

## Capítulo 4. Microtremores

### a. Introducción

De las diferentes técnicas que utilizan microtremores, la de Nakamura (1989) ha tenido bastante aceptación debido a su fácil implementación tanto en el trabajo de campo como en el procesamiento de los datos. La instrumentación consiste en un acelerómetro triaxial con el cual se registran microtemblores en superficie, su procesamiento es simple, consistiendo en la determinación de los espectros de Fourier de las componentes Horizontal (H) y vertical (V), y finalmente realizar la relación espectral H/V, lo cual según Nakamura da la función de transferencia aproximada del subsuelo. En este capítulo se expondrán algunas observaciones sobre el actual mapa de periodos dominantes de las N.T.C. para Diseño por Sismo para el Distrito Federal, también se describirá los cambios observados en los valores de periodo del suelo en un periodo de tiempo de veinte años.

### b. Observaciones sobre el mapa de periodos predominantes de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo

El fenómeno del hundimiento regional no sólo ha generado la aparición de agrietamientos en superficie así como la reducción del espesor en el subsuelo de la ciudad de México, sino que también ha causado cambios en los valores de periodo dominante del suelo. El trabajo realizado por Lermo y Chávez en 1992 “Estimación de periodos dominantes y amplificación relativa en zonas faltantes del DF”, sentó las bases para la generación de un prototipo de mapa de periodos dominante, construido mediante 502 datos de microtremores y aceleración que dan una estimación de los efectos locales de los suelos al ser sometidos a las ondas sísmicas (Figura 4.1). Esta información sirvió como base para, posteriormente generar el mapa vigente de periodos dominantes de las N.T.C. por Diseño para Sismo, mediante algunas modificaciones.

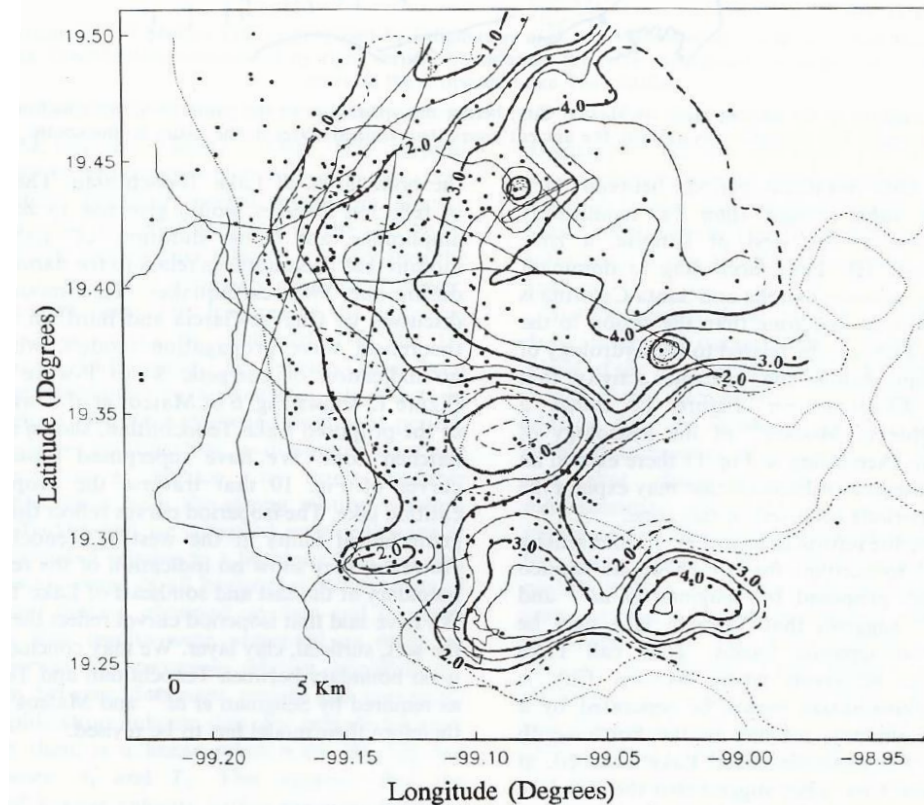


Figura 4.1. Propuesta de mapa de isoperiodos para la ciudad de México (Lermo y Chávez, 1992).

En 2004 se hace público el mapa vigente para Diseño por Sismo, el cual siendo analizado detalladamente, presenta inconsistencias sísmicas, principalmente alrededor del Peñón de los Baños y el Peñón del Marqués, en donde las curvas de isoperiodo 3.0s a 4.0s prácticamente cruzan por debajo a estos cuerpos montañosos, lo cual desde el punto de vista ingenieril es ilógico (Figura 4.2). Es de esperarse tener curvas de isoperiodo alrededor de los cerros que sobresalen en el interior de la zona de lago, a semejanza de las curvas de igual profundidad de la figura 2.2. De esta manera, se tendría una configuración similar para las curvas de isoperiodos alrededor de esas anomalías geotécnicas. Esto se justifica porque existe una relación entre el espesor de suelo y el valor de periodo dominante.

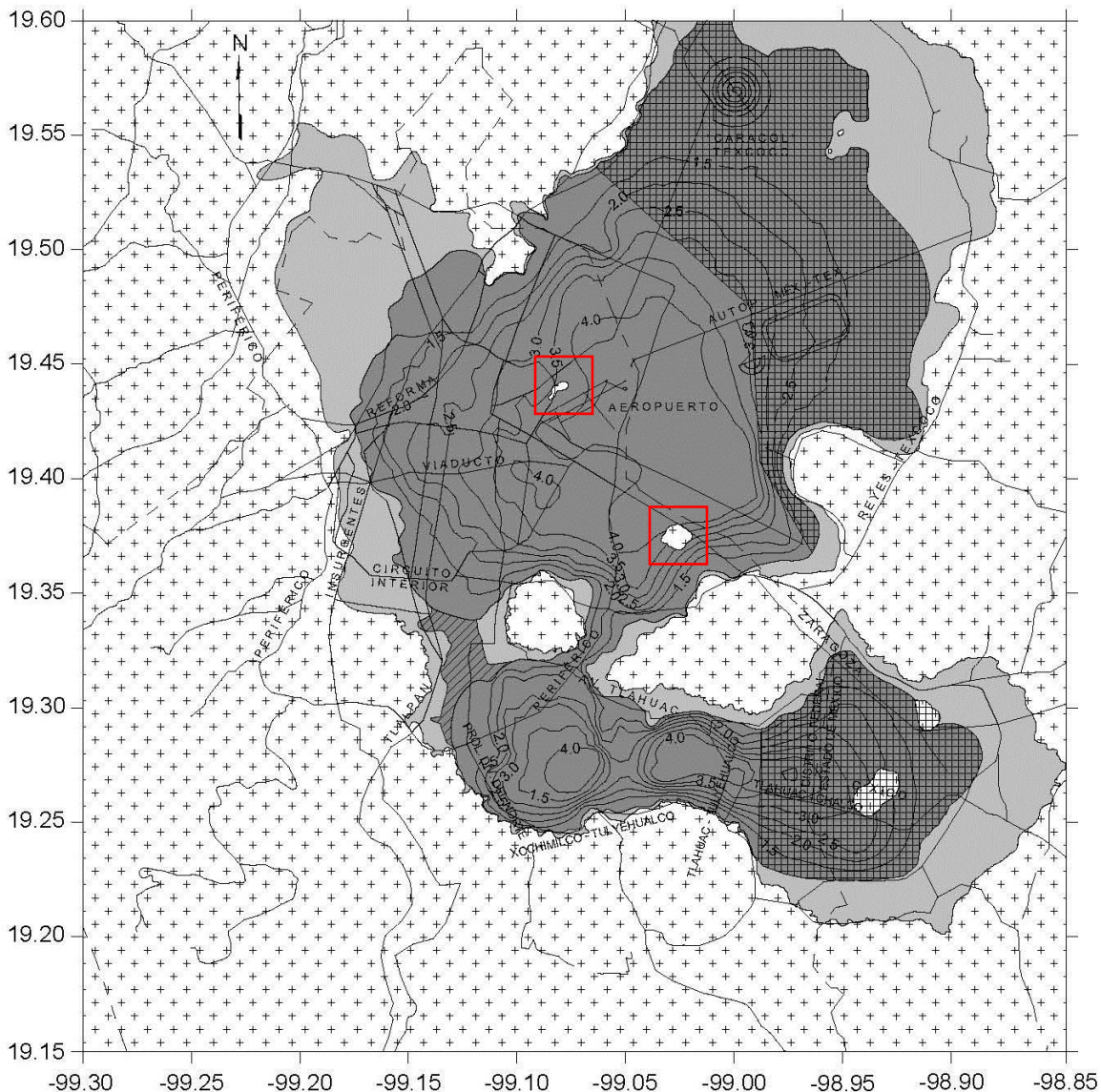


Figura 4.2. Mapa de periodos predominates del suelo vigente para las N.T.C., 2004. Las zonas en recuadro rojo presentan las inconsistencias citadas.

En la figura 4.3, se presenta la topografía y la morfología de los cuerpos montañosos que rodean a la ciudad de México. En esta lámina se puede observar la transición entre los cuerpos montañosos y la zona de lago, marcada por una franja de amplitud variable en color rojo, la cual en algunas zonas presenta una mayor extensión, lo cual representa una transición lenta a los depósitos de lago. Por el contrario, las zonas con una transición más rápida hacia los depósitos blandos está representada por una franja mucho más delgada. Nótese como la forma de esta franja en rojo coincide con la geometría de la línea en negro, la cual marca el límite entre la zona de loma, caracterizada por valores máximos de periodo de 0.5s y la zona de transición (0.6s a 1.0s). Esta línea se obtuvo del actual reglamento de periodos predominantes.

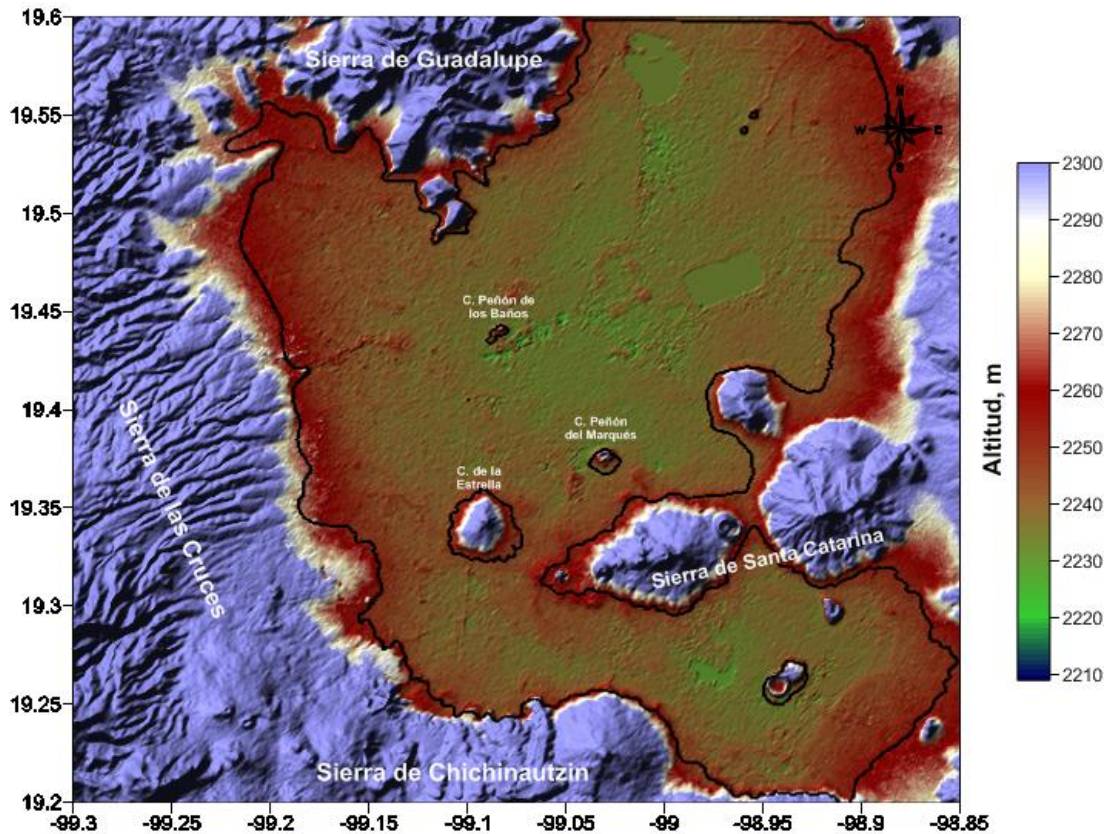


Figura 4.3. Morfología de la ciudad de México.

Los límites 0.5s y 1.0s del vigente reglamento fueron establecidos con base en 87 datos contenidos en el estudio de Lermo *et. al.* (1992), cantidad que es claramente insuficiente para marcar un límite confiable con un bajo grado de incertidumbre. La mayor concentración de los datos, comprendidos entre 0.3 y 1.0 s. se localizan en la parte poniente, dejando a muchas otras zonas desprovistas de información, como lo es la zona sur, oriente y norte. En la figura 4.4 se muestra la distribución de los 87 datos que sirvieron como base para proponer los límites 0.5s y 1.0s. Se observa que de este total de datos, tan sólo 13 tienen valores entre 0.3s a 0.5s y están distribuidos erráticamente por toda la ciudad de México. En cambio se tienen 74 datos con valores entre 0.6s a 1.0s concentrados principalmente en la zona noroeste del Distrito Federal. Se aprecia como para la zona oriente se tienen apenas dos datos con valor máximo de 0.5s y ninguno para valores máximos de 1.0s; para la zona sur un dato de 0.5s y siete datos con valor máximo de 0.9s. En la zona noroeste de esta lámina, se aprecian tres valores entre 0.6s y 0.7s los cuales están en zona de loma, cuando su valor representa que pertenecen a zona de transición. De igual forma sucede con más valores hacia el sur.

Por lo anterior se concluye que el límite  $T_0 = 0.5s$  prácticamente no existe para ninguna zona de la Cuenca de México y que este fue impuesto mediante geotecnia. El límite  $T_0 = 1.0s$  es medianamente representativo para la zona noroeste del Distrito Federal, en cambio para el resto de la cuenca no representa las características sísmicas del suelo.

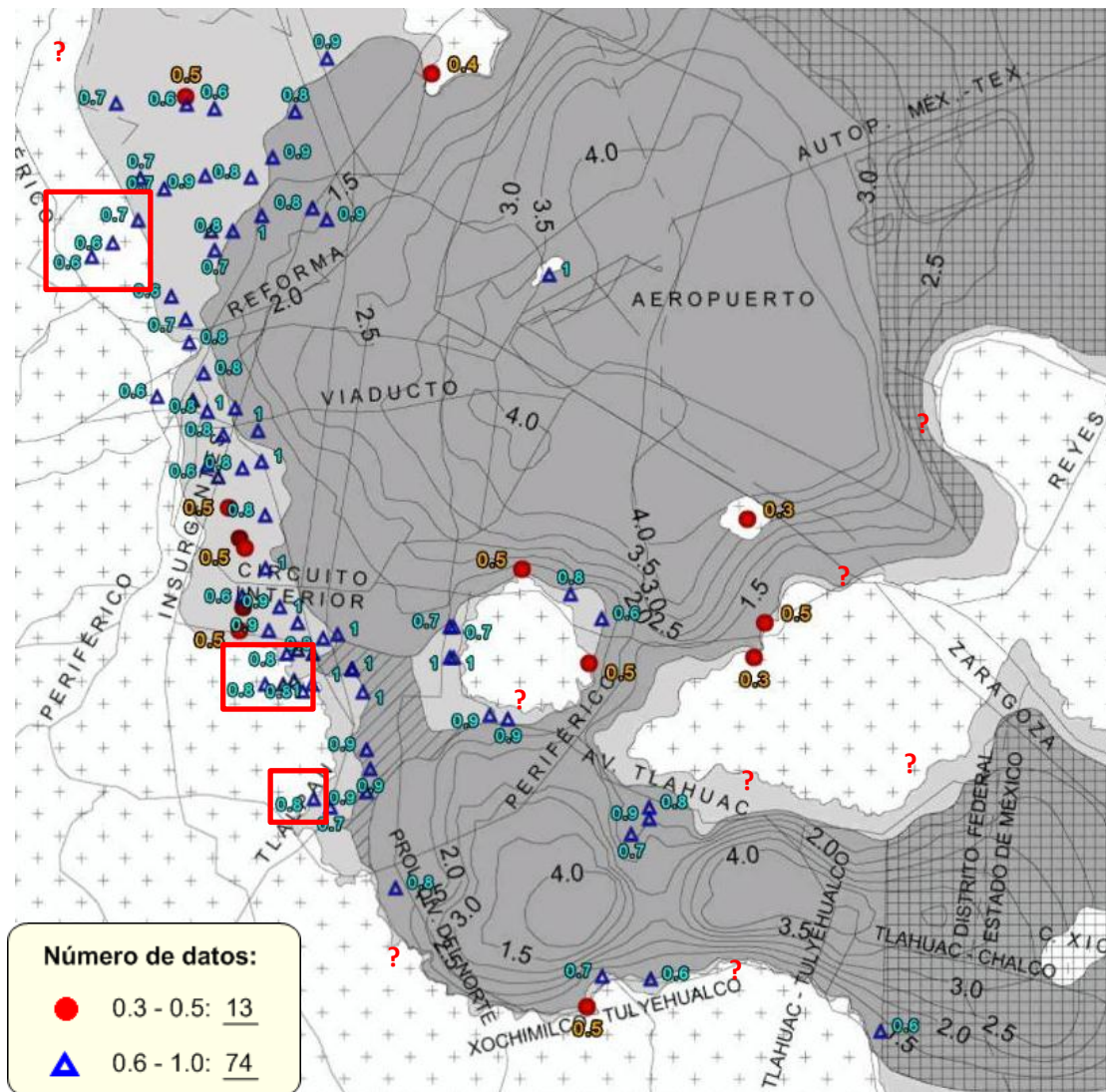


Figura 4.4. Distribución y localización de los datos de microtremores comprendidos entre 0.3 y 1.0 s.

En noviembre de 2010, se realizó una campaña de adquisición de datos de microtremores en 24 sitios instrumentados con acelerómetros en ésta ciudad. Las estaciones en donde se realizaron estas mediciones se presentan en la figura 4.5 y los datos en la Tabla 4.1. En las primeras columnas se muestra la clave de la estación acelerométrica y la institución que la administra. La tercer y quinta columna muestran los periodos dominantes del suelo obtenidos con datos de aceleración o sismos para el año de 1992 y 2010, respectivamente. La cuarta y sexta columna corresponden a las amplitudes relativas de las razones espectrales para los datos de aceleración citados anteriormente. La octava y novena columna indican el periodo dominante del suelo obtenido con mediciones de microtremores, de igual manera para los años 1992 y 2010, respectivamente.

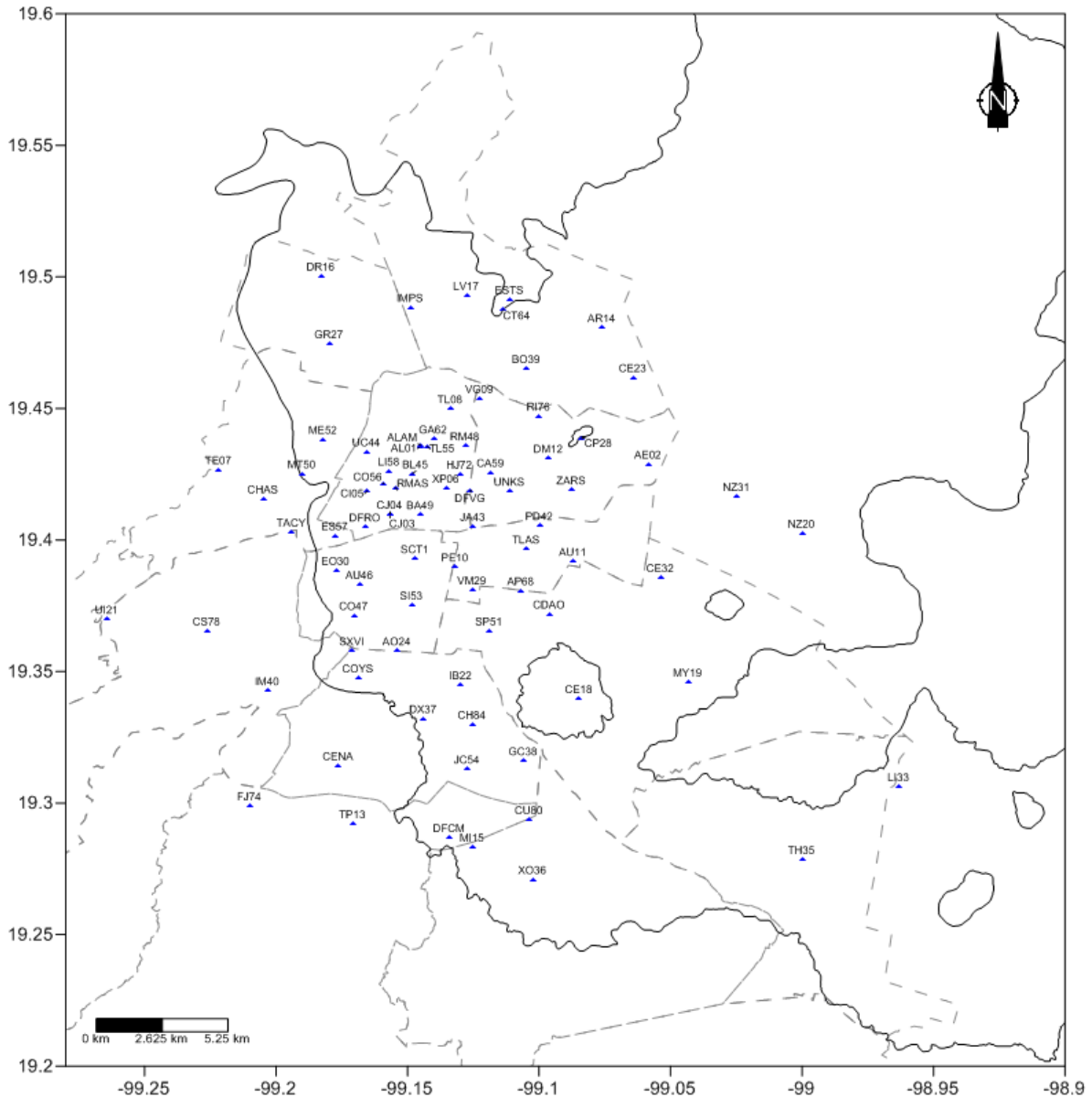


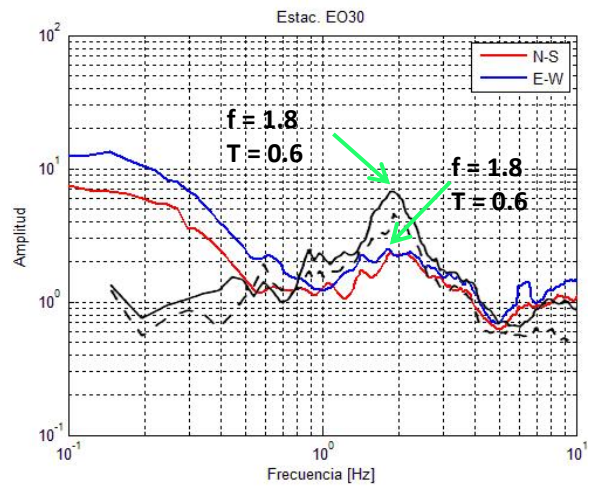
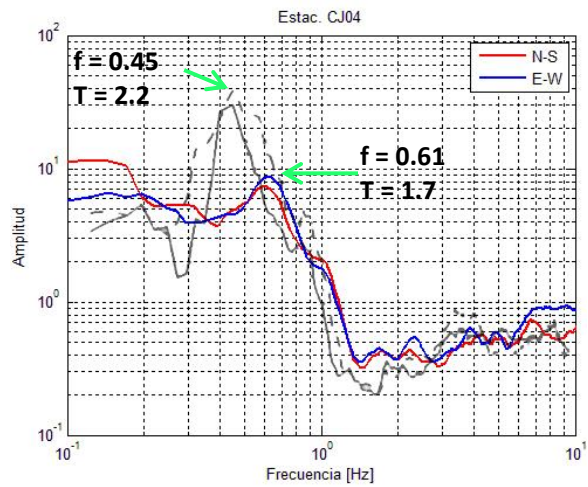
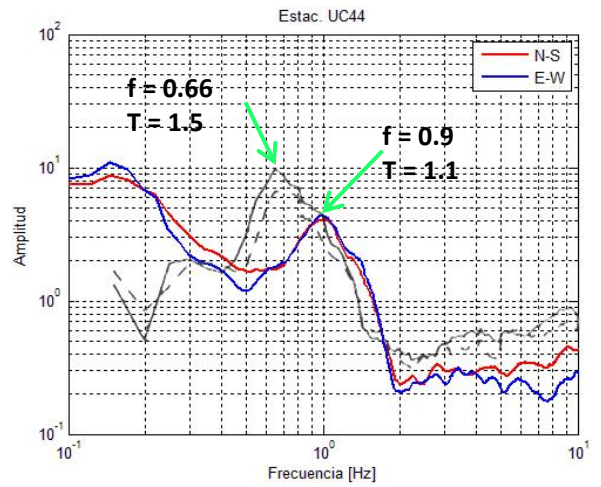
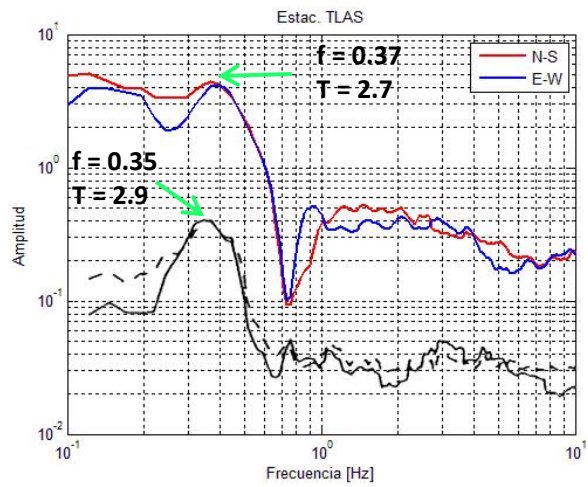
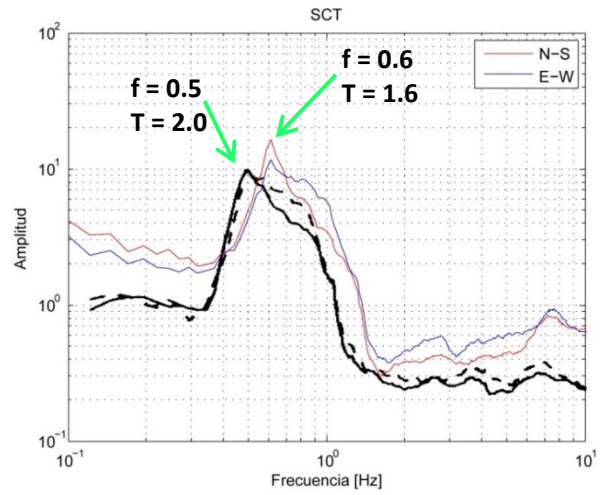
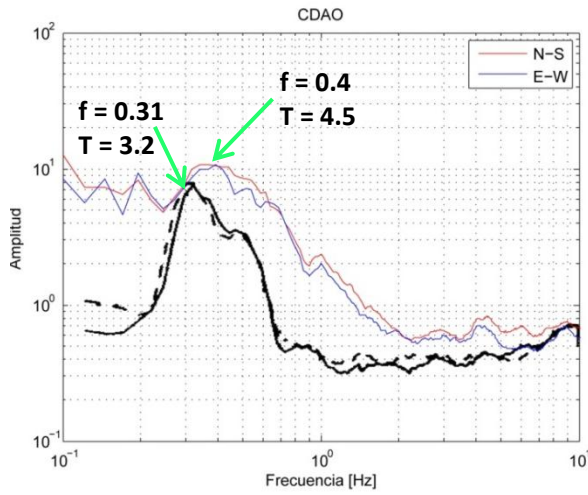
Figura 4.5. Localización de las estaciones acelerométricas presentes en la Ciudad de México.

En la toma de datos se empleó un acelerómetro Kinematics Altus K2, se orientó hacia el norte y fue nivelado. La posición del acelerómetro fue de algunos cuantos metros con respecto a la estación acelerométrica (Figura 4.6). En cada estación se tomaron tres registros, cada uno de 180 segundos. Su procesado fue idéntico al que se menciona en el capítulo 4, con 4 ventanas por componente; con un total de 24 ventanas por sitio. Todas las señales de cada componente por separado se graficaron y se promediaron, para obtener la señal promedio. Así mismo se analizaron los registros de aceleración de todas las estaciones de la red del CIRES y para las estaciones SCT y CDAO del Idel. Los registros analizados refieren a eventos registrados en el año 2009 y 2010. Se empleó la técnica de Nakamura para el procesado de estos registros. Los espectros tanto de microtremores y sismos se presentan en el Anexo 3.



Figura 4.6. Localización espacial del acelerómetro con respecto a las estaciones acelerométricas.

En las siguientes imágenes que conforman la figura 4.7, se muestra la comparación entre diez razones espectrales obtenidas con registros de microtremores en las cuales se aprecia en líneas negras, el periodo dominante del subsuelo para el año 1992 (Lermo, 1992), mientras que las líneas a color representan el espectro para el año de 2010. Se aprecia claramente un corrimiento generalizado para todas las razones espectrales hacia la derecha. Por citar alguno, para el sitio CDAO se tiene cambio de periodo de 0.1 Hz, en cambio para el sitio UC44 el cambio de periodo fue de 0.24 Hz, y para el sitio EO30 se tuvo una nula diferencia en periodo. Además se observa que tanto los espectros en negro y color, para cada uno de los sitios, presentan gran similitud entre sí conservando sus principales formas características. Este corrimiento se puede traducir en que el subsuelo en casi 20 años ha presentado una disminución en su espesor y un aumento en la velocidad de la onda de cortante.





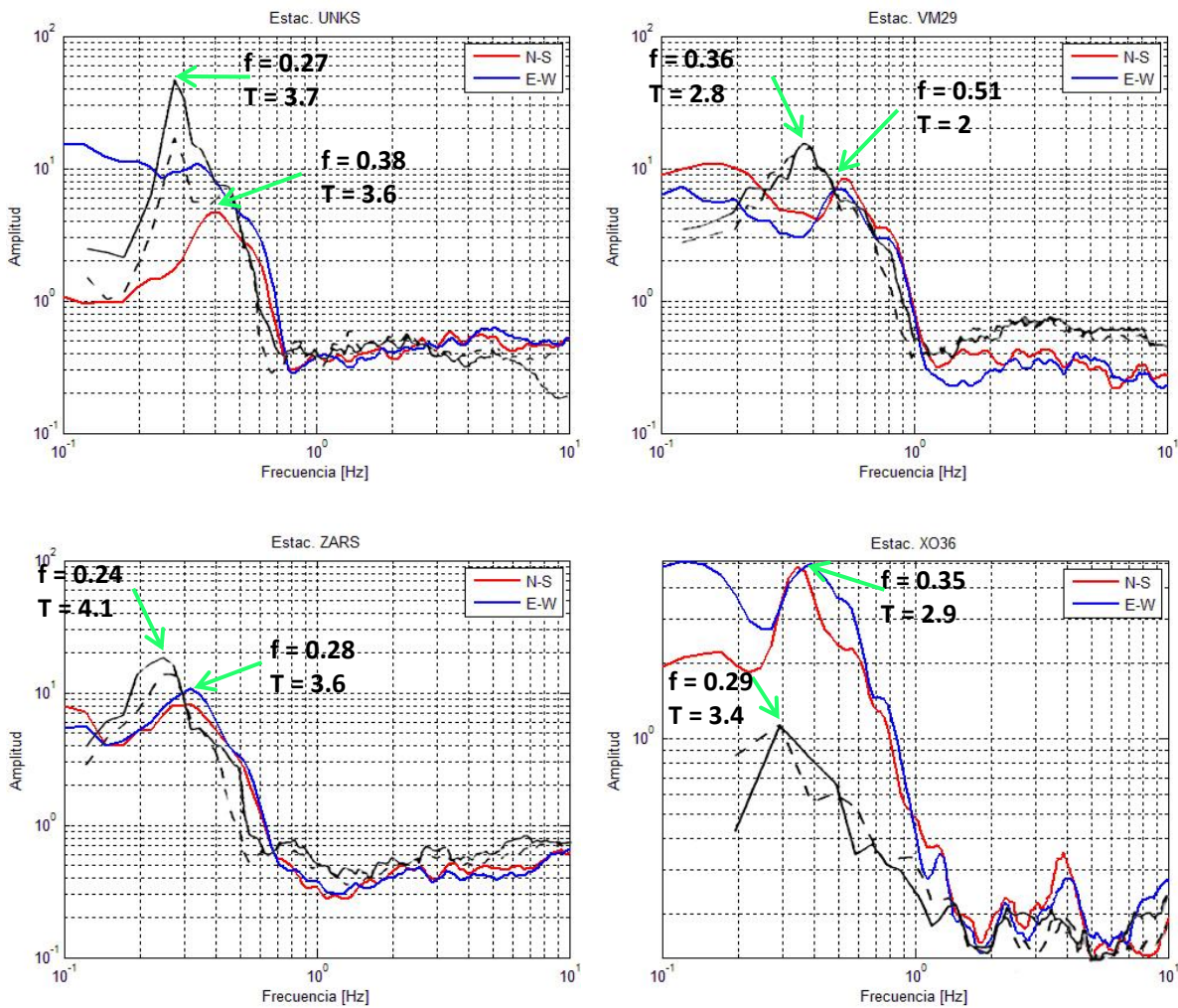


Figura 4.7. Comparativo entre la señal de 1992 (línea en negro) y 2010 (línea a color) para el sitio CDAO.

Por lo anterior, se concluye que es necesario actualizar la información de la que se dispone, ya que los valores de vibración ambiental con los que se cuenta ya no son representativos de las condiciones actuales que presenta la Cuenca de México, y en especial la ciudad de México. Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo para el Distrito Federal, entonces resultan ser obsoletas y de igual forma, no representativas, por lo cual es necesario actualizar dicho mapa y apegado a las condiciones reales del terreno, con el fin de evitar daños que podrían derivar en pérdidas humanas en el caso de presentarse un futuro sismo. En el próximo apartado se presenta una propuesta para la actualización del N.T.C. para Diseño por Sismo.

		TÉCNICA DE NAKAMURA							
INSTITUCIÓN	ESTACIÓN ACCELEROGRÁFICA	DATOS DE ACCELERACIÓN					MICROTREMORES		
		1992		2010		DIFERENCIA ( $T_{A0} - T_{A1}$ )	1992	2010	DIFERENCIA ( $T_{M0} - T_{M1}$ )
		$T_{A0}$	$Ar_{A0}$	$T_{A1}$	$Ar_{A1}$		$T_{M0}$	$T_{M1}$	
CIRES	AL01	2.1	22	1.8	20	0.3			
CIRES	AE02	5.3	26	4.8	31	0.5			
CIRES	CJ03	2.1	11	2	15	0.1			
CIRES	CJ04	2.1	13	2	15	0.1	2.2	1.7	0.5
CIRES	CI05	2	13	1.9	16	0.1			
CIRES	XPO6	3.3	18	2.9	15	0.4			
CIRES	TE07			0.4	1				
CIRES	TL08	2.2	17	1.6	15	0.6	2.2	1.6	0.6
CIRES	VG09	2.8	19	2.5	22	0.3			
CIRES	PE10	2.7	14	2.2	18	0.5			
CIRES	AU11	4.5	18	4	19	0.5			
CIRES	DM12	4	31	3.4	73	0.6		2.7	
CIRES	TP13	0.6	4	0.6	2	0			
CIRES	AR14	4	20	3.7	17	0.3			
CIRES	MI15	1.5	15	1.3	12	0.2	1.4	1.1	0.3
CIRES	DR16	0.6	7	0.6	7	0			
CIRES	LV17	1.3	12	1.3	11	0			
CIRES	CE18	0.6		0.6	10	0			
CIRES	MY19	3	13	2.7	13	0.3	2.8	2.5	0.3
CIRES	NZ20	5	15	4.6	11	0.4			
CIRES	UI21			0.5	2				
CIRES	IB22	1.5	18	1.5	14	0	1.4	1.3	0.1
CIRES	CE23	4.8	40	4.3	14	0.5			
CIRES	AO24	1	14	0.9	13	0.1			
CIRES	GR27	0.8	13	0.8	16	0		0.7	
CIRES	CP28			0.6	5				
CIRES	VM29	3.1	24	2.5	16	0.6	2.8	2	0.8
CIRES	EO30	0.6	7	0.6	6	0	0.6	0.6	0
CIRES	NZ31	5.5	12	4.1	64	1.4			
CIRES	CE32	4.5	17	4.1	21	0.4	4.2	3.4	0.8
CIRES	TH35	5	15	3.9	10	1.1			
CIRES	XO36	3.8	40	3.7	19	0.1	3.4	3.3	0.1
CIRES	DX37	1	10	1	10	0			
CIRES	GC38	1.9	23	1.6	21	0.3			
CIRES	BO39	2.9	12	2.6	26	0.3		2.2	
CIRES	IM40			0.6	4				
CIRES	PD42	4.5	26	4	28	0.5			
CIRES	JA43	3.2	27	2.9	20	0.3			
CIRES	UC44	1.5	10	1.4	18	0.1	1.5	1.1	0.4
CIRES	BL45	2.6	10	2.2	17	0.4			
CIRES	AU46	0.9	7	0.9	13	0			
CIRES	CO47	0.5	5	0.5	6	0			
CIRES	RM48	3.2	11	3	19	0.2			
CIRES	BA49	2.8	24	2.6	20	0.2		2.4	

CIRES	MT50	0.6	6	0.6	6	<b>0</b>	0.7	0.7	<b>0</b>
CIRES	SP51	2.3	19	2	18	<b>0.3</b>		1.7	
CIRES	ME52	0.9	10	0.9	12	<b>0</b>			
CIRES	SI53	1.4	12	1.2	14	<b>0.2</b>			
CIRES	JC54	1.2	18	1.1	16	<b>0.1</b>	1.1	1.1	<b>0</b>
CIRES	TL55	2.1	14	1.7	26	<b>0.4</b>			
CIRES	CO56	2.3	16	2.1	23	<b>0.2</b>			
CIRES	ES57	0.9	10	0.8	14	<b>0.1</b>			
CIRES	LI58	2.4	12	2.1	56	<b>0.3</b>			
CIRES	CA59	3.2	22	3.1	15	<b>0.1</b>		2.6	
CIRES	GA62	2.3	12	1.9	15	<b>0.4</b>			
CIRES	CT64			0.5	2				
CIRES	AP68	3.6	15	3.2	25	<b>0.4</b>			
CIRES	HJ72	2.9	19	2.8	13	<b>0.1</b>			
CIRES	FJ74			0.4	6				
CIRES	RI76			3.6	16				
CIRES	CS78			0.3	1				
CIRES	CU80	2.9	29	2.9	14	<b>0</b>			
CIRES	CH84	1.5	29	1.3	33	<b>0.2</b>		1.1	
CENAPRED	CENA								
CENAPRED	COYS								
CENAPRED	TLAS						2.9	2.7	<b>0.2</b>
CENAPRED	ZARS						4.1	3.6	<b>0.5</b>
CENAPRED	UNKS						3.7	2.6	<b>1.1</b>
CENAPRED	RMAS								
CENAPRED	ESTS								
CENAPRED	CHAS						0.5		
CENAPRED	IMPS								
IDEI	SCT1	2	11	1.9	13	<b>0.1</b>	2	1.6	<b>0.4</b>
IDEI	TACY								
IDEI	CDAO	3.6	13	2.9	24	<b>0.7</b>	3.2	2.5	<b>0.7</b>
IDEI	DFCM								
IDEI	DFRO	1.4							
IDEI	DFVG	2.9							
IDEI	ALAM								

Tabla 4.1. Relación de las estaciones acelerométricas medidas. La columna  $T_{A0}$  y  $T_{M0}$  muestra los periodos para 1992. Los datos de la columna  $T_{A1}$  y  $T_{M1}$  representan los valores recientes, año 2010. Las columnas con números en negro indican el cambio de periodo en 18 años.