

**Tabla 7.5: Tercer grupo de estudio (7 pozos de estudio ubicados en las Hojas Tempisque, Talolinga y Matambúj)
(10-30 metros de profundidad)**

Ubicación: 242.4N-380.8E		POZO TAL-122										
N° de capas:6 (5")	N° Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	fa.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	fa.	
Aceleración espectral	1	0.85	1.18	1.13			0.65	1.54	0.73			
	2	0.55	1.82	0.78								
	3											
Velocidad espectral	1	0.85	1.18		148.20		0.65	1.54		75.30		
	2	1.30	0.77		61.20		1.39	0.72		30.90		
	3											
Función de Transferencia	1	0.84	1.19			4.55	0.71	1.40			5.66	
	2	0.33	3.01			1.68	0.28	3.61			2.17	
	3						0.16	6.15			0.98	

Grupo A: TE9-TAL126-MT76

Ubicación: 263.4N-374.6E											
Nº de capas:5 (3*)											
POZO TE-9											
	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	0.26	3.85	1.79			0.26	3.85	0.86		
	2	0.55	1.82	0.54			0.63	1.59	0.28		
	3										
Velocidad espectral	1	0.26	3.85		72.50		0.26	3.85		35.30	
	2	0.55	1.82		46.70		0.65	1.54		29.60	
	3	0.85	1.18		44.30						
Función de Transferencia	1	0.26	3.78			14.83	0.26	3.88			18.18
	2	0.09	11.19			5.94	0.09	11.44			7.67
	3	0.06	18.19			4.57	0.05	18.54			6.12

Ubicación: 239.6N-390.2E											
Nº de capas:6 (4*)											
POZO TAL-126											
	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	0.22	4.55	1.84			0.18	5.56	0.64		
	2	0.55	1.82	0.51			0.62	1.61	0.25		
	3	0.84	1.19	0.32							
Velocidad espectral	1	0.22	4.55		63.50		0.65	1.54		25.10	
	2	0.55	1.82		44.00		1.42	0.70		19.90	
	3	0.85	1.19		42.20		0.18	5.56		18.60	
Función de Transferencia	1	0.21	4.74			16.03	0.19	0.20			25.35
	2	0.11	9.20			8.52	0.10	10.27			11.63
	3	0.06	16.43			4.01	0.06	18.09			6.21

Ubicación: 236.9N-376.7E											
Nº de capas:14(3*)											
POZO MT-76											
	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	0.24	4.17	1.00			0.18	5.56	0.39		
	2	0.55	1.82	0.48			0.63	1.59	0.24		
	3	0.85	1.18	0.31							
Velocidad espectral	1	0.85	1.18		40.80		0.65	1.54		24.70	
	2	0.55	1.82		40.60		1.46	0.68		19.70	
	3	0.24	4.17		37.80		2.06	0.49		19.70	
Función de Transferencia	1	0.21	4.85			6.85	0.20	5.10			9.39
	2	0.07	13.83			3.28	0.07	14.39			4.91
	3										

Grupo B: TE14-TAL127-MT75

Ubicación: 261.0N-376.5E										
Nº de capas:5 (4*)										
POZO TE-14										
	Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	f.a.
Aceleración espectral	1	0.14	7.14	1.72			0.14	7.14	0.62	
	2	0.54	1.85	0.41			0.65	1.54	0.23	
	3	0.84	1.19	0.29						
Velocidad espectral	1	0.85	1.18		38.50		0.65	1.54		23.40
	2	0.15	6.67		37.90		1.46	0.68		19.60
	3	0.55	1.82		35.90		0.14	7.14		13.70
Función de Transferencia	1	0.15	6.81			18.48	0.14	7.01		27.79
	2	0.05	20.00			7.88	0.05	20.00		7.88
	3									

Ubicación: 239.2N-391.3E										
Nº de capas:6 (3*)										
POZO TAL-127										
	Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	f.a.
Aceleración espectral	1	0.12	8.33	1.22			0.12	8.33	1.04	
	2	0.55	1.82	0.41			0.65	1.54	0.23	
	3	0.85	1.18	0.30						
Velocidad espectral	1	0.85	1.18		38.80		0.65	1.54		23.20
	2	0.55	1.82		34.90		0.12	8.33		19.80
	3	1.38	0.72		25.60		1.43	0.70		19.60
Función de Transferencia	1	0.12	8.21			23.26	0.12	8.49		35.15
	2	0.06	18.19			11.20	0.05	18.77		16.88
	3									

Ubicación: 236.8N-376.7E										
Nº de capas:8(3*)										
POZO MT-75										
	Nº Valores	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	v (cm/s)	f.a.	T (seg)	f (Hz)	a (g's)	f.a.
Aceleración espectral	1	0.16	6.25	1.52			0.14	7.14	0.49	
	2	0.55	1.82	0.44			0.65	1.54	0.23	
	3	0.85	1.18	0.29						
Velocidad espectral	1	0.85	1.18		39.30		0.64	1.56		23.70
	2	0.16	6.25		38.00		0.15	6.67		10.70
	3	0.55	1.82		37.60		1.47	0.68		19.60
Función de Transferencia	1	0.16	6.20			17.78	0.15	6.60		24.24
	2	0.07	13.48			7.76	0.07	14.52		10.67
	3									

Fig 7.17: ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO DE LAS ACELERACIONES
PARA EL TERCER GRUPO DE ESTUDIO
(Grupo A)
(5% amortiguamiento)

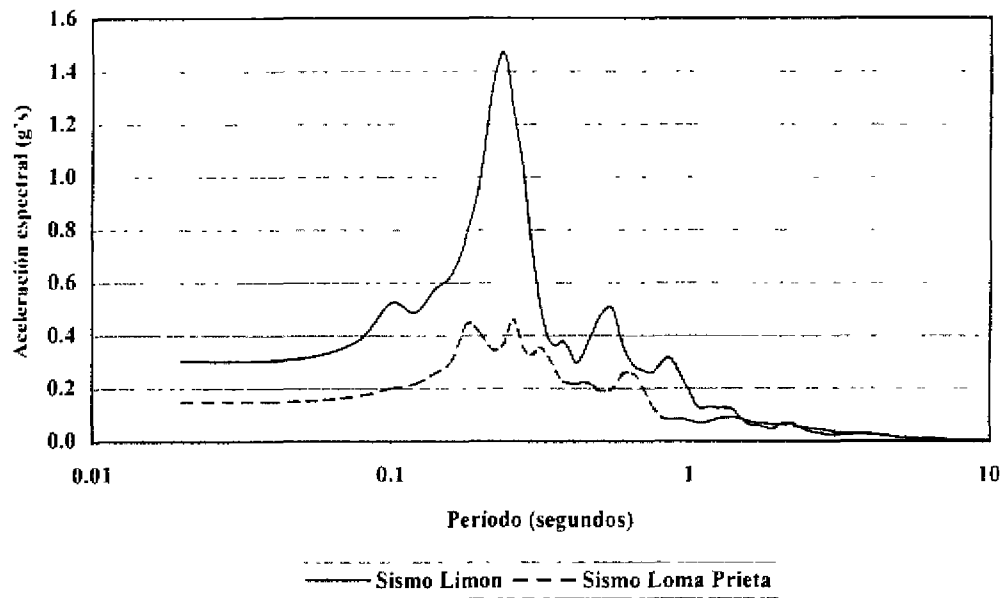
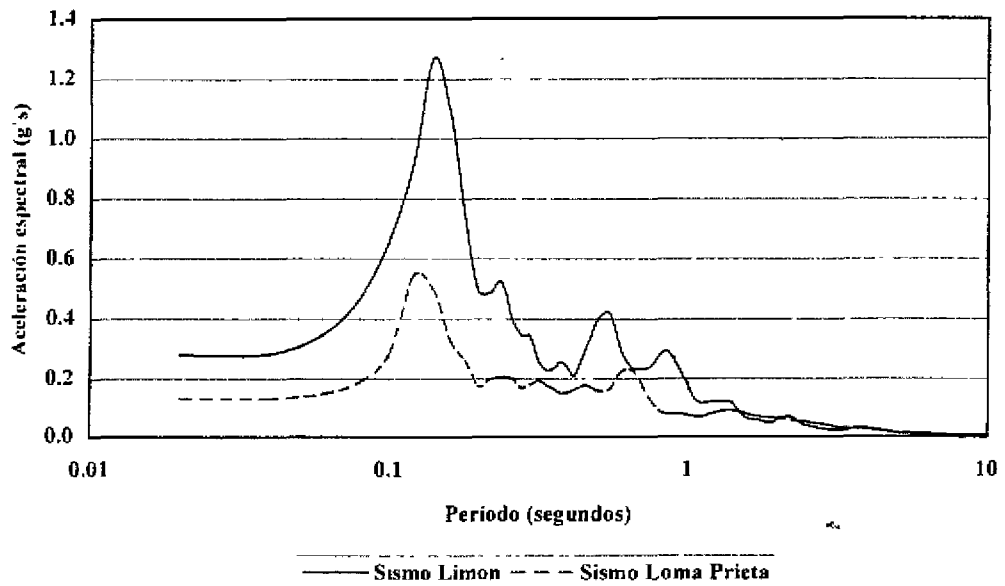


Fig 7.18: ESPECTROS DE RESPUESTA PROMEDIO DE LAS ACELERACIONES
PARA EL TERCER GRUPO DE ESTUDIO
(Grupo B)
(5% amortiguamiento)



Esta situación manifiesta dos cosas importantes: primero la predominancia de períodos menores de mayor amplificación y segundo la tendencia de tener la mayor amplificación en aquellos períodos de menor amplificación o inclusive no predominantes en ambos espectros de respuesta de los sismos de Limón y Loma Prieta (tabla 7.1 y figs 7.1 y 7.2). Otra característica es que se presenta muy buena correlación en los períodos de mayor amplificación para el caso de las aceleraciones espectrales en ambos sismos utilizados en relación a los dos grupos anteriores de estudio (tabla 7.5).

Las funciones de transferencia reafirman claramente los resultados espectrales al considerar varios períodos de amplificación importantes obtenidos de los valores promedio:

Tabla 7.6: Períodos y factores de amplificación de las amplitudes máximas obtenidos de las funciones de transferencia promedio para los sismos de Limón y Loma Prieta (figs 7.19 y 7.20)

Grupo A (TE9-TAL126-MT76)

SISMO DE LIMÓN			SISMO LOMA PRIETA		
Nº Valores	Período (seg)	F.A.	Nº Valores	Período (seg)	F.A.
1	0.21 (4.70Hz)	8.45	1	0.19 (5.20Hz)	12.10
2	0.26 (3.80Hz)	7.13	2	0.26 (3.90Hz)	7.94
3	0.11 (9.20Hz)	3.69	3	0.10 (10.30Hz)	5.10
4	0.09 (11.20Hz)	3.15	4	0.09 (11.40Hz)	4.35
5	-----	-----	5	0.05 (18.30Hz)	4.21

F.A: factor de amplificación

Tabla 7.7: Períodos y factores de amplificación de las amplitudes máximas obtenidos de las funciones de transferencia promedio para los sismos de Limón y Loma Prieta (figs 7.21 y 7.22)

Grupo B (TE14-TAL127-MT76)

SISMO DE LIMON			SISMO LOMA PRIETA		
Nº Valores	Período (seg)	F.A.	Nº Valores	Período (seg)	F.A.
1	0.15 (6.80Hz)	10.25	1	0.14 (6.90Hz)	14.82
2	0.12 (8.20Hz)	9.82	2	0.12 (8.50Hz)	13.74
3	0.16 (6.30Hz)	9.55	3	0.07 (14.50Hz)	4.73
4	0.07 (13.50Hz)	3.69	4	0.05 (18.80Hz)	7.06
5	0.05 (18.80Hz)	4.96	5	-----	-----

F.A. factor de amplificación

Fig 7.19: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA EL TERCER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMON" (Grupo A)

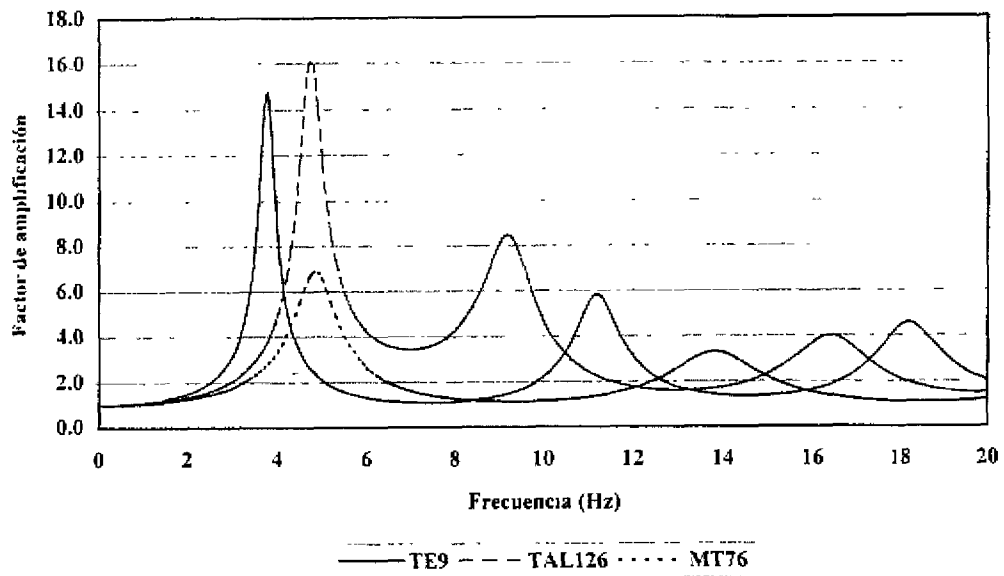


Fig 7.20: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PROMEDIO (Grupo A)

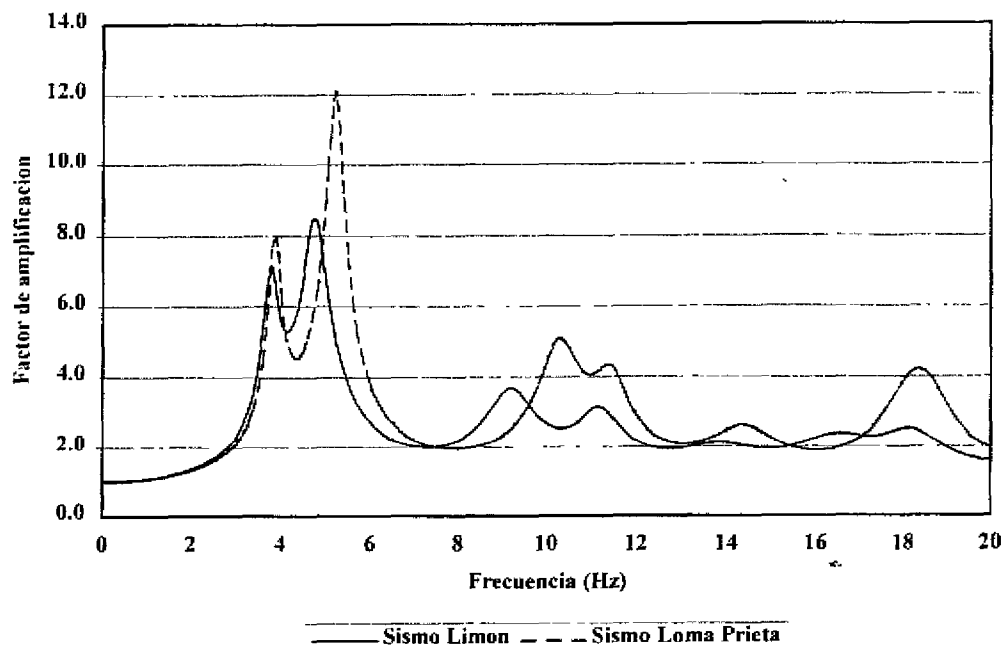


Fig 7.21. FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA EL TERCER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMON" (Grupo B)

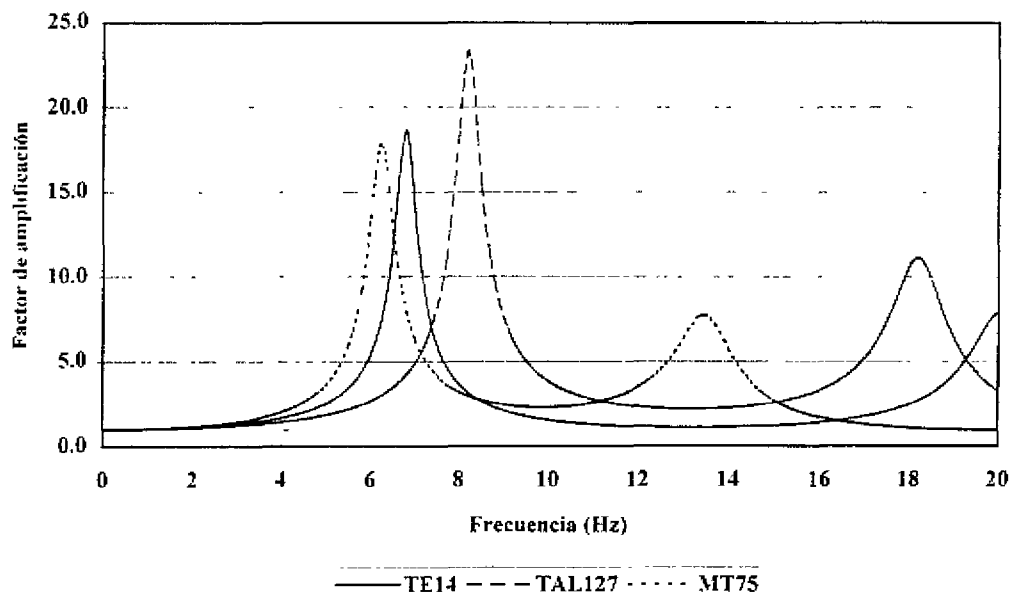
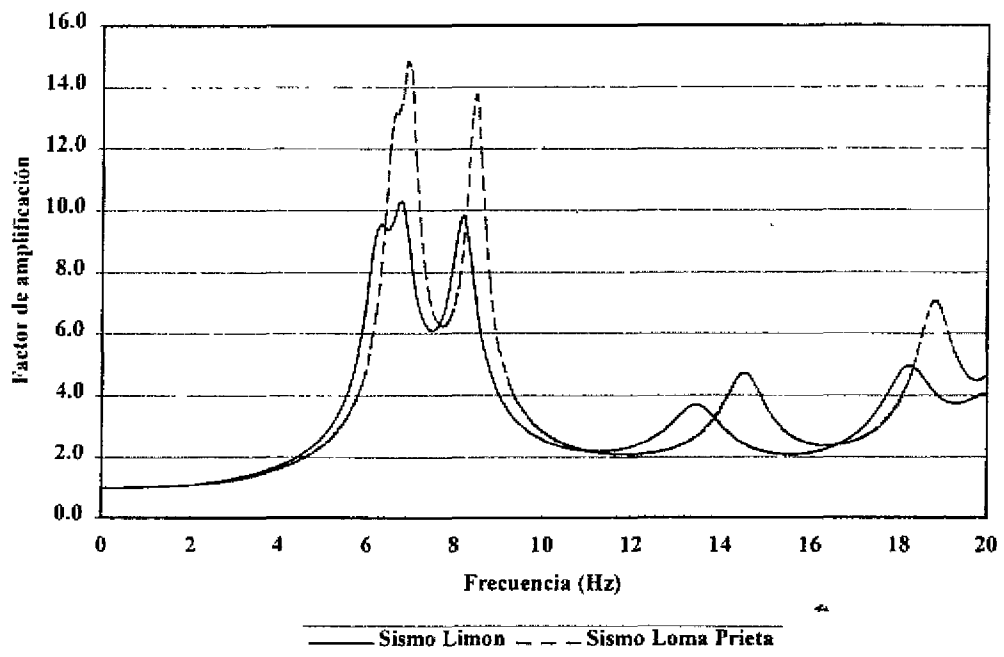


Fig 7.22: FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PROMEDIO (Grupo B)



Nuevamente se puede notar nuevos períodos de amplificación importantes en relación al primer grupo de estudio, así mismo los valores de períodos de amplificación se correlacionan mejor aún en ambos sismos que en el caso del segundo grupo de estudio. Estos nuevos resultados permiten interpretar que las diferencias dadas con los valores del primer y segundo grupo de estudio se pueden explicar en principio por los cambios en el espesor del suelo blando (disminuye), o bien por la condición predominante de roca sedimentaria en la base del suelo blando, representado por rocas sedimentarias silíceas de la Formación Sabana Grande del Cretácico o bien por areniscas calcáreas de la Formación Rivas del Cretácico o calizas de la Formación Barra Honda del Paleoceno. También esta la posibilidad de cambios en las propiedades geofísicas de los materiales quizás por la génesis de los sedimentos y el proceso de diagénesis que puede variar entre las diferentes áreas dónde se localizan los tres grupos de estudio. La tendencia de la disminución del período fundamental del suelo blando con la disminución del espesor de suelo blando parecer ser un resultado claro al correlacionar los tres grupos de estudio, sobre todo con los valores obtenidos en el pozo TAL-122 (tabla 7.5) incluido en este grupo pero cuyo resultado difiere mucho de los demás pozos que forman este tercer grupo de estudio, esto se puede observar muy bien en las figuras 7.15 y 7.16. Los resultados de este pozo mas bien son muy similares a los obtenidos en el primer y segundo grupo de estudio. Este pozo es una excepción de todos los demás pozos incluidos en este tercer grupo de estudio debido a que este es el único que presenta una profundidad de suelo blando mayor a 30 metros en relación a los otros cuya profundidad de suelo blando es inferior a los 20 metros. Sin embargo este concepto no puede generalizarse como un resultado aplicable en cualquier región de estudio y de condiciones de sitio diferentes.

En cuanto a las amplitudes máximas de la aceleración que se obtienen del espectro de respuesta promedio tenemos:

Tabla 7.8: Períodos y aceleraciones espectrales de las amplitudes máximas obtenidos de los espectros de respuesta promedio para los sismos de Limón y Loma Prieta (fig 7.17)

Grupo A (TE9-TAL126-MT76)

SISMO DE LIMON			SISMO LOMA PRIETA		
Nº Valores	Periodo (seg)	g's	Nº Valores	Periodo (seg)	g's
1	0.24 (4.17Hz)	1.47	1	0.26 (3.85Hz)	0.46
2	0.55 (1.82Hz)	0.51	2	0.18 (5.56Hz)	0.45
3	0.85 (1.18Hz)	0.32	3	0.65 (1.54Hz)	0.26

g's: dado en porcentaje del valor de la gravedad

Tabla 7.9: Períodos y aceleraciones espectrales de las amplitudes máximas obtenidos de los espectros de respuesta promedio para los sismos de Limón y Loma Prieta (fig 7.18)

Grupo B (TE14-TAL127-MT76)

SISMO DE LIMÓN			SISMO LOMA PRIETA		
Nº Valores	Periodo (seg)	g's	Nº Valores	Periodo (seg)	g's
1	0.14 (7.14Hz)	1.27	1	0.12 (8.33Hz)	0.54
2	0.55 (1.82Hz)	0.42	2	0.65(1.54Hz)	0.23
3	0.85 (1.18Hz)	0.29	3	-----	-----

g's: dado en porcentaje del valor de la gravedad

Lo primero en observar es que las mayores amplitudes ocurren a períodos más bajos que los obtenidos en los dos grupos de estudio anteriores. Otro aspecto de observar es que se presentan los máximos valores de amplificación al menos para el primer valor en los grupos A y B.

Si analizamos los factores de amplificación en ambos grupos tenemos:

Tabla 7.10: Valores de amplificación obtenidos de las funciones de transferencia promedio y los espectros de respuesta de los sismos de Limón y Loma Prieta (figs 7.1, 7.2, 7.19 y 7.20)

Grupo A (TE9-TAL126-MT76)

SISMO DE LIMÓN					SISMO LOMA PRIETA				
Nº Valores	Periodo (seg)	F.A.	g's		Nº Valores	Periodo (seg)	F.A.	g's	
			Espectral	Amplificado				Espectral	Amplificado
1	0.21	8.45	0.239	2.02	1	0.19	12.10	0.10	1.21
2	0.26	7.13	0.244	1.74	2	0.26	7.94	0.145	1.15
3	0.11	3.69	0.19	0.70	3	0.10	5.10	0.084	0.43

Tabla 7.11: Valores de amplificación obtenidos de las funciones de transferencia promedio y los espectros de respuesta para los sismos de Limón y Loma Prieta (figs 7.1, 7.2, 7.21 y 7.22)

Grupo B (TE14-TAL127-MT76)

SISMO DE LIMÓN					SISMO LOMA PRIETA				
Nº Valores	Periodo (seg)	F.A.	g's		Nº Valores	Periodo (seg)	F.A.	g's	
			Espectral	Amplificado				Espectral	Amplificado
1	0.15	10.3	0.21	2.15	1	0.14	14.8	0.087	1.29
2	0.12	9.82	0.20	1.96	2	0.12	13.7	0.082	1.13
3	0.16	9.55	0.18	1.72	3	0.07	4.73	0.07	0.33

Lo primero en observar es que los valores de amplificación obtenidos con los factores de amplificación de las funciones de transferencia son mayores que los valores espectrales. Por otro lado presentan los valores de mayor amplitud de los tres grupos de estudio, tanto que se puede decir que sobrestiman en gran medida los valores de amplificación. Como se mencionó al principio los resultados deben ser evaluados más en identificar a que períodos o frecuencias ocurren las mayores amplificaciones que la magnitud misma de estas. Lo anterior debido a que se ha notado que tanto los espectros de respuesta como las funciones de amplificación a veces tienden a sobrestimar los valores de amplificación. Nuevamente por el momento solo podemos decir que las diferencias en los resultados obtenidos en los tres grupos de estudio pueden ser debidas a cambios en el espesor de los materiales considerados como suelo blando, a la condición de roca sedimentaria en el basamento del suelo blando, o bien en posibles cambios geofísicos del suelo blando o condiciones de sitio.

Las velocidades espectrales presentan la característica de correlacionar muy poco los períodos de mayor amplitud en ambos sismos en relación a las aceleraciones espectrales y las funciones de transferencia. Si correlacionamos los valores de aceleración y velocidad espectral podemos notar que el Grupo A correlaciona mejor los resultados que el Grupo B. También se puede observar que para este grupo las velocidades tienden a amplificar a períodos más bajos en relación al primero y segundo grupo de estudio.

7.5 Resultados generales de los tres grupos de pozos estudiados

La tabla 7.12 resume los resultados generales que se obtienen de los tres grupos de pozos estudiados. En general se toman en cuenta los tres primeros valores de períodos de mayor amplificación. Se consideran los rangos de período y el valor del período aproximado considerando los valores espectrales y las funciones de transferencia con ambos sismos utilizados. Los resultados se enfocan más en determinar en que rangos de período y el valor del período de oscilación del suelo aproximado en el cual ocurre la máxima amplitud, más que en determinar el valor o la magnitud del parámetro amplificado, debido a que se ha observado que en algunos casos o en la mayoría de los casos el programa tiende a sobrestimar los valores de amplificación. Asumiendo lo anterior se obtiene para el primer grupo de pozos estudiado un rango de períodos entre 0.5-1.0 segundos donde ocurre amplificación, para un valor aproximado en 0.85 segundos y se tienen los mayores espesores de suelo blando entre 35-60 metros (Tabla 7.12). Para el segundo grupo de pozos estudiado se tiene un rango entre 0.5-0.9 segundos donde ocurre amplificación, para un valor aproximado en 0.6 segundos según los valores espectrales y 0.7 segundos según las funciones de transferencia. Se tienen espesores intermedios de suelo blando entre 30-50 metros (Tabla 7.12). Para el caso del tercer grupo de pozos estudiados se tiene un rango entre 0.12-0.3 segundos donde ocurre amplificación. Es posible obtener dos períodos de oscilación importantes en 0.23 segundos y 0.13 segundos correlacionando los valores espectrales y las funciones de transferencia. Para este grupo se tienen los espesores mínimos de suelo blando entre los 10-20 metros (Tabla 7.12).

La figura 7.23 muestra el mapa con los resultados generales de los valores de períodos de oscilación del suelo para la máxima amplitud, obtenidos a partir de las correlaciones de los

valores espectrales y las funciones de transferencia con ambos sismos utilizados. Se puede observar de acuerdo a los resultados mostrados en el mapa que los mayores valores en los períodos de oscilación del suelo cercanos a 1 segundo se presentan en la región más hacia el noroeste del área de estudio (primer grupo de pozos estudiados). Sin embargo a pesar de que los resultados dan valores cercanos a 1 segundo acorde con los resultados estadísticos de Seed & Idriss (1982) para suelos más blandos, debemos considerar la posibilidad de que puedan darse valores mayores a 1 segundo, si tomamos como ejemplo el terremoto de México de 1985, donde ocurrieron amplificaciones máximas en el rango de períodos entre 2-3 segundos. Los valores de períodos intermedios y mínimos se presentan en la región central y más hacia el sureste correspondiendo con las áreas del segundo y tercer grupo de pozos estudiados. Se puede interpretar de los resultados una variación del período de oscilación del suelo que varía de períodos máximos cercanos a 1 segundo para la región más hacia el noroeste hasta valores entre 0.12-0.3 segundos para la región mas hacia el sureste paralelo al eje del valle sinclinal o graben de la cuenca del Tempisque. Tales variaciones parecen estar dadas por tres factores principales: primero la variación del espesor del suelo blando con valores máximos entre los 60-70 metros para la región mas hacia el noroeste, hasta valores mínimos de 10 metros para la región mas hacia el sureste como se mencionó anteriormente; segundo debido a la presencia de roca sedimentaria en el basamento del suelo blando, parcialmente en el área del segundo grupo de pozos estudiados y totalmente en el área del tercer grupo de pozos estudiados; y tercero a posibles cambios de las propiedades físicas de los rellenos aluviales relativo al área de cada grupo de pozos estudiados, debido precisamente a la variabilidad geológica presente en toda el área de estudio considerada.

Tabla 7.12: RESULTADOS GENERALES DE LOS TRES GRUPOS DE POZOS ESTUDIADOS

	Grupo I			Grupo II			Grupo II				
	CN-33 / CN-71 / CN-72 / CN-73 / CN-77 / CN-129 / BE-44			BE-69 / BE-105 / BE-136			A				
	Limón	Loma Prieta		Limón	Loma Prieta		TE-9/TAL-126/MT-76	Limón	Loma Prieta	TE-14/TAL-127/MT-75	
Espectral	0.85	0.62		0.7	0.53		0.24	0.14	0.12		
F.T.	0.91	0.77		0.75	0.63		0.21	0.15	0.14		
F.A.	4.74	6.43		3.38	4.08		8.45	12.1	10.25	14.82	
Espesor	35 - 60 metros			30 - 50 metros			10 - 20 metros				
Rango	0.5 - 1.0			0.5 - 0.9			0.12 - 0.3				
Aproximado	0.85			0.6 (espectral) / 0.7 (F.T.)			0.23			0.13	

7.6 Espectros de diseño propuestos

Los espectros de respuesta de terremotos reales son altamente irregulares, sus formas reflejan los detalles de sus contenidos de frecuencia específicos y fase. Los espectros de diseño son generalmente más suavizados. Son determinados ya sea suavizando, promediando o envolviendo los espectros de respuesta de múltiples movimientos. El uso de espectros de respuesta con curvas suavizadas implícitamente reconoce la incertidumbre con la cual se conocen las propiedades del suelo y la estructura, evitando fluctuaciones de forma en las aceleraciones espectrales con cambios pequeños de período. Como se mencionó en el apartado 7.4 el espectro de respuesta es un ploteo de las repuestas máximas de diferentes osciladores a un acelerograma dado, por tanto es una descripción del movimiento particular del terreno. El espectro suavizado del terreno es una especificación del nivel de la fuerza sísmica de diseño o desplazamiento, como una función del período y el amortiguamiento. La forma de los espectros de diseño son determinados en algunos casos a partir de espectros de respuesta suavizando los picos y valles, o bien a partir del promedio de varios espectros de respuesta comparables. En otros casos la determinación de la forma del espectro de diseño es más complicada debido a que el mismo espectro debe reflejar la sacudida potencial para diferentes tipos de terremotos. Es recomendable utilizar curvas que varíen lentamente, debido a la dificultad en determinar exactamente el período de la estructura durante un sismo, tomando la expectativa de respuesta no lineal en caso de movimientos fuertes.

Los espectros de diseño están basados en el análisis estadístico de los espectros de respuesta de diferentes movimientos sísmicos. Si tenemos n espectros de respuesta, se tiene entonces n valores espectrales para cada período natural (pseudo-aceleración, pseudo-velocidad, y pseudo-desplazamiento). El análisis estadístico de los datos provee la distribución de probabilidad para la ordenada espectral, su valor medio y su desviación estándar para cada valor de T_n . Si ploteamos todos los valores medios obtenemos el espectro de respuesta promedio, que fue lo que se hizo en el apartado 7.4.

En este trabajo se utilizó la metodología aplicada por Leyendecker & Algermissen (1992) & Riddell (1992), en la cual se obtiene la aceleración máxima en 0.3 s que es la envolvente superior máxima, sin embargo este valor se hizo variar dependiendo de los resultados de amplificación de cada grupo de estudio, como una forma de eliminar aquellos valores de amplificación sobrestimados. La parte descendente de las curvas se obtiene del valor de aceleración máxima constante en 1 segundo, y se usa la variación $a_{max}(1s)/T$, donde T es el período. Lo anterior se aplicó a los espectros de respuesta promedio con sus respectivos valores de desviaciones estándar. Por otro lado los espectros de diseño propuestos se aplicaron sólo para el caso de las aceleraciones espectrales.

Para el primer grupo de estudio se obtuvieron los espectros de diseño para ambos sismos utilizados. Las curvas de diseño se obtuvieron a partir del espectro de respuesta promedio, del cual se obtuvo la media ± 2.447 desviaciones estándar. Este resultado para los siete pozos analizados en este grupo con sus respectivas desviaciones estándar representa un rango de valores para un 95% de probabilidad mayor o menor que el valor medio (figs 7.23 y 7.24).

Fig 7.24: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMÓN"

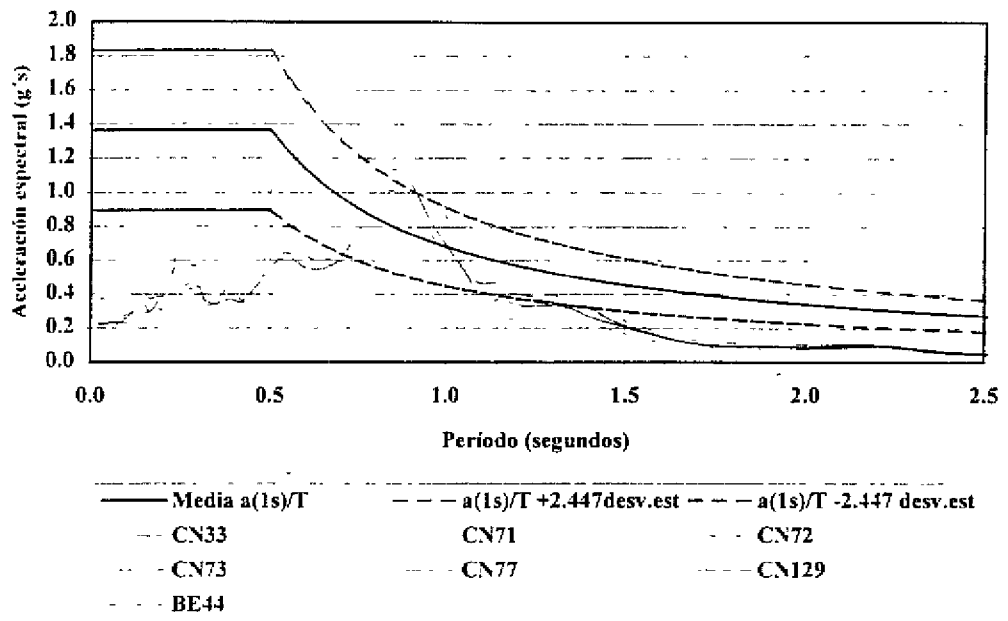
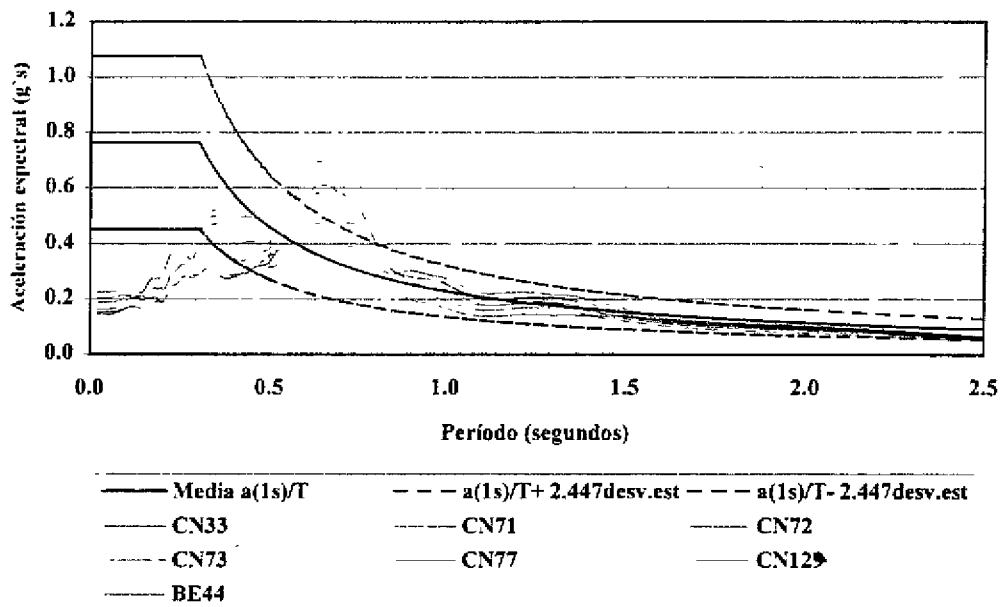


Fig 7.25: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL PRIMER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA"



La metodología permite obtener una curva suavizada general aplicable a este primer grupo de estudio. Las figuras 7.23 y 7.24 muestran también la relación entre los espectros de respuesta de los siete pozos estudiados y las curvas de diseño con sus respectivos valores de desviación estándar para un 95% de probabilidad, con esto se propone que se puede tener criterio suficiente para tomar decisiones respecto a que valores de aceleración y/o período se pueden utilizar. Podemos observar que la demanda sísmica para el caso del sismo de Limón es mayor que para el caso del sismo de Loma Prieta. Sin embargo en ambos casos se puede observar un rango de períodos entre 0.5 y 1.0 segundos de mayor importancia como efectivamente se presentó en el apartado 7.4. donde las curvas de diseño pueden ser aplicadas. Podemos observar también que las curvas de diseño tienden a reducir los valores sobrestimados de las aceleraciones espectrales que generalmente tienden a ser sobrestimados por el programa.

Para el segundo grupo de estudio tenemos solamente tres pozos analizados, esto significa tres valores de aceleración espectral para cada período. Con esto se obtuvo la media \pm 1.87 desviaciones estándar, el cual representa un valor con el 80% de probabilidad. En las figuras 7.25 y 7.26 podemos observar las curvas de diseño con los respectivos espectros de respuesta de cada pozo. Nuevamente podemos comparar los valores espectrales de aceleración con las curvas de diseño obtenidas a partir de la media y sus respectivas desviaciones estándar. Podemos observar que las curvas de diseño se ajustan mejor con los resultados espectrales para el caso del sismo de Limón que en el caso del sismo de Loma Prieta. Se puede observar también la importancia de períodos menores de 0.5 segundos donde se puede aplicar las curvas de diseño, principalmente para el caso del sismo de Loma Prieta. Para el caso del sismo de Limón los valores de aceleración media y mínima de las curvas de diseño son menores que las obtenidas en el primer grupo mientras la aceleración máxima se mantiene prácticamente invariable. Sin embargo hay que notar que el factor para la desviación estándar es mayor para el primer grupo. A pesar de lo anterior el área de probabilidad respecto a la media es menor para el primer grupo de estudio que para el segundo (figs 7.23 y 7.25), esto refleja mayor dispersión en los datos del segundo grupo de estudio que abarca un 80% de probabilidad frente a un 95% de probabilidad para el primer grupo de estudio. Lo anterior se puede observar también cualitativamente al observar la relación entre los espectros de respuesta en ambos grupos de estudio y sismos utilizados. Para el caso del sismo de Loma Prieta los valores espectrales de diseño son menores en el segundo grupo de estudio en relación al primero, sin embargo las curvas de diseño presentan menor variabilidad considerando el 80% y 95% de probabilidad respecto a la media en ambos casos respectivamente (figs 7.24 y 7.26).

Fig 7.26: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LIMÓN"

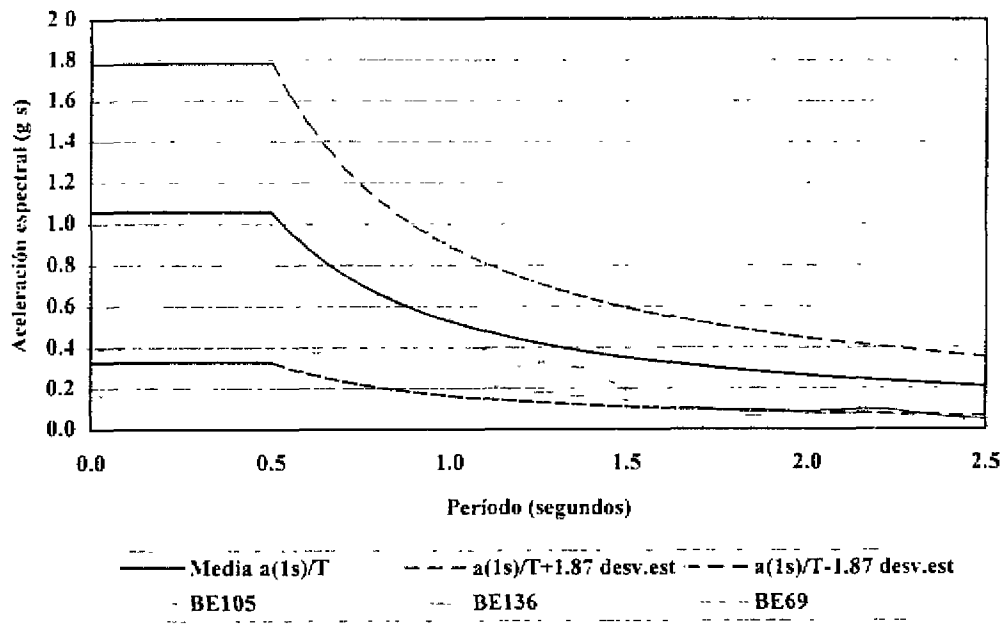
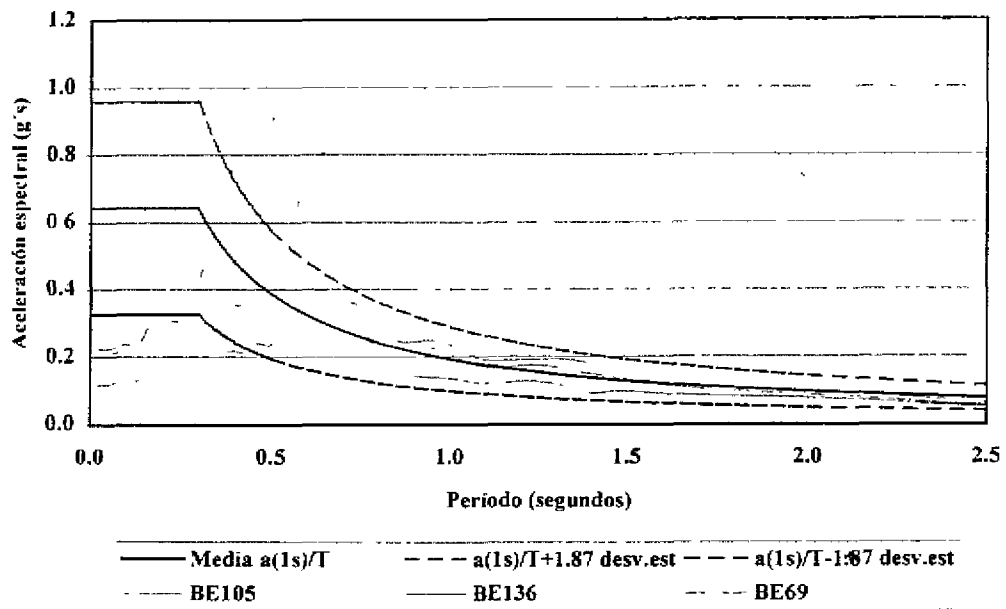


Fig 7.27: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL SEGUNDO GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA"



Para el tercer grupo de estudio se obtuvieron de la misma forma los espectros de diseño para cada subgrupo. Las figuras 7.27 y 7.28 muestran los espectros de diseño y los espectros de respuesta para el Grupo A y para los dos sismos utilizados. Este grupo como se mencionó en el apartado 7.4 está formado por tres pozos de los cuales se obtuvo el espectro de respuesta promedio con el que se obtuvo la media del espectro de diseño ± 4.303 desviaciones estándar que representa el 95% de probabilidad.

Se puede observar que los resultados de este Grupo A se correlacionan mejor que los dos grupos anteriores, hecho que se puede observar a partir de las curvas de diseño que representan las desviaciones estándar respecto a la media (figs 7.27 y 7.28). La característica principal de este grupo de estudio es que las curvas del espectro de diseño pueden ser aplicadas en un rango de períodos menores que los aplicados en el primero y segundo grupo de estudio. Se propone un rango de períodos entre 0.16 y 0.5 segundos o mayor donde pueden ser aplicables las curvas de diseño.

Fig 7.28: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL
TERCER GRUPO DE ESTUDIO
"SISMO DE LIMÓN"
(Grupo A)

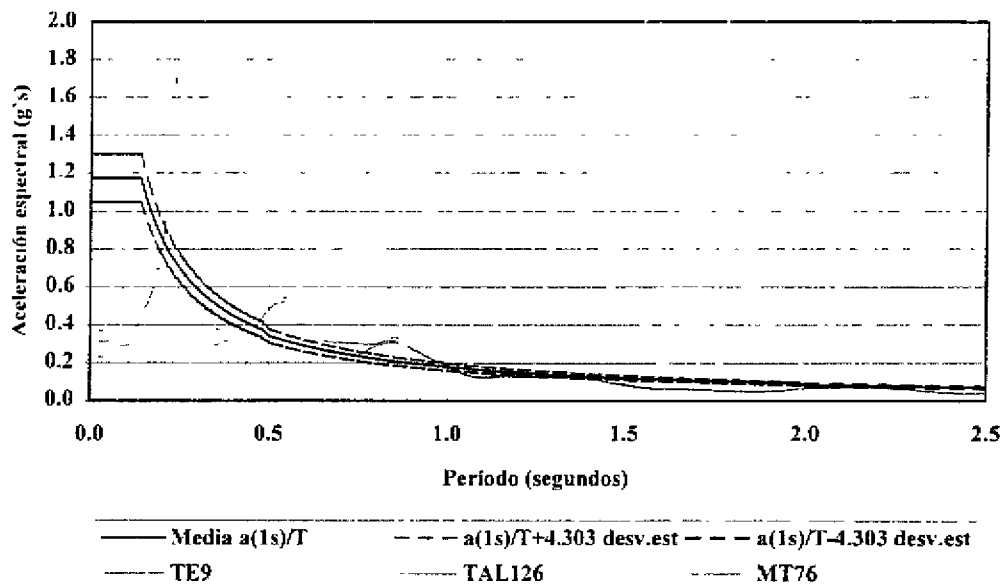
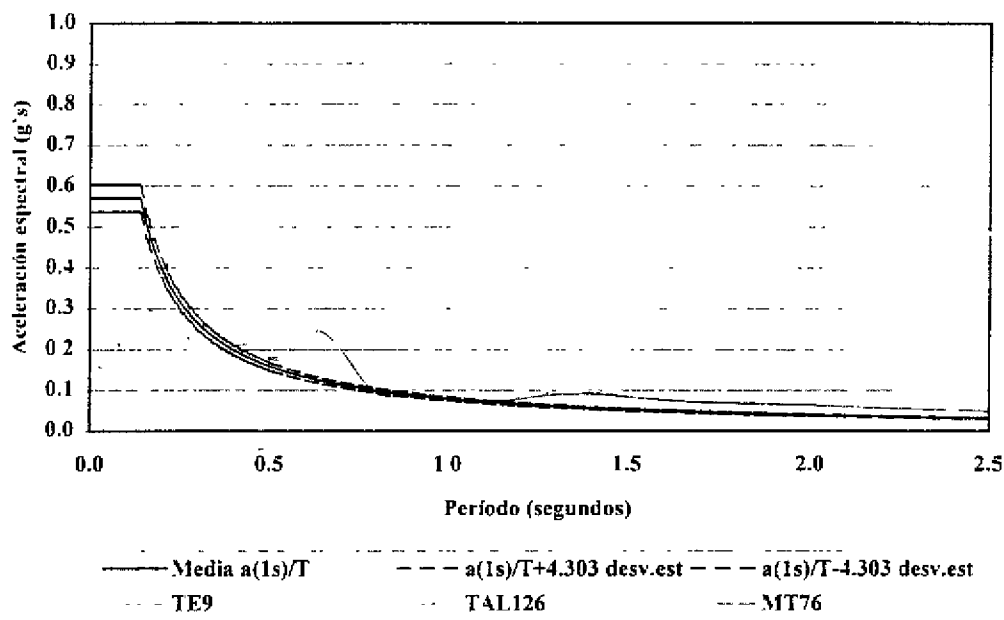


Fig 7.29: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL TERCER GRUPO DE ESTUDIO "SISMO DE LOMA PRIETA" (Grupo A)



Los espectros de diseño propuestos para el Grupo B se muestran en las figuras 7.29 y 7.30. Nuevamente se presenta la media del espectro de diseño con sus respectivas desviaciones estándar para un 95% de probabilidad. En este grupo se observan tres características principales:

1. Es el grupo que mejor correlaciona los valores espectrales de aceleración o que presenta menor variabilidad en los valores espectrales de aceleración, inclusive mejor que el Grupo A;
2. Es quizás el grupo en el cual los espectros de diseño correlacionan mejor los espectros de respuesta (figs 7.29 y 7.30), principalmente para el caso del sismo de Limón (fig 7.29) donde la envolvente representa muy bien los resultados espectrales de cada pozo. Esto último se puede observar, por ejemplo, si comparamos los espectros de diseño y los espectros de respuesta de los Grupos A y B;
3. Las curvas de los espectros de diseño pueden representar muy bien los valores en un rango de períodos entre 0.12 y 0.5 segundos o mayor.

Fig 7.30: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL
TERCER GRUPO DE ESTUDIO
"SISMO DE LIMÓN"
(Grupo B)

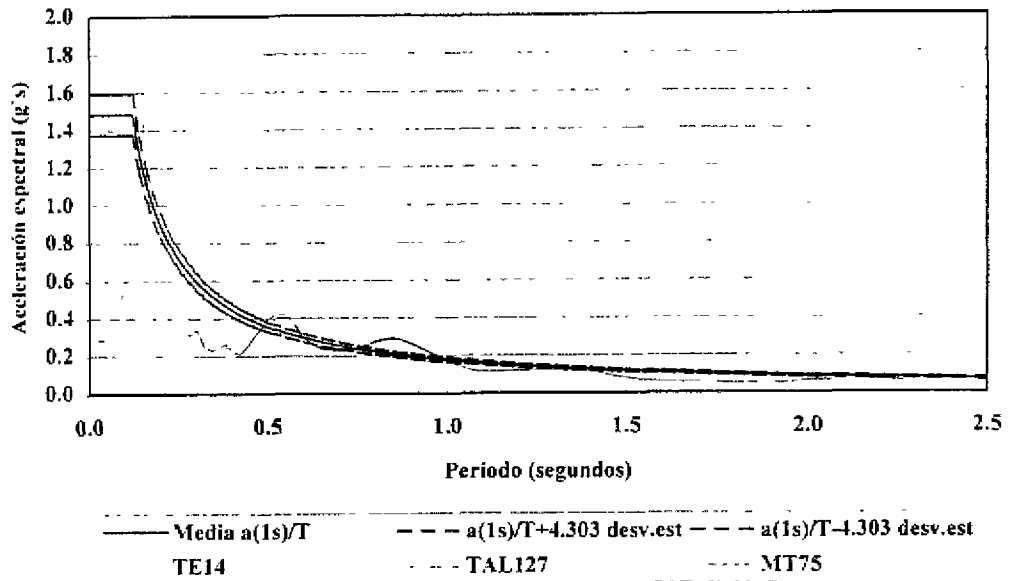
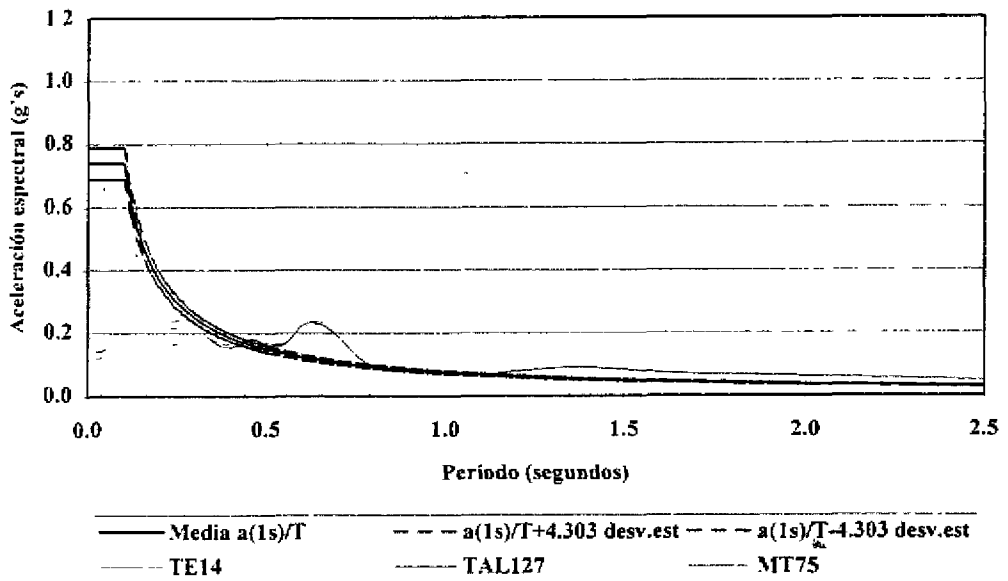


Fig 7.31: ESPECTROS DE DISEÑO Y ESPECTROS DE RESPUESTA PARA EL
TERCER GRUPO DE ESTUDIO
"SISMO DE LOMA PRIETA"
(Grupo B)



Dos resultados generales pueden obtenerse a partir de este tercer grupo de estudio: primero que los valores espectrales de aceleración cambian más rápidamente en un rango de períodos similar en relación a los dos grupos de estudio anteriores. Esto se puede observar si comparamos el decaimiento de las curvas de los espectros de diseño en el primero, segundo y tercer grupo de estudio; segundo los espectros de diseño para el caso del primer y segundo grupo de estudio funcionan muy bien en el rango de períodos entre 0.5 y 1.0 segundos o mayor, para el caso del tercer grupo de estudio funcionan muy bien para un rango determinado entre 0.12 y 0.5 segundos o mayor.

Un resultado general que se obtiene de los espectros de diseño es que estos tienden a correlacionar mejor los resultados espectrales tanto a nivel de grupos de estudio específicos como a nivel general. También estos permiten eliminar los valores sobrestimados de las aceleraciones espectrales.

7.7 Limitaciones

La falta de exploración de geofísica de campo y ensayos de laboratorio, sumado con la escala de trabajo limita en alguna medida el proceso investigativo de este trabajo. Debe ser claro la importancia de determinar las propiedades geofísicas *in situ* de los suelos considerados como blandos y las rocas en este tipo de trabajos, sin embargo la metodología permitió obtener una buena correlación con sitios de condiciones geológicas similares para una aproximación de los resultados. Este trabajo sin embargo, no sustituye estudios locales de respuesta sísmica del suelo para diseño y concepción de obras civiles.