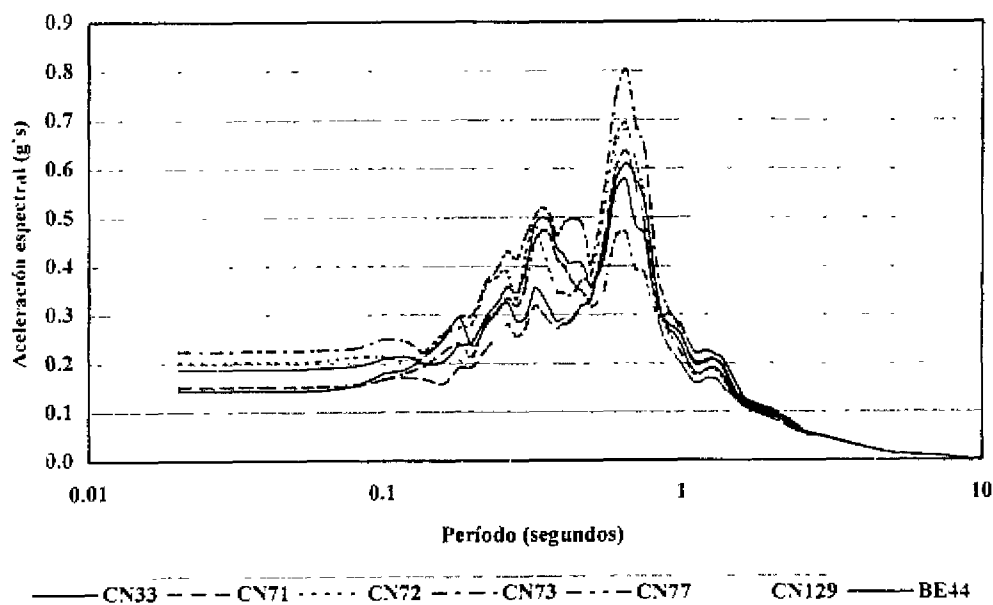
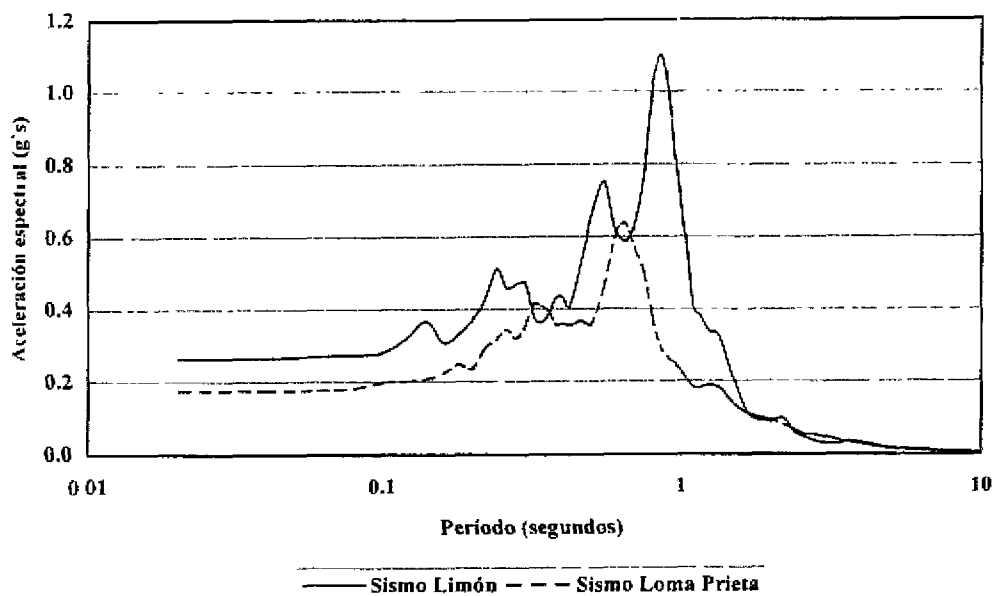


Fig 7.5: ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO DE LAS ACELERACIONES PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO (5% amortiguamiento)



**Tabla 7.2: Primer Grupo de estudio (7 pozos ubicados en las Hojas Carrillo Norte y Belén)
(33-60 metros de profundidad)**

Ubicación: 277.4N-361.1E		POZO CN-33										
N° de capas:15		N° Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.85	1.18	1.13			0.65	1.54			
		2										
		3										
Velocidad espectral		1	0.85	1.18		148.20		0.71	1.41		63.80	
		2	1.32	0.76		70.00		1.32	0.76		39.30	
		3										
Función de Transferencia		1	0.92	1.09			5.22	0.77	1.30			8.14
		2	0.31	3.18			2.61	0.28	3.59			4.39
		3	0.18	5.45			2.69	0.17	5.88			4.48

Ubicación: 279.9N-359.9E		POZO CN-71										
N° de capas:6		N° Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.84	1.19	1.08			0.65	1.54	0.64		
		2	0.55	1.82	0.64							
		3	1.29	0.78	0.31							
Velocidad espectral		1	0.85	1.18		142.80		0.65	1.54		64.90	
		2	1.30	0.88		64.00						
		3	2.20	0.45		32.10						
Función de Transferencia		1	0.90	1.11			4.58	0.75	1.33			6.13
		2	0.33	3.07			1.47	0.28	3.63			2.10
		3										

Ubicación: 277.7N-357.4E		POZO CN-72										
N° de capas:7		N° Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.84	1.19	1.15			0.65	1.54	0.70		
		2	0.55	1.82	0.72			0.32	3.13	0.49		
		3	0.24	4.16	0.65							
Velocidad espectral		1	0.86	1.16		152.00		0.66	1.52		70.20	
		2	1.32	0.76		68.00		1.31	0.76		37.50	
		3	2.20	0.45		33.40						
Función de Transferencia		1	0.90	1.11			5.14	0.76	1.31			7.36
		2	0.34	2.90			3.53	0.30	3.38			5.00
		3						0.21	4.68			2.89

Ubicación: 282.8N-360.4E

Nº de capas:15

POZO CN-73

Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
1	0.85	1.18	1.44			0.65	1.54	0.81		
2	0.56	1.79	1.18			0.34	2.94	0.53		
3										
1	0.85	1.18		191.50		0.65	1.54		82.40	
2	0.55	1.82		101.40		1.32	0.76		42.90	
3	1.32	0.76		80.70						
1	0.90	1.11			6.55	0.76	1.31			9.52
2	0.46	2.17			3.28	0.36	2.81			4.91
3	0.28	3.62			1.55	0.23	4.41			2.72

Ubicación: 277.1N-365.9E

Nº de capas:8

POZO CN-77

Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
1	0.84	1.19	0.92			0.63	1.59	0.47		
2	0.56	1.79	0.65			0.34	2.94	0.47		
3	0.24	4.16	0.63							
1	0.90	1.11		123.60		0.65	1.54		47.60	
2	2.18	0.46		35.70		1.36	0.73		45.10	
3						0.97	1.03		43.10	
1	0.99	1.01			5.69	0.90	1.11			8.66
2	0.38	2.63			3.28	0.35	2.84			4.61
3	0.26	4.26			2.15	0.21	4.69			3.14

Ubicación: 280.1N-360.6E

POZO CN-129

Nº Valores		T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.85	1.18	1.02		0.65	1.54	0.69		
		2	0.56	1.79	0.66						
		3	0.24	4.16	0.50						
Velocidad espectral		1	0.85	1.18		134.60	0.65	1.54		69.30	
		2	1.30	0.77		57.30	1.37	0.73		31.00	
		3	2.20	0.45		29.60					
Función de Transferencia		1	0.84	1.19			0.71	1.40			5.30
		2	0.24	4.11			0.22	4.57			2.48
		3	0.15	6.76			0.14	7.21			2.35

Ubicación: 274.4N-363.3E

POZO BE-44

Nº Valores		T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.85	1.18	1.02		0.65	1.54	0.57		
		2	0.55	1.82	0.80		0.34	2.94	0.50		
		3									
Velocidad espectral		1	0.85	1.18		134.60	0.65	1.54		58.60	
		2	2.20	0.45		35.40	1.34	0.75		42.50	
		3									
Función de Transferencia		1	0.99	1.01			0.83	1.21			8.19
		2	0.42	2.40			0.35	2.84			4.79
		3	0.16	6.12			0.24	4.21			2.11

De lo anterior se puede observar que la máxima amplitud ocurre a un período fundamental de vibración de 0.85 segundos, y 0.55 y 0.24 segundos de menor amplitud para el caso estudiado con el sismo de Limón. Para el caso del sismo de Loma Prieta se presenta en un período de 0.65 segundos fundamentalmente. Es interesante observar para el caso del sismo de Limón que la máxima amplificación en el modelo de capas geológicas ocurre en aquel período donde se da el tercer valor de amplitud máxima en el espectro de respuesta del sismo de Limón (Tabla 7.1 y figs 7.1 y 7.5). Esto permite concluir que este período puede representar el período fundamental de vibración del suelo. Esto no sucede con el sismo de Loma Prieta. Las funciones de transferencia (figs 7.6, 7.7 y 7.8) reafirman los resultados de la respuesta espectral al considerar los períodos de máxima amplificación de 0.91 y 0.77 segundos para los sismos de Limón y Loma Prieta respectivamente. Obsérvese que ambos valores tienden a ser mayores que los valores espectrales, sin embargo ambos tienen buena aproximación al período fundamental del suelo dado por los espectros de respuesta. Esto demuestra que las funciones de transferencia al menos para este caso dependen más de las características del perfil de suelo que del movimiento de entrada. Lo anterior se puede observar en la figura 7.8 con la buena correlación que existe entre ambas funciones de transferencia al especificar la amplitud máxima mejor que la observada en los espectros de respuesta. Otro aspecto importante es que en ambos sismos las funciones de transferencia correlacionan mejor los períodos en los siguientes segundos y terceros valores de amplificación (0.38 y 0.36 segundos para los sismos de Limón y Loma Prieta respectivamente, fig 7.8 y tabla 7.2).

Fig 7.6: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMON"

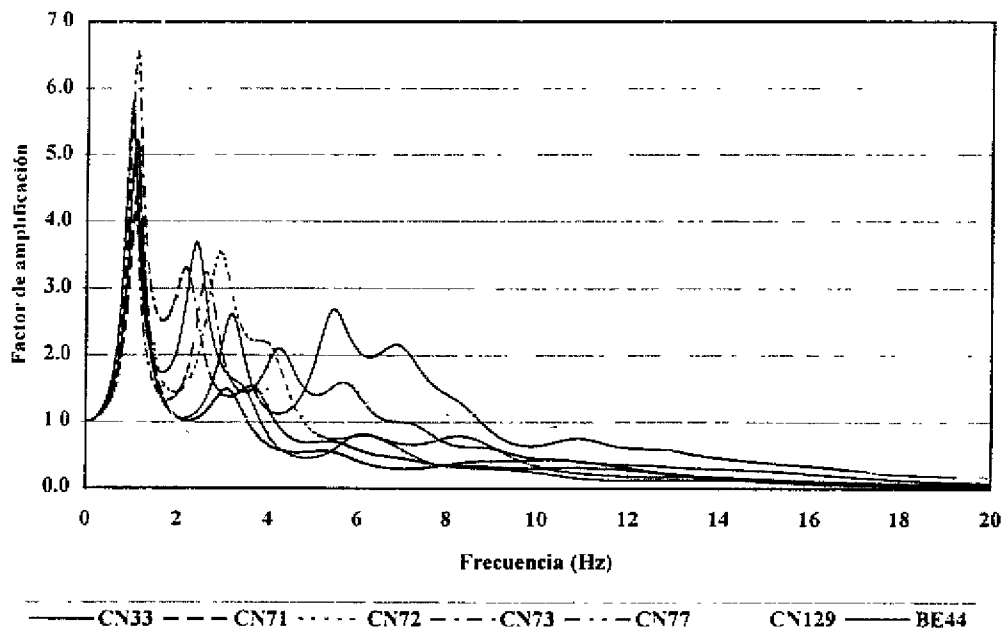


Fig 7.7: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA"

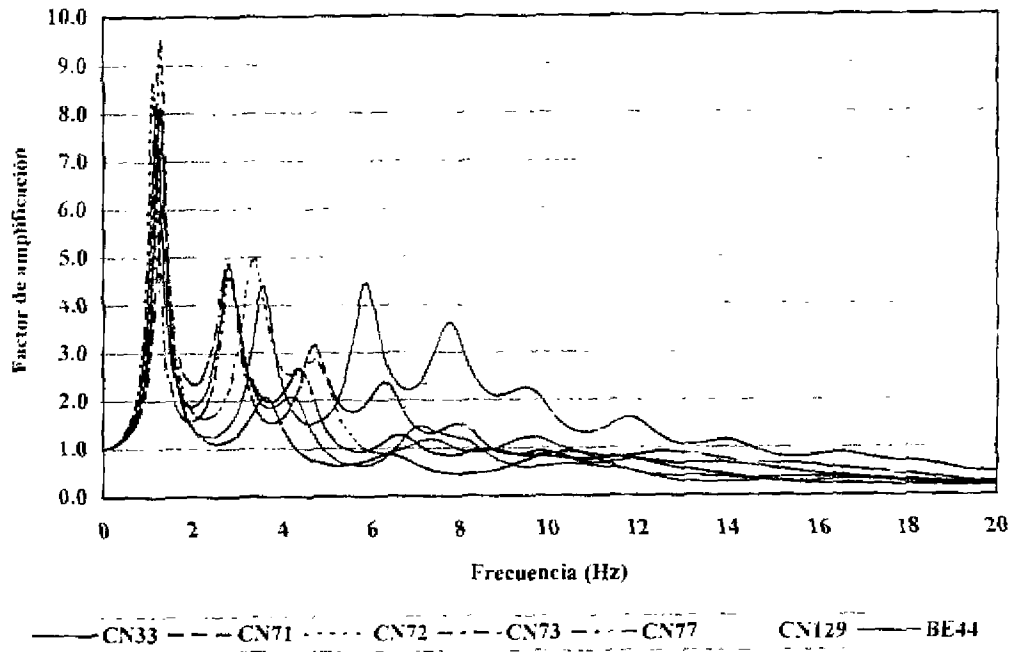
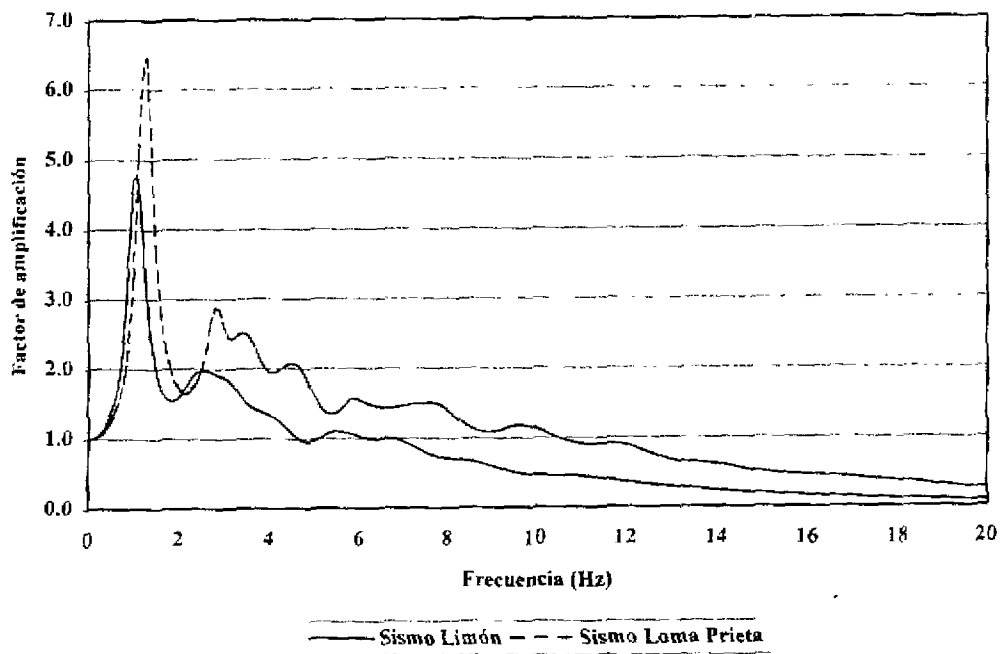


Fig 7.8: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PROMEDIO



La metodología permite obtener una aproximación del período fundamental del suelo en el cual se da la mayor amplificación más que la magnitud de esta misma. Sin embargo la amplitud máxima de la aceleración que se obtiene del espectro de respuesta promedio es de 1.1g para el caso del sismo de Limón (fig 7.5) y 0.64g para el caso del sismo de Loma Prieta (fig 7.5). Si consideramos el factor de amplificación promedio de 4.74 (fig 7.8) multiplicado por el valor de la aceleración espectral a 0.91 segundos (0.253g) del espectro de respuesta del sismo de Limón (fig 7.1) obtenemos un valor de 1.18g, un valor muy cercano al obtenido con el espectro de respuesta promedio. Para el caso de Loma Prieta se obtiene para el factor de amplificación un valor de 6.43 (fig 7.8), de la misma forma si multiplicamos este por el valor de aceleración espectral a 0.77 segundos (0.125g) del espectro de respuesta del sismo de Loma Prieta (fig 7.2) obtenemos un valor de 0.8g. Podemos observar que el resultado para el caso de Loma Prieta difiere mas que para el caso del sismo de Limón. Lo anterior reafirma nuevamente el concepto de que la función de transferencia para el caso del sismo de Loma Prieta tiende a presentar la mayor amplificación a períodos mayores que los del movimiento mismo, y de esta forma se acercan mas a los resultados dados para el caso del sismo de Limón. Lo anterior se puede interpretar como una tendencia del período fundamental del suelo a valores cercanos a los obtenidos con el sismo de Limón al menos en el dominio de las aceleraciones y en esta área específica en que se ubica este primer grupo de estudio.

Para el caso de las velocidades espectrales estas se correlacionan muy bien en los períodos con las aceleraciones espectrales para los valores máximos de amplitud. Sin embargo para los valores de menor amplitud estas tienden a amplificar a períodos mayores cercanos a 1.54 segundos como promedio para el caso del sismo de Limón y 1.33 segundos para el caso del sismo de Loma Prieta (tabla 7.2). Una cosa que se puede observar claramente es-que los valores de velocidad espectral se correlacionan mucho mejor en ambos movimientos de entrada que los valores de aceleración espectral, esto reafirma la teoría de que las velocidades tienden a amplificar a períodos mayores en relación al dominio de las aceleraciones.

El segundo grupo de estudio se ubica en la parte sureste de la Hoja Belén (tabla 7.3 y fig 6.1), cuyo espesor de suelo blando varía entre los 32-50 metros (Anexo 2). La tabla 7.3 muestra los resultados de aceleración y velocidad espectral para los tres pozos que forman este segundo grupo. También se muestran los resultados de las funciones de transferencia que integran este segundo grupo. Los resultados muestran la respuesta de la última capa del modelo de capas geológicas para los dos movimientos de entrada. Se muestran los espectros de respuesta de las aceleraciones para 5% de amortiguamiento (figs 7.9 y 7.10), de los cuales se obtuvo el espectro de respuesta promedio (media aritmética) que se observa en la fig 7.11.

En este segundo grupo de estudio se pueden observar algunos aspectos importantes. En este caso la máxima amplitud ocurre a un período fundamental de vibración en 0.55 segundos, y 0.85 y 0.24 segundos de menor amplitud para el caso del sismo de Limón. Para el caso del sismo de Loma Prieta ocurre en 0.46 y 0.60 segundos en amplitudes muy similares. La condición de roca sedimentaria en el basamento del suelo blando y la disminución del espesor del suelo blando parecen afectar los resultados, así también como las condiciones locales de sitio pueden representar un cambio en los resultados.

**Tabla 7.3: Segundo grupo de estudio (3 pozos ubicados en la Hoja Belén)
(32-50 metros de profundidad)**

		POZO BE-69										
Ubicación: 264.3N-362.6E Nº de capas:11 (10*)		Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.55	1.82	1.58			0.46	2.17	1.10		
		2	0.24	4.17	0.76			0.18	5.56	0.43		
		3										
Velocidad espectral		1	0.85	1.18		135.30		0.46	2.17		79.80	
		2	1.32	0.76		82.40						
		3										
Función de Transferencia		1	0.92	1.09			5.64	0.45	2.20			9.48
		2	0.31	3.18			2.76	0.19	5.31			4.31
		3	0.18	5.45			1.30	0.11	8.74			2.59

		POZO BE-105										
Ubicación: 266.9N-372.0E Nº de capas:10		Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.85	1.18	0.77			0.64	1.56	0.39		
		2	0.55	1.82	0.46			0.32	3.13	0.28		
		3	0.24	4.17	0.45							
Velocidad espectral		1	0.90	1.11		103.60		0.76	1.32		40.70	
		2	2.18	0.46		34.20		1.32	0.76		40.00	
		3										
Función de Transferencia		1	0.98	1.02			4.69	0.92	1.09			6.27
		2	0.31	3.18			2.21	0.28	3.51			3.24
		3	0.22	4.47			1.38	0.19	5.30			1.90

		POZO BE-136										
Ubicación: 261.7N-365.6E Nº de capas:11		Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.
Aceleración espectral		1	0.85	1.18	1.26			0.65	1.54	0.80		
		2	0.55	1.82	0.88			0.32	3.13	0.47		
		3										
Velocidad espectral		1	0.85	1.18		168.30		0.65	1.54		82.40	
		2	1.30	0.88		68.60		1.29	0.78		34.30	
		3										
Función de Transferencia		1	0.86	1.16			5.03	0.72	1.38			6.82
		2	0.37	2.71			2.31	0.31	3.25			3.24
		3	0.22	4.54			1.27	0.19	5.36			2.14

Fig 7.9: ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMÓN" (5% amortiguamiento)

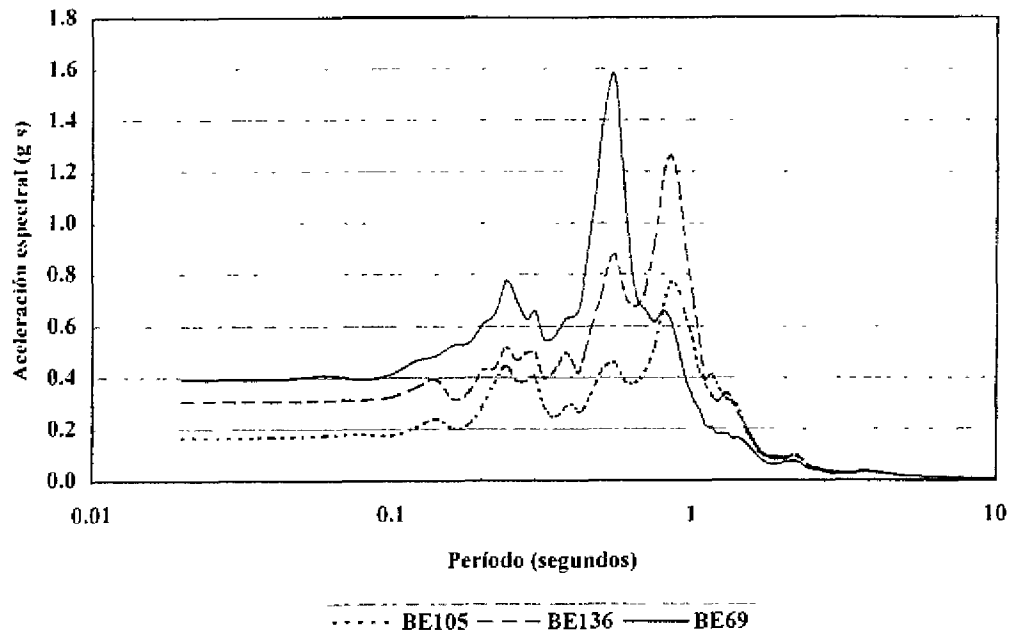


Fig 7.10: ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA" (5% amortiguamiento)

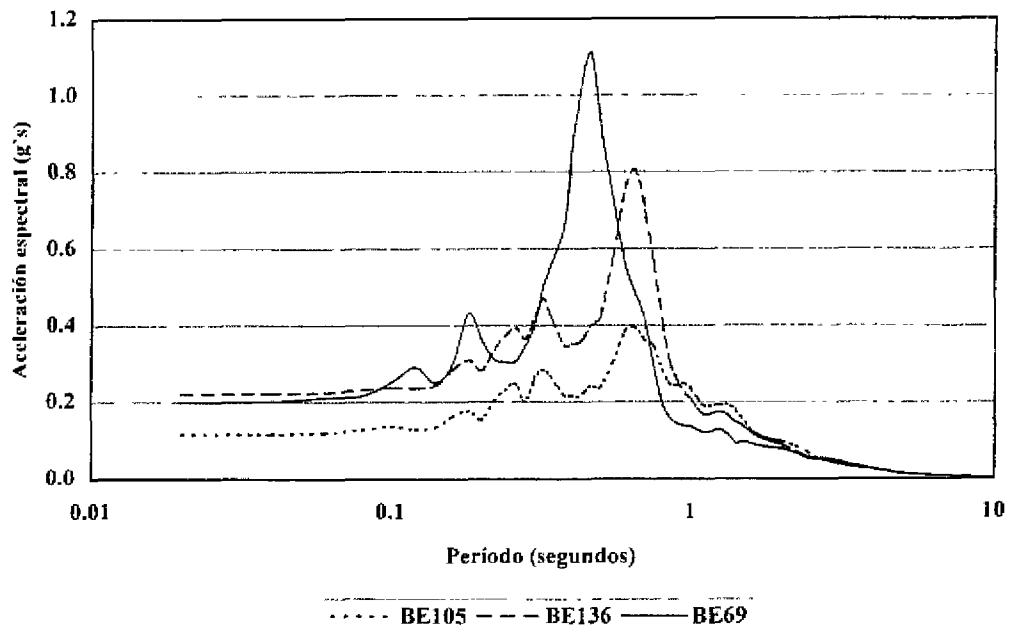
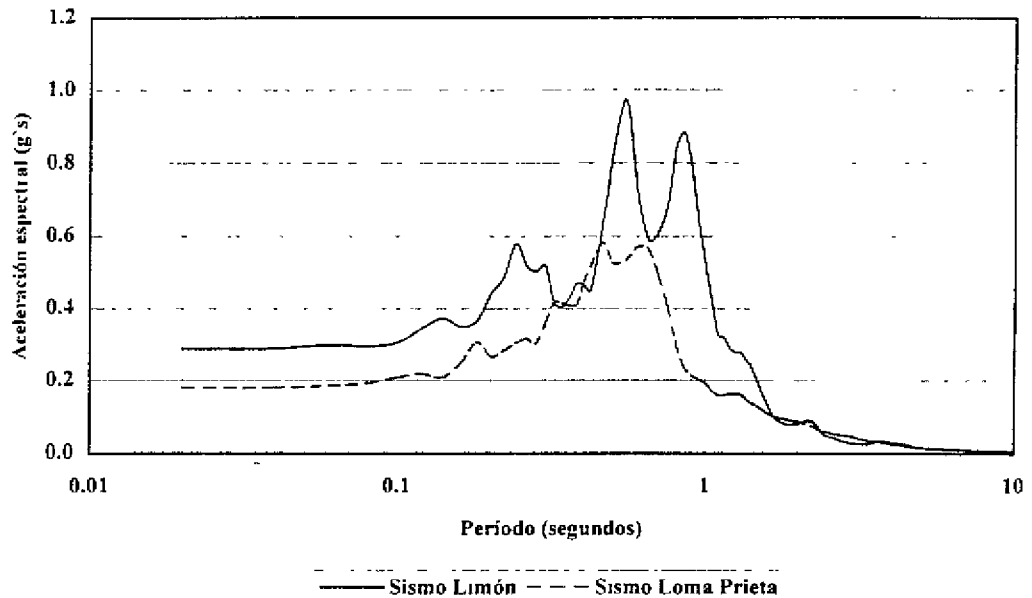


Fig 7 11: ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO DE LAS ACELERACIONES
PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO
(5% amortiguamiento)



Las funciones de transferencia de este segundo grupo presentan diferencias respecto a las del primer grupo. Si observamos las funciones de transferencia promedio de los tres pozos estudiados en este grupo (fig 7.14), podemos notar la presencia de otros períodos de amplificación importantes:

Tabla 7.4: Períodos y factores de amplificación de las amplitudes máximas obtenidos de las funciones de transferencia promedio para los sismos de Limón y Loma Prieta (fig 7.14)

SISMO DE LIMON			SISMO LOMA PRIETA		
Nº Valores	Período (seg)	F.A.	Nº Valores	Período (seg)	F.A.
1	0.91 (1.10Hz)	3.38	1	0.83 (1.20Hz)	4.08
2	0.59 (1.69Hz)	2.82	2	0.43 (2.33Hz)	4.10
3	0.33 (3.03Hz)	1.84	3	0.29 (3.45Hz)	2.62
4	0.23 (4.35Hz)	1.78	4	0.19 (5.26Hz)	2.77
5	0.15 (6.67Hz)	0.98	5	0.11 (9.09Hz)	1.64

F.A: factor de amplificación

También podemos observar que existe una mejor correlación en los períodos de amplificación de las funciones de transferencia en ambos sismos en comparación con los del primer grupo (figs 7.12, 7.13 y 7.14).

Fig 7.12: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO "SISMO LIMÓN"

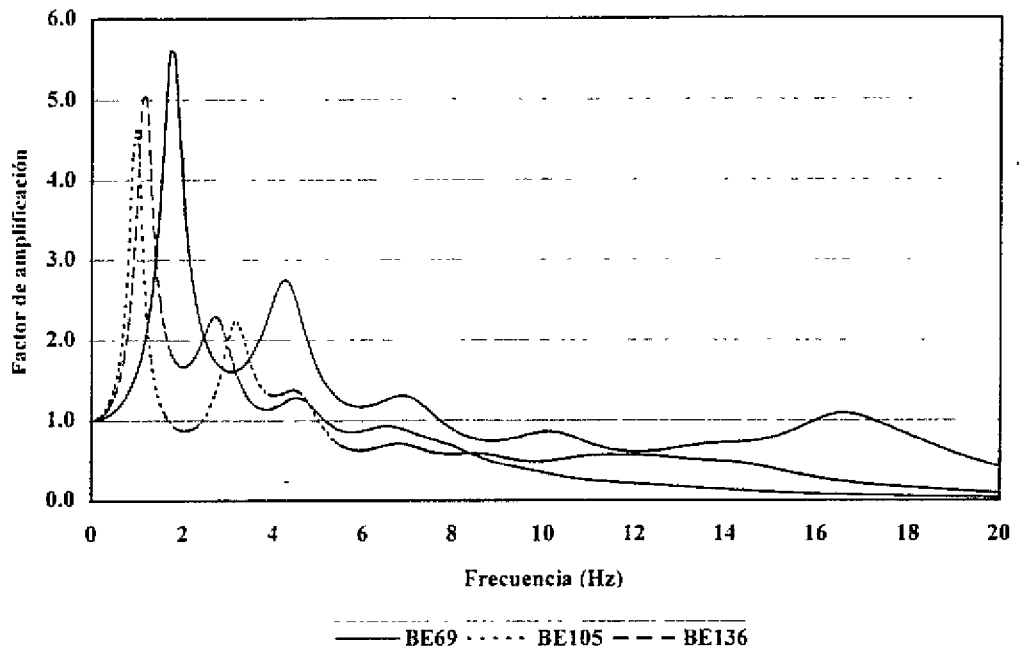


Fig 7.13: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO "SISMO LOMA PRIETA"

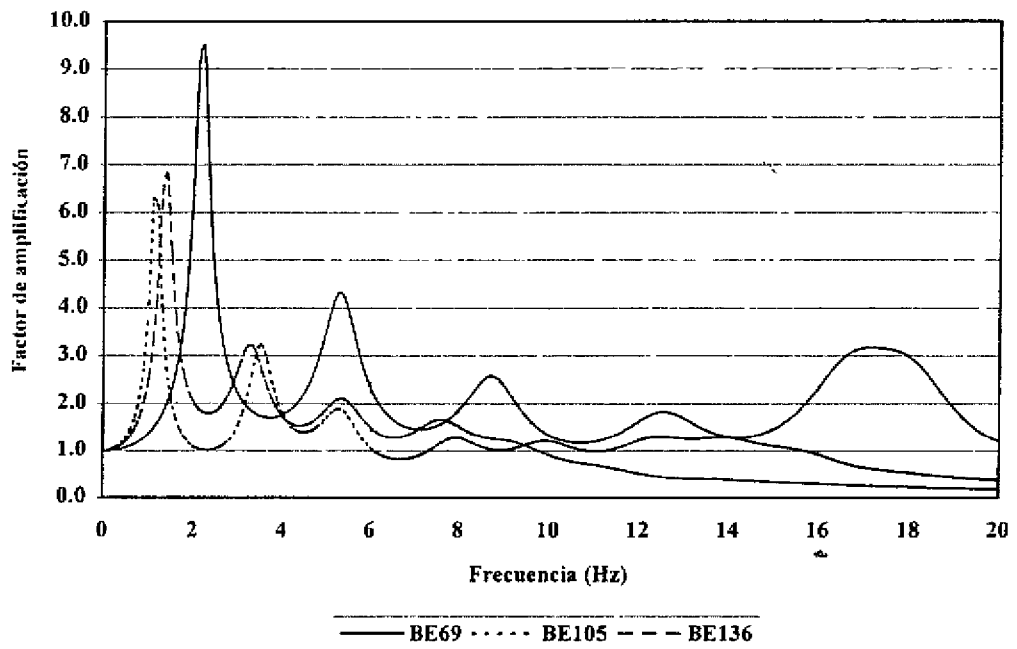
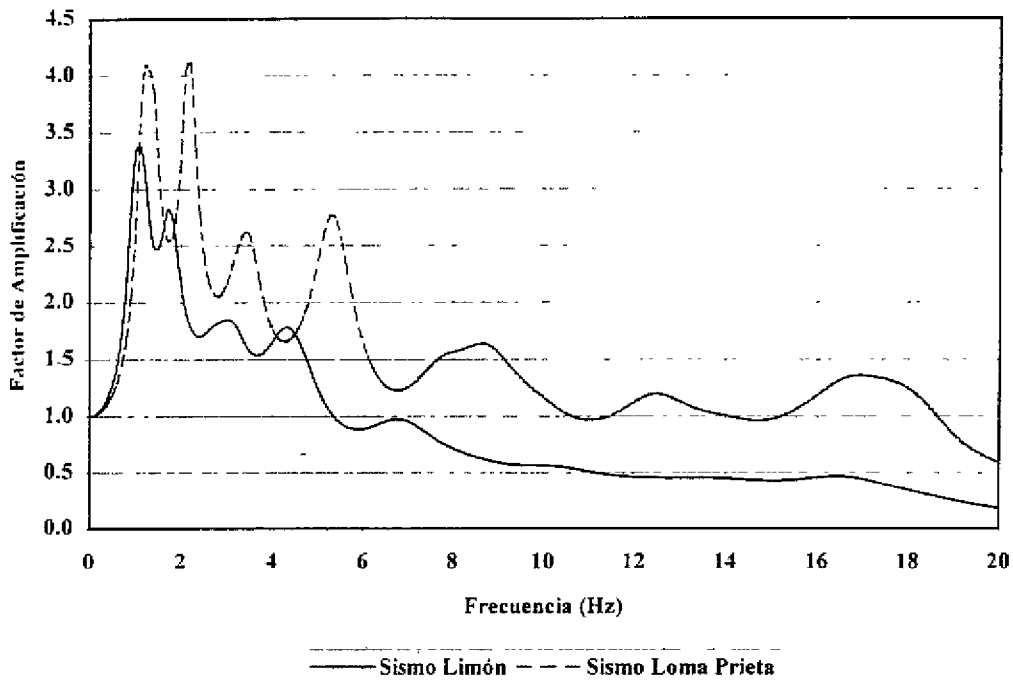


Fig 7.14: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PROMEDIO



Las amplitudes máximas de la aceleración que se obtienen del espectro de respuesta promedio es 0.97g y 0.88g en 0.55 y 0.85 segundos respectivamente para el caso del sismo de Limón y 0.57g y 0.57g en 0.46 y 0.60 segundos respectivamente para el caso del sismo de Loma Prieta. Nuevamente si tomamos los factores de amplificación promedio para las dos primeras amplitudes máximas en ambos sismos (tabla 7.4 y fig 7.14), obtenemos valores de 0.86g y 0.79g en los períodos de 0.91 y 0.59 segundos respectivamente para el caso del espectro de respuesta del sismo de Limón. Para el caso del espectro de respuesta del sismo de Loma Prieta obtenemos valores de 0.33g y 0.62g en los períodos de 0.83 y 0.43 segundos respectivamente. Lo primero en observar es que los valores de amplificación obtenidos son menores que los del primer grupo de estudio. También otro resultado que se puede observar es que los valores de amplificación obtenidos con las funciones de transferencia tienden a ser menores que aquellos obtenidos con los espectros de respuesta en comparación con los del primer grupo que tienden a ser mayores. Por el momento solo podemos decir que las diferencias en los resultados obtenidos en ambos grupos de estudio pueden ser debidas al cambio del espesor de los materiales, a la condición al menos en parte de roca sedimentaria en el basamento del suelo blando, o bien en posibles cambios geofísicos del suelo blando.

En cuanto a las velocidades espectrales se observa el mismo patrón que se presenta en el primer grupo de estudio, los períodos de amplitud máxima se correlacionan muy bien con los de las

aceleraciones, sin embargo los de menor amplitud tienden a amplificar a períodos mayores similar al primer grupo

El tercer y último grupo de estudio considerado se ubica en la parte central y sur de lo que se considera como el eje sinclinal de la cuenca del Tempisque, comprendiendo parte de las Hojas Tempisque, Talolinga y Matambú en la parte central y sureste del área de estudio (tabla 7.5 y fig 6.1), y cuyo espesor de suelo blando varía entre los 10-30 metros (Anexo 2). La tabla 7.5 muestra los resultados de aceleración y velocidad espectral para los siete pozos que forman este tercer grupo de estudio y también se muestran los resultados de las funciones de transferencia que integran este tercer grupo. Las figuras 7.15 y 7.16 muestran los espectros de respuesta de los siete pozos para un amortiguamiento de 5% y para ambos sismos. Los resultados muestran la respuesta de la última capa del modelo de capas geológicas para los dos movimientos de entrada.

Fig 7.15: ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACCELERACIONES DEL TERCER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMÓN" (5% amortiguamiento)

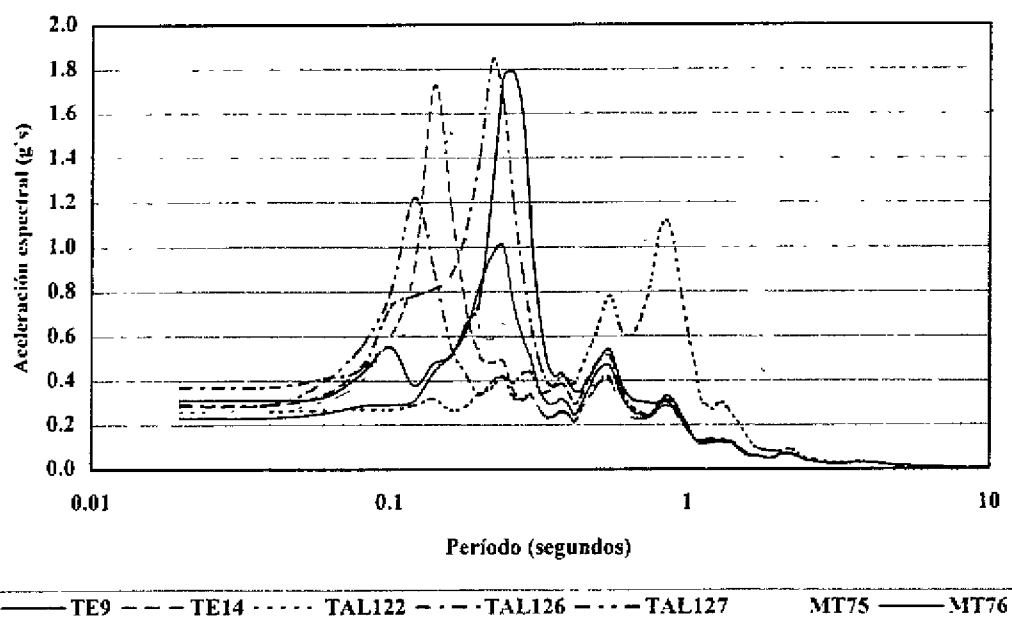
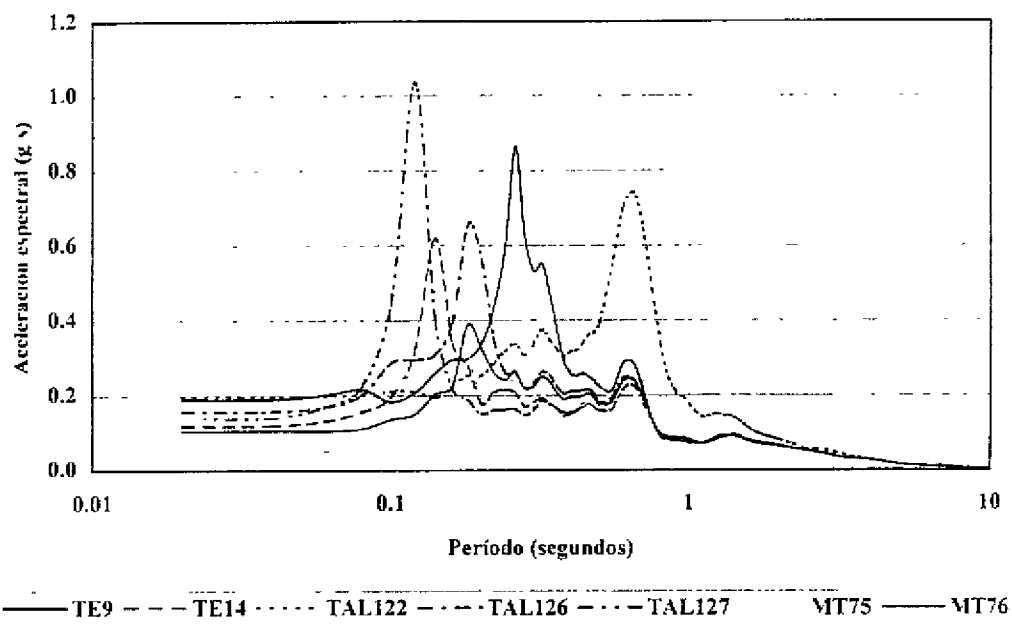


Fig 7.16: ESPECTROS DE RESPUESTA DE LAS ACELERACIONES DEL
TERCER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA"
(5% amortiguamiento)



Las figuras 7.15 y 7.16 muestran claramente la predominancia de dos períodos fundamentales principalmente para el caso analizado con el sismo de Limón, que pueden ser separados en dos grupos de estudio. El primer grupo (Grupo A, en la tabla 7.5) está formado por los pozos TE9-TAL126-MT76 de los cuales se obtuvo el espectro de respuesta promedio (media aritmética) para un amortiguamiento de 5% (fig 7.17). El segundo grupo (Grupo B, en la tabla 7.5) está formado por los pozos TE14-TAL127-MT75 de los cuales se obtuvo el espectro de respuesta promedio (media aritmética) para un amortiguamiento de 5% (fig 7.18).

El grupo A (fig 7.17) muestra claramente la predominancia de un período fundamental de amplificación en 0.24 segundos principalmente para el caso analizado con el sismo de Limón. Se destacan otros dos períodos de menor amplitud en 0.55 y 0.85 segundos. El caso analizado con el sismo de Loma Prieta presenta una situación un tanto diferente dado que no refleja una marcada diferencia en los valores máximos de amplitud. Sin embargo presenta dos amplitudes máximas similares en 0.18 y 0.26 segundos y un tercer valor en 0.65 segundos (fig 7.17). El grupo B (fig 7.18) muestra también claramente la predominancia de un período fundamental de amplificación en 0.14 y 0.12 segundos para los sismos de Limón y Loma Prieta respectivamente. En este grupo se nota mucho mejor la predominancia de un período de mayor amplificación para el caso analizado con el sismo de Loma Prieta. Se presentan también otros períodos de menor amplificación en 0.55 y 0.85 segundos para el caso del sismo de Limón y 0.65 segundos para el caso del sismo de Loma Prieta (fig 7.18).