

MAPA DE PERIODOS DOMINANTES DE LA VIBRACION AMBIENTAL DE LOS SUELOS BLANDOS DEL VALLE DE MEXICO

¹ L. MENDOZA
J. ACOSTA
C. HUERTA
A. REYES
² J. OTERO

RESUMEN

Para la ingeniería sísmica de la cd. de México es de gran importancia el conocimiento de la respuesta sísmica del suelo, por lo que un estudio detallado de la distribución de los periodos dominantes de la vibración del suelo en el valle de México es un paso hacia la consecución de una interpretación cuantitativa de los efectos de amplificación sísmica observados. Este estudio se enfoca hacia obtener un mapa más detallado de la distribución de los periodos dominantes del suelo para este valle. Para ello, se usaron 207 registros superficiales de ruido sísmico, más dos registros a profundidades de 20 y 40 m en un sitio. La microzonificación sísmica con el uso de registros de movimientos fuertes generados por terremotos grandes es una tarea muy difícil, tanto por la naturaleza no predecible de la ocurrencia de éstos, como por la necesidad de usar una gran cantidad de estaciones registradoras simultáneas. Por otro lado, estos problemas son de fácil solución con el uso de grabaciones de movimientos sísmicos débiles (microsismicidad), explosiones, o ruido sísmico ambiental. La ventaja de usar ruido sísmico es que puede ser registrado con la distribución espacial y temporal que más convenga, por ello este tipo de información constituye la base de datos de este trabajo. Los resultados se muestran en mapas de periodos dominantes del suelo, en conjunto con datos de otros estudios previos. Este conocimiento es útil si se considera que los edificios dañados en anteriores terremotos tenían periodos naturales similares a los de los suelos. También se presentan relaciones entre la geometría de las capas superficiales del suelo y los periodos dominantes. En este trabajo no se analiza la parte complementaria a la respuesta sísmica, la amplitud del movimiento, debido a las incertidumbres en las extrapolaciones lineales hacia movimientos fuertes.

ABSTRACT

The knowledge of the seismic response of soil is of great importance for the seismic engineering of México city; thus a reliable estimate of distribution of the dominant periods of vibration of soil in the valley is a step toward quantitative interpretation of the observed seismic signal amplifications. This study is focused on obtaining a more detailed dominant periods map for the valley of México. For this purpose seismic noise signals, recorded at 207 surface locations and two records at depths of 20 and 40 m in a single site, are used. The microzonation in Mexico city using strong ground motions generated by an earthquake is not an easy task because the non-predictable occurrence of big earthquakes, and the great number of seismic stations required. On the other hand, an easy way to deal with these problems is the use of records of weak earthquake motions (microseismicity), explosions, or seismic noise signals. The advantage of using seismic noise signals is that they can be obtained independently in time and space. This information is the major core of data used in this study. The results are shown in maps of dominant period of soils, together with the results of two previous studies. This contribution is useful when one keeps in mind that the damaged buildings in past earthquakes have similar natural periods than those of the soils. The relationship between the geometry of the shallow layers and the dominant periods of soils is also presented. The complementary part concerning the amplitude distribution, is not analyzed herein because of the uncertain linear extrapolation to strong motions.

¹ Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
Ap. postal 2732, Ensenada B. C., México.

² Fundación ICA, a.c., minería 145, México D.F. 11800

INTRODUCCION

Actualmente, es evidente que las propiedades físicas de los materiales que conforman las unidades geológicas en cada sitio pueden modificar de una forma u otra los niveles de amplitud y composición espectral de los movimientos sísmicos del terreno.

Las obras civiles de cierto tipo o forma son dañadas en mayor medida por los movimientos sísmicos cuando el período fundamental de la estructura es similar al del sitio en que está desplantada, mientras que otras estructuras construidas con periodo fundamental notoriamente diferente al del sitio, experimentan daños leves o no son dañadas.

De acuerdo a Page *et. al.* (1975), frecuentemente las estructuras más dañadas se encuentran cimentadas sobre materiales compresibles o sin consolidar. Esto significa que la magnitud de daños se relaciona con las condiciones geológicas de cada sitio en particular. Además, evidencia que las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen los estratos del subsuelo, juegan un importante papel en la determinación de las sollicitaciones sísmicas sobre las estructuras.

Se ha observado que el efecto de amplificación que experimenta la señal sísmica durante su propagación por los estratos superficiales en que se desplantan las obras civiles, depende de los parámetros físicos (propiedades mecánicas) de los materiales que constituyen los estratos, como lo son en primer orden: velocidad de propagación de ondas sísmicas, amortiguamiento intrínseco, densidad y relación de Poisson. Además, al igual que estos parámetros, los espesores y profundidad de los estratos someros del suelo, en la gran mayoría de los casos guardan una estrecha relación con el fenómeno de amplificación. En el valle de México, el efecto

antes mencionado se ha observado durante el arribo de energía sísmica proveniente de terremotos generados en la zona de la trinchera mesoamericana, a distancias epicentrales de 200 a 400 km.

Este trabajo es un esfuerzo conjunto, emprendido por Fundación ICA A.C. (FICA) y el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada B.C. (CICESE), para determinar el valor del *periodo dominante del sitio* (PDS), de movimientos horizontales del terreno. Las mediciones se hicieron en puntos selectos del valle de México, suficientes para conformar un mapa de contornos de isoperiodos a detalle, que contribuya al conocimiento de la respuesta sísmica del terreno y su relación con los parámetros geotécnicos. Se ha observado una correlación muy significativa entre los valores de los periodos dominantes y las características geométricas de la estratigrafía somera del valle, tal como se muestra en este trabajo, por lo que resulta apropiado suponer que los periodos dominantes observados son realmente los correspondientes al fenómeno de resonancia, de tal manera que también son nombrados en este trabajo como *periodos naturales del sitio* (PNS).

OBJETIVOS

Uno de los objetivos fundamentales del estudio es delinear de manera mucho más completa, la distribución de los periodos dominantes del suelo del valle de México, para aportar una base confiable en la cual apoyar los intentos de microzonificación de la respuesta sísmica en ese valle. En este mismo sentido se han realizado trabajos similares en esta área. Kobayashi, et. al. (1986) mediante la técnica de microtemores desarrollada y utilizada en Japón, midieron 94 sitios y delinearón un primer mapa de isoperiodos dominantes. Adicionalmente, la U.N.A.M a través

de su Instituto de Ingeniería, midió 123 sitios con esta misma técnica, a los que Lermo et. al., (1988) incorporaron los resultados obtenidos por Kobayashi, et. al. (1986). Con el presente trabajo, FICA y CICESE contribuyen con 207 mediciones en sitios donde no se contaba con registros. Aquí se presentan los mapas de contornos resultantes de esta campaña y los mapas finales que incluyen los datos de los colegas japoneses, UNAM y FICA-CICESE.

Ya han sido publicados mapas de contornos con los isoperiodos dominantes, determinados a partir de registros de terremotos leves y moderados, apoyándose en las estaciones de la red acelerométrica de la ciudad de México (RACM): Acosta, J. (1989) presentó mapas con la distribución de los periodos dominantes de los espectros de Fourier de aceleración y de los espectros de respuesta de aceleración absoluta, velocidad y desplazamiento relativos; así como su correlación con las áreas de daños en los sismos de 1985 y con la distribución de profundidades de la estratigrafía somera del valle de México; Reinoso y Lermo (1991) también presentaron mapas con periodos en esas mismas estaciones para temblores, microtemblores y una combinación de ambos.

Al tomar en consideración los resultados de los trabajos anteriores realizados en el área por científicos japoneses y de la UNAM, los objetivos centrales de este estudio fueron:

- 1) Documentar el valor del PDS a partir de ruido sísmico ambiental, en 66 sitios ocupados por los instrumentos de la red acelerométrica de la ciudad de México.
- 2) Complementar estudios anteriores con mediciones en zonas donde no se contaba con registros.
- 3) Conformar un mapa de contornos del PDS con la integración de los resultados de otros estudios y los obtenidos en este trabajo.

4) Documentar las relaciones empíricas entre los valores del periodo dominante de los suelos y las características de las capas someras de la estratigrafía del valle de México.

5) Contribuir al entendimiento del problema de dinámica de suelos del valle de México, a través de mediciones de la vibración ambiental del terreno (VAT) en un sitio con acelerómetros de pozo a tres niveles 0, -20 y -40 m, localizado en los terrenos del puesto central de control del metro de la cd. de México (sitio PCC, marcado como PC en el mapa de la figura 2).

METODOLOGIA

Los estudios de vibración están relacionados con movimientos oscilatorios de cuerpos y las fuerzas asociadas con ellos. Todos los cuerpos con masa y elasticidad son capaces de vibrar. Un sistema en un régimen de vibración libre (ausencia de fuerza externa) vibra en una o más de sus frecuencias naturales, las cuales son propiedades del sistema dinámico establecido por su distribución de masa y rigidez (Thomson, W., 1988).

El continuo estado de movimiento que experimenta la superficie del terreno, se manifiesta a través de oscilaciones periódicas de amplitudes de unos cuantos micrones y periodos que van desde las décimas de segundo hasta valores de periodos largos. Estas oscilaciones son resultado de diversas fuentes de energía, a saber:

a) De origen natural; llamado ruido microsísmico, consistente de ondas elásticas superficiales dispersadas a través de un proceso de difusión (Wesley, 1965) y generadas en zonas de interacción océano-continente,

modos fundamentales de vibración del planeta, vientos, cambios en presión atmosférica, actividad volcánica interna, etc. La banda de periodos de este ruido va desde 0.1 hasta 2500 segundos (Fix, 1972).

b) De origen artificial; generadas por ruido cultural y llamados microtemores, cuyas amplitudes son del orden de varios micrones y sus periodos van desde 0.1 hasta varios segundos. Dado que los microtemores son una combinación de varios tipos de ondas, con fuentes como tráfico vehicular, maquinaria industrial, interacción estructura-viento-suelo, etc., la observación de las ondas de interés dependerá del equipo seleccionado (Kanai, 1983).

En este estudio se presupone que el suelo en determinado sitio responde de una manera propia a la combinación de las diferentes fuentes de energía, esperándose la presencia de varias bandas de concentración de energía, en el dominio de la frecuencia. En particular, se espera una banda preferencial o dominante en periodos arriba de 1.0 segundos, que se ha denominado periodo natural del sitio (PNS), para diferenciarla de otra posible banda hacia periodos muy cortos, originada por la presencia de fuentes muy cercanas, de frecuencias altas, tales como el tránsito vehicular en la vecindad de los sitios de registro.

El trabajo consistió en el registro, procesamiento y análisis de movimientos débiles del terreno en condiciones cuasi-estáticas, con el objetivo de extraer información acerca de la banda de periodos dominantes o del PNS. No debe de perderse de vista este hecho, ya que los contornos del PNS que se presentan corresponden a niveles de excitación mínimos. El comportamiento del PNS bajo condiciones dinámicas, con amplitudes mayores y variantes en el tiempo (energía sísmica), podría ser diferente de los reportados en este trabajo. En el valle de México la banda de interés para la ingeniería civil es aquella que comprende los modos

fundamentales de vibrar de las estructuras; así, tanto la selección del equipo para el registro y almacenamiento de datos, como el interés del estudio se centra en la banda de 0.1 a 10 segundos.

DATOS

Registros sísmicos. Se trabajó con registros superficiales de vibración ambiental del terreno en 207 sitios dentro del valle, que cubren las tres zonas geotécnicas en que se divide: (I) zona dura, (II) zona de transición y (III) zona de lago, según se describe en el manual de normas técnicas complementarias para diseño por sismo (Gazeta Oficial del DDF, 1987), a partir de modificaciones al trabajo de Marsal y Mazari (1959).

Del total de 207 sitios, 66 de ellos corresponden a estaciones permanentes con instrumentos de la red acelerométrica de la ciudad de México, operada por FICA (30 sitios) y Fundación Javier Barros Sierra (FJBS, 36 sitios). Los 141 sitios restantes fueron estaciones temporales, distribuidas de tal manera que cubrieran las áreas no incluidas en estudios anteriores, así como de hacer más denso el cubrimiento de áreas especialmente interesantes desde los puntos de vista geológico y de desarrollo urbano. Los 207 sitios fueron registrados con estaciones de trabajo portátiles. La figura 1 muestra el total de sitios de registro: los triángulos representan las estaciones permanentes, con las siglas que las identifican; los círculos llenos, los sitios temporales de este trabajo, y los círculos abiertos los sitios registrados en dos estudios previos: Kobayashi *et. al.*, 1986; Lermo *et. al.*, 1988.

Instrumentación. El equipo utilizado para la detección de la vibración ambiental se compone de sensores de velocidad, con periodo natural

de 5.0 segundos (periodo intermedio) y constante de motor de 1.75 v/cm/s y amortiguamiento del 70% del crítico, por lo que su respuesta en frecuencia es plana desde altas frecuencias hasta 0.2 Hz.

La toma de datos se realizó en dos etapas y el equipo de almacenamiento de datos fue diferente para cada una de ellas.

Etapa I.- El almacenamiento se realizó en grabadoras digitales Terra Technology DCs-302, con convertidor analógico-digital (A/D) de 12 bits (± 2048 cuentas), frecuencia de muestreo de 100 muestras/segundo y ganancias de 10, 100, 250 y 1000. Mediante el uso de interfaces y programación desarrolladas en CICESE, fue posible realizar el almacenamiento directo desde el convertidor A/D hasta el disco duro de una computadora portátil MS-DOS.

Etapa II.- El almacenamiento se realizó en una grabadora con memoria de estado sólido Kinometrics SSR-1, con capacidad total de almacenamiento de 1200 segundos a razón de 100 muestras/segundo. La resolución del convertidor analógico-digital es de 16 bits (± 32768 cuentas) y ganancias de 1, 10, 100 y 1000.

Adquisición de datos. La toma de datos comprendió el registro de tres componentes horizontales orientadas N00E, N45E y N90E, excepto para las estaciones 03CJ, 17LV, 31NZ, 41HA, 43JA, 49BA y 53SI en que se registró la componente vertical y 2 horizontales N00E y N90E (ver Tabla I). La totalidad de datos de la VAT fue adquirida durante el día, entre las 9:00 y 18:00 horas.

Dada la relativa simplicidad del método de adquisición de datos, el estudio se hizo extensivo a todo el valle, desde Tenayuca al norte, hasta Ciudad Neza al este, Lomas al oeste y Xochimilco al sur. Así, adoptados estos lineamientos, la adquisición de datos se dio en dos etapas:

Etapa I.- Los primeros sitios programados para efectuar las mediciones de vibración ambiental fueron seleccionados con el objetivo de documentar el valor del PNS en las localidades instrumentadas con acelerómetros de FICA y FJBS. Se efectuaron mediciones en 66 sitios de la RACM. En esta etapa se obtuvieron las series de tiempo de VAT dentro de las bases cilíndricas que albergan los acelerógrafos de la red FICA. Además se obtuvieron registros de VAT dentro y fuera de las bases en los sitios Alameda (AL01) y Centro Urbano Juárez (CJ03). Los registros en los sitios de la red FICA consistieron de 4 series de 80 segundos y en 15 de los 30 sitios, una serie de 320 s. Para los sitios instrumentados por la red FJBS, las mediciones de VAT se hicieron lo más cercano posible a las bases rectangulares a las que están anclados los acelerómetros. Consistieron de 2 series de 160 s y en 28 de los 36 sitios medidos, una serie de 320 s sumada en tiempo en el sitio, en tramos de 40 u 80 s. Las estaciones de FJBS fuera de la zona del valle no fueron medidas durante esta campaña de adquisición. Además, se midieron 8 sitios adicionales durante esta etapa I.

Etapa II.- Con el fin de obtener un mayor detalle en algunas zonas de interés, se consideró conveniente completar la base de datos con mediciones en aquellos sitios donde no se contara con registros, ya sea del presente estudio o de aquellos realizados con anterioridad. Se efectuaron mediciones en 133 sitios adicionales para control y mejoramiento en la conformación de los contornos. Estos puntos se eligieron al graficar en un mapa de la ciudad los puntos ya medidos a esa fecha (enero 1990) tanto por Kobayashi (94 sitios), como por la UNAM-Instituto de Ingeniería (123 sitios) y FICA-CICESE (66 sitios).

En esta etapa las mediciones se realizaron sobre el terreno. En la mayoría de los sitios, sobre la carpeta asfáltica o exposiciones de terreno

(parques o predios baldíos); en todos los casos se evitó hacer mediciones sobre banquetas o construcciones específicas. En cada sitio se tomaron 3 series de 150 segundos cada una, en promedio.

Datos geotécnicos. La base de datos geotécnicos del valle de México consta de 23 sondeos geotécnicos con una descripción detallada de las propiedades índice y mecánicas del subsuelo, localizados en las vecindades de las estaciones acelerométricas de la red FICA; las ubicaciones de estos sondeos, usados como control en este estudio, se muestran en la figura 2 (asteriscos). Además se dispone de la información de 726 perforaciones, localizadas principalmente en la porción central del valle, con las que se tiene un excelente control de la profundidad de la capa dura (CD) y los depósitos profundos (DP). Esta información fue proporcionada por la Fundación ICA. La información referente a velocidad de las ondas de corte, amortiguamiento y densidad correspondientes a las formaciones del subsuelo en diferentes puntos de la ciudad se obtuvieron de resultados publicados en los trabajos de H. Bolton *et. al.* (1988); E. Rukos (1988); A. Jaime y M. Romo (1988); Y. Yamazaki (1988); M. A. Santoyo (1988); CFE (1988); M. A. Santoyo *et. al.* (1990); y Huerta y Acosta (1991).

PROCESAMIENTO

Procesamiento en campo. En los sitios de registro se realiza una primera revisión visual, en pantalla, de los datos adquiridos para determinar la integridad y calidad de los datos, la cual consiste en: a) verificar que no haya saturación en el convertidor A/D, ya sea por un nivel alto de ruido o por el paso cercano de vehículos o personas. b) Constatar que exista buena resolución de la señal, ésto es, que las amplitudes registradas sean mayores al 10% de la resolución total del convertidor

analógico-digital. c) Que las longitudes de las series de tiempo sean las previstas. De presentarse alguna anomalía, se repite la medición hasta obtener lo deseado. Ya almacenados, se asigna el nombre del archivo y se obtiene copia en disco flexible de 3.5".

Procesamiento en gabinete. El procesamiento de gabinete que se aplicó a las series recabadas en las dos campañas de toma de datos, consiste en:

1) Conversión a unidades físicas (cm/s) y cambio de formatos, de 2016 de los datos de las grabadoras DCS-302, y de binario-Kinematics de las grabadoras SSR-1 (Kinematics, 1991), a formato binario-CICESE (Acosta, 1990).

2) Cálculo de los espectros de Fourier para longitudes de series de tiempo de 80 segundos.

3) Construcción de la tabla de periodos dominantes, a partir de los archivos de los espectros.

4) Generación de los contornos de los periodos dominantes, sobre mapas del valle de México.

Esta secuencia de procesamiento es realizada en computadoras personales MS-DOS y todos los programas utilizados (edición, graficado, preprocesado en campo, análisis espectral y elaboración de mapas de contornos), están documentados en el manual de procesamiento de acelerogramas de Acosta, J. (1990).

El análisis espectral mediante la aplicación de la transformada rápida de Fourier (TRF) es un procedimiento ampliamente aceptado para analizar la distribución de la amplitud espectral en función de la frecuencia, lo cual hace posible identificar las concentraciones preferenciales de energía en ciertas bandas de periodos, denominadas aquí *periodos dominantes*. Los puntos críticos en la estimación de la TRF

son: a) la elección de la longitud de ventana óptima para la banda de frecuencias de interés; b) la estabilización de la estimación espectral, sobre todo cuando se trabaja con señales que contienen una fuerte componente aleatoria, como las de este estudio. La elección de la longitud óptima se realizó con experimentos numéricos encaminados a encontrar el número mínimo de datos, a partir del cual la información contenida en los espectros de Fourier ya no cambia significativamente. La estabilización del espectro de amplitud se consigue con los métodos usuales: producto en el dominio del tiempo por una ventana con desvanecimiento cosenoidal, suavizado en el dominio de la frecuencia con un promedio móvil de tres puntos con pesos 0.25,0.50,0.25, y con un promedio de los espectros de varias series muestra.

Elección de la longitud de serie de tiempo. Se hicieron varias pruebas para determinar la longitud adecuada de la serie de tiempo. En el sitio PCC se tomaron 3 registros de VAT de aproximadamente 300 segundos cada uno. En los ejercicios siguientes se utilizó sólo uno de estos registros, con duración de 299.52 segundos.

Prueba 1: El espectro de Fourier se obtuvo para 4 diferentes longitudes: 37.44, 74.88, 149.76 y 299.52 segundos. Los valores estimados del periodo dominante son:

Longitud (s)	Periodo (s)
299.50	1.76
149.76	2.07
74.88	2.00
37.44	1.86

Prueba 2: De la serie original de 299.52 segundos se separaron 8 ventanas de 37.44 segundos, se estimaron sus respectivos espectros y se obtuvo el espectro promedio de las 8 ventanas. En la figura 3.a se muestran los espectros de las 8 series y el espectro promedio. Los valores de los periodos dominantes observados en cada espectro y en el promedio son:

Ventana	Periodo (s)
1	1.86
2	1.78
3	2.05
4	1.78
5	1.71
6	1.64
7	1.71
8	1.95
Promedio	1.78

Prueba 3: El mismo proceso que en el ejercicio 2, sólo que la serie original se dividió en 4 ventanas de 74.88 segundos. La figura 3.b muestra los espectros de las 4 ventanas y su promedio. Los valores de los periodos dominantes observados en cada espectro y en el promedio son:

Ventana	Periodo (s)
1	2.00
2	2.05
3	1.78
4	1.78
Promedio	1.74

Prueba 4: Con la estimación del espectro de cada una de las 8 ventanas de 37.44 segundos, se obtuvo el promedio para las ventanas 1-2, 1-2-3 y así sucesivamente hasta el promedio de 1-2-3-4-5-6-7-8. Los espectros resultantes se muestran en la figura 3.c. Los valores de los periodos dominantes de los espectros promediados en cada combinación son:

Ventanas promediadas	Periodo (s)
1-2	1.78
1-2-3	1.95
1-2-3-4	1.86
1-2-3-4-5	1.78
1-2-3-4-5-6	1.64
1-2-3-4-5-6-7	1.71
1-2-3-4-5-6-7-8	1.78

Prueba 5: El análisis de los ejercicios anteriores sugiere que una longitud de tiempo de 80 segundos es representativa de las características

del sitio. En la figura 3.d se han graficado los espectros de Fourier de una ventana de 80 segundos de duración (línea delgada), con un espectro promedio de 4 ventanas de 80 segundos (línea gruesa) y el espectro de la suma de 4 ventanas de 80 segundos (línea punteada). El valor del periodo dominante para cada espectro se presenta a continuación:

Serie original de 80 s	2.00 s
Promedio de 4 espectros de 80 s	1.74 s
Suma de 4 ventanas de 80 s	1.67 s

ANALISIS Y DISCUSION

Determinación del Periodo Natural de Sitio (PNS). La determinación del PNS en cada sitio se realizó mediante el análisis de los espectros de Fourier. Para seleccionar el PNS se adopta el criterio fundamental de que es en la banda de periodos más largos con amplitudes dominantes donde se encuentra el PNS. Un criterio adicional es que el PNS debe tener valores cercanos o coincidentes en las dos direcciones horizontales registradas. Así se obtuvieron los valores del PNS que se muestran en la Tabla I. Debido a que la mayoría de los puntos medidos en este estudio están localizados sobre las zonas geotécnicas II y III, las cuales comprenden depósitos sedimentarios de diferentes materiales y espesores, no debe excluirse el hecho de que los registros contienen las oscilaciones de los modos normales de estos paquetes sedimentarios (suelos blandos). Así, el periodo dominante puede ser el primer modo de oscilación de los suelos blandos, por lo que aquí se le ha nombrado periodo natural.

Contorno de PNS con datos de este estudio. Se formaron contornos de isoperiodos para las dos direcciones ortogonales medidas en el plano horizontal (N00E y N90E). Para la configuración se utilizó el programa CONTORNO (Acosta, 1990). Con el propósito de verificar el trazado automático de curvas por la computadora, se trazaron a mano algunas curvas de contorno, como referencia. Para que el programa delinea los volcanes al sur del valle, que dividen el lago de Texcoco del lago de Xochimilco (cerro de la Estrella, volcán Yuhualixqui, Xaltepec, Tetecon, Tecuautzi y Guadalupe), se digitalizaron sus límites con valores supuestos de PNS de 0.5 segundos, que son típicos del límite entre las zonas I y II. Asimismo, el límite entre la zona I (Dura) y II (Transición), en el lado oeste del valle, se delineó mejor usando algunos puntos con valores del PNS de 0.5 s. Los mapas de contornos obtenidos se muestran en las figuras 4 y 5, allí mismo se han indicado los límites de las zonas geotécnicas I, II y III, así como algunos sitios y arterias importantes, para referencia. En dichos contornos se observa:

a) La similitud de los contornos en las dos direcciones horizontales, particularmente en los valores de 0.5 a 3.5 segundos.

b) En la gran mayoría de los sitios medidos en la zona de transición no se encontraron valores mayores a 1.0 s, ni menores a 0.3 s. Los valores menores están cercanos a la zona dura.

c) Al pasar de la zona de transición hacia la zona de lago, en dirección al este, los valores se incrementan gradualmente hasta alcanzar los 5.0 segundos en la zona centro del ex-lago de Texcoco.

d) En el área de unión entre los ex-lagos de Texcoco y Xochimilco, denominada zona de la garganta, en sentido de oeste a este los valores

se incrementan desde 1.0 s hasta 1.5 s (parte central) y disminuyen de nuevo a un valor de 1.0 al acercarse al cerro de la Estrella en el lado este.

e) En la zona del lago Xochimilco la parte central quedó sin mediciones, debido a la falta de vías de acceso; en Tláhuac se observa una tendencia a aumentar el valor de PNS hacia el centro del ex-lago para volver a disminuir hacia los bordes.

Contorno de PNS con datos de tres estudios. Con los valores del PNS de los 94 sitios medidos por Kobayashi, et.al. 1986, más los 123 sitios de Lermo et.al. 1988, y los 207 sitios de este estudio, se formó una base de datos de 404 sitios, con la cual se formaron unas curvas de isoperiodos dominantes que tienen la mayor resolución conseguida hasta ahora. En 20 sitios se obtuvieron periodos con valores claramente anómalos respecto a los sitios vecinos, principalmente en la zona I y sobre dos cerros dentro del valle (peñón del Marqués y del Peñón). Esto puede deberse: 1) a la existencia de cambios muy drásticos y puntuales en las propiedades geotécnicas, tales como rellenos, extracciones, pequeños paleocausas; 2) a la elección inadecuada del punto de registro, por ejemplo cerca de estructuras masivas o sobre pavimentos mal asentados en el suelo; 3) a la presencia de alguna fuente de ruido cercana, con periodos de vibración diferentes a los del ruido sísmico ambiental esperable. Sólo en la primera situación se puede hablar de que los valores sean realmente representativos de esos sitios, pero falta evidencia adicional para despejar la duda. De cualquier manera, la presencia de esos valores disparados afecta al trazado de las curvas de contornos, por lo que se prefirió eliminarlos. Los datos provenientes de este trabajo, incluidos en este mapa de contornos, corresponden a la componente NOOE. La ubicación de los 384 sitios utilizados para el contorno se presenta en la figura 1.

Las tendencias generales de los contornos, en los mapas generados con datos de FICA-CICESE y en aquél formado con los datos de los tres estudios, son esencialmente iguales. Esto puede observarse al comparar las figuras 4, 5 y 6. Las mayores diferencias están en las curvas de isoperiodos de 3.5 a 5.0 segundos.

Relación entre contornos del PNS y estratigrafía somera. Hemos digitalizado las curvas de igual profundidad de los depósitos profundos (DP), publicadas por el Departamento del Distrito Federal, Secretaría General de Obras, dentro del programa de planeación para la revitalización del centro histórico de la ciudad de México, en su plano No. 10. En la figura 7 se muestran las curvas de igual profundidad de los DP, con algunas arterias y sitios como referencia y con los límites de las tres zonas geotécnicas. Al incluir estas curvas en los mapas de contornos de los PNS, se observan tendencias similares en ambos conjuntos de curvas.

El comportamiento del PNS, de aumentar de valor hacia el centro de la zona de lago, coincide con el aumento en las dimensiones geométricas de las unidades estratigráficas, de tal manera que los valores del PNS están directamente ligados a los espesores de los suelos blandos en el valle de México. Para ilustrar este efecto, se han realizado tres regresiones lineales a los conjuntos de datos siguientes: 1) periodo vs. profundidad a la cima de los depósitos profundos (DP), 2) periodo vs. espesor de la formación arcillosa superior (FAS) y 3) periodo vs. profundidad a la cima de la capa dura (CD). Los valores de espesores y profundidades de las formaciones referidas, se obtuvieron de la base de datos (749 sitios) mencionada antes. Se utilizaron los datos correspondientes a los puntos proyectados sobre dos perfiles, dentro de una banda de 250 m a los lados de los perfiles. La figura 2 muestra la

localización de los perfiles: el A-A' es prácticamente N-S, mientras que el B-B' es casi E-W; la figura 8 muestra cortes verticales a lo largo de esos perfiles, para esquematizar la estratigrafía somera.

El ajuste se hizo con una ecuación del tipo $T = \alpha \cdot Z + \beta$, sobre los datos distribuidos a lo largo de los perfiles de la figura 8. La figura 9.a muestra la curva de regresión lineal para los puntos de periodo vs. espesor de la formación arcillosa superior. La figura 9.b muestra la curva de regresión para los datos periodo vs. profundidad a la cima de la capa dura. La figura 9.c muestra el ajuste periodo vs. profundidad a la cima de los depósitos profundos. Los resultados de las regresiones se presentan en la siguiente tabla, a través de los valores α , β y el coeficiente de correlación γ :

periodo versus:								
Espesor FAS			Prof. a la CD			Prof. a los DP		
α	β	γ	α	β	γ	α	β	γ
0.13	-1.48	0.96	0.11	-1.26	0.88	0.07	-0.79	0.82

Medición de VAT en tres niveles del sitio PCC. El sitio experimental PCC de la Red FICA se localiza en la zona centro de la ciudad de México, junto al edificio PCC-1 " Ing. Bernardo Quintana A.". Las instalaciones del sitio experimental consisten de dos pozos construidos ex profeso para instrumentarse con acelerómetros para el registro de movimientos fuertes y una base cilíndrica de concreto que alberga los instrumentos de grabación y el acelerómetro de superficie. Los acelerómetros de pozo han sido colocados a 20 y 40 metros de profundidad, uno de ellos situado dentro de la formación arcillosa superior y otro dentro de la formación arcillosa inferior. Los sensores a los tres niveles se encuentran en un arreglo triaxial, con orientaciones N00E, vertical y N90E. El rango dinámico de los sensores es de 100 db, configurados a una

aceleración máxima de 1 g ($g=981 \text{ cm/s}^2$), por lo que la mínima aceleración que detecta es 0.00833 g. La frecuencia natural de los sensores es de 50 hz., con respuesta plana hasta la componente de corriente directa. El convertidor analógico-digital de los tres registradores es de 12 db (± 2048 cuentas digitales).

Los niveles de amplitud de la VAT, medidos en superficie en la zona de lago, están en el intervalo de 0.01 gales (banda de 1 a 3 segundos) a 0.09 gales (banda menor a 1.0 segundos)), según Mendoza *et. al.* (1988). El rango dinámico de los registradores (12 db) no es suficiente para estos niveles, por lo que se utilizó el convertidor analógico-digital de 16 bits descrito en la sección de instrumentación. El levantamiento consistió en tomas simultáneas en dos niveles. En cada nivel se tomaron 7 registros de VAT de 160 s cada uno. Los registros de aceleración obtenidos se sometieron a los tres volúmenes del procesamiento estándar de acelerogramas (Acosta, 1990).

En cada nivel se calculó un espectro promedio a partir de las siete series registradas, para cada una de las tres componentes. En las figuras 10.a,b,c se muestran los resultados. De acuerdo a los resultados presentados en este trabajo para el ruido sísmico ambiental, los periodos dominantes para la velocidad en superficie oscilan entre 1.7 y 2.0 segundos, en la zona donde se encuentra el PCC. Para la aceleración en el PCC se observa un periodo dominante de 1.78, en superficie. La observación a detalle de los espectros, en las componentes horizontales de la profundidad de 40 m, no revela una predominancia marcada del PNS del sitio (1.78 s). En la profundidad de 20 m, los correspondientes espectros muestran un contenido de energía mínimo para ese periodo.

En la siguiente tabla se presentan las amplitudes correspondientes a este periodo, en los tres niveles de profundidad y dos componentes por nivel.

Amplitud espectral para el periodo 1.78 s		
Profundidad	NOOE	N90E
m	cm/s^2	cm/s^2
00.00	.014	.017
20.00	.009	.009
40.00	.004	.003

Medición de VAT en el sitio PCC durante el día y la noche. Para observar la variaciones en la amplitud de las vibraciones ambientales, se tomaron registros de aceleración dentro de la base cilíndrica de concreto del sitio PCC, a diferentes horas. Los registros se iniciaron a las 18:00 horas y se almacenó una serie de 150 segundos cada 3 horas, hasta completar la memoria del registrador (SSR-1, 16 bits de resolución), con lo que se obtuvo un total de 7 series muestra: a las 18:00, 21:00, 00:00, 03:00, 06:00, 09:00 y 12:00 horas. El último registro de las 12:00 tiene una duración de sólo 61 s, ya que se saturó la capacidad total de memoria. Previamente al inicio de cada registro se creó un archivo de 60 s, necesario para estabilizar los filtros y ganancias del registrador y una vez terminado el registro de señal útil, se crea un archivo de 20 s para asegurar el cierre de archivos.

Se estimaron los espectros de Fourier para los 7 registros, dentro de una ventana de 60 s de cada serie, para realizar comparaciones en los cambios de amplitud. La siguiente tabla contiene las amplitudes máximas, en la banda de 1 a 3 segundos.

Hora de registro	Amplitud máxima (cm/s^2) $\times s$	amplitud normalizada	Periodo dominante (s)
18:00	0.00837	1.00	1.95
21:00	0.00340	0.41	1.95
24:00	0.00303	0.36	1.58
03:00	0.00133	0.16	2.21
06:00	0.00188	0.26	2.10
09:00	0.00428	0.51	1.95
12:00	0.00432	0.52	1.91

Nota: No se obtuvieron registros dentro del intervalo de 12:00 a 18:00 horas.

En la tabla se aprecia que la amplitud máxima en la banda de interés, disminuye paulatinamente, hasta alcanzar un mínimo, seis veces menor que el máximo, alrededor de las 3:00 horas. Los espectros de Fourier de los 7 registros se muestran en la figura 11.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos de este estudio, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1) El incremento en los valores del PNS, arriba de 1.0 s, está directamente relacionado al aumento en los espesores de los suelos. En particular, a partir del análisis de las regresiones lineales, se aprecia una gran correlación (0.96) entre el valor del periodo y el espesor de la formación arcillosa superior. Mientras que las correlaciones para las profundidades a la capa dura y a los depósitos profundos decrece a 0.88 y

0.82, respectivamente, indicando que los estratos más profundos tienen cada vez menor influencia en el valor del periodo natural de oscilación del suelo.

2) La amplitud de la respuesta de los suelos es mayor durante las horas de mayor actividad civil, lo que ocasiona una mejor definición de la banda de PNS.

3) En 207 sitios del valle de México, se obtuvo una determinación primaria del periodo dominante del movimiento horizontal sobre la superficie del terreno, con series de tiempo de 80 segundos. Esta determinación primaria tuvo como objetivo fundamental conformar un mapa de curvas de isoperiodos. Para poder caracterizar apropiadamente al ruido sísmico y su origen, es recomendable un tratamiento estadístico de series de tiempo registradas durante las horas de actividad civil, con mediciones durante el día y la noche, y de ser posible con sensores a profundidad.

4) La variación en las formas espectrales correspondientes a la banda de periodos dominantes, sugiere la posibilidad de estimar los valores de amortiguamiento asociados a esos periodos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al valioso apoyo técnico de Susana Alvarez T., Gustavo Arellano Z., Ernesto Rocha y el personal técnico de FICA. El Ing. José L. Báez, hizo posible el acceso a los datos geotécnicos.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, J. G. (1989). Estudios de los movimientos del terreno generados en la cd. de México por el sismo del 08/02/1988, ocurrido en la costa de Zihuatanejo, magnitud 5.8. *Informe técnico del proyecto Estudio de la respuesta sísmica local en el valle de México, CICESE-FICA, 4 volúmenes, marzo de 1989.*

Acosta, J. G. (1990). Procesamiento estándar de acelerogramas. *Manual de aplicación del paquete de procesamiento, CICESE (Versión 5.0).*

Bolton H., Romo M., Sun J., Jaime A., Lysmer J. (1988). Relationship between soil conditions and earthquake ground motions. *Earthquake Spectra, V4, n4, pp.687-730.*

Comisión Federal de Electricidad (1990). Estudios geofísicos del valle de México. *Informe técnico.*

Fix, J. (1972). Ambient earth motion in the period range from 0.1 to 2560 sec. *Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 62, No. 6, pp. 1753-1760.*

Huerta C. y Acosta J. (1991). Efectos de amplificación en el sitio PCC y modelado de la respuesta sísmica. *Informe técnico CICESE-FICA, Comunicaciones académicas CICESE CISIT9201.*

Jaime A., Romo M. (1988). Correlations between dynamic and static properties of Mexico city clay. *Earthquake Spectra, V4, n4, pp. 787-804.*

Kanai, K., (1983). Engineering Seismology. *University of Tokyo Press.*

Kobayashi, H., K. Seo, S. Midorikawa and S. Kataoka (1986). Report on seismic microzoning studies of the México earthquake of september 19,

1985. Part I. Measurement of microtremors in and around México, D.F., *Report of the Graduate School at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan.*

Lermo, J., M. Rodríguez and S.K. Singh (1988). Natural Period of sites in the Valley of México from microtremors measurements. *Earthquake Spectra, November 4-4, pp. 805-814.*

Marsal, R.A. y M. Mazari (1959). El Subsuelo de la Ciudad de México. *Facultad de Ingeniería, U.N.A.M. Contribución del Instituto de Ingeniería al Primer Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México, D.F., septiembre de 1959.*

Mendoza, L., A. Reyes., J. Acosta y C. Huerta (1988). Estudios de ruido sísmico en el valle de México. *Reunión anual de la Unión Geofísica Mexicana, A.C., Colima, Col. nov. 1988.*

Page, R.A., J.A. Blume., and W.B. Joyner, (1975). Earthquake shaking and damage to buildings. *Science, v. 189, p. 601-608.*

Rukos E. (1988). Earthquake behavior of soft sites in Mexico city. *Earthquake Spectra, V4, n4, pp.771-786.*

Reinoso E., Lermo J. (1991). Periodos del suelo del valle de México medidos en sismos y con vibración ambiental. *Memorias de la reunión 1991, Soc. Mex. de Ing. Sísmica.*

Santoyo M. A. (1988). Análisis e interpretación de los registros de aceleración obtenidos en el valle de México durante el sismo del 8 de feb. de 1988. *Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.*

Santoyo M.A., Ordaz M., Singh S.K., Quaas R. (1990). Análisis de los acelerogramas de pozo en el valle de México. *Memorias de la reunión anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.*

Thomson, W. (1988). Theory of vibration with applications. *Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.*

Wesley, J. P. (1965). Diffusion of seismic energy in the near range. *J. Geophys. Res.*, 70, 5099-5106.

Yamazaki Y. (1988). Field survey on dynamic properties of soft soil in Mexico city. *M.S. Thesis, dept. of enviromental engineering, Graduate school at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology.*

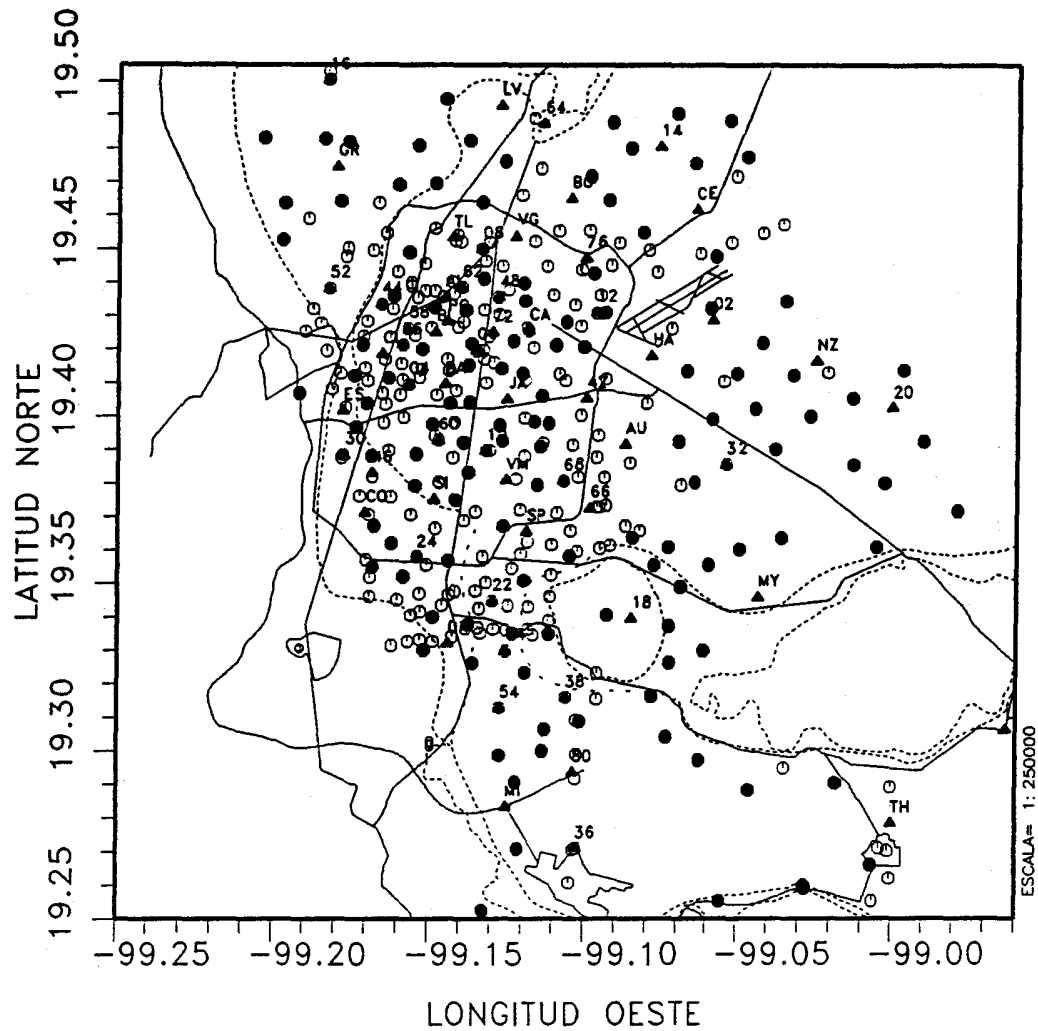


Figura 1.- Ubicación de los sitios de registro del ruido sísmico ambiental. Los triángulos representan estaciones permanentes de la red acelerométrica de la cd. de México; los círculos llenos son los sitios temporales de este estudio; los círculos abiertos son los sitios de dos estudios previos (Kobayashi et. al., 1986; Lermo et. al., 1988). Las líneas interrumpidas señalan los límites entre las tres zonas geotécnicas; las líneas continuas señalan las principales avenidas.

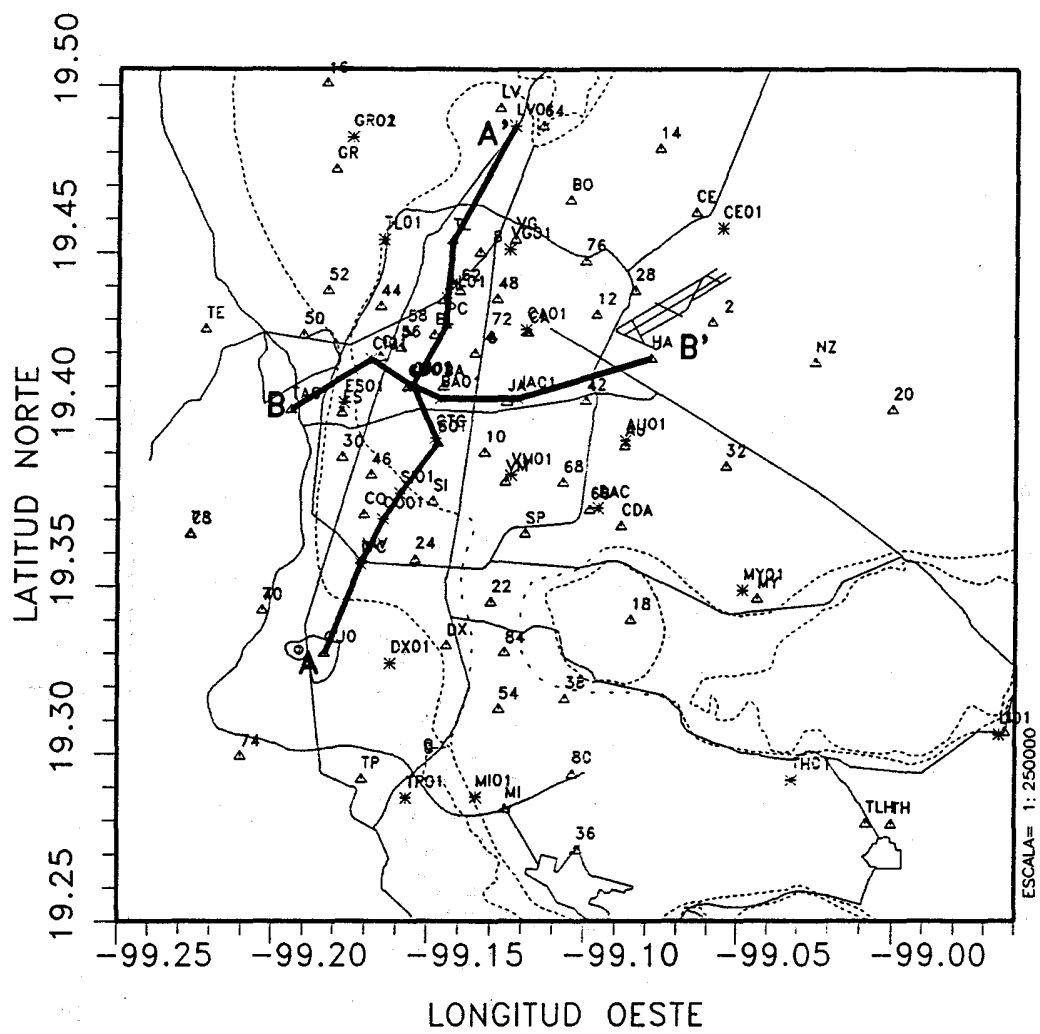


Figura 2.- Ubicación de los sitios con información geotécnica completa (sondeos geotécnicos) usados como puntos de control. Las líneas continuas gruesas señalan los perfiles A-A' y B-B'.

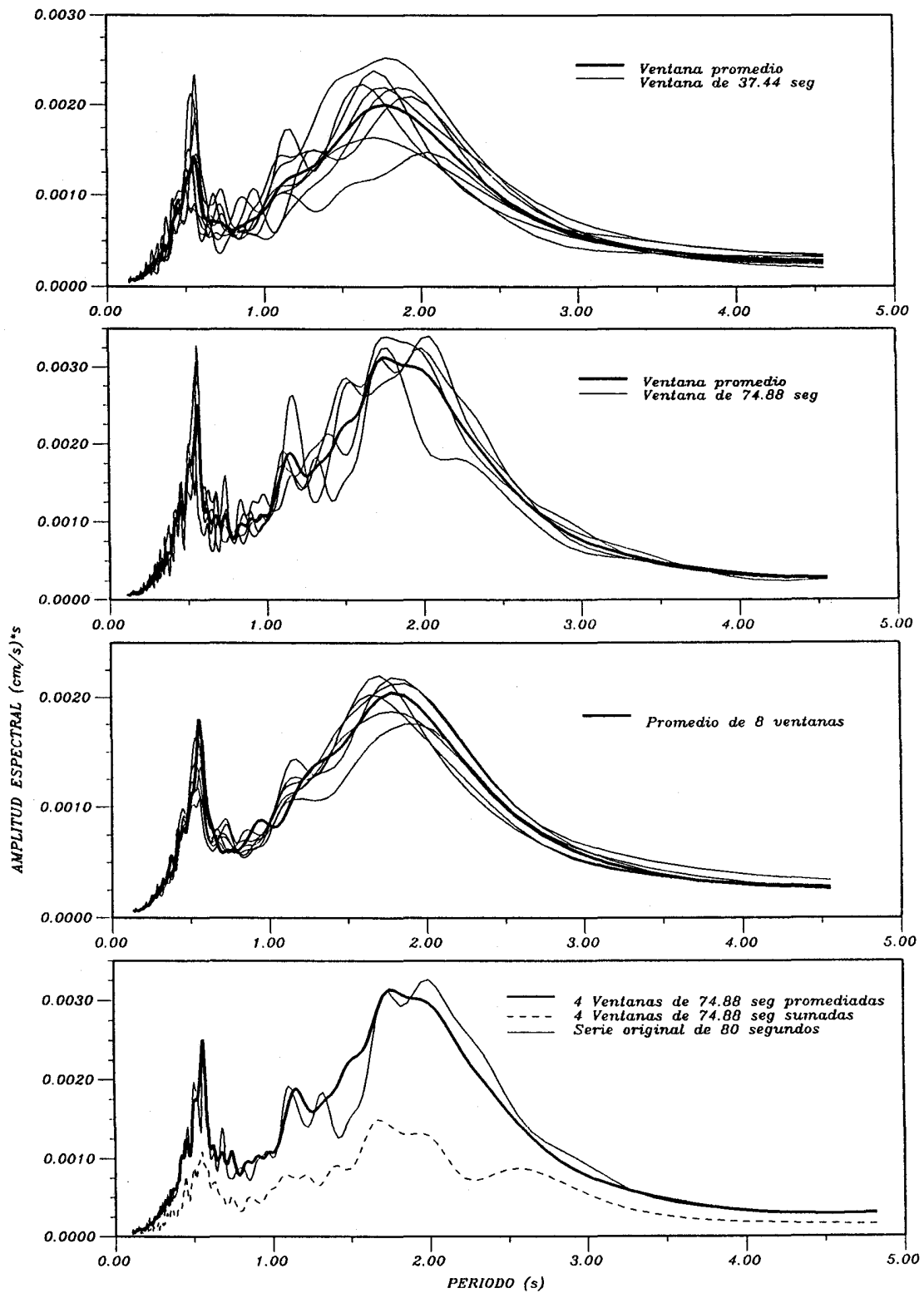


Figura 3.- Experimentos numéricos para la determinación de la ventana óptima en la estimación de los espectros de Fourier.

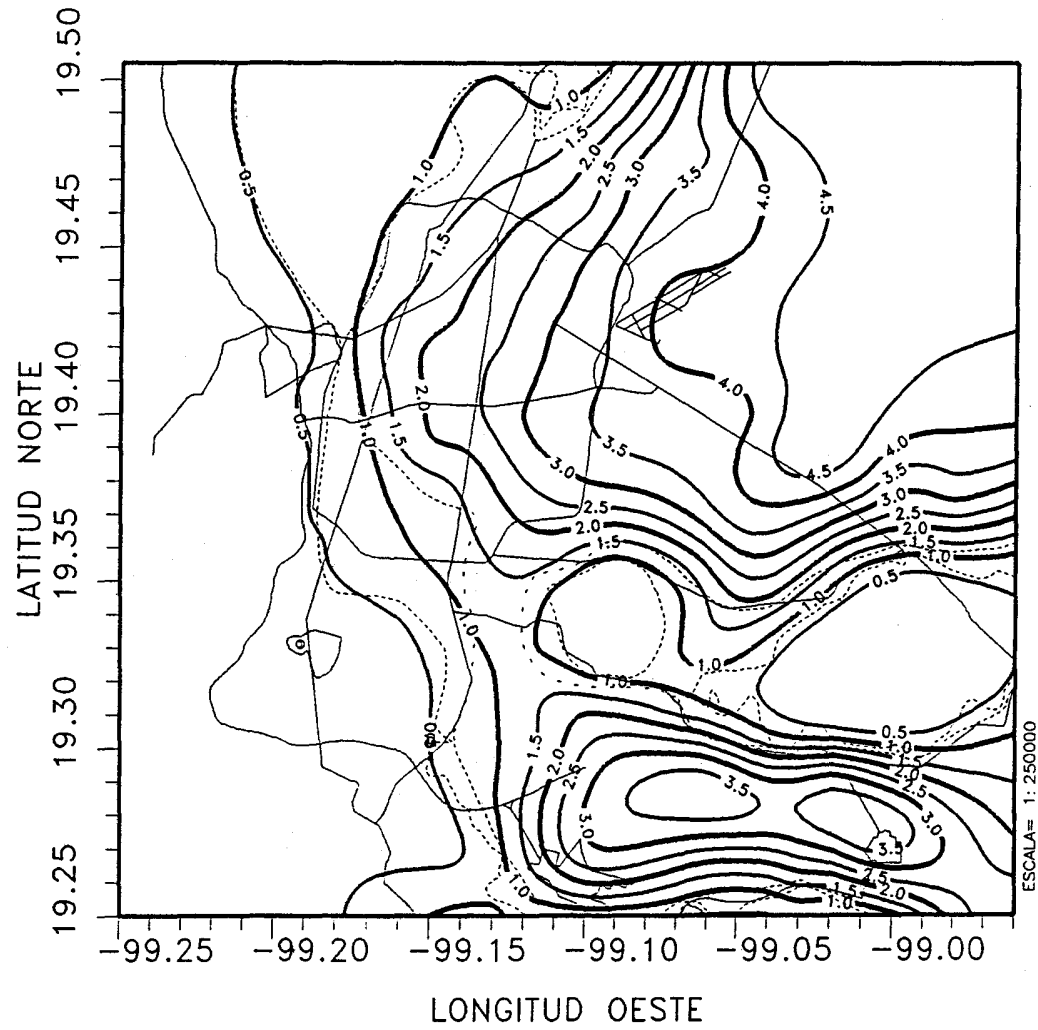


Figura 4.- Curvas de isoperiodo dominante de vibración de los suelos del valle de México, dirección N00E, contruidas exclusivamente con los datos recolectados en este trabajo.

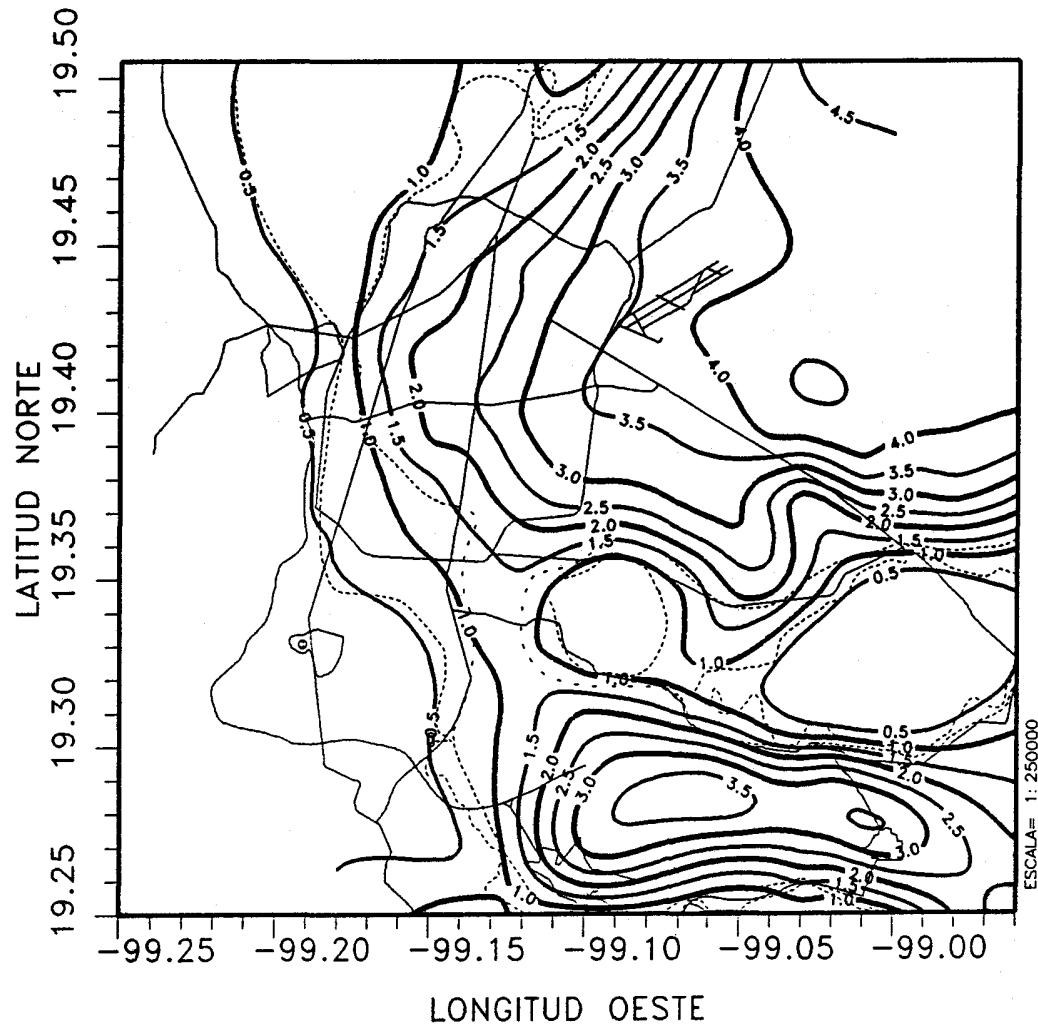


Figura 5.- Curvas de isoperiodo dominante de vibración de los suelos del valle de México, dirección N90E, construidas exclusivamente con los datos recolectados en este trabajo.

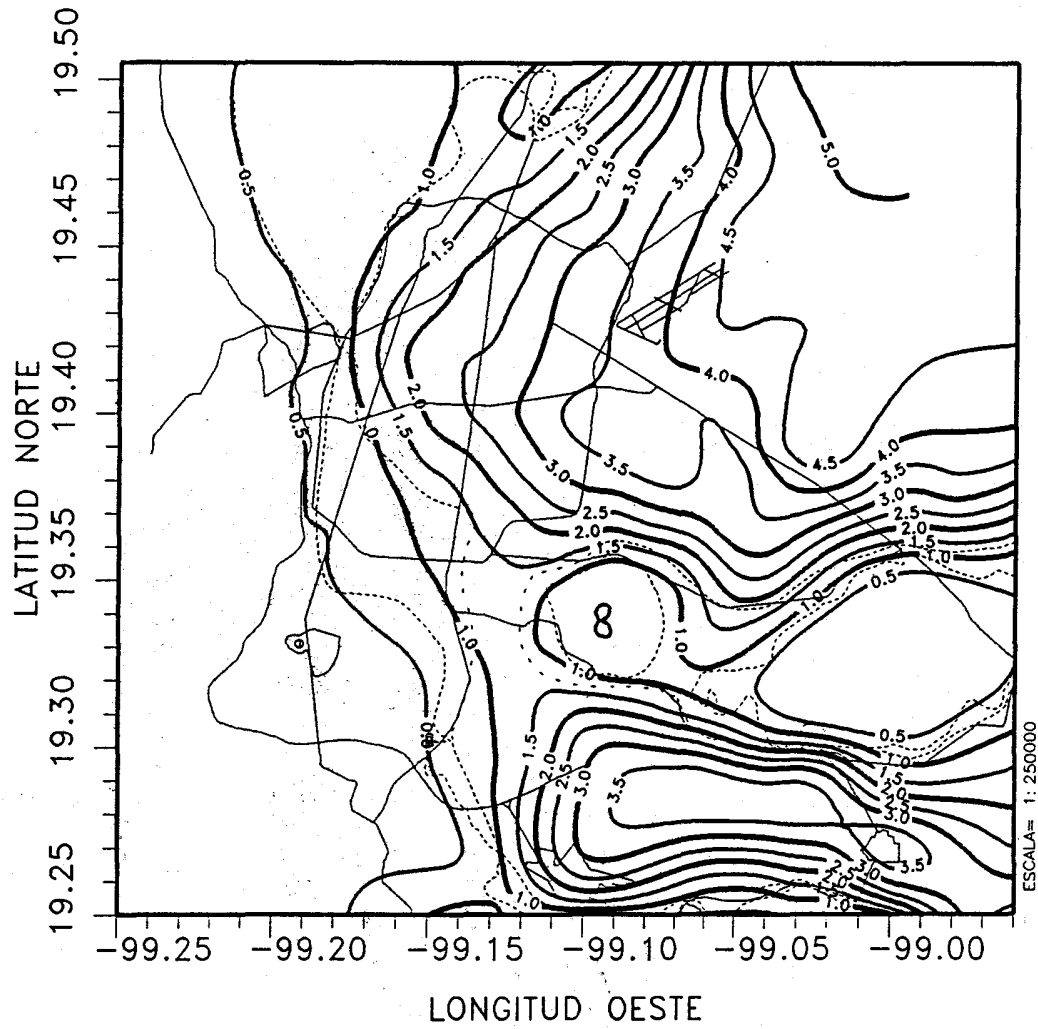


Figura 6.- Curvas de isoperiodo dominante de vibración de los suelos del valle de México, dirección N00E, construidas con los datos disponibles en el área: los de este estudio, los de Kobayashi et al (1986) y los de Lermo et al (1988).

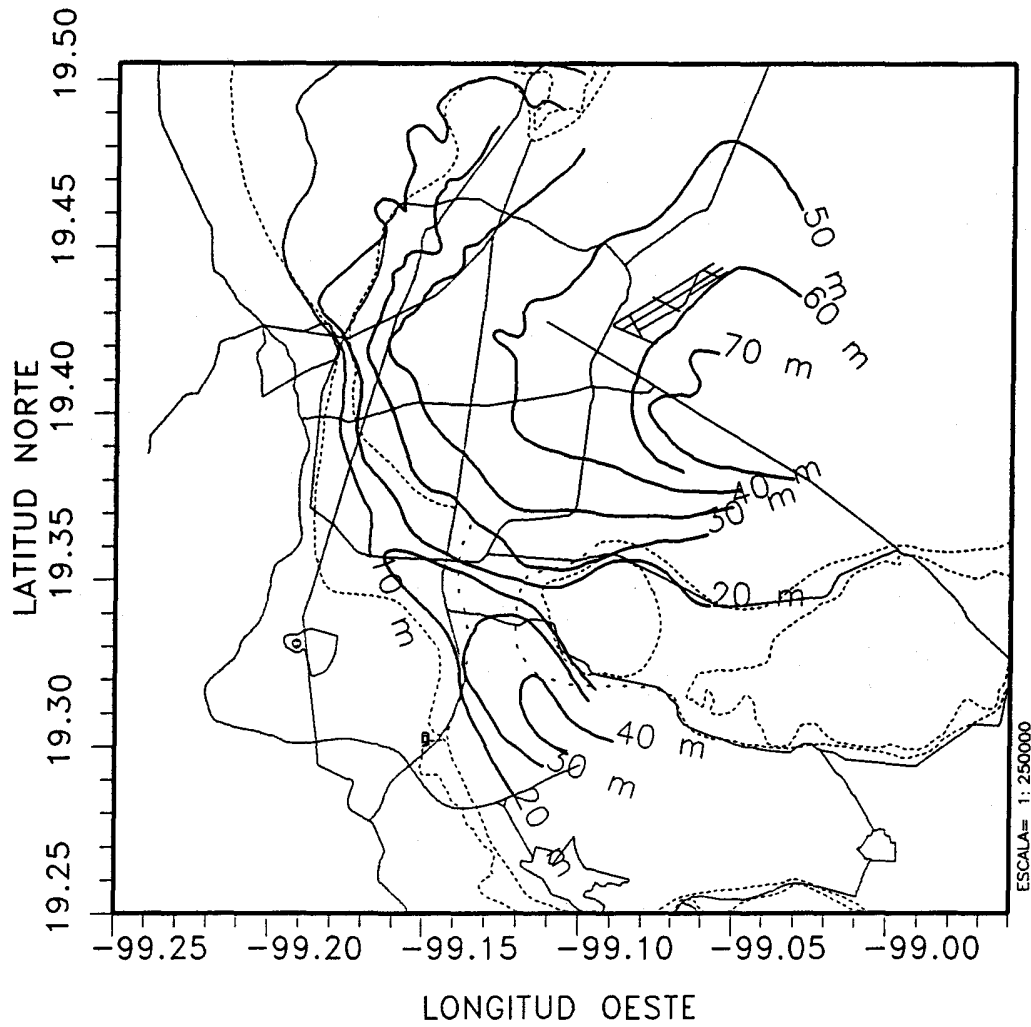


Figura 7.- Curvas de igual profundidad a la cima de los depósitos profundos (líneas gruesas continuas). Las líneas delgadas representan calles, las interrumpidas representan los límites de las tres zonas geotécnicas.

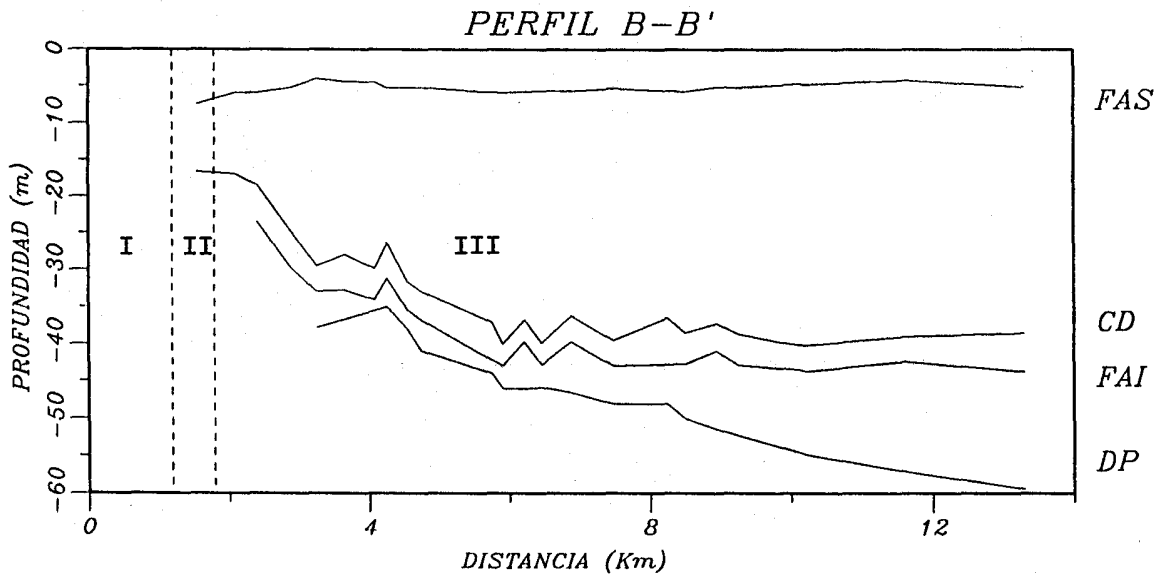
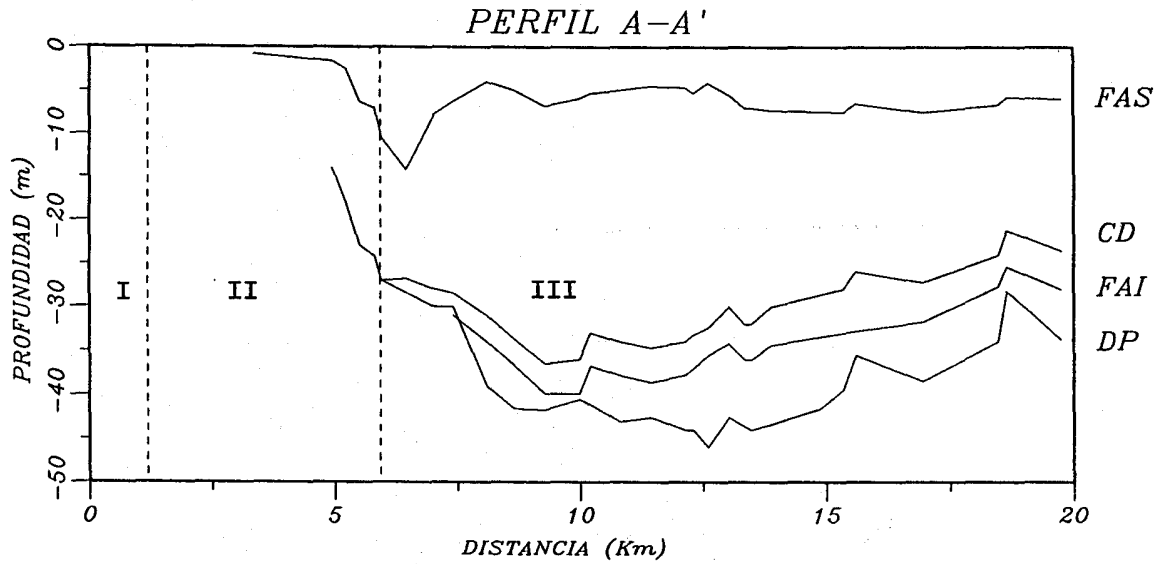


Figura 8.- Perfiles verticales A-A' (norte-sur) y B-B' (este-oeste), mostrando las variaciones de la geometría de las capas someras del suelo de la cd. de México. La escala vertical está exagerada respecto a la horizontal.

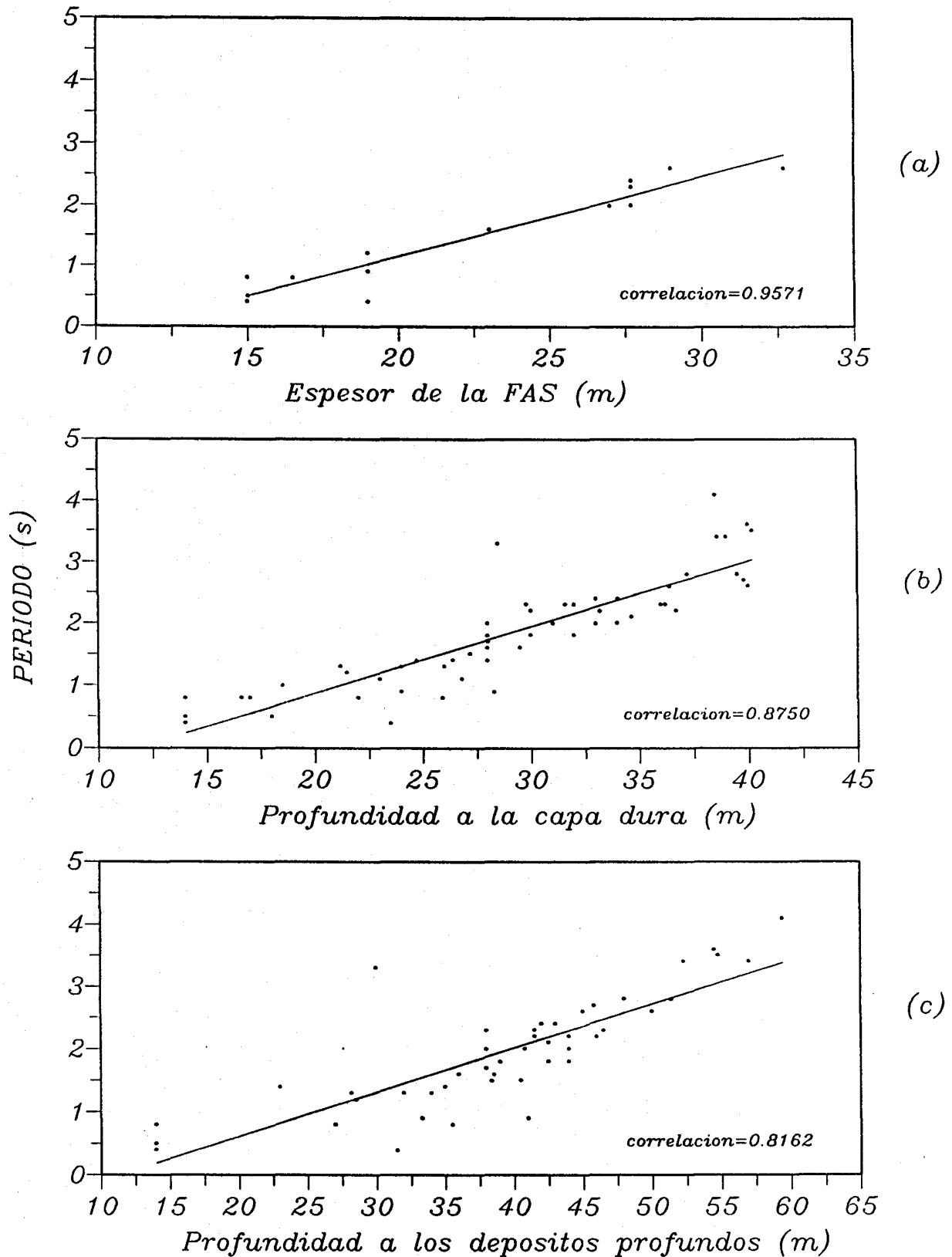


Figura 9.- Relaciones entre el valor del periodo dominante de vibración del suelo y: a) profundidad a la cima de los depósitos profundos, b) espesor de la formación arcillosa superior, c) profundidad a la capa dura. Las líneas continuas representan las curvas de regresión lineal para cada relación.

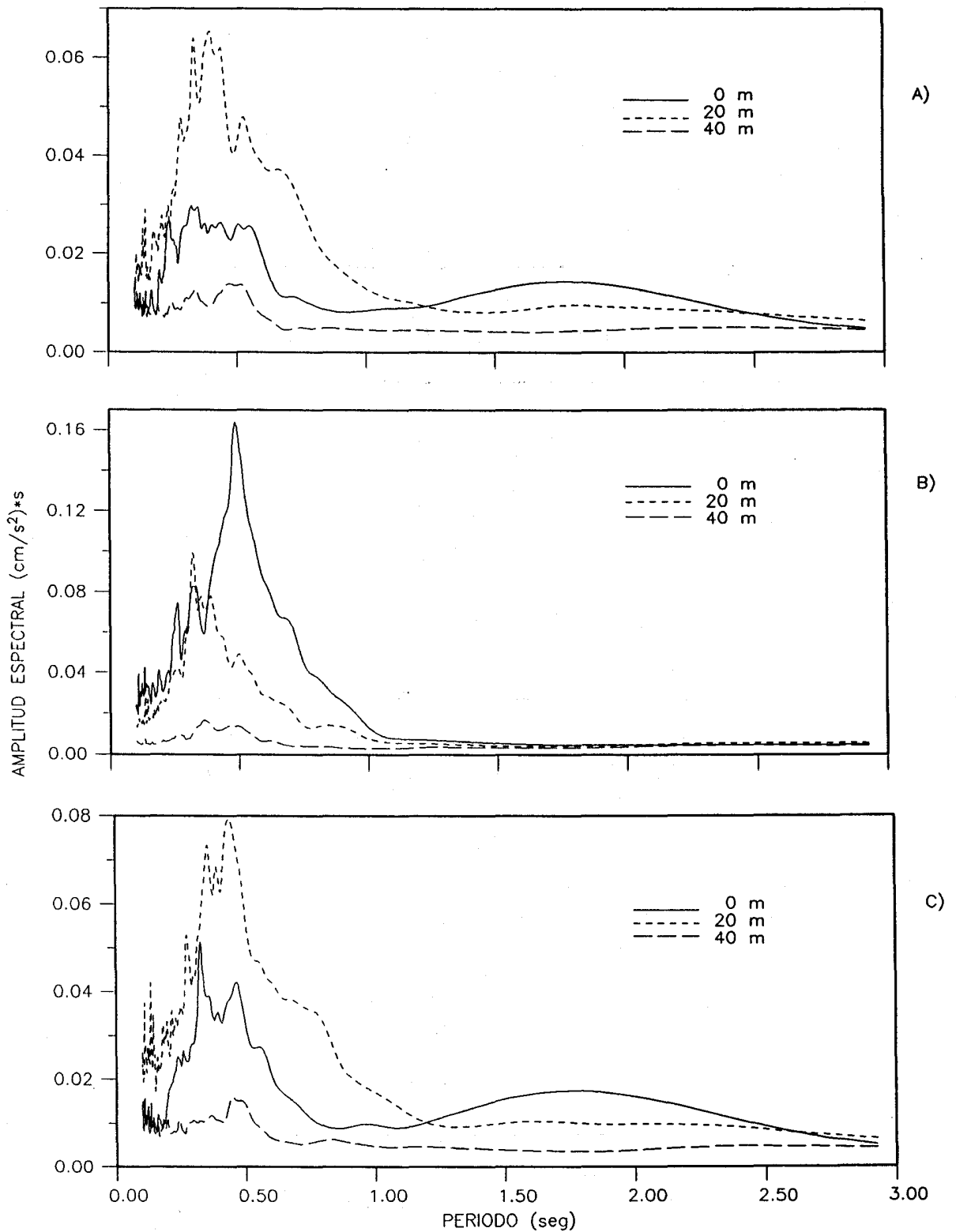


Figura 10.- Espectros de amplitud de Fourier de la aceleración de la vibración sísmica ambiental, en tres niveles de profundidad, sitio PCC. Cada curva representa el promedio de varias series muestra. a) Dirección N00E, b) dirección vertical, c) dirección N90E.

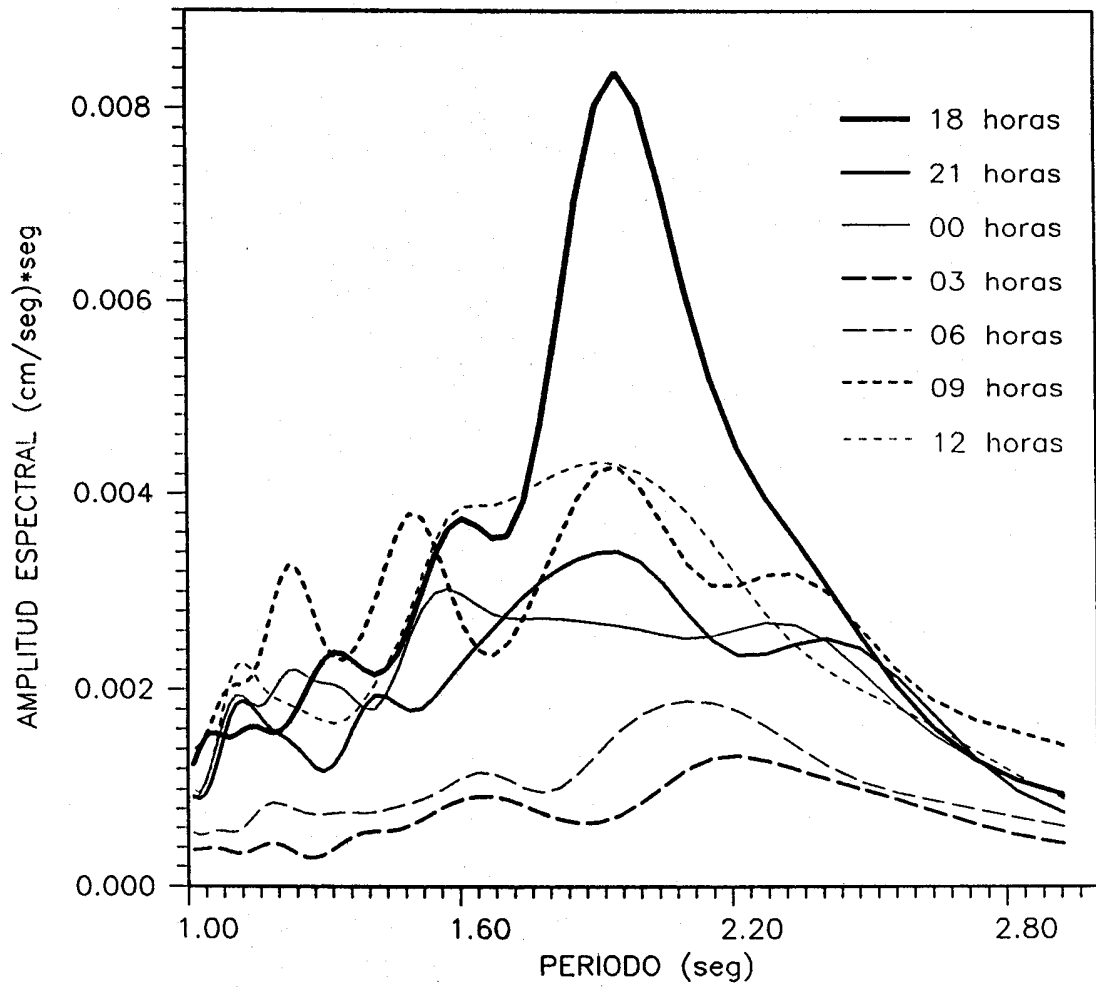


Figura 11.- Ilustración de la variación del espectro de amplitud de Fourier de la vibración ambiental del terreno, a lo largo del día, en el sitio PCC de la cd. de México.

TABLA I

SIGLAS	COORDENADAS	N00E periodo (seg)	N90E
01	AL	-99.1453 19.4356	1.6 1.5
02	BX	-99.0584 19.4290	4.8 4.6
03	CJ	-99.1567 19.4097	2.0 2.1
04	CM	-99.1566 19.4098	2.0 2.1
05	CI	-99.1653 19.4186	1.6 1.9
06	LA	-99.1353 19.4198	2.5 2.1
08	MG	-99.1336 19.4500	1.8 1.8
09	VG	-99.1225 19.4539	2.3 2.0
10	PE	-99.1318 19.3899	2.0 2.0
11	AU	-99.0869 19.3919	3.7 3.3
12	DM	-99.0963 19.4312	3.3 3.4
13	TP	-99.1708 19.2922	0.3 0.3
14	DG	-99.0760 19.4808	3.3 3.2
15	MI	-99.1253 19.2834	1.2 1.1
16	DR	-99.1829 19.5005	0.7 0.6
17	LV	-99.1275 19.4931	1.2 1.3
18	ET	-99.0847 19.3398	0.7 0.7
19	MY	-99.0433 19.3461	2.6 2.7
20	CH	-99.0000 19.4027	4.6 4.3
22	IB	-99.1297 19.3450	1.4 1.3
23	CE	-99.0642 19.4619	3.9 3.7
24	AO	-99.1539 19.3580	1.1 1.0
25	PC	-99.1444 19.4283	2.0 2.1
26		-99.1401 19.1974	fuera de mapa
27	GR	-99.1797 19.4747	0.7 0.7
28	PB	-99.0839 19.4385	0.6 0.6
29	VM	-99.1253 19.3811	2.3 2.6
30	NA	-99.1772 19.3885	0.5 0.5
31	NZ	-99.0247 19.4167	5.1 4.6
32	IZ	-99.0537 19.3858	3.9 3.4
33	LI	-98.9631 19.3064	0.9 0.9
34		-99.0499 19.2029	fuera de mapa
35	TH	-99.0000 19.2786	4.6 4.1
36	AC	-99.1024 19.2711	3.4 3.7
37	DX	-99.1439 19.3322	0.8 0.8
38	UC	-99.1059 19.3161	1.7 1.7
39	BO	-99.1047 19.4653	2.0 2.4
40		-99.2032 19.3428	fuera de mapa
41	HA	-99.0786 19.4183	4.1 3.9
42	PD	-99.0997 19.4055	3.4 3.7
43	JA	-99.1250 19.4053	2.6 2.7
44	SU	-99.1654 19.4337	1.2 1.2
45	BL	-99.1481 19.4253	2.0 1.9
46	AG	-99.1681 19.3832	0.9 0.8
47	CO	-99.1703 19.3714	0.8 0.8
48	IL	-99.1280 19.4359	2.3 2.1
49	BA	-99.1450 19.4097	2.5 2.6
50	AN	-99.1900 19.4253	0.7 0.8
51	SP	-99.1189 19.3656	2.0 2.1
52	EN	-99.1820 19.4383	0.7 0.7
53	SI	-99.1483 19.3753	1.3 1.4
54	SM	-99.1272 19.3130	1.0 0.8
55	TL	-99.1425 19.4536	1.7 1.9
56	CR	-99.1590 19.4215	2.3 2.1
57	ES	-99.1775 19.4017	0.8 0.7
58	MC	-99.1569 19.4263	2.2 2.1
59	CA	-99.1183 19.4258	2.6 2.8
60	SE	-99.1470 19.3930	1.8 1.8
62	PG	-99.1401 19.4385	1.9 2.0
64	CT	-99.1137 19.4876	0.9 0.9
66	AB	-99.0983 19.3728	2.8 2.9
68	IX	-99.1068 19.3809	2.9 3.2
70		-99.2032 19.3428	fuera de mapa
72	HJ	-99.1301 19.4251	2.3 2.4
74		-99.2100 19.2990	fuera de mapa
76	TV	-99.1000 19.4473	3.0 2.9
80	CC	-99.1037 19.2938	2.8 2.8
82		-99.0630 19.5402	fuera de mapa

84	CN	-99.1254	19.3300	1.2	1.3
86		-99.0478	19.5275	fuera de mapa	
A1		-99.1488	19.3400	1.0	0.9
A2		-99.1375	19.3380	1.0	1.1
A3		-99.1233	19.3352	1.3	1.3
A4		-99.1116	19.3350	1.1	1.0
A5		-99.0783	19.3163	1.9	2.4
A6		-99.0611	19.3302	2.2	2.2
A7		-99.0691	19.3491	0.6	0.6
A8		-99.0725	19.3375	0.5	0.5
A9		-99.0494	19.3605	3.7	3.4
B1		-99.0358	19.3638	3.6	2.9
B2		-99.0288	19.3750		0.3
B3		-99.0066	19.2661	3.8	3.3
B4		-99.0836	19.4386	0.9	1.1
B5		-99.0936	19.4313	3.4	3.3
B6		-99.1061	19.4283	3.2	3.4
B7		-99.0975	19.4427	3.4	3.0
B8		-99.0983	19.4719	2.2	2.3
B9		-99.0925	19.4647	2.6	3.2
C1		-99.0813	19.4552	3.7	3.7
C2		-99.0575	19.4480	3.6	3.7
C3		-99.0591	19.4325	4.6	3.9
C4		-99.1566	19.4492	1.2	1.3
C5		-99.0845	19.3639	1.7	1.8
C6		-99.0777	19.3555	0.8	0.8
C7		-99.0730	19.3611	2.2	2.6
C8		-99.0644	19.3805	3.7	3.4
C9		-99.0444	19.4025	3.7	4.1
D1		-99.1683	19.3550	0.6	0.6
D3		-99.1516	19.3302	0.8	0.8
D4		-99.1711	19.3183	0.8	0.8
D5		-99.1486	19.3022	0.8	0.8
D6		-99.1219	19.2908	1.2	1.2
D7		-99.1133	19.3002	1.4	1.4
D8		-99.1011	19.3091	2.6	2.6
D9		-99.1786	19.4644	0.8	0.9
E1		-99.1966	19.4638	0.7	0.6
E2		-99.1838	19.4830	0.6	0.6
E3		-99.2033	19.4833	0.7	0.7
E4		-99.2022	19.5158	0.6	0.6
E5		-99.1919	19.5486	0.5	0.6
E6		-99.1727	19.5208	0.6	0.7
E7		-99.1450	19.4950	0.9	0.9
E8		-99.1538	19.4811	0.8	0.8
E9		-99.1261	19.4763	1.3	1.2
F1		-99.0913	19.4880	1.6	1.6
F2		-99.0475	19.4777	3.7	4.1
F3		-99.1050	19.3583	1.7	1.4
F4		-99.0697	19.3927	3.7	3.6
F5		-99.0672	19.4138	4.1	3.6
F6		-99.0505	19.4130	4.3	4.1
F7		-99.0266	19.4002	5.1	4.6
F8		-99.0125	19.3858	4.8	4.8
F9		-98.9966	19.4141	4.6	4.1
G1		-98.9900	19.3927	3.9	4.1
G2		-99.1202	19.4130	2.3	2.9
G3		-99.1163	19.3986	3.4	3.4
G4		-99.0422	19.4222	4.3	4.3
G5		-99.0347	19.4347	4.6	4.1
G6		-99.0530	19.4886	4.3	4.1
G7		-99.0708	19.4908	3.3	3.6
G8		-99.0183	19.2905	3.9	3.6
G9		-99.0461	19.2886	4.3	4.3
H1		-99.0625	19.2975	3.9	3.7
H2		-99.0733	19.3044	2.5	2.3
H3		-99.0025	19.3802	2.9	3.2
H4		-98.9786	19.3719	3.4	3.4
H5		-99.0050	19.3611	1.7	1.9
H6		-99.0725	19.3266	1.5	1.3
H7		-99.1211	19.2711	1.5	1.5
H8		-99.1325	19.2527	1.9	2.2
H9		-99.1619	19.3622	1.0	0.9

I1	-99.1580	19.3522	1.0	0.8
I2	-99.1361	19.3263	1.1	1.1
I3	-99.1189	19.3236	1.3	1.3
I4	-99.1125	19.3067	1.3	1.6
I5	-99.1272	19.2989	1.0	1.1
I6	-99.0731	19.2481	0.5	0.5
I7	-99.0556	19.2553	0.5	0.6
I8	-98.9922	19.2417	0.6	0.5
I9	-99.0283	19.2600	0.7	0.7
J1	-99.0281	19.2592	0.2	0.2
J2	-99.1544	19.3794	1.1	1.1
J3	-99.1539	19.3889	3.3	3.4
J4	-99.1489	19.3978	2.3	2.3
J5	-99.1436	19.4039	2.2	2.4
J6	-99.1375	19.4042	2.3	2.5
J7	-99.1392	19.3922	2.0	2.0
J8	-99.1275	19.3975	2.8	2.8
J9	-99.1267	19.3928	2.7	2.5
K1	-99.1144	19.3911	3.2	3.3
K2	-99.1153	19.3797	2.7	2.7
K3	-99.1375	19.3833	1.4	1.5
K4	-99.1417	19.3750	1.3	1.6
K5	-99.1439	19.3569	1.1	1.0
K6	-99.1194	19.3511	1.7	1.7
K7	-99.1264	19.3672	1.9	1.8
K8	-99.0594	19.3558	1.8	1.8
K9	-99.0378	19.3903	4.8	4.6
L1	-99.0128	19.4056	4.8	4.6
L2	-99.0322	19.4125	4.6	4.8
L3	-99.0586	19.3992	3.2	3.7
L4	-99.1006	19.4208	3.2	3.3
L5	-99.1094	19.4214	3.4	3.4
L6	-99.1336	19.4639	1.5	1.5
L7	-99.1375	19.4825	1.3	1.3
L8	-99.1481	19.4697	1.1	1.0
L9	-99.1600	19.4692	0.8	0.9
M1	-99.1761	19.4819	0.6	0.6
M2	-99.1525	19.5192	0.9	0.9
M3	-99.0805	19.5058	1.5	1.5
M4	-99.0531	19.5106	2.9	3.2
M5	-99.0647	19.4758	3.2	3.4
M6	-99.0856	19.4803	3.0	2.9
M7	-99.1683	19.3883	0.8	0.8
M8	-99.1736	19.3969	0.8	0.8
M9	-99.1703	19.4039	1.0	1.0
N1	-99.1633	19.4114	1.4	1.3
N2	-99.1742	19.4122	1.0	1.1
N3	-99.1717	19.4214	1.2	1.2
N4	-99.1614	19.4361	1.3	1.3
N5	-99.1486	19.4325	1.8	2.1
N6	-99.1522	19.4203	2.1	2.3
N7	-99.1375	19.4153	2.7	2.4
N8	-99.1369	19.4217	1.8	2.0
N9	-99.1331	19.4411	2.1	2.2
O1	-99.1194	19.4347	2.6	2.3
O2	-99.1231	19.4228	2.7	2.3
O3	-99.1272	19.4142	2.6	2.4
O4	-99.1142	19.4061	3.4	3.2
O5	-99.1117	19.3981	3.4	3.4
O8	-99.2100	19.4433	0.6	0.6
O9	-99.2042	19.4469	0.6	0.6
P1	-99.1972	19.4528	0.7	0.7
P2	-99.1675	19.3675	0.5	0.5
P3	-99.1200	19.4400	2.3	2.8
P4	-99.1386	19.4319	2.2	2.2
P5	-99.1919	19.4069	0.6	0.6