



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN**

***"PROPUESTA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA
DEL MUNICIPIO DE NAUCALPAN"***

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

JESÚS LEVI ZETINA CASTAÑEDA

ASESOR:

Dr. DARÍO RIVERA VARGAS

MÉXICO MAYO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mis padres por el gran esfuerzo que han hecho por mi hermano y por mí.

A mis asesores por su tiempo dedicado a este trabajo.

A mis amigos por las palabras de apoyo.

Gracias a DGAPA UNAM por haberme otorgado una beca para realizar mi tesis a través del Proyecto PAPIIT-IT101513 "Riesgo sísmico del municipio de Naucalpan".

Y gracias al Departamento de Riesgos Naturales y Antropogénicos de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la FES Acatlán.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Objetivo y alcance.....	6
1.3 Contenido.....	6
II. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRENO	8
2.1 Aspectos generales	8
2.1.1 Localización y territorio municipal.....	9
2.1.2 Población	12
2.1.3 Clima.....	12
2.1.4 Orografía.....	13
2.1.5 Hidrografía.....	13
2.1.6 Geomorfología.....	14
2.1.7 Aspectos económicos.....	14
2.1.8 Infraestructura.....	15
2.1.9 Zonas importantes de Naucalpan	17
2.2 Aspectos geológicos de la Cuenca de México.....	21
2.3 Aspectos geotécnicos de la Cuenca de México.....	23
2.4 Geología del Norponiente del Valle de México (Naucalpan)	27
2.5 Estratigrafía del subsuelo de Naucalpan	30
2.5.1 Estudios de mecánica de suelos	30
2.5.2 Zonificación preliminar de Naucalpan	42
2.5.3 Problemas en la zona Norte de Naucalpan.....	43
2.6 Grietas existentes en el municipio de Naucalpan de Juárez	44
III. FUENTES SÍSMICAS	48
3.1 Datos históricos	48
3.2 Tectónica de placas y origen de los sismos	50
3.3 Movimiento de la corteza terrestre ante un sismo	56
3.4 Fuentes sísmicas que afectan a la Cuenca de México.....	57
IV. PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.....	71

4.1	Conceptos básicos	71
4.2	Periodos del suelo analíticos	72
4.3	Equipos de medición.....	75
4.4	Campañas de medición	76
4.5	Análisis de registros	96
4.6	Interpretación de registros	96
4.6.1	Acelerogramas.....	96
4.6.2	Cálculos de Espectros de Fourier.....	98
4.6.3	Cálculos de Espectros de Respuesta.....	100
4.6.4	Método de Nakamura.....	101
V.	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR.....	111
5.1	Periodos de vibración del terreno por sitio.....	111
5.2	Mapa de isoperiodos	114
5.3	Mapa de microzonificación sísmica	116
5.3.1	Zona I.....	116
5.3.2	Zona II	116
VI.	CONCLUSIONES.....	119
	REFERENCIAS	121
	Direcciones electrónicas	126
	ÍNDICE DE FIGURAS	127
	ÍNDICE DE TABLAS	130
	ANEXO 1.....	131
	ANEXO 2.....	145

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Naucalpan, Estado de México, pertenece al Eje Neovolcánico Transversal Mexicano, está a una altura máxima de 3450 m.s.n.m y se ubica en la parte norponiente del Valle de México. Tiene un área territorial de 155.7 km², en donde habita una población de 833, 779 ciudadanos y la mayor parte del suelo de la entidad es de origen volcánico (Formación Tarango). Es uno de los municipios con desarrollo urbano constante y creciente lo que implica que sea uno de los más densamente poblados. Es de las entidades que más aporta a la economía del país (siendo el sector terciario el más explotado) y por lo tanto su aportación en porcentaje es mayor que algunos estados de la República Mexicana (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

La actividad tectónica de la República Mexicana y por consiguiente la del municipio de Naucalpan, es producto de la subducción de la Placa de Cocos y la de Rivera (oceánicas), bajo la Placa Norteamericana (continental), siendo esta la principal fuente sísmica presente en México, la cual ha producido sismos con magnitudes mayores a los 7 grados Richter ($M > 7$), tal como ocurrió el 19 de Septiembre de 1985 ($M_w = 8.1$), uno de los más recordados y el que dejó enormes pérdidas, tanto humanas como económicas. Sin embargo el de mayor magnitud sucedió en 1932, en Manzanillo, Colima donde hubo un evento sísmico superior a 8.5. De igual forma, existen otras fuentes sísmicas como la referente a las deformaciones internas de la placa oceánica y una más por las deformaciones corticales en la corteza terrestre.

La historia sísmica del municipio muestra algunos datos sobre daños ocurridos tales como: fisuras en muros de viviendas y en la iglesia de San Bartolo. Sin embargo no significa que no se puedan presentar percances más graves debido a terremotos de gran intensidad, como el caso de la posible liberación de energía en la Brecha de Guerrero; si cediera en un solo evento. Esta situación motiva tener medidas preventivas para aminorar daños severos a futuro, para los cuales son importantes los estudios de zonificación sísmica.

Un estudio de microzonificación sísmica contribuye a la toma de decisiones en la construcción de estructuras más seguras sobre distintos tipos de suelos. Se sabe bien que este tipo de estudios tiene un elevado costo, se puede tomar como una inversión a largo plazo en caso de un futuro desastre, si se realizan, de alguna forma el municipio de Naucalpan estaría preparado para la

ocurrencia de un temblor de severa intensidad y de esta manera salvaguardar la integridad de los habitantes además de su infraestructura.

Los estudios de microzonificación sísmica se basan en mapas de isoperiodos de sitio, en los cuales es factible determinar las zonas donde el terreno tiene mayor amplificación dinámica y con ello establecer las construcciones que pueden sufrir daños. El mayor daño que sufren las estructuras sucede cuando su periodo fundamental es similar o igual al periodo dominante de la excitación del suelo donde se encuentran desplantadas.

1.2 OBJETIVO Y ALCANCE

OBJETIVO

Obtener un mapa de isoperiodos a través de mediciones de vibración ambiental y establecer una propuesta de microzonificación sísmica para el municipio de Naucalpan.

ALCANCE

El alcance de este estudio es conocer las características dinámicas del terreno en la frontera con el Distrito Federal, en la cual se tiene incertidumbre sobre el movimiento del terreno, aplicando la técnica de Nakamura.

Es preciso recalcar que de acuerdo con la presente tesis, se elaborará un estudio preliminar de microzonificación sísmica para investigaciones subsecuentes ya que, desde el punto de vista de la seguridad estructural se debe de determinar la respuesta dinámica del suelo y sus periodos fundamentales de vibración, para dar una idea del riesgo a la que están sometidas las edificaciones existentes ante acciones sísmicas, de la misma forma identificar con claridad la frontera que existe entre el terreno de transición y firme puesto que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF - 2004), en el cual no permite visualizar el límite con claridad.

1.3 CONTENIDO

La tesis está conformada por seis capítulos cuyo contenido se describe a continuación.

En el capítulo I se define el planteamiento del problema y el objetivo de la investigación así como su alcance.

En el capítulo II trata sobre las características generales del municipio en lo que se refiere a localización, población, principales localidades, aspectos económicos, orografía y geomorfología, además de comentar sobre los aspectos geológicos y geotécnicos de la Cuenca de México, y en consecuencia lo concerniente a la geología y estratigrafía de Naucalpan. También se hace mención de la presencia de algunas grietas locales de terreno.

En la tercera parte se describen las fuentes sísmicas que pueden afectar al municipio bajo estudio.

En el capítulo IV se describen las pruebas de vibración ambiental realizadas en varios puntos del municipio, así como el análisis e interpretación de las señales obtenidas, con objeto de establecer los periodos de vibración del suelo en cada uno de los sitios.

En el capítulo V se presenta en primera instancia el mapa de isoperiodos derivado de las pruebas de vibración ambiental, posteriormente se hace una descripción de la propuesta de microzonificación sísmica del municipio de Naucalpan.

El capítulo VI se enfoca en describir los principales resultados obtenidos de la investigación, así como los estudios requeridos a futuro.

II. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TERRENO

2.1 ASPECTOS GENERALES



Figura 2.1 Escudo del municipio de Naucalpan (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013)

Naucalpan, nombre náhuatl, que algunos autores interpretan como "El lugar de los cuatro barrios" o "En los cuatro barrios" pero de acuerdo a las raíces etimológicas quiere decir "en las cuatro casas" (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Es oficialmente nombrado "Naucalpan de Juárez" desde 1976 por acuerdo del Congreso del Estado de México y el apelativo es en honor al presidente mexicano Benito Juárez (www.naucalpan.org.mx, 2013).

Los glifos que integran el escudo del municipio (figura 2.1) son: en la parte inferior un tépetl para indicar el sitio, sobre el mismo el signo de calli, que significa, “Casa”, y en la parte alta en número nahui que indica, “Cuatro”, “En las cuatro casas” (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013)

2.1.1 Localización y territorio municipal

El municipio de Naucalpan de Juárez se ubica entre las coordenadas 19°24'40" y 19°32'09" latitud y 99°12'22" y 99°24'50" longitud, a una altitud que oscila de 2258 a 3450 m sobre el nivel del mar debido a los lomeríos que posee (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

El territorio de Naucalpan forma parte de la provincia geológica más extensa de la República Mexicana, el Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (ENTM), localizado en las faldas volcánicas, en la parte central, como se muestra en la figura 2.2. Así mismo es uno de los 125 municipios del Estado de México, el cual está ubicado en la Meseta central del país.

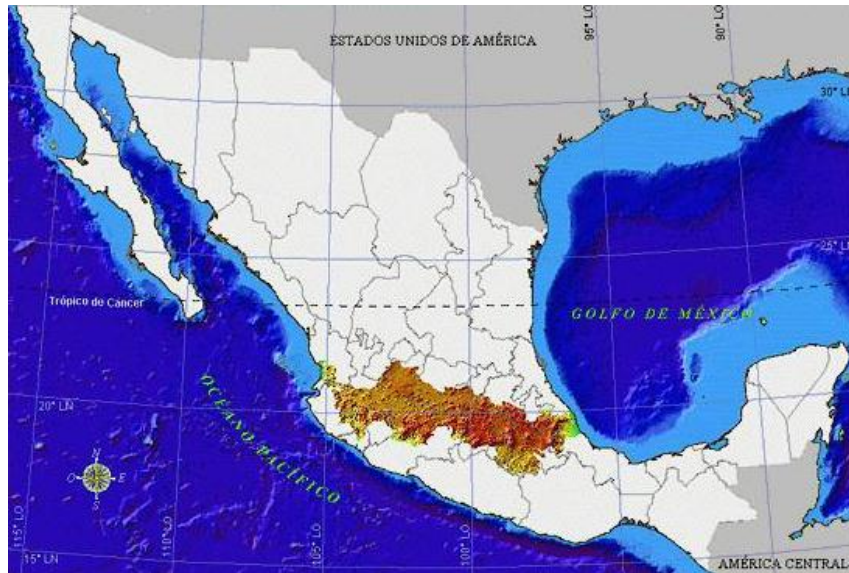


Figura 2.2 Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (INEGI)

En la figura 2.3 se observa que el municipio colinda al norte con los municipios mexiquenses, Jilotzingo, Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla de Baz; al sur con Huixquilucan; al este y sureste con el Distrito Federal (delegaciones, Azcapotzalco y Miguel Hidalgo); al oeste nuevamente con Jilotzingo, y al suroeste con los municipios Otzolotepec, Xonacatlán y Lerma (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).



Figura 2.3 Colindancias del municipio Naucalpan de Juárez (www.naucalpan.gob.mx, 2012)

De acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano de Naucalpan 2013 la extensión territorial es de 155.7 km² lo que representa para el Estado de México el 0.7 % de su superficie. El municipio actualmente se clasifica en las siguientes áreas; del área mencionada el 43% es Área urbana (67.6 km²), 11% corresponde a el Área urbanizable (16.77 km²) y el 46% lo conforma el Área no urbanizable (71.33 km²). Los datos antes mencionados se pueden observar claramente en la figura 2.4.

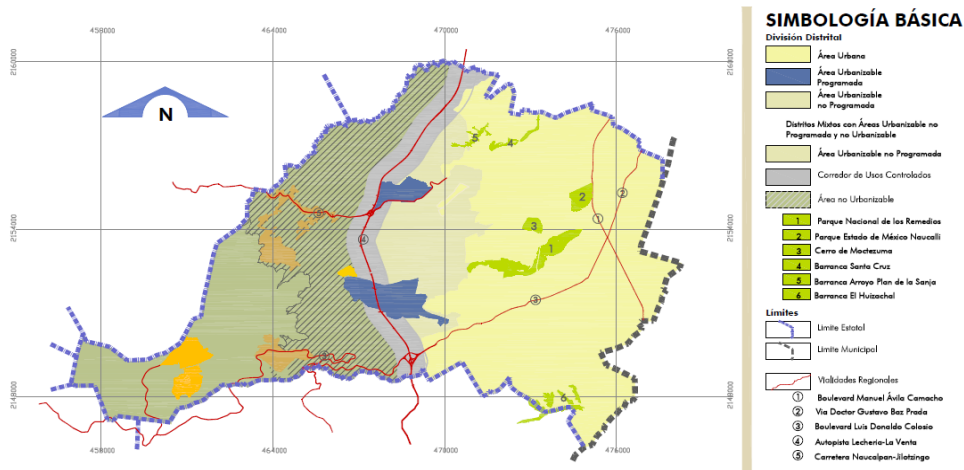


Figura 2.4 Áreas del municipio de Naucalpan de Juárez (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006)

El área urbanizable está formada por una franja irregular de norte a sur en la parte central del municipio e incluye un fraccionamiento campestre; y el área no urbanizable, la constituye fundamentalmente toda la parte oeste del municipio, la mayor superficie son tierras ejidales que permanecen improductivas, los pocos cultivos existentes son para el autoconsumo, situación que ha propiciado la ocupación y venta ilegal de terrenos dedicados a vivienda informal. En esta área se ubican los dos poblados rurales y el fraccionamiento campestre Villa Alpina (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).

Cabe agregar que para poder tener un ordenamiento del territorio municipal, el ayuntamiento hace una división distrital (figura 2.5), y ésta se compone de 27 distritos; quedando 11 distritos en el área urbana; 2 distritos definidos como área urbanizable programada; 11 distritos mixtos compuestos por superficies clasificadas como urbanizables no programadas, de corredor de usos controlados y no urbanizables; 2 distritos que corresponden cada uno a los Pueblos de San Francisco Chimalpa y Santiago Tepatlaxco y 1 distrito en el área no urbanizable del Parque Estatal Otomí Mexica conforme a lo estipulado en el Plan de Desarrollo Urbano del municipio en 2006.

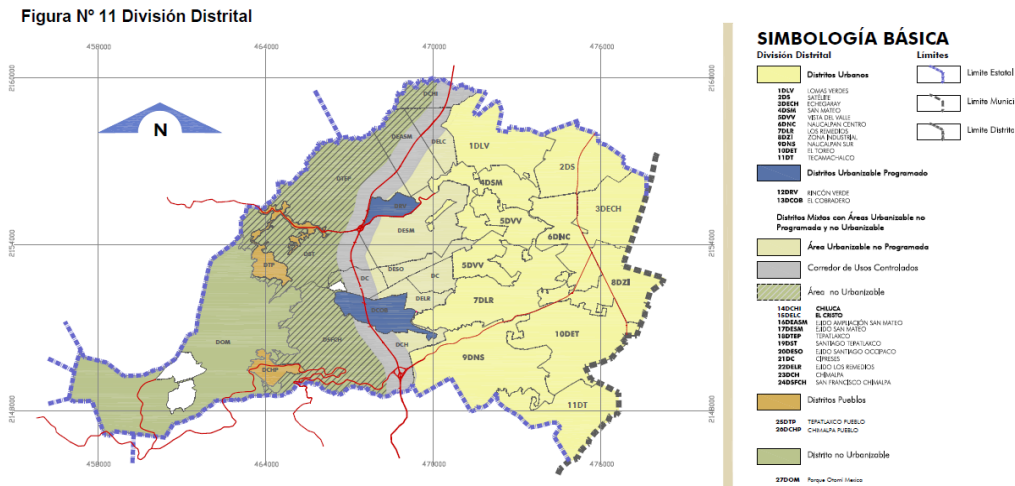


Figura 2.5 División distrital (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006)

El Plan municipal de Desarrollo Urbano de Naucalpan de Juárez 2006 agrupa a los 27 Distritos en la siguiente clasificación territorial:

- **Distritos Urbanos.**- 1DLV Lomas Verdes, 2DS Satélite, 3DECH Echegaray, 4DSM San Mateo, 5DVV Vista del Valle, 6DNC Naucalpan Centro, 7DLR Los Remedios, 8DZI Zona Industrial, 9DNS Naucalpan Sur, 10DET El Toreo y 11DT Tecamachalco.
- **Distritos Urbanizables Programados.**- 12DRV Rincón Verde y 13DCOB El Cobradero.
- **Distritos Mixtos con Áreas Urbanizable No Programada y No Urbanizable.**- 14DCHI Chiluca, 15DELC El Cristo, 16DEASM Ejido Ampliación San Mateo, 17DESM Ejido San Mateo, 18DTEP Tepatlaxco, 19DST Santiago Tepatlaxco, 20DESO Ejido Santiago Tepatlaxco, 21DC Cipreses, 22DELR Ejido Los Remedios, 23DCH Chimalpa y 24DSFCH San Francisco Chimalpa.
- **Distritos Pueblos.**- 25DTP Tepatlaxco Pueblo y 26DCHP Chimalpa Pueblo.
- **Distrito No Urbanizable.**- 27DOM Otomí Mexica.

De la misma manera Naucalpan está conformado por 18 pueblos, 6 fraccionamientos industriales, 2 fraccionamientos campestres, 84 fraccionamientos residenciales, 127 colonias (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

2.1.2 Población

Son 405, 217 habitantes de género masculino, que representa el 48.5% del total, 428, 562 de género femenino y representa el 51.5%, para dar un total de 833, 779 ciudadanos en el territorio de Naucalpan, datos correspondientes al año 2010 (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

2.1.3 Clima

La temperatura mínima es 3°C, la máxima de 32.5°C y una promedio anual de 15° C. El clima predominante es el templado-húmedo y en la figura 2.6 se pueden observar sus variantes que tiene en diferentes partes del municipio. Existe una precipitación anual de 979.2 milímetros en el verano en la Presa Totolinga, aumentando hasta 1,000 mm al este y disminuyendo a una media de 665 mm al oeste (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

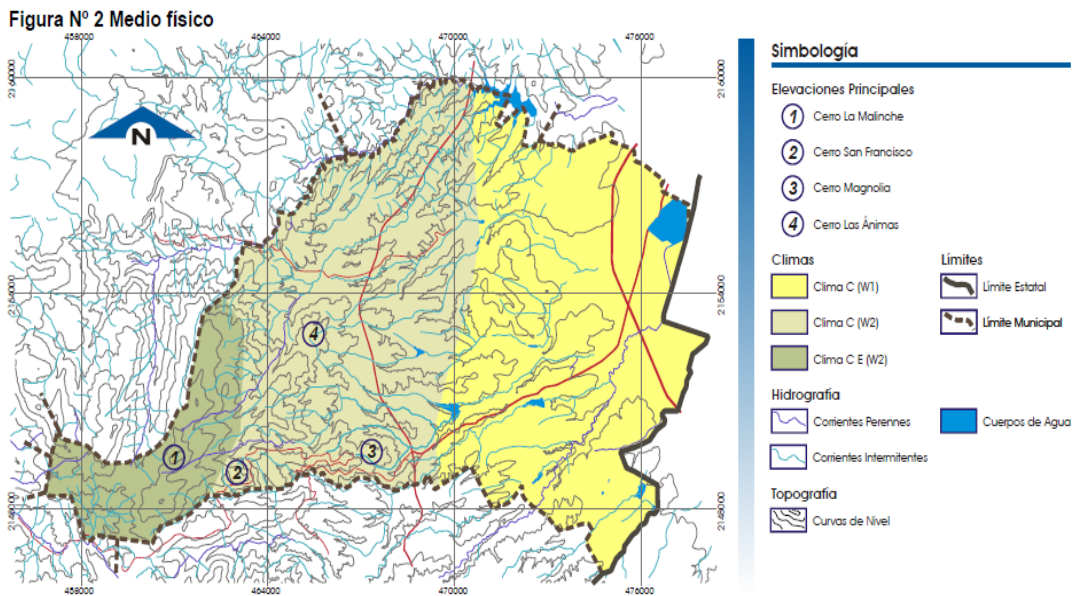


Figura 2.6 Clima (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006)

2.1.4 Orografía

La altitud del municipio oscila entre los 2,300 y los 3,450 m sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). La zona donde existe la topografía más accidentada está en la parte oeste y suroeste especialmente la zona del Parque Estatal Otomí-Mexica (área no urbanizable), por otra parte, la zona con menores pendientes la posee el área urbana consolidada. En la siguiente tabla 2.1 y en la figura 2.7 se observan las elevaciones más importantes (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Tabla 2.1 Elevaciones de Naucalpan

Nombre de la elevación	Altura (m.s.n.m.)
Cerro La Malinche	3,450
Cerro San Francisco	3,210
Cerro Magnolia	2,750
Cerro las Ánimas	2,690

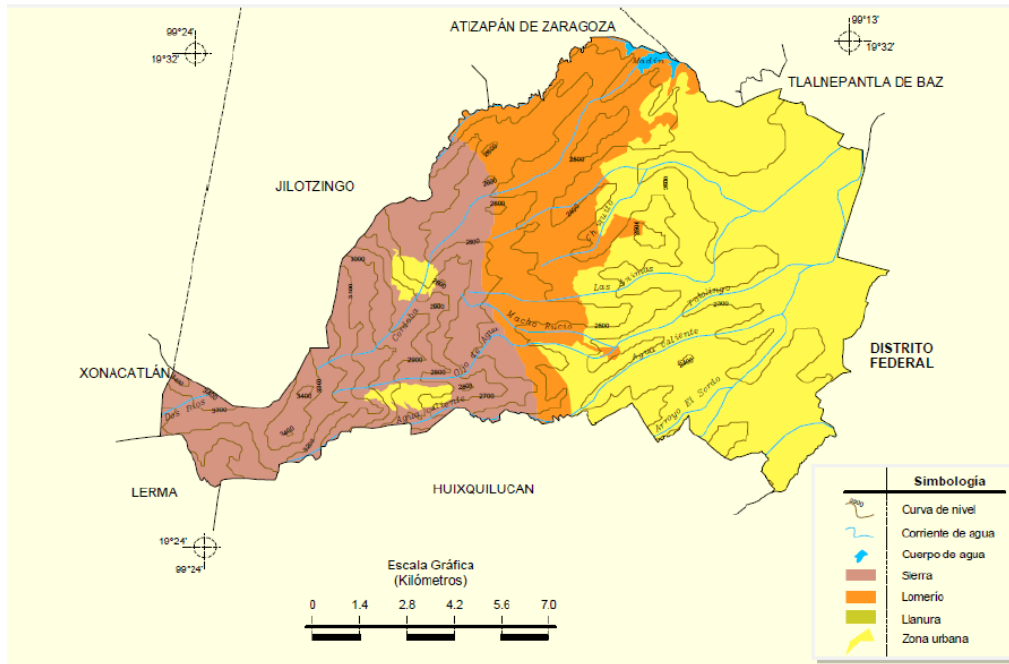


Figura 2.7 Elevaciones de Naucalpan (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013)

2.1.5 Hidrografía

Pertenciente a la Región Hidrológica No. 26, Pánuco, Cuenca Río Moctezuma, el municipio cuenta con seis ríos (entre los que destacan el San Lorenzo o San Juan Totolinga, Los Remedios y Río Hondo), siete presas (las más importantes; Totolinca en la comunidad de los Cuartos, Las Julianas,

San Miguel Tecamachalco, la Colorada, los Arcos y El Sordo), doce manantiales, tres acueductos entre los cuales destaca el Acueducto de los Remedios (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

2.1.6 Geomorfología

Como se mencionó Naucalpan se localiza en el Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (ENTM) y ubicado en la subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac. De la superficie tiene como geomorfología que el 29% del territorio municipal está conformado por sierras, el 38% por lomeríos y el 33% lo constituyen llanuras (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

2.1.7 Aspectos económicos

De acuerdo al Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IGECEM), Naucalpan es el municipio con el PIB de mayor porcentaje de la Región VIII a la que pertenece, además de ser la entidad que más aporta a la economía del estado.

El valor monetario para el 2011 es 12.5 % a nivel estatal (Instituto de Información e Investigación Geográfica, 2003 - 2011) y representa el 0.9 % del PIB nacional (INEGI). La historia del producto interno bruto de Naucalpan se observa en la tabla 2.2, en donde se muestra el alza a pesar de la crisis por la que atravesó el país (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

La mayor participación de la economía recae en los servicios (sector terciario), donde las actividades más importantes son: la gastronomía, la salud, las estéticas, los talleres de mantenimiento y reparación automotriz. El sector secundario es generado mayoritariamente por la venta de energía eléctrica, la cual fue 839,812 megawatts-hora en el 2010. Las actividades económicas primarias son de autoconsumo, para el 2010 se registraron 1,308 hectáreas de superficie sembrada y 1,168 cosechada (INEGI).

Tabla 2.2 PIB de Naucalpan

Año	PIB
2003	112,777.60
2004	117,655.50
2005	124,011.60
2006	130,858.90
2007	136,605.30
2008	103,855.40
2009	98,950.50
2010	107,511.60
2011	112,121.80
2011 %	12.50

2.1.8 Infraestructura

Infraestructura hidráulica

A Naucalpan se suministran aproximadamente 3,150 lps provenientes de tres fuentes principales: 1) el Sistema Lerma-Cutzamala en un 66 %; 2) 5.4 % por los recursos de la presa Madín, ubicada en el municipio de Atizapán de Zaragoza (fuentes externas) y 3) fuentes propias 28 % (42 tanques de regulación). La red hidráulica es de 1,200 kilómetros aproximadamente, y a pesar del funcionamiento se ha perdido la calidad del servicio por falta de un adecuado mantenimiento y por la antigüedad de los materiales originales. Se dispone de 166,000 tomas de agua domiciliarias; 4,000 comerciales; 1,300 industriales; y, 650 de agua públicas (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Infraestructura Sanitaria

En el municipio existen dos plantas de tratamiento de aguas residuales, la primera se ubica cerca del Parque Estado de México “Naucalli”, a orillas del Río de los Remedios, en donde se trata una parte del volumen de aguas servidas y la segunda se sitúa al noroeste de Ciudad Satélite destinada para el riego de áreas verdes. En general la red de infraestructura sanitaria (1,100 kilómetros) se encuentra en condiciones de operación similares a la hidráulica por falta de mantenimiento. (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Infraestructura carretera

El sistema carretero de Naucalpan está a cargo del gobierno federal y estatal, este comunica a Naucalpan con los municipios vecinos y con las delegaciones del Distrito Federal. En su totalidad suma 54.7 km dentro de los límites del municipio (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).

Infraestructura eléctrica

Actualmente la electricidad suministrada queda a cargo de la empresa CFE y existen cuatro subestaciones eléctricas de servicio: S.E. Los Remedios, ubicada en Alcanfores y Adolfo López Mateos, la S.E. Nopala, ubicada en el Ejido de San Mateo Nopala; la S.E. Naucalpan ubicada en Avenida 1° de Mayo y calle Hormona, en San Andrés Atoto y la S.E. móvil Huixquilucan, en Camino Arenero y Minas Palacio, en San Rafael Chamapa 2ª Sección, las cuales también abastecen algunas delegaciones del Distrito Federal (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Infraestructura escolar y cultural

Las instalaciones escolares más comunes son las de nivel preescolar y primaria con el 40 % y 35 %, respectivamente, del total de las instituciones. Son 313 escuelas para educación de nivel primaria pública y 128 para secundaria, y del sector privado sólo existen 126 planteles en conjunto. En el rubro del nivel medio superior cuenta con 53 instituciones y el nivel superior con 21, mientras que son 82 con las que cuenta el sector privado (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Cabe agregar que Naucalpan se beneficia con 33 bibliotecas públicas; 3 teatros; 1 museo; 22 librerías; 1 galería; 3 centros culturales; 1 institución cultural municipal; 8 editoriales; 3 festivales; 14 programas de educación artística, 1 zona arqueológica; 1 compañía cinematográfica; 7 salas de cine y cineclubes (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Infraestructura de salud

De acuerdo al INEGI, para el año de 2010 había 63 unidades médicas, el IMSS tiene 5 unidades; el ISSSTE tiene una; y, el Estado a través de la Secretaría de Salud tiene 24 unidades médicas dentro de Naucalpan (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Infraestructura de comercio

El registro del Plan de Desarrollo Urbano del municipio (2013) menciona que la infraestructura del comercio la conforman 21 mercados municipales, con un total de 2,450 puestos y locales dedicados a distintos tipos de comercios.

Infraestructura deportiva

El municipio dispone de 300 parques públicos los cuales están equipados con áreas de recreación infantil y canchas de usos múltiples. Ahora bien se localizan equipamientos recreativos como son el Parque Nacional de los Remedios y el Parque Estado de México “Naucalli” de nivel metropolitano y se destaca el Parque Revolución, en la Cabecera municipal, el Parque “El Tepetatal” y el Parque de la Punta, estos dos últimos del rescate de áreas abandonadas a nivel municipal. Además de contar con 17 deportivos y 2 albercas municipales (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).

Infraestructura de comunicación y transporte

Conforme al Plan de Desarrollo Urbano del municipio en 2006 dentro de Naucalpan se cuenta con una Central Telefónica de cobertura regional. Por otra parte se destaca la estación del Metro Cuatro Caminos, que constituye la terminal de la Línea 2 del Sistema de Transporte Colectivo Metro del Distrito Federal y el Paradero del Metro Toreo, en donde, se sitúan líneas de microbuses, de autobuses urbanos y suburbanos con distintos destinos locales y regionales.

Infraestructura de administración pública y servicios municipales

Entre las instalaciones del orden gubernamental más importantes están el Palacio Municipal, el edificio del Organismo de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, una estación central de bomberos, el Centro Administrativo del Estado de México. Se cuenta con una delegación de la Secretaría de Relaciones Exteriores, un edificio de oficinas de la Secretaría de Comunicaciones del Estado, Juzgados Civiles y Familiares del Estado, el Consejo de la Judicatura Federal del Poder Judicial de la Federación e instalaciones de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Adicionalmente el Campo Militar número 1 de la Secretaría de la Defensa Nacional y el Vaso

Regulador el Cristo, área en la que se vierten aguas residuales, a cargo de la Comisión Nacional del Agua (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).

2.1.9 Zonas importantes de Naucalpan

Zona de Satélite

La ciudad Satélite abarca alrededor de 1 millón de metros cuadrados de los cuales 178 mil lo constituye el Centro comercial Plaza Satélite (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).

Zona Industrial

La zona industrial representa gran importancia en la economía municipal y del país en términos de generación de empleos, esta zona se compone de 3 millones de metros cuadrados (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).

Zona Centro

La zona centro del municipio la constituye la Cabecera Municipal, un generador tradicional de viajes de todo tipo de transporte, dado que en la misma se mezclan importantes funciones de servicios, comerciales, de trasbordo de transporte, así como político administrativas (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).

Basílica de los Remedios

La construcción de la basílica (figura 2.8) se inició en 1574, en ella se alberga la imagen de la Virgen de los Remedios que data del siglo XV, las esculturas del Sagrado Corazón de Jesús de Isaías Cervantes y el Monumento a la Corona de Cristo Rey (González, 2011).



Figura 2.8 Basílica de los Remedios (González, 2011)

San Juan Totoltepec

Es un pueblo que tiene historia, lugar donde Hernán Cortés lloró tras la derrota frente a los guerreros aztecas. Asimismo alberga el Acueducto de los Remedios (González, 2011).

Pirámides del Conde

De las zonas arqueológicas que aún se conservan entre estos días, están las Pirámides del Conde que datan de los años 1430 a 1521 d.c., la construcción se muestra en la figura 2.9 (González, 2011).



Figura 2.9 Pirámides del Conde (González, 2011)

Cerro de Moctezuma

Es un área natural protegida, es de las pocas zonas vírgenes en el Estado de México, pertenece al Parque Nacional de Los Remedios, está ubicado entre el boulevard Adolfo López Mateos y los fraccionamientos Vista del Valle, Bosques de Moctezuma y Club Reforma, y es uno de los últimos pulmones del valle de México (González, 2011).

Museo Tlatilca

El museo que se aprecia en la figura 2.10 está ubicado en la Avenida Gustavo Baz, fue fundado por el maestro Salvador Sánchez Zavala en 1974, es testigo de la transformación que ha sufrido Naucalpan hasta la actualidad (González, 2011).



Figura 2.10 Museo Tlatilca (González, 2011)

Torres de Satélite

Son cinco prismas triangulares que forman un conjunto de esculturas emblemáticas que caracterizan al Estado de México desde su construcción (figura 2.11), la cual se llevó a cabo en 1958, gracias al escultor Mathias Goeritz y al arquitecto Luis Barragán (González J. P., 2011).



Figura 2.11 Torres de Satélite (González, 2011)

Acueducto de los Remedios

Construido en 1764 para solucionar el problema del abastecimiento de agua por órdenes del virrey Joaquín de Montserrat, marqués de Cruillas en aquella época. Tiene una longitud de 500 m y el arco mayor tiene una altura de 16 m (www.naucalpan.org.mx, 2013).



Figura 2.12 Acueducto de los Remedios (www.naucalpan.org.mx, 2013)

Teatro Bicentenario

Es uno de los espacios más importantes del municipio, cuenta con 720 butacas y puede ser destinado para varias actividades, entre ellas están: obras teatrales, conciertos, actos políticos y diversos eventos culturales y artísticos (www.naucalpan.org.mx, 2013).



Figura 2.13 Teatro Bicentenario (www.naucalpan.org.mx, 2013)

2.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA CUENCA DE MÉXICO

El desarrollo poblacional origina que en la periferia de la Ciudad de México y los municipios conurbados se construyan estructuras para viviendas, oficinas, industrias y obras urbanas, sin tener el conocimiento científico de las características y propiedades de los suelos (Chávez, 2008).

La información geotécnica actual, al respecto de la zona conurbada al norponiente del Valle de México, se obtiene de algunas obras civiles que se han realizado; sin embargo, esta información está dispersa o es celosamente guardada por las empresas que la han elaborado, lo que ha obligado a realizar una gran cantidad de estudios de tipo geotécnico para conocer el comportamiento de los suelos y las problemáticas de cimentación en obras de ingeniería (Chávez, 2008).

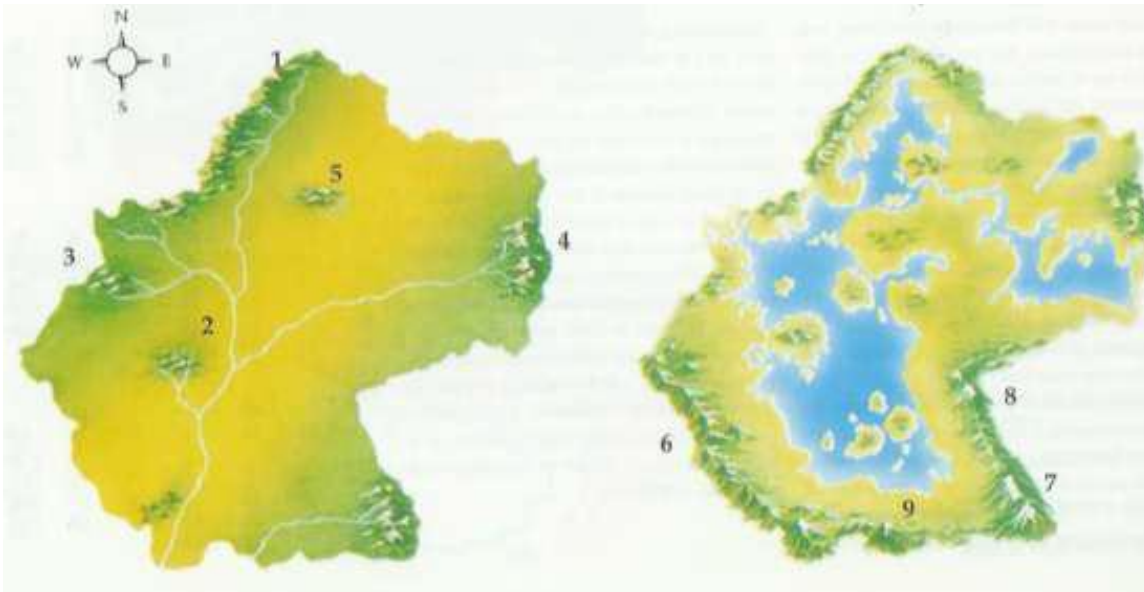


Figura 2.14 Cuenca de México (Chávez, 2008)

La Cuenca de México posee una interesante historia geológica. Para fines del Mioceno, hace unos catorce millones de años, como se puede apreciar en el mapa de la izquierda de la Figura 2.14, la actividad volcánica rindió sus primeros frutos: la Sierra de Pachuca (1), la de Guadalupe (2), la de Tepotzotlán (3), la del Tepozán (4) y la de Las Pilas (5). Le seguirán, con cerca de diez millones de

años, la Sierra de Las Cruces (6), que delimita la parte occidental de lo que hoy es la Cuenca de México y, al oriente, las primeras formaciones de la Sierra Nevada (7) y la de Río Frío (8). Este amplio valle por donde circulaban varios ríos, quedó cerrado hace cerca de setecientos mil años, cuando una intensa actividad volcánica dio origen a la Sierra de Chichinautzin (9), privando al río Balsas de un afluente y formando una cuenca cerrada de cerca de 9,600 km². Al oriente, fruto de una serie de erupciones intermitentes a lo largo del Cuaternario, concluía la formación de la Sierra Nevada, en donde se levantan los conos del Popocatepetl y del Iztaccíhuatl con sus fumarolas, dando a la cuenca el aspecto que se muestra en el mapa de la derecha y que es el que conocieron sus primeros pobladores (Chávez, 2008).

Hoy en día la Cuenca de México mide en dirección norte-sur alrededor de 90 km y en dirección este-oeste, en la parte norte, cerca de 100 kilómetros, por otro lado en el sur alcanza unos 50 km; el área aproximada de la cuenca es de 9,600 km². Sus altitudes oscilan entre 2,390 m en el norte y 2,240 m en dirección sur (Santoyo *et al.*, 2005). A la fecha está rodeada por altas montañas, limitada al norte por las sierras de Pachuca, Tepetzotlan, Guadalupe, Patlachique y Tepozán. Al sur está limitada por la sierra de Chichinautzin, al este por la sierra Nevada, con sus picos Ixtaccíhuatl y Popocatepetl, con una altura media de 5,300 m. Al oeste la cuenca está limitada por la sierra de Monte Alto y de las Cruces (Díaz, 2006).

En el trabajo de Díaz (2006) se describen los principales eventos geológicos en la Cuenca de México de la siguiente manera:

- Depósito de 2,000 m, aproximadamente, de calizas, areniscas y lutitas en un ambiente marino durante el Cretácico.
- Plegamiento y fallamiento normal de las rocas marinas durante el Terciario temprano, dando origen a un sistema tectónico regional de graben centrado en la Cuenca (Fries, 1960; Marín-Córdova *et al.*, 1986; De Cserna *et al.*, 1988).
- Depósito de sedimentos volcánicos, fluviales y lacustres en el graben durante el Plioceno Eoceno.
- Depósito de flujos de lava y materiales piroclásticos durante el Oligoceno, Mioceno y Pleistoceno.
- Depósito de abanicos aluviales y de piemonte en las regiones del este y oeste, durante el Plioceno superior y el Pleistoceno (Arellano, 1953; Fries, 1960; Schlaepfer, 1968).
- Erupciones volcánicas de basalto y pómez durante el Pleistoceno, en la parte central y sur de la cuenca. Las más importantes efusiones del Cinturón volcánico del Chichinautzin, lo que causó el cierre de la cuenca (Fries, 1960; Mooser 1963).
- Desarrollo del ambiente lacustre como una consecuencia del cierre de la cuenca (De Cserna *et al.*, 1988).
- Desarrollo de un conjunto de fallas NE-SW, a través del piso de la cuenca, bajo los depósitos lacustres (De Cserna *et al.*, 1988; Marín-Córdova y Aguayo-Camargo, 1989).

2.3 ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE LA CUENCA DE MÉXICO

Pleistoceno y Holoceno son las épocas geológicas recientes del periodo Cuaternario, donde se formaron los suelos lacustres del Valle de México. El primero de ellos duró más de un millón de años y el segundo 10,000 (Santoyo *et al.*, 2005).

La Cuenca de México permaneció de forma exorreica (es decir, las aguas de la cuenca tienen salida fluvial hacia el mar), hasta hace 700,000 años, cuando surgió producto de la gran actividad volcánica, la Sierra de Chichinautzin cerrando la cuenca y cubriendo la salida que iba al río Balsas, razón por la cual se formaron varios lagos. Los ríos que descendían de las sierras circundantes depositaron en potentes conos de deyección, materiales muy diversos al confluír a dichos lagos. La parte central de la cuenca se fue llenando con acarreo limo-arenoso, limo-arcilloso y emisiones de cenizas y pómez provenientes de los volcanes del sur. Al pie de las sierras y por el brusco cambio de pendiente de los ríos, se localizan grandes depósitos aluviales de composición muy variable y estratificación cruzada o lenticular, evidencia de una dinámica erosiva debido a periodos de lluvia intensa (Díaz, 2006).

Los suelos arcillosos blandos son la consecuencia del proceso de depositación y de alteración físico-química de los materiales aluviales y de las cenizas volcánicas en el ambiente lacustre, donde existían abundantes colonias de microorganismos y vegetación acuática. El proceso sufrió largas interrupciones durante los periodos de intensa sequía, en los que el nivel del lago bajó y se formaron costras endurecidas por deshidratación inducida por secado solar. Otras breves interrupciones fueron provocadas por violentas etapas de actividad volcánica, que cubrieron toda la cuenca con mantos de arenas basálticas o pumíticas; eventualmente, en los periodos de sequía también ocurrían erupciones volcánicas, las que formaban costras duras cubiertas por arenas volcánicas (Santoyo *et al.*, 2005).

El proceso descrito formó una secuencia ordenada de estratos de arcilla blanda separados por lentes duros de limos y arcillas arenosas, costras secas y arenas, basálticas o pumíticas, de las emisiones volcánicas. Los espesores de las costras duras por deshidratación solar tienen cambios graduales debido a las condiciones topográficas del fondo del lago; alcanzan su mayor espesor hacia las orillas del vaso y pierden importancia y aún llegan a desaparecer al centro del mismo.

Los suelos duros o tobas rojizas arcillosas de las lomas son la consecuencia de la alteración del polvo volcánico depositado del clima relativamente caliente, condición en que se producen suelos con coloides debido a la actividad fitológica más intensa; estos suelos son características del Yarmouth y del Sangamon.

En la figura 2.15 de la parte superior, se observa un corte desde la fosa del Mezquital hasta el Tepozteco, aproximadamente, 150 km de largo, con una dirección Norte-Sur, abarcando Sierras como las de Xalpan y la de Guadalupe. En la imagen inferior, con sección poniente-oriente, que va desde la Sierra de las Cruces hasta el cerro Telapón, incluye la parte de Chapultepec, Peñón Viejo, y se ve claramente la Formación Tarango, recordando que son depósitos volcánicos, también se muestran algunas fallas en dirección Noreste, y contempla lo que ya se ha mencionado, tobas en las faldas de las sierras y depósitos aluviales en las partes bajas (Santoyo *et al.*, 2005).

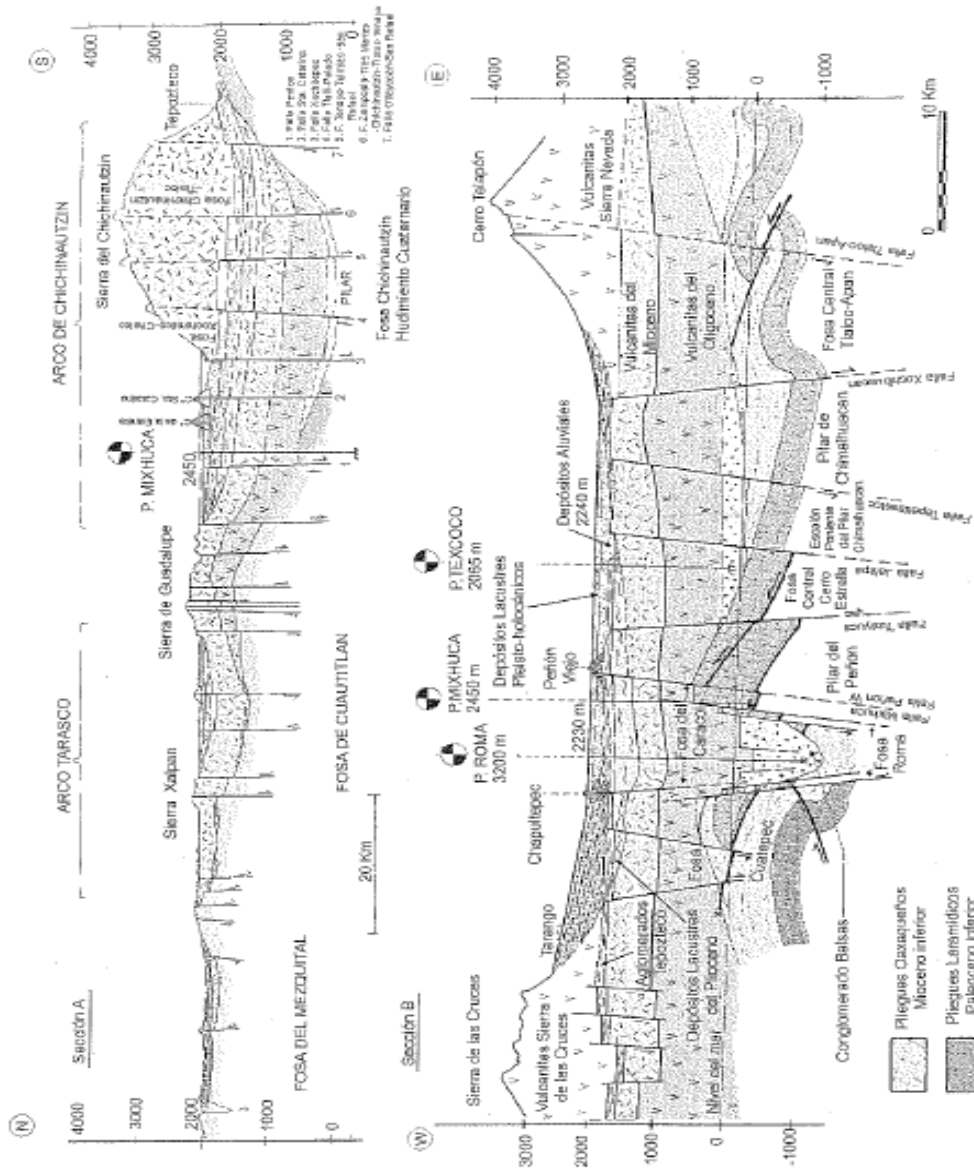


Figura 2.15 Corte Geológico de la Cuenca de México (Santoyo *et al.*, 2005)

La Figura 2.17 indica la estratigrafía del subsuelo de la Ciudad de México, clasificándola de la siguiente manera: A) Arcillas Superiores, B) Capa dura, D) Arcillas inferiores consolidadas y D) depósitos profundos. Resulta oportuno indicar que no se conocen profundidades mayores a 150 m y la estratigrafía ilustrada nos da una idea del subsuelo de la zona norponiente de la Cuenca de México.

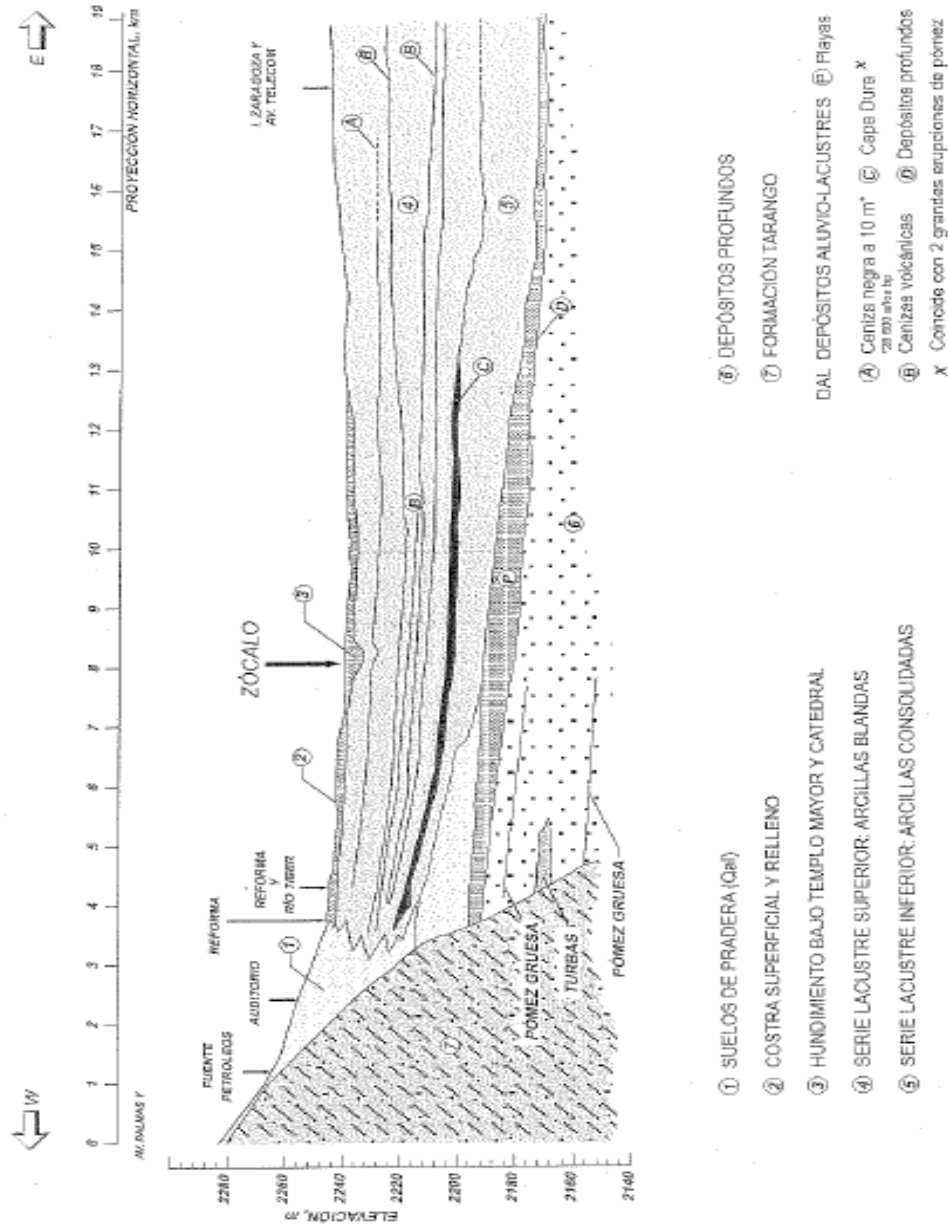


Figura 2.17 Estratigrafía de la Ciudad de México (Santoyo et al., 2005)

2.4 GEOLOGÍA DEL NORPONIENTE DEL VALLE DE MÉXICO (NAUCALPAN)

En la zona noroeste de la Cuenca de México, a la cual corresponde Naucalpan, la litología está compuesta principalmente por rocas volcánicas y piroclásticas. La secuencia inicia con rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío (Tmv) (Chávez, 2008).

Estas rocas están constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas. Estas últimas son andesitas de lamprobolita o de augita, andesitas de hiperstena y dacitas; las tobas son cristalinas andesíticas. Básicamente Naucalpan se encuentra en la bases de la Sierras de Guadalupe y la Sierra de las Cruces, donde se amplían más hacia el norte en la base de la Sierra de Tepozotlán, lugares donde predominan estas rocas (Chávez, 2008).

Sobre la secuencia del Tmv descansa un conjunto de rocas extrusivas que representan un segundo periodo magmático del Cinturón Volcánico Transmexicano y al cual Vázquez y Jaimes (1989) denominan Depósitos Volcánicos del Plioceno Temprano. Estas rocas localmente afloran de igual manera en los flancos de las Sierras Las Cruces, Zempoala y Río Frío, y en cerros aislados en el resto de la cuenca; también coronan las sierras de Guadalupe y Tepozotlán (Chávez, 2008).

La Formación Las Cruces fue interpretada por Bryan (1948), Segerstrom (1961) y Mooser (1974) como Formación Tarango. En el norponiente del Valle de México se encuentran sus afloramientos a lo largo de la carretera Naucalpan-Jiquipilco, en las afueras de San Mateo Nopala y en la carretera Naucalpan-Cuajimalpa. Está constituida por depósitos piroclásticos como pómez pliniana y secuencias de “surges”, planares o masivos, cristalinos, vítreos y en ocasiones con pómez, cubiertos por flujos piroclásticos generalmente no soldados de cenizas cristalinas, vítreas y de pómez. Estos flujos piroclásticos están cubiertos a su vez por cenizas vítreas. En algunos casos estos piroclastos se encuentran cubiertos o interestratificados con material aluvial y paleocanales fluviales. Existen lavas andesíticas y dacíticas intercaladas con brechas en las partes altas de la Sierra de Las Cruces. El espesor de esta Formación se estima en 990 m. Estos depósitos cubren en discordancia erosional a las rocas extrusivas del Mioceno Medio y Mioceno Tardío y a las rocas volcánicas del Plioceno Temprano y se encuentran cubiertos a su vez por depósitos aluviales y lacustres del Cuaternario (Chávez, 2008)

Los depósitos aluviales consisten de material clástico fluvial acumulado penecontemporáneamente con sedimentos lacustres y depósitos volcánicos del Cuaternario (Vázquez y Jaimes, 1989). Afloran formando llanuras aluviales al Norte y Sur de la cuenca. Los espesores máximos de alrededor de 500 m se encuentran en el centro de las depresiones y se adelgazan hacia las márgenes de la llanura. En las zonas norte y sur de la cuenca incluye material poco consolidado, compuesto por fragmentos del tamaño de la grava, arena, limos y arcilla,

conteniendo localmente marga, tierra diatomácea, turba, loess y travertino (Fries 1962; Fries, 1960 in Vázquez y Jaimes, 1989). En algunas partes de la cuenca se intercalan a profundidad con tobas y derrames lávicos basálticos y andesíticos (Chávez, 2008).

La formación geológica del municipio de Naucalpan está compuesta por gran parte de rocas ígneas volcánicas y sedimentarias, provenientes del periodo Terciario de la era Cenozoica y en menor medida del periodo Cuaternario (Martínez, 2012). Cabe agregar que Naucalpan, como ya se mencionó, está situado al pie de la sierra de las Cruces, la cual está conformada por tobas, brecha andesítica, pómez, arena y limo (Santana, 2008).

Los suelos de origen aluvial y volcánico pertenecen a la formación geológica de las partes más bajas del municipio, sobre ellas, los suelos superficiales son estratos de materia vegetal con espesores aproximadamente de 1 a 2 m, después aparecen los suelos pertenecientes a las Series Clásticas Fluvial y Aluvial (es decir, materiales granulares aluviales y depósitos superficiales de formación lacustre principalmente arcillosos, con intercalaciones de pómez, arena volcánica de color negro y vidrio volcánico) de los depósitos de las formaciones de la Sierra de las Cruces, la Sierra de Tepozotlán y la Sierra de Guadalupe (Martínez, 2012).

Ahora bien, en las partes altas de Naucalpan las formaciones geológicas son principalmente la Tarango y la Becerra, compuestas primordialmente por brecha andesítica con intercalaciones de pómez, arena y limo. Las formaciones de las Sierras Menores contienen numerosos horizontes de toba, ceniza y capas de pómez, provenientes de las erupciones de la Sierra de las Cruces y están constituidas por lava, toba y aglomerados basálticos, andesíticos y dacíticos (Santana, 2008). La figura 2.18 resume de manera muy general lo descrito.

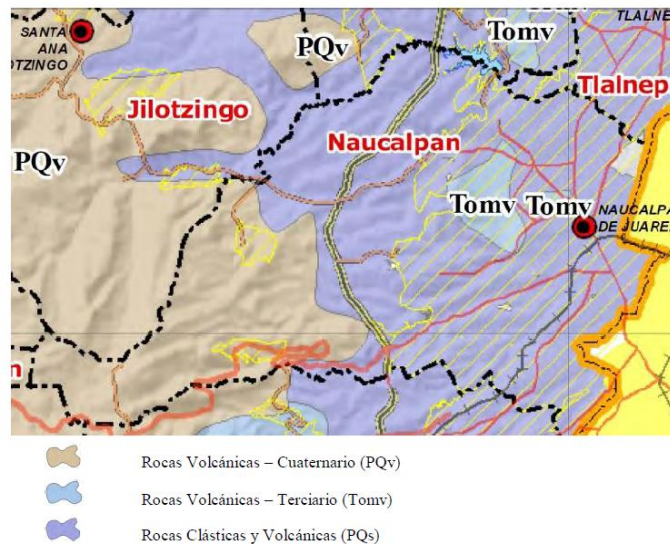


Figura 1.2. Geología. (Dirección General De Desarrollo Urbano, 2007)

Figura 2.18 Geología de Naucalpan (Santana, 2008)

La tabla 2.3 muestra algunos puntos del territorio de Naucalpan, resumiendo sus características geológicas, dicha tabla sólo describe las zonas altas (zona no urbanizada) del municipio ya que se consideran “homogéneas”, las formaciones geológicas de este lugar. Por otra parte los suelos de las zonas bajas (zona urbanizada) están formados por depósitos aluviales, es decir, estratos formados por diferentes suelos con distintos espesores.

Tabla 2.3 Resumen geológico del municipio de Naucalpan de Juárez en la zona alta (Martínez, 2012)

Localización	Roca o Suelo	Relieve	Fracturamiento	Permeabilidad	Observaciones
Col. Jardines de San Mateo	Toba	Lomerío	Escaso	Media	Formación Tarango
Col. Cumbres del Himalaya	Ígnea extrusiva ácida	Cerro	Moderado	Baja	Dacita, cuerpo ácido que subyace a la Formación Tarango. La Formación Xochitepec se compone de rocas intermedias
Col. Jardines de San Mateo	Ígnea extrusiva ácida	Cerro	Escaso	Baja	Formación Xochicalco. Unidad compuesta por dacitas y en mayor proporción andesitas. Subyacen a la Formación Tarango. Dacitas
San Juan Totoltepec	Ígnea extrusiva ácida	Cerro	Moderado	Baja	Formación Xochicalco. Dacita.
Entre parque “Ojo de Agua” y cementerio Jardines del Tiempo	Toba	Lomerío	Escaso	Alta	Formación Tarango. En esta formación se encuentran intercalaciones de conglomerados en forma lenticular.
Entre Santa Cruz Acatlán y Col. Residencial San Mateo	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Hay posibilidades de la existencia de agua subterránea, formación Tarango. Toba de lapilli dacítica. Banco de material abandonado.
Col. Vista del Valle	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Formación Tarango. Formada por brechas volcánicas y tobas ácidas.
San Lorenzo Totolinga	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Formación Tarango. Tobas decíticas de lapilli que intemperizan en color amarillo brillante; las tobas son pumíticas principalmente y poco consolidadas.
Col. México 86	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Formación Tarango. Toba de lapilli dacítica, pumítica, sobreyacente a una franja de conglomerado con clásticos de roca intermedia
Col. Benito Juárez	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Hay posibilidades de la existencia de agua. Formación Tarango. Tobas híbridas arenosas, dacíticas y riódacíticas, que presentan pseudocapas en su posición horizontal
Col. Requelito	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Toba dacítica
San Francisco Chimalpa	Ígnea extrusiva intermedia	Montaña	Escaso	Somero	Grupo de las Sierras Mayores. Intercalación de tobas y brechas andesíticas con andesitas y dacitas, predominando las rocas intermedias.
Zonal del Castillo	Toba	Lomerío	Escaso	Somero	Formación Tarango.
San Francisco Chimalpa	Ígnea extrusiva intermedia	Montaña	Moderado	Somero	Grupo de Sierras Mayores.

2.5 ESTRATIGRAFÍA DEL SUBSUELO DE NAUCALPAN

2.5.1 Estudios de mecánica de suelos

En lo que sigue se hará una descripción de los estudios de mecánica de suelos disponibles sobre el municipio de Naucalpan.

En las figuras 2.21 y 2.22, se muestran los sondeos M4 y M5, respectivamente, correspondientes a la Colonia de Echegaray.

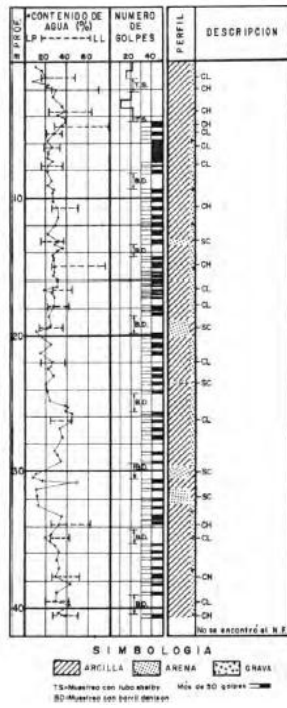


Figura 2.19 Perfil estratigráfico M-4, lado Norte de la grieta "Echegaray" (Melgoza, 1978)

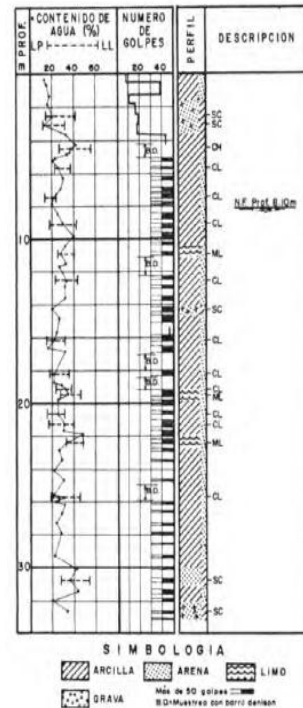


Figura 2.20 Perfil estratigráfico M-5, lado Sur de la grieta "Echegaray" (Melgoza, 1978)

De acuerdo al estudio de Melgoza (1978) en el sondeo M-4, a partir de los cero metros hasta los 13 m se tiene arcillas arenosas (CL) y arcillas de alta plasticidad (CH) hasta una capa de arenas arcillosas (SC), sigue nuevamente con CL y CH y capas no muy grandes de (SC).

El contenido de agua varía de 9 a 40%, estado en general cercano al límite plástico, lo que es indicativo de suelos pre-consolidados.

En cambio el sondeo M-5 comienza con un estrato de aproximadamente 1.80 m de arcillas arenosas (CL) y debajo de éste arenas arcillosas (SC), a más profundidad, continúan las CL y CH con estratos de poco espesor de limo de baja compresibilidad (ML).

La resistencia al corte, definido en ensayos de compresión triaxial no consolidada no drenada, presenta cohesión de 40 t/m^2 y ángulo de fricción interna de 39° , el módulo de elasticidad oscila entre valores de 819 a $4,300 \text{ kg/cm}^2$ (Santana, 2008).

El siguiente perfil estratigráfico (figura 2.21) representa el suelo del Toreo Cuatro Caminos, cerca del Anillo Periférico, comienza con una capa delgada de 1 m de arena limosa (SM) y se halla debajo de éste alrededor de 8 m limo arenoso café (ML), dos estratos más de 2 m de arena limosa con grava (ML) y limo arenoso (ML) y culmina el perfil estratigráfico con una capa de arena con grava y boleos (SP).

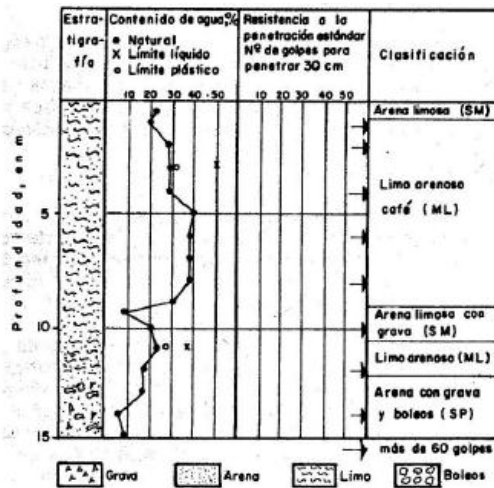


Figura 2.21 Perfil estratigráfico. Sondeo 2. Toreo Cuatro Caminos (Melgoza, 1978)

En el sondeo se determina que el suelo tiene una alta resistencia, ya que hubo estratos en los que el suelo presentó resistencia al superar la prueba de penetración estándar, al resistir los 30 cm de profundidad con más de 60 golpes. El contenido de humedad nos indica suelos no saturados, con poco contenido de agua, por debajo del 40%, y la nula presencia del NAF ya que, a los 15 m de profundidad no se tenían indicios de éste.

En el municipio de Tlalnepantla se realizó un estudio más para conocer el perfil estratigráfico que refleja las formaciones de acarreo y depósitos que se forman en las faldas de las cadenas montañosas, reflejando así las formaciones de Tarango y Becerra, como las aluviales y fluviales,

como: arcilla y limos orgánicos superficiales que cubren depósitos de arcilla volcánica con intercalaciones de arena limosa y arcillosa (figura 2.22).

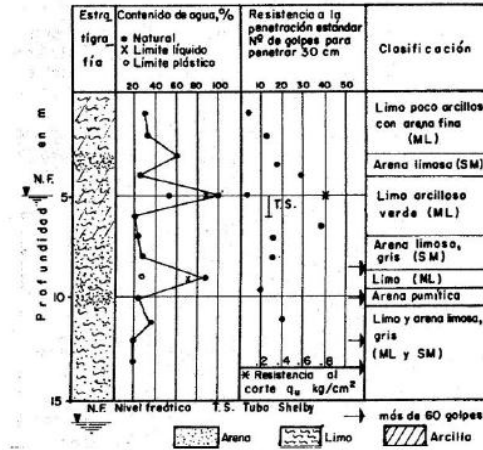


Figura 2.22 Perfil estratigráfico. Sondeo 33. Tlalnepantla (Melgoza, 1978)

A continuación se describen otros estudios de mecánica de suelos. Para Ciudad satélite y Río Hondo se cuenta con un solo estudio para cada punto, mientras que para Vista del Valle se tienen tres y para el Ocotál cinco estudios más, todos ellos dentro del municipio, la ubicación de los sondeos se muestra en la figura 2.23.



Figura 2.23 Ubicación de los sondeos de mecánica de suelos

En Ciudad Satélite se encontró hasta una profundidad de 3.20 m relleno de limo arcilloso (ML) de baja plasticidad de consistencia muy variable, desde poco firme a muy firme, color café claro eventualmente con cascajo, posteriormente subyace una capa de tobas areno-limosas de compacidad muy compacta, naturaleza pumítica, color café claro, contiene capas arcillosas de consistencia muy dura hasa los 10.20 m de profundidad. El perfil estratigráfico se muestra en la figura 2.24.

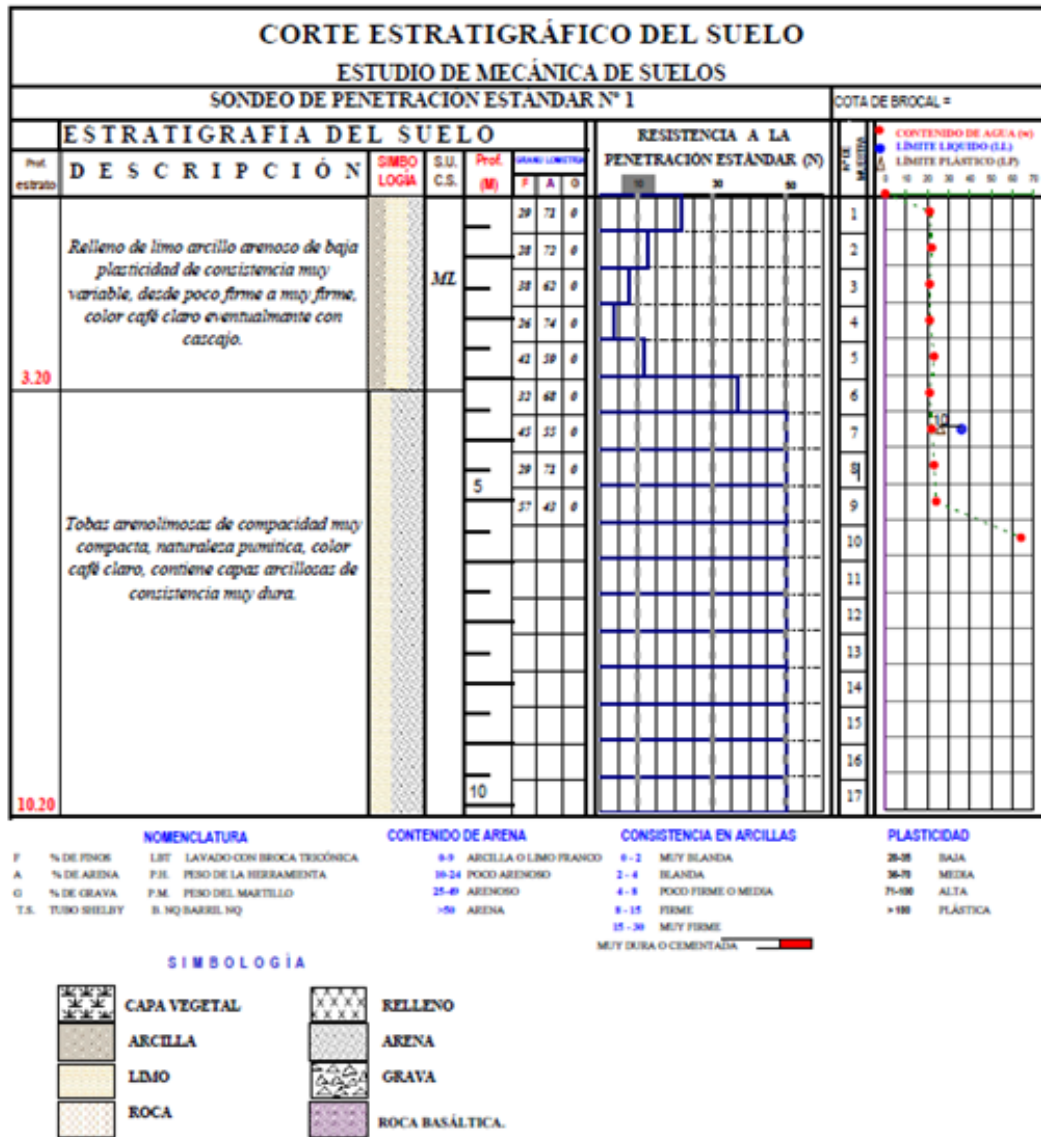


Figura 2.24 Perfil estratigráfico de Ciudad Satélite

El primer sondeo de Vista del Valle (figura 2.26) muestra un primer estrato conformado por relleno tipo limo arenoso café y arena de pómez, por debajo existe otro relleno tipo limo arenoso café con arena limosa café y pedaceria de roca aislada, a este estrato le subyace otro relleno más de tipo limo arenoso café oscuro con gravas, posteriormente se encuentra un subsuelo limo arenoso café grisáceo con gravas y boleos de andesita c/vetas de arena fina a gruesa gris y finalmente se observa a una profundidad de 9 m roca andesita gris claro fracturada.



MEXICO , D.F.	FIG. N°5
	JUN. 2008

Figura 2.26 Perfil estratigráfico de Vista del Valle S-1

El segundo sondeo de Vista de Valle revela que el perfil comienza con un firme de concreto de 0.10 m y relleno tipo limo arenoso café, subyaciendo limo arenoso poco arcilloso café, el siguiente estrato presenta limo arenoso café y café rojizo con puntos de oxidación, debajo de éste, limo poco arenoso con puntos de oxidación, para el estrato inferior, limo arcilloso poco arenoso café y finalmente, limo arenoso café con puntos de arena media de pómez, las profundidades de cada estrato se visualizan en la imagen de la figura 2.27.



MEXICO , D.F.	FIG. N°6
	JUN. 2008

Figura 2.27 Perfil estratigráfico de Vista del Valle S-2

El tercer perfil estratigráfico de Vista de Valle (S-3) señala dos rellenos de limo arenoso pero con distintas características, debajo de ellos de una forma muy general predomina el limo arenoso, los espesores de los estratos los describe la figura 2.28.



MEXICO , D.F.	FIG. N°7
	JUN. 2008

Figura 2.28 Perfil estratigráfico de Vista del Valle S-3

Zona I

La zona I está constituida principalmente por depósitos que provienen de los abanicos y las corrientes lávicas y suelos producto de su meteorización. Los subsuelos de esta zona básicamente presentan alta resistencia y baja compresibilidad (Martínez, 2012).

Zona II

Esta zona se caracteriza por tener suelos cuyo proceso de sedimentación es resultado de abanicos fluviales dispuestos según la dirección de los escurrimientos, mientras que los estratos están constituidos por arcilla, limo orgánico, arcilla de origen volcánico y arena arcillosa o limosa de origen aluvial, estos suelos presentan diversos espesores y varían en sus propiedades mecánicas (Martínez, 2012).

2.5.3 Problemas en la zona Norte de Naucalpan

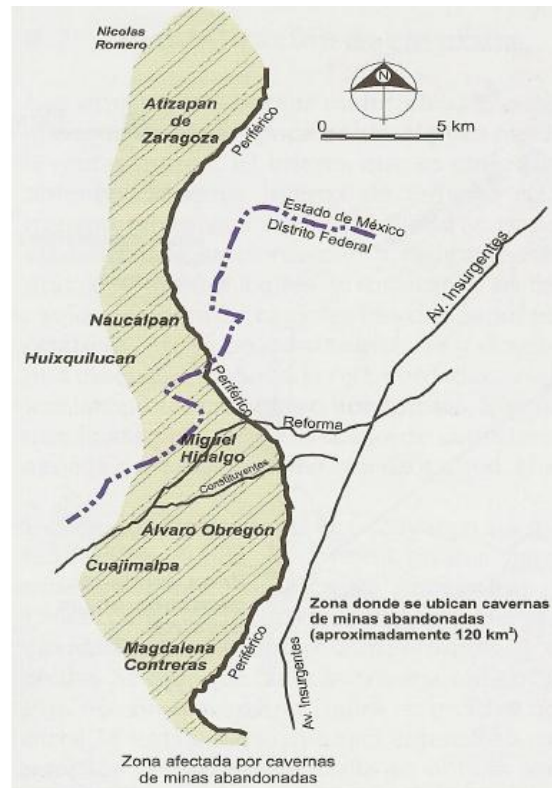


Figura 2.34 Ubicación de cavernas de minas abandonadas (Santoyo et. al., 2005)

En algunas zonas hay minas subterráneas en forma de cavidades, cuevas o galerías, dispuestas muchas veces al azar. Estas áreas minadas se localizan comúnmente en los lomeríos propios de la Zona I, abarcando sitios como Tecamachalco, los fraccionamientos adyacentes a la Barranca de Río Hondo, Bulevares, Los Álamos, y Lomas Verdes. La urbanización llevada a cabo en algunos sitios de topografía abrupta ha forzado el empleo de rellenos de espesor variable, ocultando el perfil original del terreno y en algunos casos la presencia de cavernas. La figura 2.34 esquematiza la ubicación de cavernas de minas abandonadas.

2.6 GRIETAS EXISTENTES EN EL MUNICIPIO DE NAUCALPAN DE JUÁREZ

La primera grieta que propició daños en algunos muros de casas en la Colonia Hacienda de Echegaray y la Avenida Circunvalación fue en 1966 y se le llamó “La grieta de Echegaray”. Posteriormente en Santa Cruz Acatlán y la Colonia Bosques de Echegaray apareció “La grieta La Florida” en el año de 1975, cuando oficialmente se estableció la existencia de dos grietas sensiblemente paralelas (figura 2.35).



Figura 2.35 Grieta de Echegaray y Grieta de La Florida (Santana, 2008)

Las dos grietas presentan un escalón, en geología se conoce como “graben”, por el siguiente motivo: la grieta de La Florida tiene el extremo Norte relativamente fijo y su extremo Sur es el que se desliza; en cambio en la grieta Echegaray, el extremo que se desliza es el Norte y el del lado Sur permanece fijo. La imagen que se muestra en la figura 2.36 demuestra lo anterior, basada en las fallas descritas por Marín *et al.* (2003).

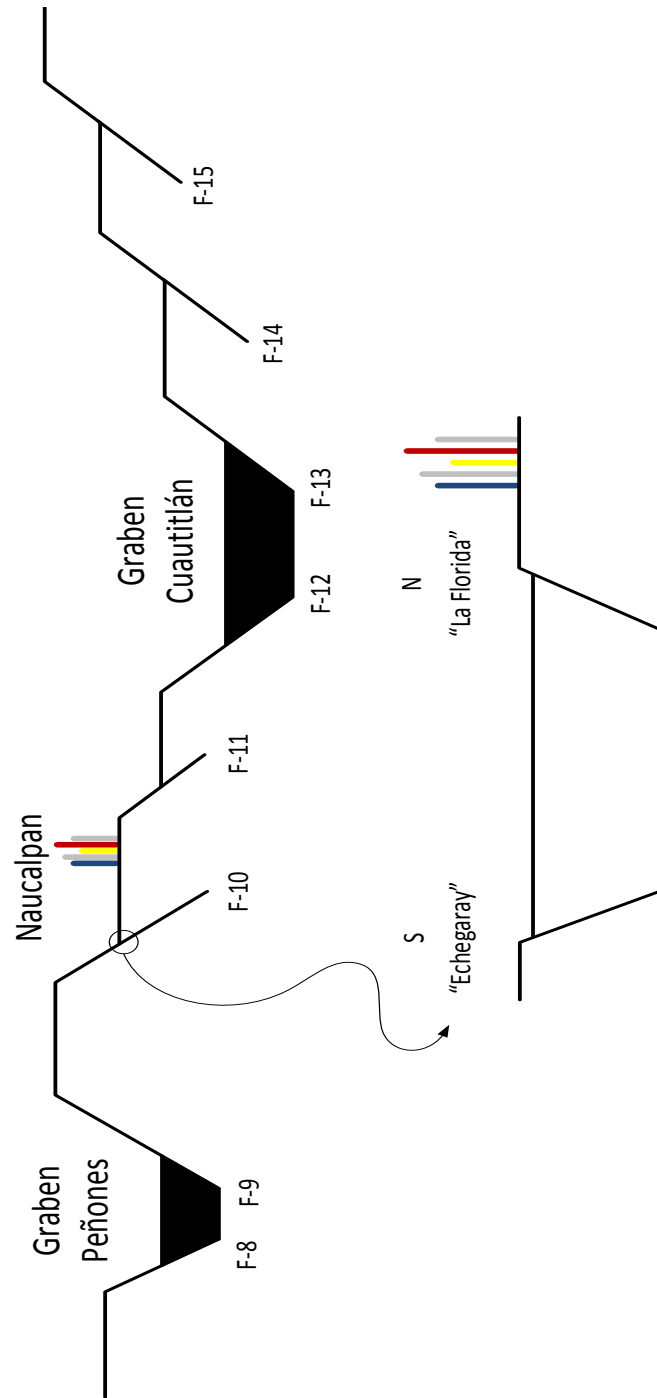


Figura 2.36 Grietas de “Echegaray” y “La Florida”

En la figura 2.37 se puede apreciar que Naucalpan se ubica entre las fallas F-10 y F-11 y son la base del mecanismo de la falla descrito en la figura 2.36, donde se muestra el graben que forman las grietas ya mencionadas, consideradas fuentes sísmicas locales. Las grietas han causado varios daños a las colonias, ya sea en casas o calles pero principalmente en el puente de Lomas Verdes (figura 2.38).

De acuerdo al trabajo de Melgosa (1978) se presume que las grietas en la zona de estudio se originaron por la sobreexplotación de los acuíferos de la zona y a su vez tienen relación con el modelo neo-tectónico propuesto por Marín *et al.* (2003), donde explica las fallas que afectan a la Cuenca del Valle de México, dicha relación permite suponer que debido a la extracción de agua de los mantos acuíferos estos agrietamientos se vuelven más evidentes. Con relación a lo anterior se sabe que el comportamiento del suelo cambia con la presencia o ausencia de agua. Se considera que algunas tuberías de drenaje y de conducción de agua potable estén rotas por la ocurrencia de estas grietas (Santana, 2008).



Figura 2.37 Fallas dentro de la Cuenca de México (Marín *et al.*, 2004)



Figura 2.38 Daños causados por las grietas “Echegaray” y “La Florida” (Santana, 2008)

Grieta “La Florida”

Corre en dirección Este-Oeste (E-W) y tiene una longitud de 1,600 m, aproximadamente, inicia a partir del Boulevard Ávila Camacho, a la altura del Parque Naucalli, y termina en el Vaso El Cristo, ubicado sobre la avenida Gustavo Baz. Como se mencionó, el extremo Norte de esta grieta no presenta movimiento aparente, en cambio hacia el Sur los escalones llegan a tener hasta 75 cm de desnivel en el extremo oriente. Se desconoce la profundidad y el ancho de la grieta (Santana, 2008).

Grieta “Echegaray”

Esta grieta es sensiblemente paralela a la de “La Florida”, separadas casi paralelamente por 800 m, aproximadamente, la grieta “Echegaray” se desarrolla en una longitud de aproximadamente 1,700 m, cuya extensión va desde la esquina de las calles Huicholes y Yaquis en Santa Cruz Acatlán hasta la colonia hacienda de Echegaray. Al contrario de la grieta “La Florida”, ésta desciende del lado norte y el Sur se mantiene relativamente fijo (Melgoza, 1978).

III. FUENTES SÍSMICAS

3.1 DATOS HISTÓRICOS

Se sabe que antes de la llegada de los españoles, los temblores aterrorizaban a los antiguos habitantes de la cuenca; los mexicas registraban los eventos sísmicos y algunos de los daños que causaban, pero es imposible estimar confiablemente su magnitud, extensión o gravedad.

Para ejemplo de estos eventos sísmicos están las fallas locales de talud pertenecientes a las pirámides de la antigua Tenochtitlán, el material que utilizaban para su construcción era de adobe o tierra compactada manualmente, reforzadas por muros de mampostería y al final recubiertos por piedras estucadas, un ejemplo más lo son los edificios aztecas, donde vivían los líderes religiosos y la realeza. Estas construcciones como las posteriores eran susceptibles a incrementar su vulnerabilidad a sismos por los hundimientos diferenciales asociados a las construcciones (Santoyo *et al.*, 2005).

El aspecto geotécnico de la antigua ciudad después de la conquista sufrió cambios por intentar tener más superficie de construcción en el terreno del lago, poniendo en práctica métodos constructivos sobre las difíciles condiciones del subsuelo. Lo procedente de estas prácticas son las primeras normas de ingeniería sismorresistente del continente, al especificar que las edificaciones debían solo construirse hasta dos niveles, con la excepción de las iglesias, por sus esbeltas torres que eran las que corrían con más riesgo. Los testimonios que describen estas primeras recomendaciones están en los escritos de Cervantes de Salazar en 1555, Ajofrín en 1763 y Ward en 1828 según García y Suárez (1996).

Es importante también saber que después de cada temblor intenso, sobre todo al final de la época virreinal, se formaron comisiones con los arquitectos e ingenieros más destacados para revisar y evaluar minuciosamente los daños que causaban los temblores. En el trabajo de García y Suárez (1996) nos permiten admirar la labor de Damián Ortiz de Castro, de Ignacio Castera, entre otros, ordenando demoliciones o sugiriendo reparaciones. Actualmente se tienen datos de los daños en los siglos pasados pero los más sobresalientes son a partir del siglo XX.

Revisión histórica de la sismicidad de Naucalpan

En el trabajo de García y Suárez (1996) sobre la descripción histórica de los sismos en México, se pueden identificar tres terremotos que provocaron daños a las construcciones de Naucalpan, tal como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Sismos importantes que han afectado a Naucalpan

Fecha	Tipo de sismo	Observaciones
2-noviembre-1894	Subducción	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Daños en el templo de Santa Cruz Acatlán
19-septiembre-1912	Cortical	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se habla de afectaciones en todo el Estado de México
9-noviembre-1912	Cortical	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se conoce como el sismo de Acambay ▪ M=6.9 ▪ Velocidad = 10 m/s ▪ Duración = menos de 6 s ▪ Daños en el templo de San Bartolo

De estos tres sismos el de mayor intensidad fue el ocurrido el 19 de Noviembre de 1912, cuyo epicentro se registró en el pueblo de Acambay, Estado de México. Acambay está situado a 80 km al noroeste de la ciudad de México dentro del Eje Neovolcánico Mexicano, es una región donde se tienen numerosas fallas geológicas regionales con distintos grados de actividad sísmica. El graben o fosa geotectónica de Acambay, es una estructura que tiene 40 km de longitud y 15 km de ancho, aproximadamente, y está definida por el sistema de fallas Acambay-Tixmadejé y la falla de Pastores (Hernández *et al.*, 2012).

De acuerdo a un análisis de la compañía ERN (Evaluación de Riesgos Naturales), si el sismo de Acambay ocurriera en la época actual, y tomando como referencia una cartera representativa del sector asegurador, así como la base de datos de la infraestructura federal, se obtendría como resultado que el Estado de México y el Distrito Federal serían los más perjudicados, al sumar ambos una pérdida de casi 29 mil millones de pesos; en la infraestructura federal los sectores más afectados serían la vivienda y escuelas (Hernández *et al.*, 2012). Esta evaluación pone de manifiesto que este tipo de sismo traería pérdidas considerables para el Valle de México, en donde se tiene una alta densidad poblacional (Rivera *et al.*, 2013).

Actualmente, se lleva a cabo un programa de registro sísmico en el municipio de Naucalpan, a través de la estación FES Acatlán (propiedad de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM), la cual ha estado operando desde el 2007 a la fecha, teniendo hasta el momento 57 registros, con magnitudes que varían entre 3 y 6.6. El evento sísmico en el que se han registrado las máximas aceleraciones hasta la fecha, es el correspondiente al 22 de Mayo de 2009, M = 5.7, epicentro registrado a 26 km al sureste de Chiautla de Tapia, Puebla, con distancia epicentral de

175 km, cuyas aceleraciones máximas del terreno fueron del orden de 20 cm/s^2 en las dos direcciones horizontales.

En la figura 3.1 se presenta las aceleraciones máximas de terreno registradas (A_{max}), en función de la distancia epicentral (R), en la que se aprecia que A_{max} tiende a ser mayor conforme R es menor, lo que permite inferir que los sismos de tipo cortical, cercanos al municipio, son los que pueden afectarlo, tal como ocurrió durante el sismo de Acambay (1912).

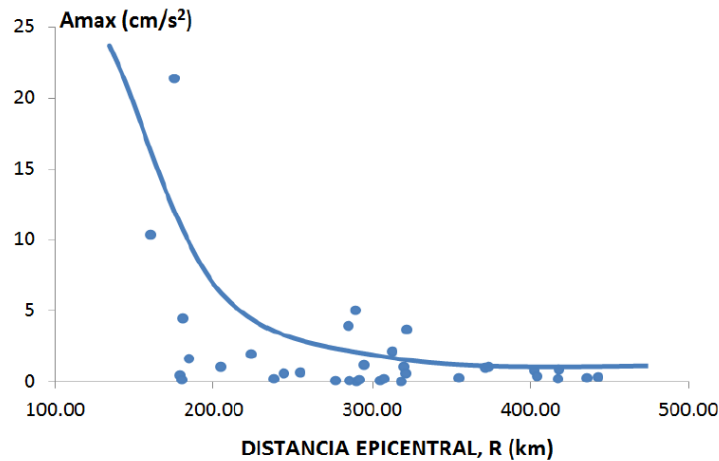


Figura 3.1 A_{max} registrada en Naucalpan para diferentes distancias epicentrales (Rivera et al., 2013)

3.2 TECTÓNICA DE PLACAS Y ORIGEN DE LOS SISMOS

Para explicar el origen de los sismos es importante conocer en primera instancia la estructura de la Tierra y posteriormente comprender la tectónica de placas.

Numerosos estudios científicos basados en la propagación de ondas sísmicas a través del mismo material terrestre han permitido conocer la constitución interna de la Tierra, de tal manera que ha sido posible dividirla en las siguientes capas concéntricas (figura 3.2): núcleo, manto y la corteza terrestre (INEGI).

El núcleo es la parte más densa y alejada de la superficie, está formada principalmente por Hierro y Níquel, en el cual se distinguen dos partes; el núcleo interior en estado sólido, es la parte central de la Tierra, tiene un diámetro de 2,340 km y el núcleo exterior en estado líquido, el cual tiene un espesor de 2,300 km entre una profundidad de 2,900 y los 5,200 km.

El manto es la capa más gruesa de la estructura de la Tierra con un espesor de 2,900 km. Debido a las altas presiones y condiciones de temperatura su estado físico oscila entre sólido y plástico. Se ubica en un nivel intermedio extendiéndose a partir del límite inferior de la corteza y la parte superior del núcleo.

La corteza terrestre es la capa superior de la Tierra y llega hasta una profundidad promedio de 35 km ya que en las zonas de cadenas montañosas es un poco mayor y en las partes bajo el océano tiene un espesor de 10 km, aproximadamente. Esta capa es completamente sólida y fracturable.

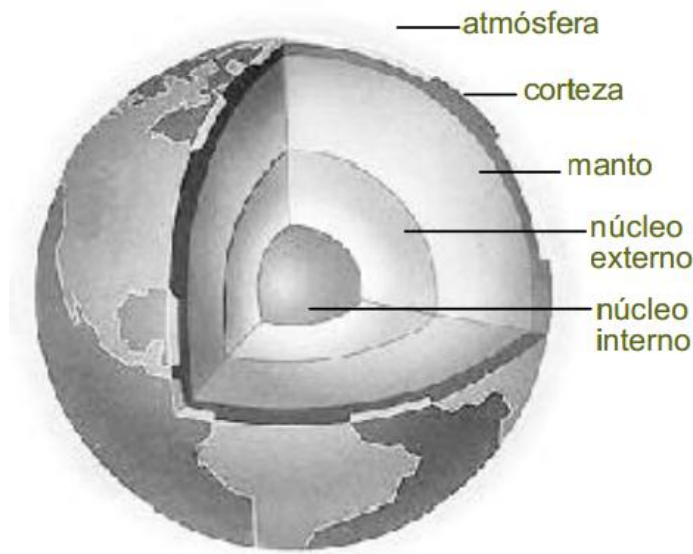


Figura 3.2 Estructura de la tierra (Gutiérrez et al., 2013)

Significa entonces que una placa tectónica es una estructura de roca sólida que conforma la superficie de la tierra (litósfera) y que flota sobre la astenósfera de consistencia plástica (roca ígnea y fundida). La razón por la cual flota la litósfera sobre la astenósfera, es por los materiales por los que están compuestos cada uno, estos son más livianos comparados con los del núcleo (figura 3.3).

La imagen de la figura 3.4 muestra las principales placas tectónicas, estas son: Placa Africana, Placa de Eurasia, Placa de Filipinas, Placa del Pacífico, Placa de Cocos, Placa de Norteamérica, Placa de Nazca, Placa del Caribe y la Placa de América del Sur.

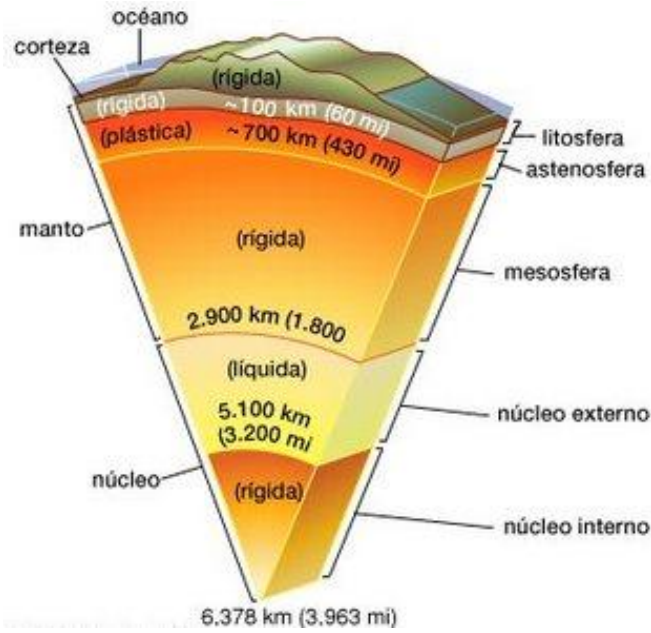


Figura 3.3 Estructura de la Tierra¹

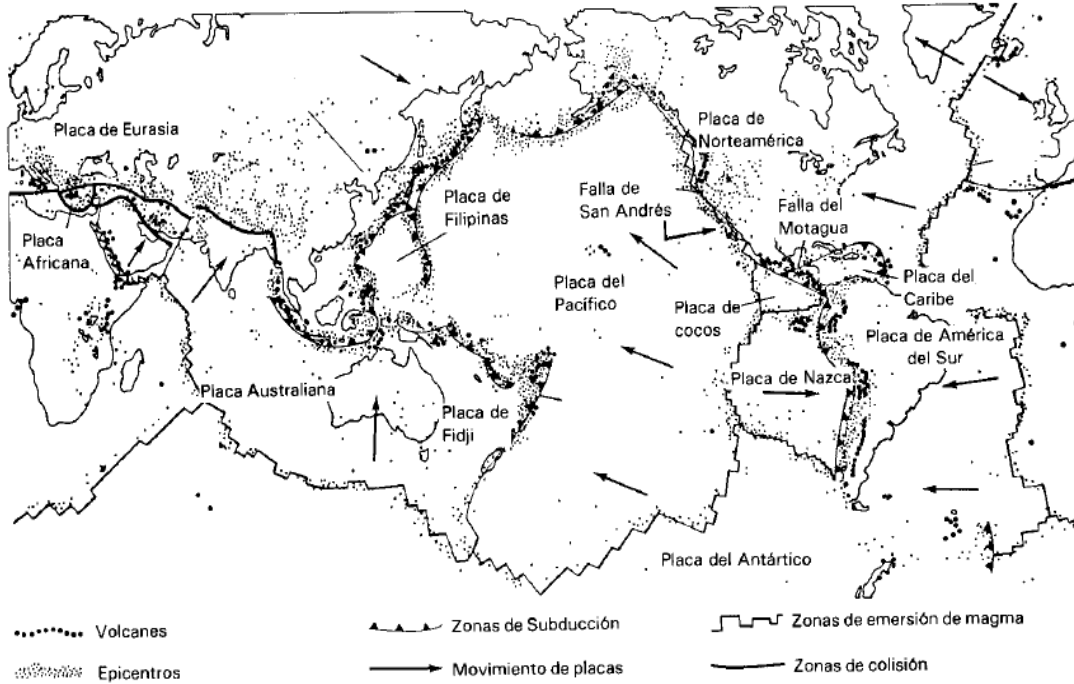


Figura 3.4 Principales Placas tectónicas (Bazán y Melli, 2011)

Los continentes estuvieron unidos hace aproximadamente 270 millones de años, es aquí donde entra la Teoría de la tectónica de placas (1968), que explica el desplazamiento de placas tectónicas respecto a otras por corrientes de convección.

Actualmente el desplazamiento de las placas tectónicas es explicado por dos fenómenos: uno de convección (destrucción, representadas por líneas azules en la figura 3.5), donde dos placas chocan (figura 3.6), con frecuencia una placa oceánica (más densa) se sumerge dentro de una placa continental (menos densa), para que este desplazamiento se produzca debe de acumularse tanta energía en tensión entre las dos placas hasta que los límites de resistencia de las masas rocosas ceden, dando lugar a la formación de fosas oceánicas en los límites entre la placa marina y la continental y cadenas montañosas en la superficie (figura 3.8) y otro fenómeno de divergencia (constructivo, representadas por líneas rojas en la figura 3.5, es decir, el surgimiento de nueva corteza oceánica (figura 3.7), en los límites divergentes las placas oceánicas se separan y el espacio libre que dejan es ocupado por magma de las capas inferiores, de esta manera se forman las dorsales oceánicas.

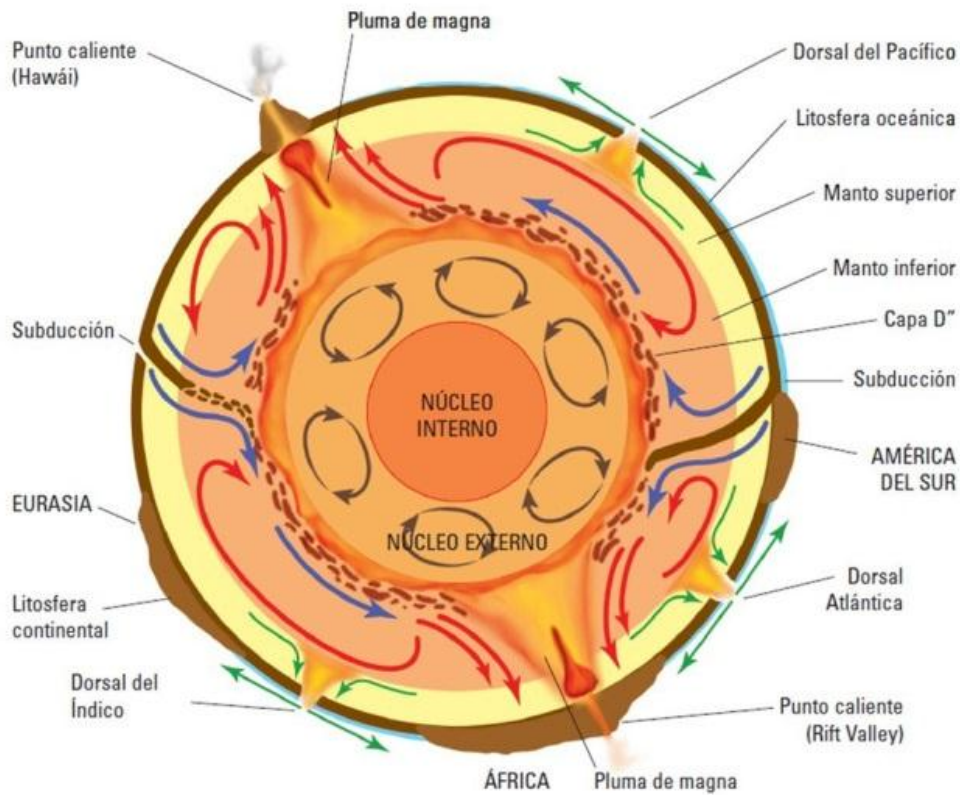


Figura 3.5 Convección y divergencia²

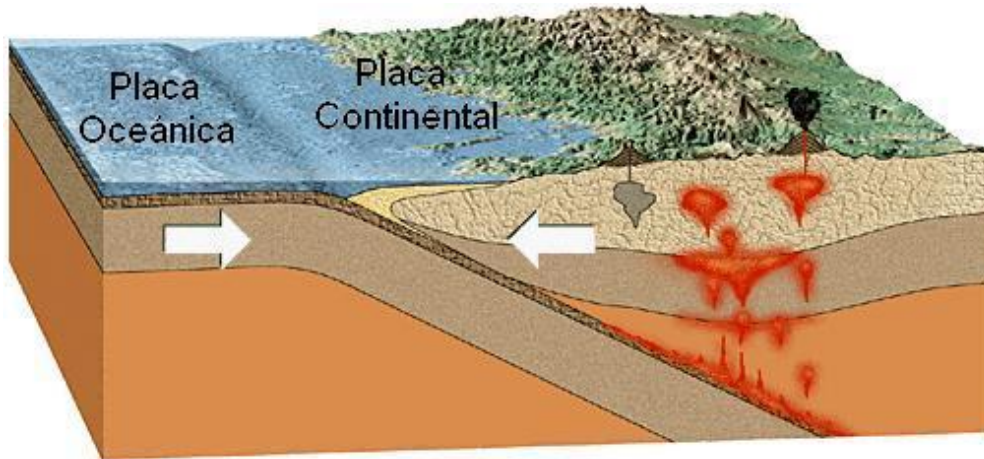


Figura 3.6 Fenómeno de Convección³

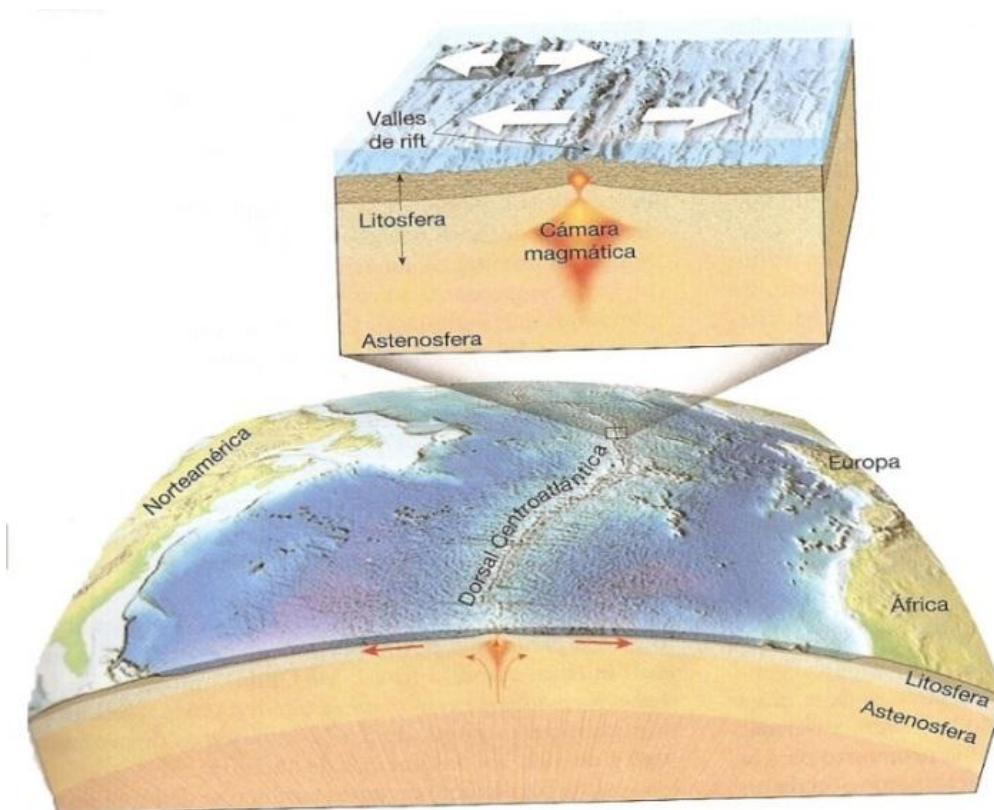


Figura 3.7 Fenómeno de divergencia⁴

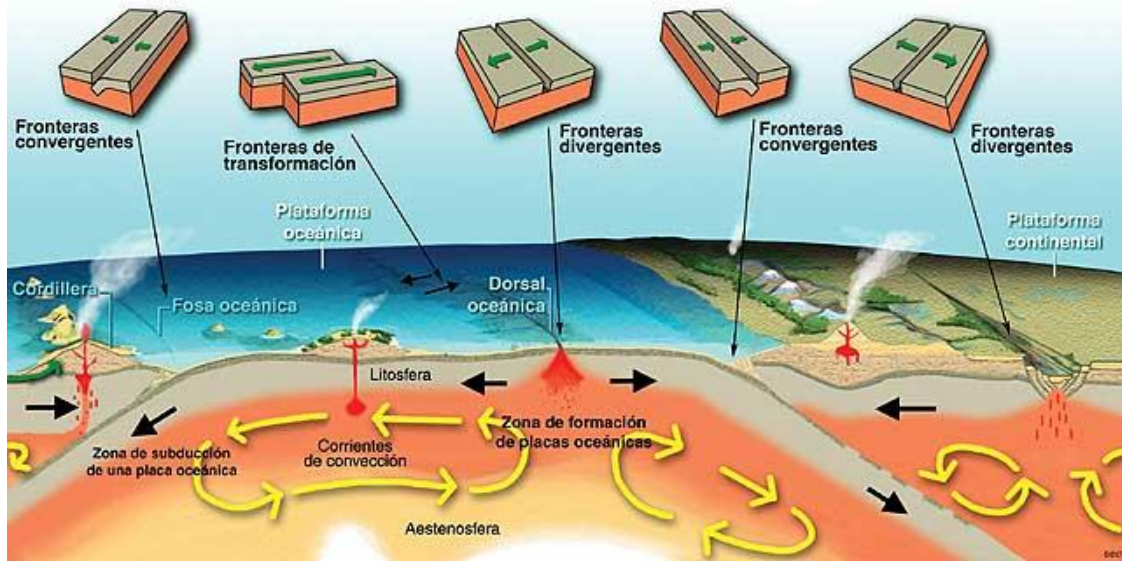


Figura 3.8 Fosa y Dorsal oceánica⁵

Cuando suceden los fenómenos de convección se crean zonas de subducción, donde la placa oceánica se sumerge bajo la continental, dando lugar a la liberación de energía, y donde comienza el corrimiento de la falla geológica que originó el sismo se le llama Foco o Hipocentro y el punto sobre la superficie terrestre directamente encima del Foco se le nombra Epicentro, y del epicentro a un lugar de estudio se le llama Distancia epicentral (figura 3.9).

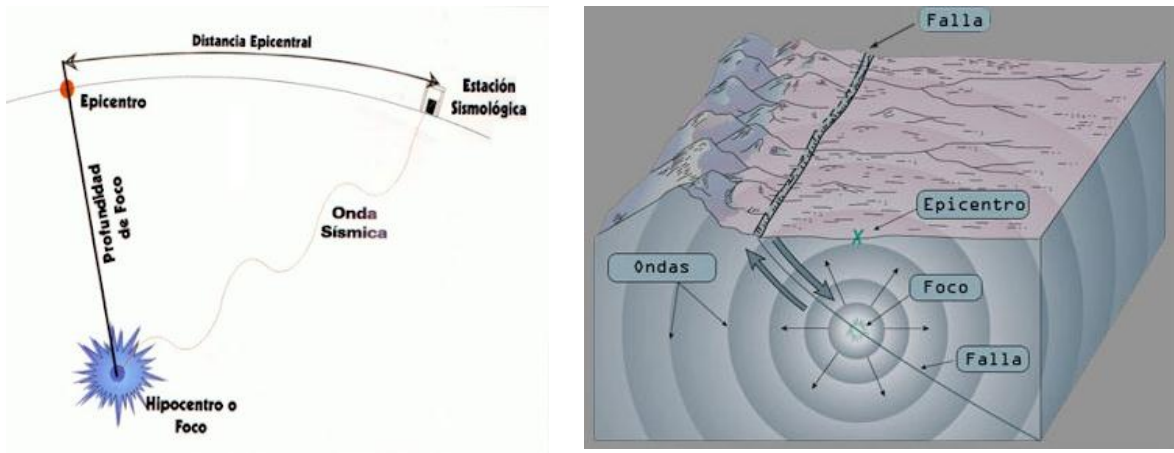


Figura 3.9 Ubicación del foco y epicentro^{6,7}

3.3 MOVIMIENTO DE LA CORTEZA TERRESTRE ANTE UN SISMO

Un fenómeno que se genera cuando se libera energía en las zonas de subducción, son las ondas longitudinales (de compresión) y transversales (de cortante) que se propagan desde la zona de ruptura, es decir, desde el hipocentro, y sufren del fenómeno de atenuación conforme las ondas se alejan del mismo. Las ondas longitudinales también son conocidas como ondas P o primarias y viajan a mayor velocidad pero con amplitudes menores que las ondas S o secundarias (de corte), pero que son las de mayor intensidad y producen más daños a las edificaciones. Cuando las ondas de cuerpo se propagan a través de las masas rocosas se identifican otro tipo de ondas, las superficiales, que se deben a reflexiones y refracciones de las ondas de cuerpo y tienen menor velocidad que las P y S. Explicado lo anterior, se puede entender que cerca de la falla las ondas están superpuestas, pero a medida que las distancias crecen los tres trenes de ondas se pueden identificar claramente porque llegan en tiempos diferentes (Bazán y Meli, 2011).

Si se habla del movimiento de cada una de las ondas, las primarias experimentan un movimiento paralelo a la dirección de propagación, en contraste con las partes de la corteza terrestre en el momento de las ondas secundarias que son de forma transversal a la dirección de propagación y lo muestra la figura 3.10.

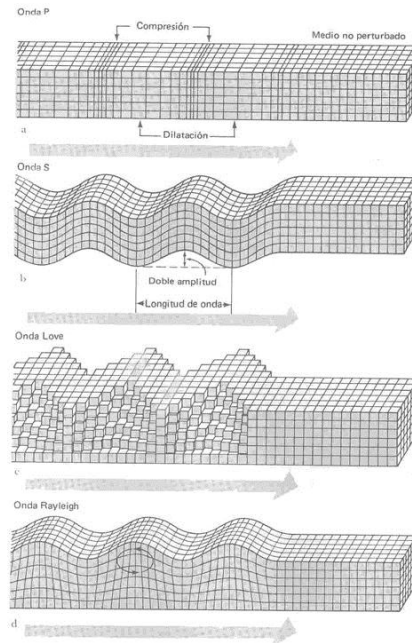


Figura 3.10 Ondas de cuerpo y superficiales⁸

Adicionalmente la figura muestra esquemáticamente ondas Love y Rayleigh (superficiales), el movimiento de las primeras es de forma horizontal de corte en la superficie y sólo se generan cuando el medio elástico está estratificado como lo es la corteza del planeta, se propagan con un movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de propagación, como las ondas S, sólo que polarizadas, es decir sólo poseen la componente horizontal, y las segundas donde su trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda. Una analogía de estas ondas lo son las que se producen en la superficie del agua.

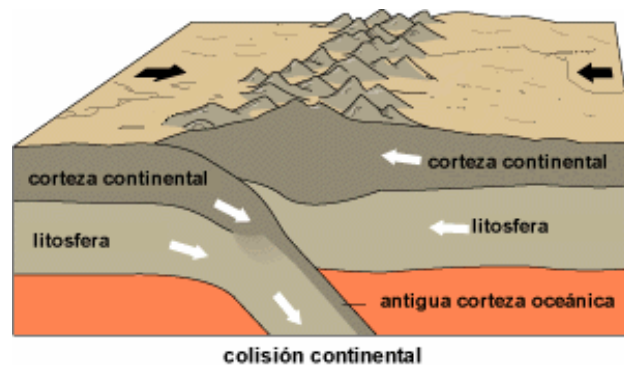
3.4 FUENTES SÍSMICAS QUE AFECTAN A LA CUENCA DE MÉXICO

Subducción

Los temblores de subducción de la placa de Cocos bajo la de Norteamérica son los que mayores estragos han causado a la parte centro de la República Mexicana. Los temblores de Guerrero de 1909, 1957 y 1979 se originaron en la zona de subducción, así como los de Michoacán de 1911 y los de septiembre de 1985. Cerca de la placa de Rivera tuvieron lugar los temblores de Colima de 1932 y 2002, así como el de Manzanillo en 1932 que es el de mayor magnitud que se haya registrado en el país con $M = 8.5$ (Santoyo *et al.*, 2005).

Se pueden producir tres tipos de subducción entre las placas (Martínez, 2012):

- Subducción de placas continental – continental (Placa de la India y Euroasiática) (figura 3.11).



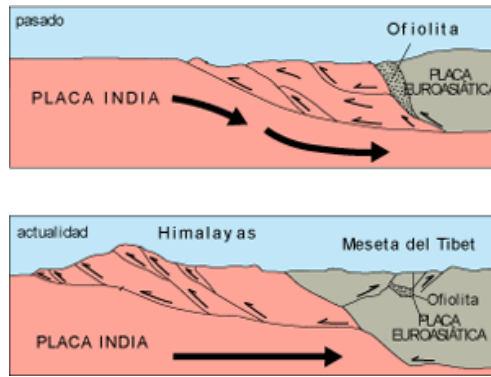


Figura 3.11 Continental - Continental

- Subducción de placas continental – oceánica (Placa de Nazca y Sudamericana) (figura 3.12).

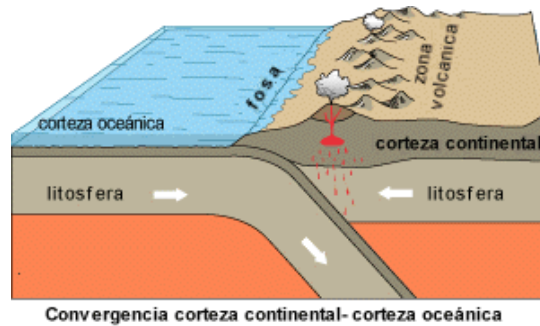


Figura 3.12 Continental - Oceánica

- Subducción de placas oceánica – oceánica (Placa de Nueva Guinea) (figura 3.13).



Figura 3.13 Oceánica – Oceánica

En México existe una trinchera oceánica (Figura 3.14) que se extiende desde la boca del Golfo de California hasta el extremo sur del país, en Chiapas a lo largo de la costa del Pacífico, y continúa por Centro y Sudamérica hasta las Islas Chilenas, en la parte sur. Esta trinchera es llamada Trinchera Mesoamericana. En la boca del Golfo, la Placa de Rivera es subducida bajo la Placa Norteamericana. Desde Colima hasta Panamá, la placa subducida es la de Cocos. La velocidad de subducción bajo la Placa Norteamericana va de 5 cm/año, cerca de la frontera de Jalisco hasta 8.3 cm/año cerca de la frontera con Guatemala (Martínez, 2012).

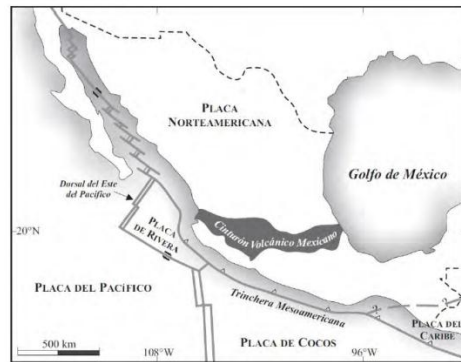


Figura 3.14 Trinchera Mesoamericana (Martínez, 2012)

La zona central de Guerrero (figura 3.15) es considerada como una brecha sísmica con alto potencial sísmico. De acuerdo con el catálogo de Anderson (1989) el evento más reciente que ha ocurrido en esta zona es de 1911, con la magnitud aproximada de 7.5. A esta región se le denomina Brecha sísmica de Guerrero (Martínez, 2012).

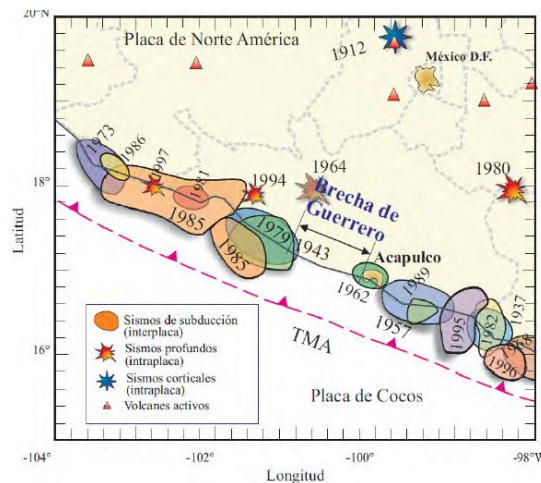


Figura 3.15 Brecha sísmica de Guerrero (Martínez, 2012)

En la actualidad se considera que la brecha puede ser capaz de provocar un sismo de magnitud de 8.1 a 8.4 en la escala de Richter pero sólo en el caso de que en la zona de contacto entre las brechas se liberara la energía en un solo evento.

Las agitaciones de la corteza terrestre con magnitudes mayores a 7 en la escala de Richter tienen una periodicidad de 30 a 75 años (tabla 3.2) y los últimos sismos que han ocurrido fueron en Guerrero en 1907 y Michoacán en 1911 (sismos menores de 7.9), estos datos hacen que sea preocupante la idea que se genere un sismo de gran magnitud ya que desde entonces se ha estado acumulando energía (100 años, aproximadamente) durante el proceso de convección, pero es importante recordar que si la zona de contacto cede en un sólo movimiento puede llegar a tener una magnitud por encima de 8 en la escala de Richter.

Tabla 3.2 Grandes sismos ocurridos en la zona de subducción (Martínez, 2012)

Región	Localización aproximada		Año del sismo	Periodo Promedio (años)
	Lat (°N)	Long (°W)		
Oaxaca E.	16.2	95.8	1897(7.4); 1928(7.7); 1965(7.8)	34
Oaxaca C.	16.0	96.8	1870(7.9); 1928(8.0); 1978(7.8)	54
Oaxaca O.	16.6	97.7	1854(7.7); 1894(7.4); 1928(7.4); 1968 (7.4)	38
Ometepec	16.5	98.5	1950(7.3); 1982(6.9, 7.0)	32
San Marcos	16.7	99.2	1845(7.9); 1907(8.0); 1957(7.7)	56
Petatlán	17.3	101.4	1943(7.7); 1973(7.6)	36
Michoacán	18.1	102.5	1911(7.9); 1985(8.1)	74
Colima	18.4	103.2	1941(7.9); 1973(7.5)	32

Placa Continental

Este tipo de sismo puede surgir cuando el sentido de dos placas continentales es opuestas y ambas placas se doblan hacia arriba dando lugar a una elevación, de esta forma se crean enormes cadenas montañosas (Bazán y Melli, 2011).

Los temblores originados en la placa Norteamericana, también surgen por ejemplo como el gran temblor de 1912, originado en el graben de Acambay a unos 80 km al noroeste de la capital. Este graben sigue amenazando a la ciudad aunque se ha estimado que el periodo de retorno de los macrosismos que origina es del orden de un milenio (Santoyo *et al.*, 2005).

En la Placa Norteamérica, bajo el Valle de México, a lo largo del Eje Volcánico existen varios sistemas de fallas geológicas sismogénicas que pueden ser consideradas fuentes sísmicas. De acuerdo al estudio de Martínez (2012) los sistemas principales son:

- Fallas esencialmente corriendo en dirección NE
- Fallas con orientación SE

- Fallas con dirección EW

En la figura 3.16 se ilustra la distribución de estas fallas.

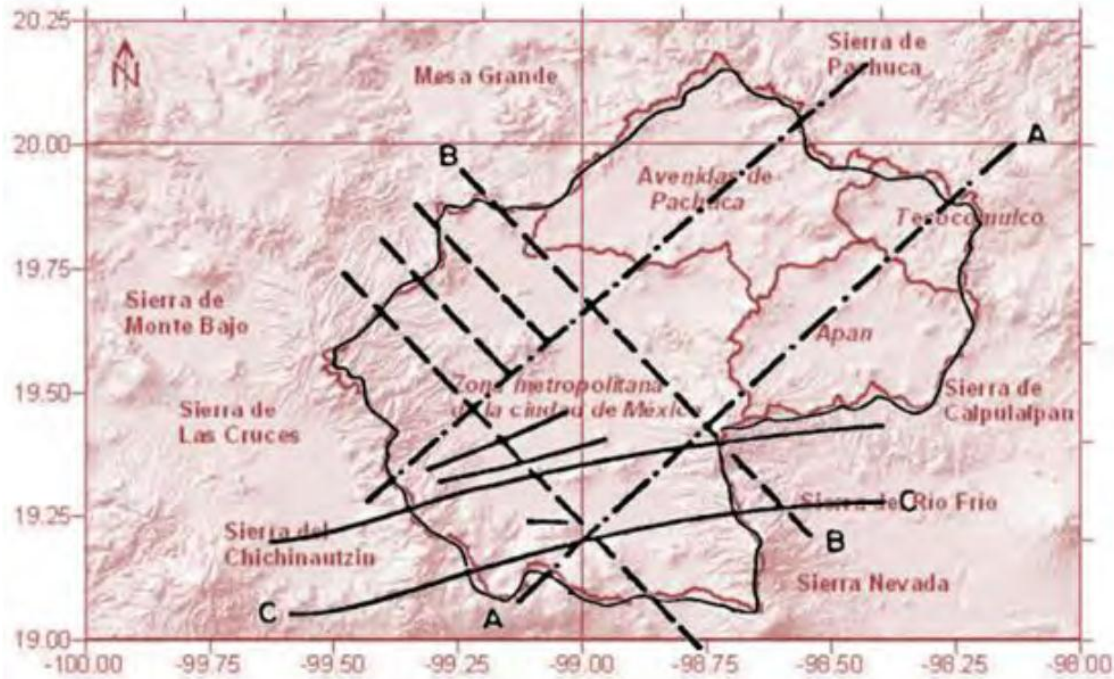


Figura 3.16 Principales sistemas de fallas en el Valle de México (Martínez, 2012)

Sismos de profundidad intermedia

Los temblores de la Placa de Cocos se originan a profundidades intermedias, entre 50 y 100 km con magnitudes que disminuyen conforme se alejan del litoral. Han alcanzado magnitudes en la escala de Richter de 8.0 cerca de la costa y alrededor de 6.5 bajo la Cuenca de México. Estos temblores ocurren por fallamiento normal en la Placa de Cocos subducida bajo la placa continental. Los temblores del Golfo de México así como los de Jáltipan de 1957 y de Orizaba (o Cd. Serdán) de 1973, y más recientemente el de Tehuacán de 1999 tienen este origen.

Las magnitudes registradas de sismos intraplaca en la Placa de Cocos disminuyen con la distancia a partir de la zona de subducción. Esto puede ser explicado en términos de tensiones inducidas por la gravedad y por el arrastre causado por las corrientes de convección, estas tensiones son mayores en puntos situados cercanos a la zona de subducción. Dada la profundidad de la Placa de Cocos debajo del Valle se encontró que los sismos más peligrosos para este grupo son los de magnitud $M_w = 6.5$ y a una profundidad focal de 80 km (Martínez, 2012).

3.5 FUENTES SÍSMICAS QUE AFECTAN A NAUCALPAN

Los temblores locales se originan dentro de la cuenca o en sus inmediaciones. En el siglo XX se registraron sismos no destructivos de este tipo con magnitudes intermedias o bajas, pero posiblemente en el pasado hayan ocurridos otros más grandes. En años recientes han ocurrido varios pequeños sismos en las lomas del poniente de la Ciudad de México (Santoyo *et al.*, 2005).

Popocatépetl

La presencia de elementos tectónicos activos tales como sistemas de fallas, volcanes y sismicidad en el Eje Neovolcánico Transversal Mexicano (ENTM) (Figura 3.17a), está íntimamente relacionada con el proceso de subducción de las placas de Cocos y Rivera (Singh y Pardo, 1993). La Cuenca de México (CM) está localizada dentro de la FVM (Figura 3.17b) y rodeada por cadenas montañosas como Pachuca, Ajusco, Las Cruces, Río Frío, Chichinautzin y Nevada. Popocatépetl (5,452 m.s.n.m.) es un volcán constituido mayoritariamente por andesitas localizado en la región central de la FVM, a 65 km en dirección SE de la Ciudad de México, la más poblada de la República Mexicana (Lermo *et al.*, 1994-1997).

En general, la intensa actividad sísmica del volcán inicia el 21 de Diciembre de 1994 con la ocurrencia de sismos volcano-tectónicos (VT), sismos de periodo largo (LP) y tremores (Lermo *et al.* 1995b; Valdés *et al.*, 1995). De acuerdo al trabajo de Lermo *et al.*, (1994-1997), con base en el registro de 115 en más de cinco estaciones sísmicas, se muestra que los sismos son de magnitudes $M_d < 3.2$, profundidades menores a 12 km y errores en la localización hipocentral menores a 1 km.

Dado por hecho que los sismos volcánicos tengan magnitudes pequeñas no significa que no sean de peligro, ya que actualmente el Popocatépetl se encuentra en Amarillo Fase 3 pero si la naturaleza decide convertirlo en Alerta Roja se deberían tomar precauciones sísmicas particularmente, Naucalpan está aproximadamente a 80 km en línea recta, tal como se aprecia en la figura 3.17.

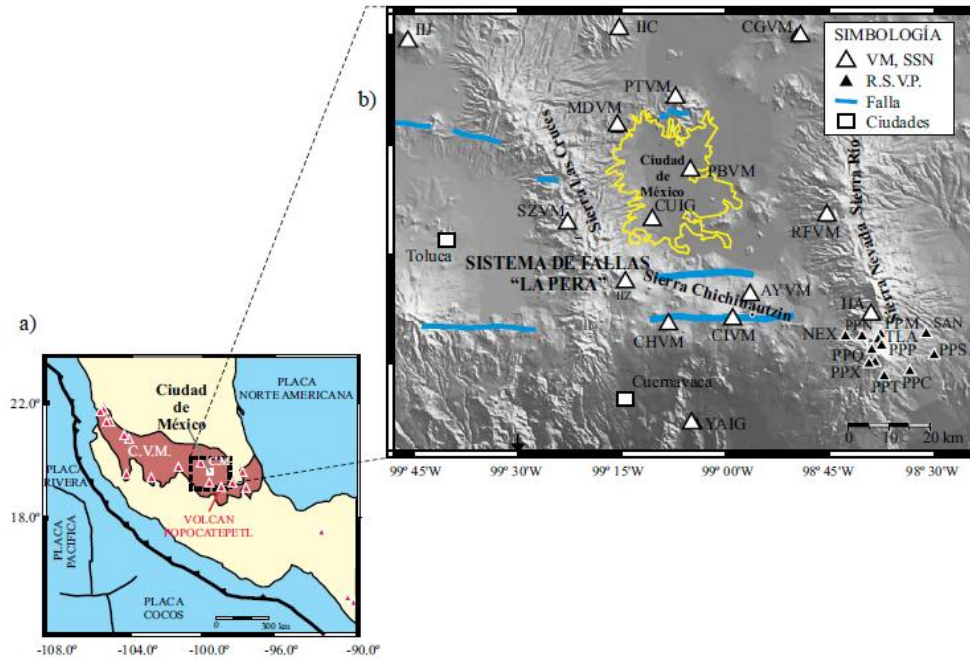


Figura 3.17 a) Ubicación geográfica de la Faja Volcánica Mexicana (FVM), b) La Cuenca de México (CM) y el volcán Popocatépetl (Lermo et al., 1994-1997)

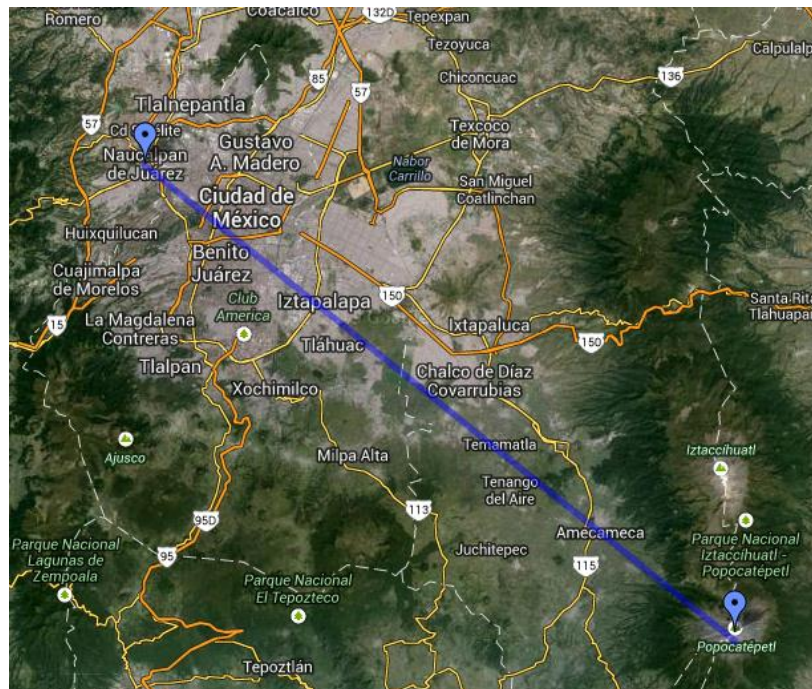


Figura 3.18 Distancia entre Naucalpan y el Popocatépetl

Acambay

El día 19 de Noviembre de 1912, a las 7:18:27 horas, en la Ciudad de México, Estado de México, Michoacán, Querétaro y Guanajuato sintieron un fuerte temblor que duró 25 s. Por lo que las autoridades competentes en ese momento se dieron a la tarea de dar una explicación del movimiento del terreno al Instituto de Geología Nacional, ya que poblaciones como Acambay y Temascalcingo quedaron completamente destruidas, por lo que se envió una Comisión a cargo de Fernando Urbina y Heriberto Camacho para que se diera una explicación de los hechos sucedidos en esa zona (Martínez, 2012).

El municipio de Acambay se encuentra en la parte noroccidental del Estado de México, colindando con el municipio de Aculco, Temascalcingo, Atlacomulco y Timalpan y el estado de Querétaro. Su cabecera municipal se encuentra en las coordenadas 19°57'18" latitud 99°50'47" longitud. Tiene un área de 492.13 km² y se encuentra aproximadamente a 80 km de distancia del municipio de Naucalpan de Juárez (figura 3.19).

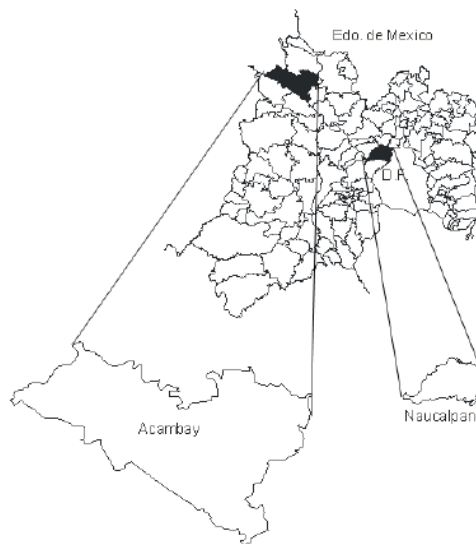


Figura 3.19 Ubicación de los municipios de Acambay y Naucalpan (Martínez, 2012)

La zona sísmica tiene una forma superficial comparada con la de un trapecio, cuya base mayor se encuentra orientada hacia el Norte, ocupando una superficie de 800 km², aproximadamente. Está situada a 95 km de la Ciudad de México y se encuentra ubicada entre los paralelos 19°47' y 20°00' latitud Norte y los meridianos 99°52'37" y 100°16'37" longitud Oeste.

La base mayor del trapecio está formada por el sistema montañoso de Acambay – Tixmadejé. Lo que forman los cerros de Peña Redonda, Peña Larga y Colmilludo; en el extremo oriental, los cerros de Arroyozarco y la Manga, prolongación del primero de Peña Redonda; y en el extremo

occidental por los cerros de Tixmadejé, Botí o de las Palomas y sus prolongaciones Xidó y Agostadero (Martínez, 2012).

Los accidentes topográficos que corresponden a la base menor del trapecio se caracterizan por la suavidad de sus formas aplastadas con cimas arredondeadas, algunas apezonadas, debido a sus pendientes muy suaves, por su poca altura y, como el macizo del Norte, está constituido por un grupo de pequeños cerros, lomas y mesas, fragmentos también de antiguos aparatos volcánicos. De estos cerros algunos forman parte del Valle de Toxí y son: el de Batán, Xomejé, La Campana, Los Cuemes y Maye. El Batán es un cerro con pendiente suave hacia el Sur y por la parte Norte con una ceja de corriente andesita y con fuerte pendiente hacia el Norte y a cuyo pie están los derrumbes de los acantilados de la ceja (Martínez, 2012).

En lo que respecta al sistema de fallas que se presentó, la zona sísmica de Acambay – Tixmadejé se concibe como una región con un dislocamiento y que las fracturas se revelan a través de las formas postizas, derrames efusivos, que las han cubierto conservando la desnivelación y las huellas de resbalamiento de movimientos posteriores efectuados en la misma dirección. Las principales líneas de fracturamiento en esta región quedan indicadas por el alojamiento de los aparatos efusivos a lo largo de planos eruptivos dirigidos casi de Este a Oeste y de Norte a Sur, correspondiendo los de mayor importancia a los que van de Este a Oeste, pues en este sentido se orientan no solamente los principales macizos montañosos, sino aisladamente sus partes y unas pequeñas unidades orográficas (Martínez, 2012).



Figura 3.20 Falla principal de Acambay (Martínez, 2012)

Por lo tanto la zona sísmica corresponde a una faja de terreno hundido (figura 3.20), que se alarga de Este a Oeste, limitada al Norte y al Sur por macizos montañosos de paredes abruptas y en la que parecen existir otras dislocaciones paralelas a las anteriores que hacen presumir la existencia de una serie de fallas escalonadas.

Enero 15, 1931	16.34	96.87	40	7.8
Julio 26, 1937	18.48	96.08	85	7.3
Octubre 11, 1945	18.32	97.65	95	6.5
Mayo 24, 1959	17.72	97.72	80	6.8
Agosto 28, 1973	18.30	96.53	84	7.0
Octubre 24, 1980	18.03	98.27	65	7.0

La actividad sísmica de la zona se sigue presentando debido al sismo ocurrido el 15 de Junio de 1999, con una magnitud $M_w = 7.0$. Las coordenadas del epicentro fueron 18.20° N y 97.47° O, con una profundidad de 60 a 80 km. La ciudad más cercana al epicentro fue Tehuacán, Puebla. Las réplicas del evento fueron muy pequeñas, por lo que sólo fueron percibidas por las estaciones acelerográficas, las réplicas registradas fueron 33 con una magnitud entre 2.3 y 3.7 (Martínez, 2012).

Las aceleraciones máximas registradas para el movimiento debido al sismo del 15 de Junio de 1999 por la Red de Acelerógrafos de la Ciudad de Puebla de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), fueron de 279 cm/seg^2 en dirección NS y de hasta 104 cm/seg^2 en dirección EO, en una estación ubicada en el Parque Habana de la colonia América Norte. Estas aceleraciones se presentaron en un suelo con formaciones tipo aluvial por lo que las demandas sísmicas se ven incrementadas por la presencia de depósitos blandos, para el caso de los suelos blandos de la Ciudad del México registrados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), la aceleración fue de 35 cm/seg^2 . (Martínez, 2012)

La distancia que existe entre Naucalpan y Tehuacán, Puebla es de aproximadamente 225 km. (Figura 2.38).

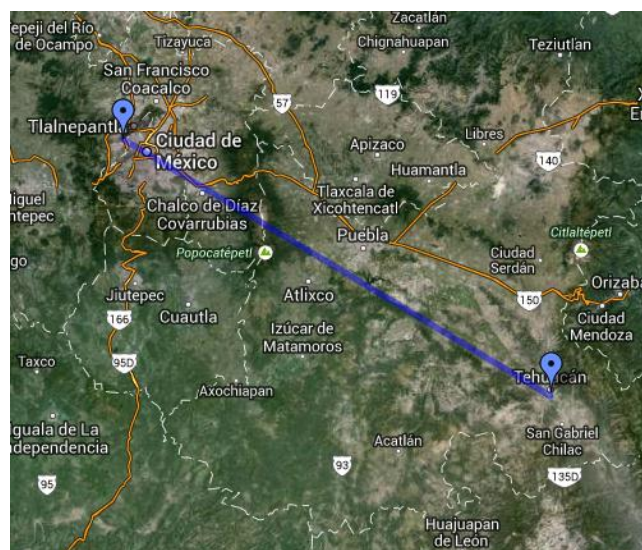


Figura 3.22 Distancia entre Naucalpan y Tehuacán

Fallas de la Cuenca de México

Otras fallas locales producen cierta actividad sísmica que puede importar en el municipio de Naucalpan, tal como se establece en el trabajo de Marín *et al.* (1986), en el cual se definen dieciséis fallas orientadas NE-SW, formando 15 bloques (graben), separados entre 4 y 6 km, donde depósitos piroclásticos y lacustres aparecen fracturados (figura 3.23). Las fallas F-12 y F-13, están relacionadas con el graben de Cuautitlán. Las fallas F-8 y F-9 pertenecen al graben de Los Peñones. Las fallas F-6 y F-7 se asocian al graben Central, F-4 y F-5 representan al graben de Oaxtepec, y por último Naucalpan esta entre las fallas F-10 y F-11, la falla F-10 representa a las grietas de “Echegaray” y “La Florida”.



Figura 3.23 Fallas dentro de la Cuenca de México (Marín *et al.*, 2003)

En la siguiente tabla 3.4 se señalan las zonas o construcciones afectadas por las 16 fallas encontradas.

Tabla 3.4 Zonas y Construcciones afectadas por las 16 fallas encontradas por Marín et al., 2003

Construcciones Civiles afectadas	Estructura Neotectónica NE-SW y NW-SE
1. Zona de El Caracol, Edo. de Méx.	F-9
2. Campos de exploración de salmuera, Texcoco, Edo. de Méx.	F-8 Y F-9
3. Unidad profesional Zacatenco (IPN), D.F.	F-10
4. Cruce de las avenidas Azcapotzalco y Cien Metros, D.F.	F-10
5. Indios Verdes (Avenida de Insurgentes), D.F.	F-10
6. Avenida Nacional y Autopista México-Pachuca, Edo. de Méx.	F-11
7. Carretera Lechería-Texcoco, Edo. de Méx.	F-7 Y F-8
8. Avenida Emilio Zapata y San Pedro Xalostoc, Edo. de Méx.	F-9
9. Acayuca, Hidalgo	F-14
10. Calzada Ignacio Zaragoza y Peñón del Marqués, D.F.	F-6
11. Avenida Añil y Palacio de los Deportes, D.F.	F-8
12. Avenida Central en Nezahualcóyotl y Ecatepec, Edo. de Méx.	F-7 Y F-8
13. Lago de San Juan de Aragón, D.F.	F-8
14. Avenida Talismán, D.F.	F-9
15. Avenida Ixtapalapa, D.F.	F-7 Y F-8
16. Aeropuerto Internacional Benito Juárez	F-8
17. Carretera México-Cuernavaca, D.F.	F-6 Y F-7
18. Zócalo y Alameda, D.F.	F-9
19. Echegaray y La Florida, Edo. de Méx.	F-10
20. Lago Nabor Carrillo, Edo. de Méx.	F-8
21. Villa Coapa, D.F.	F-8
22. Viaducto en la esquina de la Av. Cuauhtémoc, D.F.	F-9
23. Xico, Edo. de Méx.	F-5
24. Ixtapaluca, Edo. de Méx.	F-4 Y F-5
25. Ayotla, Edo. de Méx.	F-5
26. Chalco, Edo. de Méx.	F-4

El riesgo sísmico causado por la Falla F-12 (graben de Cuautitlán, mostrado en la figura 3.24) afectaría tanto a las zonas que le rodean como a las zonas rurales cercanas, como es el caso de Naucalpan y la distancia que existe entre una y otra es de 17 km, aproximadamente (figura 3.25).

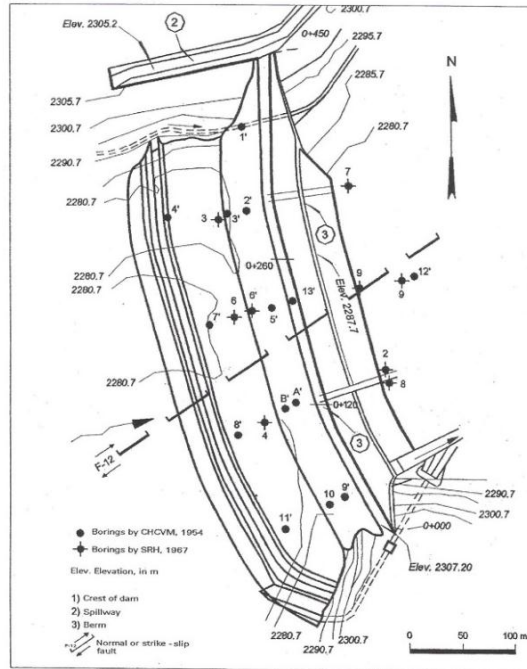


Figura 3.24 Falla F-12 (Marín et al., 2003)

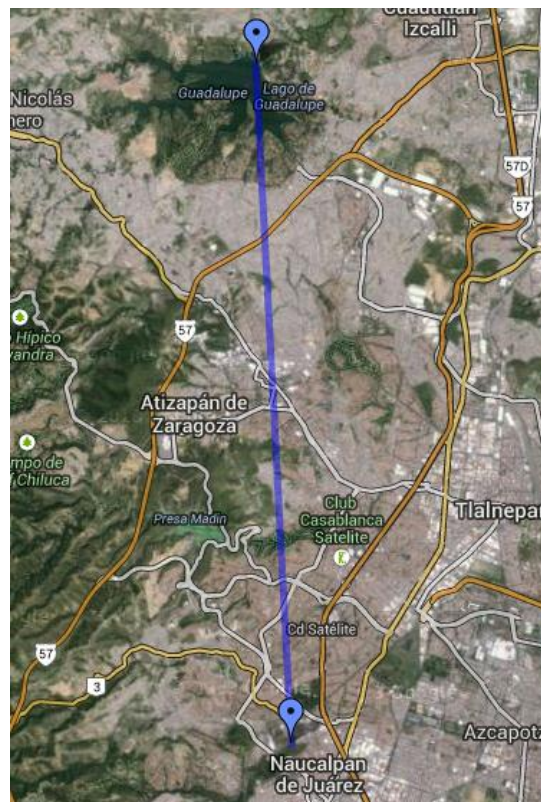


Figura 3.25 Distancia entre Naucalpan y la Presa Guadalupe

IV. PRUEBAS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL

4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

La finalidad de la microzonificación sísmica es evaluar el comportamiento dinámico de los suelos; teniendo en cuenta que la intensidad de las sacudidas sísmicas varía considerablemente a distancias muy cortas y áreas pequeñas, lo que ha llevado a pensar que el factor esencial para la evaluación del daño en las estructuras son las condiciones del subsuelo local; es decir, efectos de sitio (Bernal, 2006).

El efecto de sitio, desde un punto de vista general se puede explicar cómo la respuesta que tiene cada lugar ante el paso de las ondas sísmicas, lo que depende de sus condiciones geológicas y topográficas y, en gran medida de las primeras decenas de metros de la superficie terrestre (Sauter, 1989; Chávez-García *et al.*, 1996; Reinoso, 2000). Cualquier medio al ser afectado por una onda puede causar la amplificación o de-amplificación de la misma, de acuerdo a la variación de las propiedades físicas del suelo y que en general, se encuentra en las capas estratigráficas de diferente composición geológica y geométrica (Riqueret *al.*, 2003; Leyva, 2004).

Uno de los métodos más populares para estimar efectos de sitio en regiones de moderada a alta sismicidad es el uso de la razón espectral (de espectros de Fourier) de registros de temblores (técnica estándar), obtenidos simultáneamente en estaciones ubicadas sobre suelo blando con respecto a una estación de referencia ubicada en suelo firme (Singh *et al.*, 1988). Otra técnica, es la estimación de la razón espectral entre las componentes horizontales y la vertical de un mismo registro conocida como técnica de Nakamura.

La estimación de los períodos fundamentales de vibrar del suelo (T) se puede realizar en función de los registros de vibración ambiental, espectros de Fourier y la técnica de Nakamura (Arroyo *et al.*, 2010).

El periodo fundamental de vibrar del suelo (T), se define como el período con la amplitud más representativa del movimiento del suelo de acuerdo con la clasificación de éste. Desde el punto de vista de seguridad estructural, la determinación local de la respuesta dinámica del suelo y sus períodos fundamentales de vibración (T), evidencia la vulnerabilidad de las edificaciones existentes al ser sometidas a acciones sísmicas y a su vez esta información fortalece la base de datos locales que se requiere en el análisis y diseño estructural de nuevos proyectos de construcción.

La práctica ha demostrado que para determinar cuantitativamente los parámetros de la respuesta sísmica de cada unidad geológica y así evaluar el efecto de sitio, es necesario contar con datos de registros de movimientos fuertes y movimientos débiles, a falta de estos registros frecuentemente se utiliza registros de microtemores (Kanai y Tanaka, 1954). Se denominan microtemores al registro de ruido o vibración ambiental en un determinado punto de interés. La idea es que de acuerdo a la constitución del suelo, la amplitud y contenido frecuencial del ruido son diferentes y expresan de manera indirecta la posible constitución del suelo. La fuente de los microtemores está ligada a actividades humanas; por lo tanto, reflejarían el ciclo del quehacer humano. En su conjunto, el espectro de ruido tendrá picos asociados a diferentes frecuencias. Tradicionalmente, se distingue entre el ruido de origen natural (frecuencias menores a 1 Hz), conocido como "microtemblores", del causado por el hombre (frecuencias mayores a 1 Hz) al que se le conoce como "microtemores" (Okada, 2003). En su conjunto, el espectro de dicha señal tendrá picos asociados a diferentes frecuencias características del medio en el cual las ondas se propagaron, denominados microtemores o vibración ambiental (Bernal, 2006).

Para medir los periodos de vibración fundamental del terreno en diferentes sitios del municipio de Naucalpan, se llevaron a cabo mediciones del movimiento del suelo generado por la vibración ambiental (microtemores), al considerar que ofrece buena aproximación para la caracterización de la respuesta de sitio, además de la sencillez y rapidez de operación, así como su bajo costo (Lermo y Chávez-García, 1994); con una red de instrumentación sísmica se requiere mayor tiempo de operación y en consecuencia representa un alto costo (Rivera *et al.*, 2013).

4.2 PERIODOS DEL SUELO ANALÍTICOS

Para tener una estimación preliminar de los periodos de vibración que predominan en algunos puntos del municipio de Naucalpan se realizó una evaluación analítica con base en 10 estudios de mecánica de suelos de penetración estándar que se realizaron en cuatro lugares del municipio: Ciudad Satélite, Vista del Valle, El Ocotal y Río Hondo, cuya ubicación se muestra en el mapa de la figura 4.1.

De acuerdo al Manual de Obras Civiles de la CFE, Diseño por sismo (CFE, 2008), el periodo dominante del terreno se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$T_s = \frac{4}{\sqrt{g}} \sqrt{\left(\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{G_n}\right) \left(\sum_{n=1}^N \gamma_n h_n (w_n^2 + w_n w_{n-1} + w_{n-1}^2)\right)} \quad (1)$$

$$G_n = \frac{\gamma_n v_s^2}{g} \quad (2)$$

$$W_n = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\gamma_i v_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{\gamma_i v_i^2}} \quad (3)$$

donde, γ_n se refiere al peso volumétrico del n-ésimo estrato, G_n es el módulo de rigidez al cortante del n-ésimo estrato, h_n corresponde al espesor del n-ésimo estrato, N es el número de estratos y v_i es la velocidad efectiva de propagación de ondas de corte del i-ésimo estrato. Cabe comentar que en el caso de la expresión 3 se pueden adoptar los siguientes valores: $w_0 = 0$ en la roca basal y $w_n = 1$ en el estrato superficial.

Para obtener la velocidad efectiva de propagación de ondas de corte del i-ésimo estrato (v_i), se empleó la correlación entre número de golpes y v_s , conforme a la recomendación del Manual de la CFE (CFE, 2008), tal como se muestra en la tabla 4.1

Tabla 4. 1 Velocidad de ondas de corte a partir del número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT)

Tipo de Suelo	Numero de Golpes (SPT)	$V_s(m/s)$	$\gamma_s (t/m^3)$
Roca	-	>720	2.0
Suelo firme y denso	>50	360	1.8
Suelo medio	15-50	180	1.5
Suelo blando	<15	90	1.3

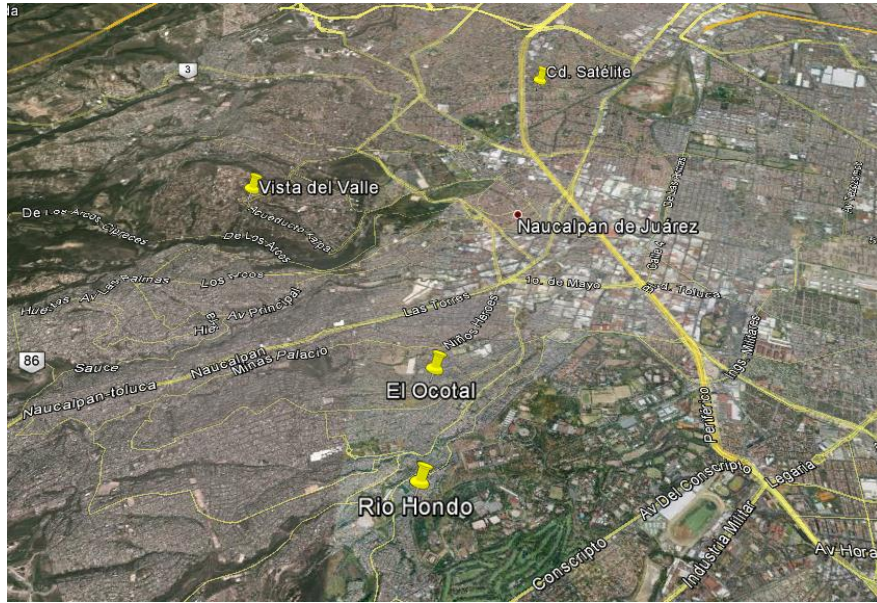


Figura 4.1 Ubicación de los sondeos de mecánica de suelos

En la tabla 4.2 se muestra la aplicación de las ecuaciones 1, 2 y 3 para obtener el periodo dominante del terreno (T_s), con respecto al sitio de Ciudad Satélite. El resto de los lugares donde se calculó T_s se resume en la tabla 4.3; estos valores son preliminares y sirven de referencia para compararlos con los obtenidos de las mediciones de vibración ambiental (Rivera *et al.*, 2013).

Con los resultados reportados en la tabla 4.3 se puede apreciar que en el sitio El Ocotil se presenta el mayor periodo de vibración del suelo, en comparación con los otros tres lugares, lo cual se puede atribuir a que es una de las zonas bajas del municipio rodeada por montañas y, en donde, se tiene la presencia de depósito de suelos cuyas capas están constituidas por suelos relativamente menos compactos; arenas arcillosas o limo arcilloso con espesores hasta de 5 m (Rivera *et al.*, 2013).

Tabla 4.2 Cálculo del periodo dominante del sitio en Ciudad Satélite

Estrato (N)	Espesor del estrato (m)	Profundidad (m)	Número de golpes (N)	$V_s(m/s)$	$\gamma_s (t/m^3)$	$G (t/m^3)$
4	0.5	0.5	15-50	180	1.5	4954.13
3	2.5	3	<15	90	1.3	1073.39
2	0.5	3.5	15-50	180	1.5	4954.13
1	6.5	10	15-50	180	1.5	4954.13
0	0	10		720	2	105688.07
					$T_s =$	0.20 s

Tabla 4.3 Periodo dominante de los sitios en estudio

Sitio	T_s (s)
Ciudad Satélite	0.20
Rio Hondo	0.12
Vista del Valle (SPT1)	0.24
Vista del Valle (SPT2)	0.24
Vista del Valle (SPT3)	0.26
El Ocotal (SPT1)	0.35
El Ocotal (SPT1)	0.42
El Ocotal (SPT1)	0.29
El Ocotal (SPT1)	0.31
El Ocotal (SPT1)	0.27

4.3 EQUIPOS DE MEDICIÓN

El equipo utilizado para el registro de vibración ambiental consistió en una grabadora digital Kinematics® Makalu (figura 4.2), con resolución de 24 bits y posibilidad de registro de hasta seis canales simultáneos. La capacidad de grabación consta de 64 Mb en la tarjeta de memoria. Aunado al adquirente se utilizó un sensor triaxial EpiSensor FBA ES-T (figura 4.3) con rangos de grabación de escala completa de $\pm 0.25g$ a $\pm 4g$, el ancho de 200 Hz; el tamaño es de 13.3 cm de diámetro (cilindro) y 6,2 cm de alto, la capacidad de muestreo es de 100 muestra por segundo.



Figura 4.2 Kinematics Makalu⁹



Figura 4.3 EpiSensor ES-T¹⁰

4.4 CAMPAÑAS DE MEDICIÓN

Para llevar a cabo las mediciones del movimiento del terreno con base en pruebas de vibración ambiental se realizaron nueve campañas de medición con objeto de cubrir la mayor parte del municipio, de tal forma que se midieron un total de 69 sitios. La información derivada de cada campaña de medición se organizó de la siguiente forma: número de registro, número de puntos registrados, fecha de la campaña, nombre de los archivos que pertenecen a cada punto, localización (coordenadas: Longitud y Latitud), altitud al que fueron medidos y observaciones que se hayan hecho; tal como dirección, referencias o alguna otra consideración.

Los registros en cada punto de medición tuvieron una duración de 180 s, aproximadamente, en las dos direcciones horizontales, así como en la vertical.

Para la elección de los sitios se determinó mediante una cuadrícula divisoria, procurando que la medición fuera a cada kilómetro. Como resultado de las nueve campañas se obtuvieron 69 puntos (figura 4.4) por lo tanto el mismo número de registros, abarcando gran parte del territorio de Naucalpan, particularmente el área urbana, dado que se dificulta tomar mediciones en la zona de lomas, por motivo del suelo natural que se presenta, dado que la tierra suelta dificulta captar el ruido que se desea encontrar. También se tomaron vibraciones ambientales en las zonas aledañas al municipio, tal como, Huixquilucan, Tlalnepantla, y la delegación del Distrito Federal, Azcapotzalco.

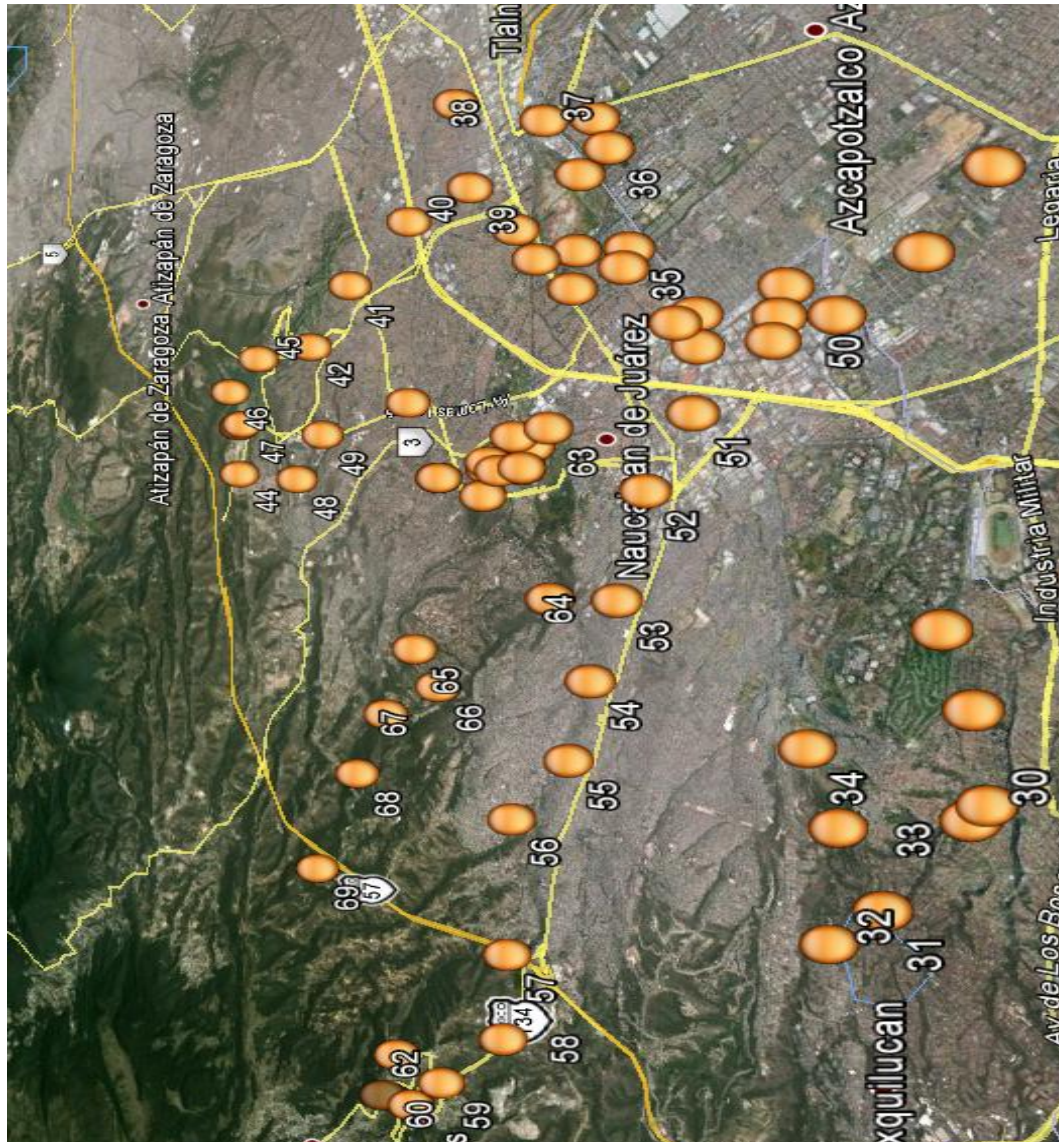


Figura 4.4 Registro total

Campaña de medición 1

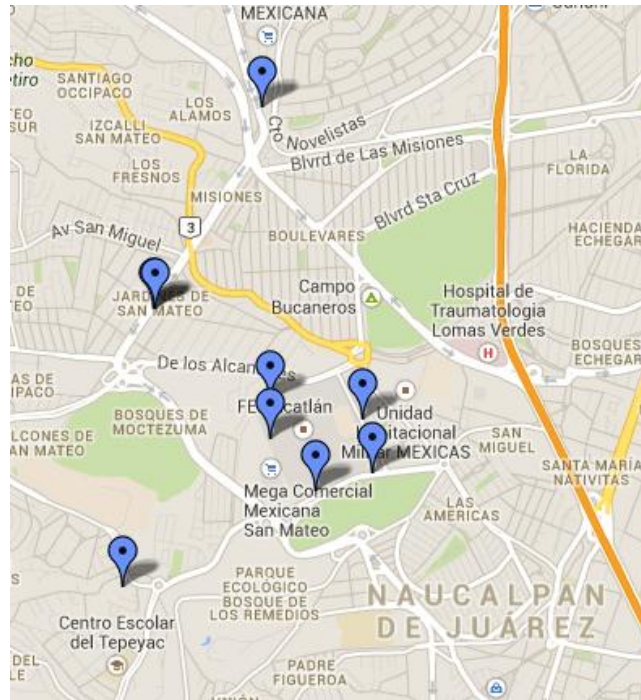


Figura 4.5 Registro Número 1

En la figura 4.5 se muestran los ocho puntos de medición. Las principales vías recorridas fueron: Av. Adolfo López, Av. Jardines de San Mateo y la FES Acatlán. La máxima altura a la que se hizo la medición de vibración ambiental fue 2283.62 m sobre el nivel del mar. La jornada se realizó el día 16 de Abril de 2013, se registraron 14 registros de los cuales se eligieron 9. En la tabla 4.4 se describen las características generales de los registros.

Tabla 4.4 Características generales de los registros de la campaña de medición 1

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
1	16/04/2013	KA001	11:20	19°28'52.58"	99°14'48.61"	2,268	Atrás de laboratorio de Análisis de Riesgos Naturales y Antropogénicos (pavimento)
2	16/04/2013	KA003	11:32	19°29'01.68"	99°14'57.24"	2,273	Estacionamiento FES Acatlán (pavimento)
3	16/04/2013	KA007	11:54	19°29'08.51"	99°14'57.116"	2,271	Teatro Javier Barros, FES Acatlán (banqueta)
4	16/04/2013	KA010	12:13	19°29'05.21"	99°14'39.432"	2,274	Calle Yaquis, frente al estadio de soccer de la FES Acatlán (banqueta)
5	16/04/2013	KA011	12:27	19°28'55.640"	99°14'37.512"	2,272	Av. Jardines de San Mateo
6	16/04/2013	KA012	12:38	19°28'59.872"	99°15'11.123"	2,284	Av. Adolfo López Mateos, CFE (pavimento)
7	16/04/2013	KA013	12:46	19°29'25.176"	99°15'19.293"	2,268	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (pavimento)
8	16/04/2013	KA014	12:50	19°29'25.176"	99°15'19.293"	2,268	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (banqueta, tierra)
9	16/04/2013	KA015	13:00	19°30'01.195"	99°14'58.778"	2,312	Av. Adolfo López - Av. Lomas Verdes (banqueta)

Campaña de medición 2

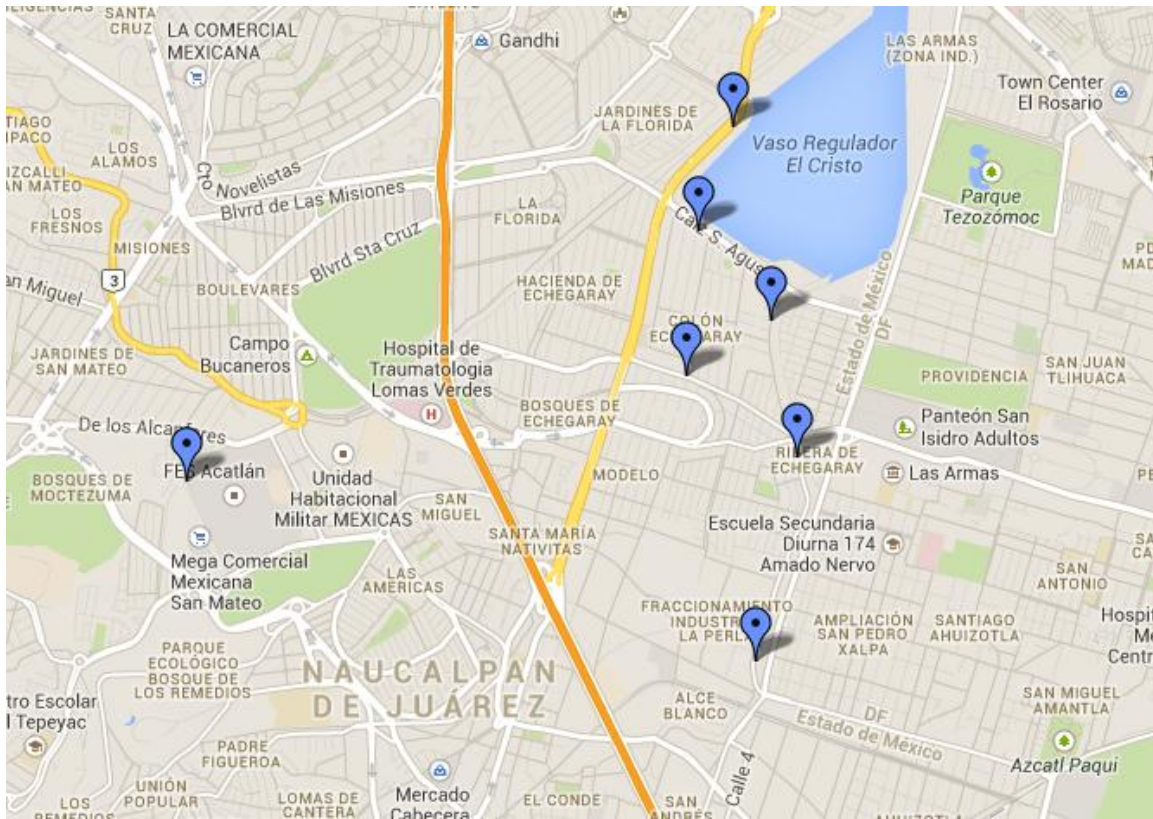


Figura 4.6 Registro número 2

En la figura 4.6, se presentan siete puntos (del 10 al 16), el primero de ellos corresponde al estacionamiento de la FES Acatlán. La jornada número dos se realizó el 25 de Abril de 2013. Las principales colonias recorridas fueron: Las Armas, Bosques de Echegaray, Hacienda de Echegaray y Jardines de La Florida. La altura promedio fue de 2,250 m sobre el nivel del mar. De los trece registros que se obtuvieron se escogieron siete. En la tabla 4.5 se muestran las características de los microtemores correspondientes.

Tabla 4.5 Características generales de los registros de la campaña de medición 2

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
10	25/05/2013	KI003	12:50	19°29'5.859"	99°14'59.36"	2,274	Estacionamiento, frente al Teatro Javier Barrios Sierra, FES Acatlán (Pasto/Suelo) - Atrás MEGA
11	25/05/2013	KI005	13:18	19°28'35.703"	99°13'17.709"	2,262	Canal - Av. La Naranja
12	25/05/2013	KI007	13:39	19°29'9.954"	99°13'10.294"	2,267	El Arroyuelo - Canal - Puente
13	25/05/2013	KI009	14:04	19°29'33.247"	99°13'14.842"	2266	Cerrada Grijalva - F. de Magallanes (banqueta)
14	25/05/2013	KI010	14:24	19°29'24.17"	99°13'29.78"	2,267	Hacienda de la Encarnación - Hacienda Paseo Colón - Caseta de Policía
15	25/05/2013	KI012	14:40	19°29'48.251"	99°13'27.928"	2,250	Calle Alonso Pinzón - Calzada San Agustín - Vaso Regulador El Cristo
16	25/05/2013	KI016	15:07	19°30'5.586"	99°13'21.591"	2,258	Av. Gustavo Baz - Circunvalación - Frontera - Vaso Regulador El Cristo

Campaña de medición 3

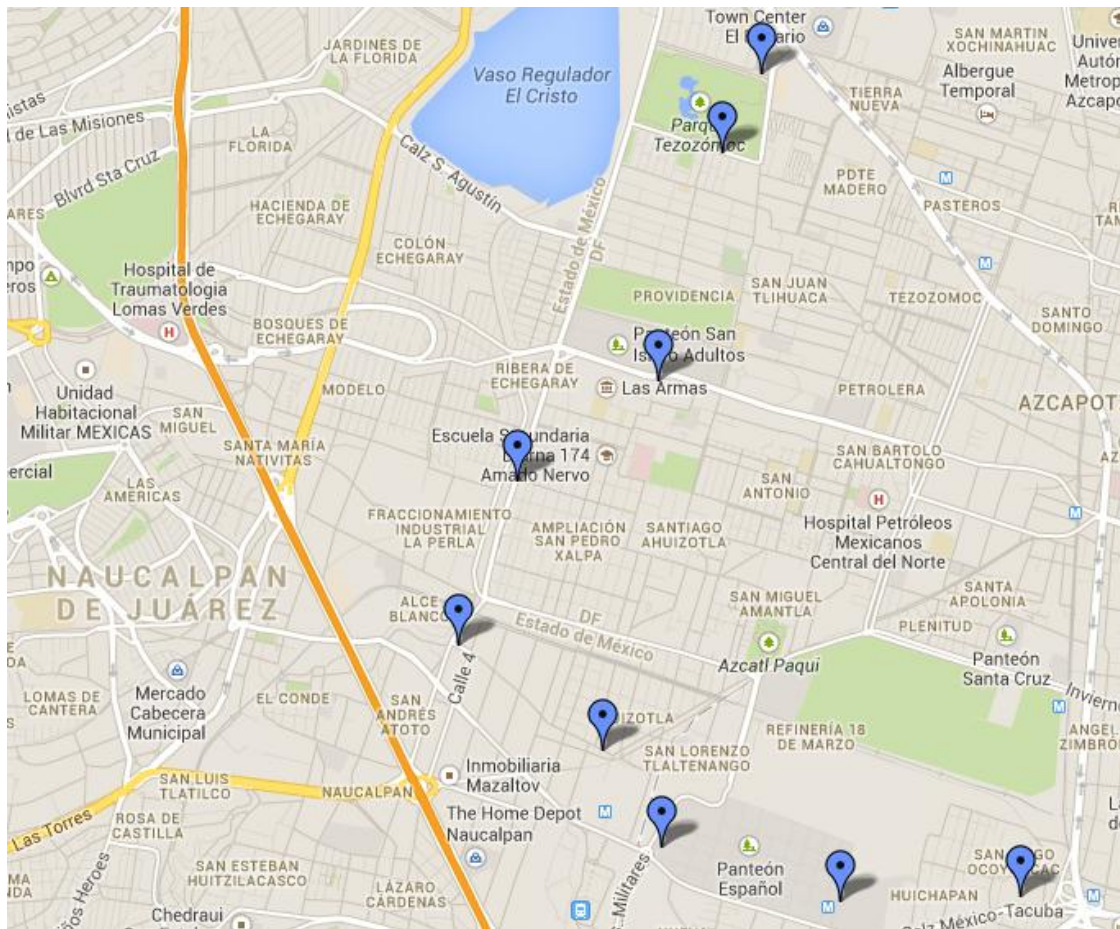


Figura 4.7 Registro número 3

Son nueve los puntos (registros del 17 al 25) los que se esquematizan en la figura 4.7, los cuales están situados al este del municipio de Naucalpan, colindando con Azcapotzalco, delegación del Distrito Federal. La campaña se realizó el 30 de Mayo de 2013. Los detalles de los registros se presentan en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Características generales de los registros de la campaña de medición 3

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
17	30/05/2013	LE004	12:37	19°27'36.885"	99°11'34.886"	2,242	Bodega Comercial Mexicana Tacuba Estacionamiento
18	30/05/2013	LE005	12:47	19°27'36.026"	99°12'09.196"	2,242	Panteón Español Estacionamiento
19	30/05/2013	LE007	13:04	19°27'45.653"	99°12'42.695"	2,249	Panteón Español Crematorio
20	30/05/2013	LE010	13:24	19°28'2.863"	99°12'53.930"	2,248	Calle Gobernador Gustavo Baz 19 A
21	30/05/2013	LE012	13:41	19°28'21.6"	99°13'20.650"	2,248	Victoria - Las Armas Junto-Canal
22	30/05/2013	LE013	13:51	19°28'30.623"	99°13'10.16"	2,260	Calzada de Las Armas - Av. Adolfo López Mateos
23	30/05/2013	LE015	14:14	19°28'8.526"	99°12'43.328"	2,247	San Isidro 642 - San Pedro Xalpa
24	30/05/2013	LE017	14:35	19°29'48.840"	99°12.519'	2,246	Zempoaltecas 145, Col. Hacienda del Rosario
25	30/05/2013	LE020	15:09	19°30'2.895"	99°12'23.890"	2,247	Av. Hacienda el Rosario - Hacienda de Sotelo

Campaña de medición 4



Figura 4.8 Registro número 4

El 3 de Junio de 2013 se realizó la campaña número cuatro (figura 4.8). El punto de partida fue la FES Acatlán, correspondiente al primer registro, a partir de este se tomaron dos en cada sitio y posteriormente se eligió uno en cada punto. Se recorrieron las colonias Bosques de Belén y Bosques del Rey y las avenidas Fuente de los Leones y Naucalpan. En la tabla 4.7, se muestran los datos de la jornada (ocho puntos).

Tabla 4.7 Características generales de los registros de la campaña de medición 4

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
26	03/06/2013	LG001	12:31:26	19°28'52.322"	99°14'48.761"	2,270	Fes Acatlán, UIM, Prueba
27	03/06/2013	LG005	13:17	19°26'04.36"	99°13'55.19"	2,336	Agua Caliente - Santa Anita
28	03/06/2013	LG007	13:35	19°25'39.35"	99°14'11.23"	2,313	Av. Fuente de los Leones #65
29	03/06/2013	LG009	13:50	19°25.256'	99°14.720'	2,348	Bosque de Belén - Avenida la Herradura
30	03/06/2013	LG010	13:55	19°25'15.36"	99°14'43.2"	2,348	Bosque de Belén - Avenida la Herradura
31	03/06/2013	LG011	14:06:50	19°25'11.40"	99°15'29.68"	2,407	Bosque del Rey #6 - Bosque de La Antequera
32	03/06/2013	LG014	14:30:30	19°25'14.05"	99°15'53.522"	2,431	Bosque de Minas #21 - Hacienda Salamanca
33	03/06/2013	LG017	14:52:35	19°25'39.615"	99°15'15.83"	2,437	Camino Arenoso frente al tanque Lázaro Cárdenas, Aquiles Serdán 101, Emilio Gustavo Baz
34	03/06/2013	LG018	15:05:00	19°26'07.05"	99°15'01.56"	2,350	Av. Naucalpan - Camino Arenoso

Campaña de medición 5

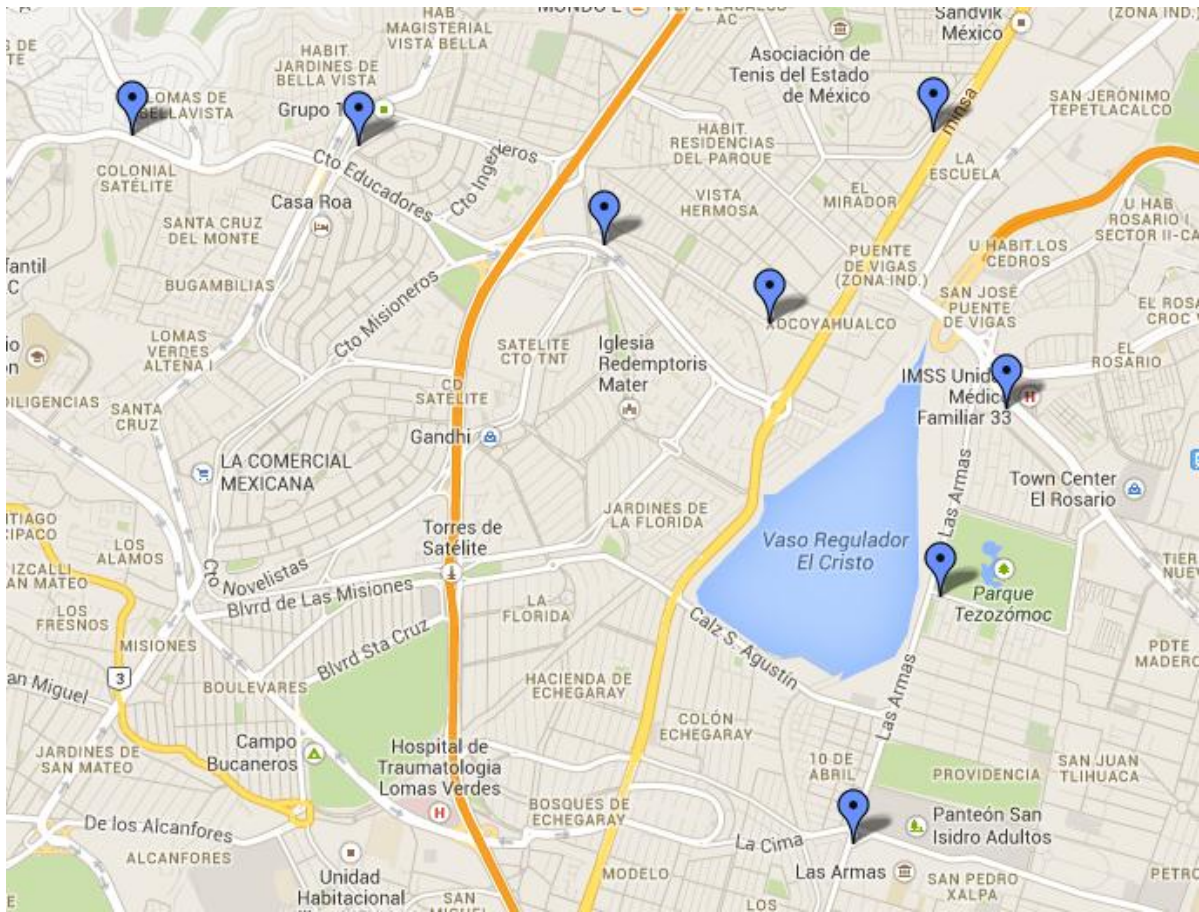


Figura 4.9 Registro número 5

La campaña de medición número cinco se realizó el día 5 de Junio de 2013, en la cual se midieron los puntos mostrados en la figura 4.9, los registros van del 35 al 42. En la tabla 4.8 se muestran todos los datos de la campaña.

Tabla 4.8 Características generales de los registros de la campaña de medición 5

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
35	05/06/2013	LI004	12:19	19°29'12.97"	99°13'2.4"	2,250	De Las Armas - Eje 3 Calzada San Isidro, Módulo de Participación Ciudadana
36	05/06/2013	LI007	12:44	19°29'53.355"	99°12'46.957"	2,247	Zempoaltecas - Hacienda del Dorado
37	05/06/2013	LI008	13:04	19°30'24.719"	99°12'35.017"	2,242	Av. Aquiles Serdán - Rancho de en medio, Cd. Azcapotzalco
38	05/06/2013	LI013	13:39	19°31'11.095"	99°12'47.966"	2,278	Calle Viveros de la colina No.66
39	05/06/2013	LI015	14:02	19°30'39.159"	99°13'16.908"	2,255	Calle del Cristo 101 Col. Xoxoyahualco
40	05/06/2013	LI017	14:33	19°30'59.090"	99°13'46.626"	2,263	Circuito Científicos 26 Col. Satélite
41	05/06/2013	LI020	14:58	19°31'08.762"	99°14'30.070"	2,320	Circuito Educadores - Justo Sierra
42	05/06/2013	LI023	15:28	19°31'10.599"	99°15'10.079"	2,325	Av. Fuentes de Satélite 25

Campaña de medición 6

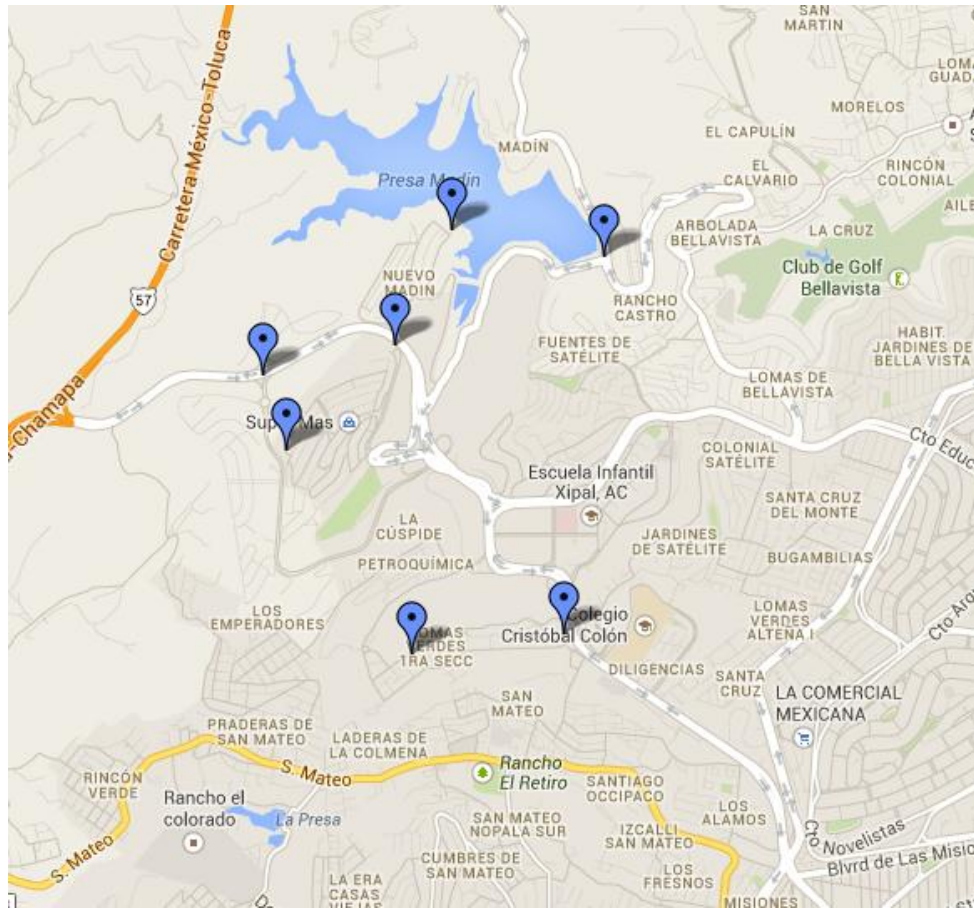


Figura 4.10 Registro número 6

En la figura 4.10, se presentan siete puntos (registros del 43 al 49) correspondientes a la jornada número seis que se llevó a cabo el 7 de Junio de 2013. Se destaca la medición de la presa Madín, además de la avenida Lomas Verdes y Nuevo Madín. La altura promedio fue de 2400 m sobre el nivel del mar. En la tabla 4.9, se muestra el detalle completo de los microtemores correspondientes a la campaña.

Tabla 4.9 Características generales de los registros de la campaña de medición 6

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
43	07/06/2013	LS004	11:23	19°31'22.527"	99°16'13.167"	2,401	Calle de la Acordada 771, "ladera", junto a la Iglesia y frente a la falla geológica
44	07/06/2013	LS007	11:58	19°31'04.086"	99°16'33.227"	2,450	Calle de las Capuchinas 66 Casa Verde
45	07/06/2013	LS011	12:30	19°31'36.838"	99°15'35.283"	2,338	Presa Madín Cortina
46	07/06/2013	LS014	13:02	19°31'42.47"	99°16'02.286"	2,352	Presa Madín Orilla Calle 2
47	07/06/2013	LS017	13:27	19°31'21.74"	99°16'10.514"	2,383	Acceso a Carretera Chamapa Lechería, falla geológica
48	07/06/2013	LS025	14:32	19°30'28.72"	99°16'09.96"	2,408	Zenzontle - Quetzal, Av. Lomas Verdes
49	07/06/2013	LS028	14:59	19°30'32"	99°15'41.811"	2,360	Av. Lomas Verdes, cerca de la UVM

Campaña de medición 7

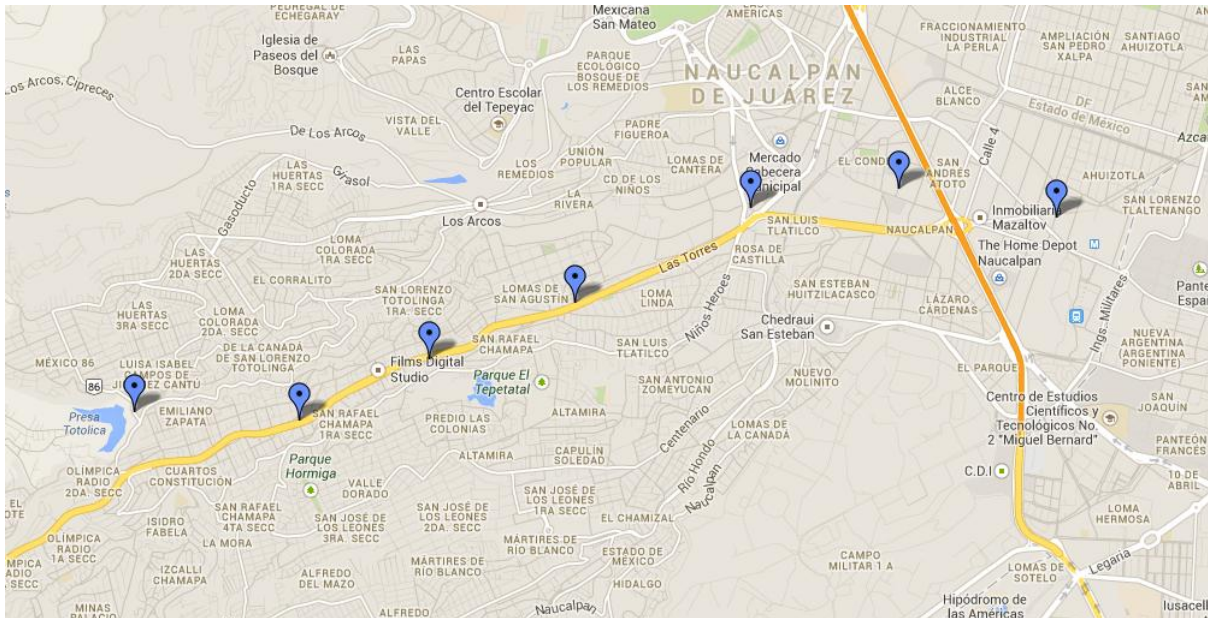


Figura 4.11 Registro número 7

El mapa representativo de la séptima campaña de medición se muestra en la figura 4.11. Las principales vías recorridas fueron: Av. De las Torres, Av. Minas de Palacio, el Boulevard Luis Donaldo Colosio. La jornada se realizó el día 14 de Junio de 2013. La tabla 4.10 presenta las características generales de las mediciones.

Tabla 4.10 Características generales de los registros de la campaña de medición 7

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
50	14/06/2013	LU005	11:38	19°27'58.516"	99°13'03.086"	2,258	Av. De las torres No. 68
51	14/06/2013	LY001	12:38	19°28'05.501"	99°13'43.650"	2,269	Jacobo Gutiérrez 74 San Andrés Atoto, frente tanque de concreto OAPAS
52	14/06/2013	LY003	12:59	19°28'00.86"	99°14'21.709"	2,284	Río Toluca 13 - San Luis Tlailco
53	14/06/2013	LY006	13:26	19°27'39.33"	99°15'06.61"	2,311	Calle Las Torres, CFE, Colonia Lomas de San Agustín
54	14/06/2013	LY009	13:45	19°27'25.7"	99°15'42.73"	2,352	Diagonal Av. Minas de Palacio frente al puente peatonal, salida a Toluca
55	14/06/2013	LY011	14:03	19°27'09.56"	99°16'17.347"	2,385	Boulevard Luis Donaldo Colosio CP 53660, San Rafael Chamapa
56	14/06/2013	LY013	14:30	19°27'11.370"	99°16'59.911"	2,381	Prolongación Vertedero, Colonia La Presa, exactamente entre el vertedero y la corona de la cortina

Campaña de medición 8

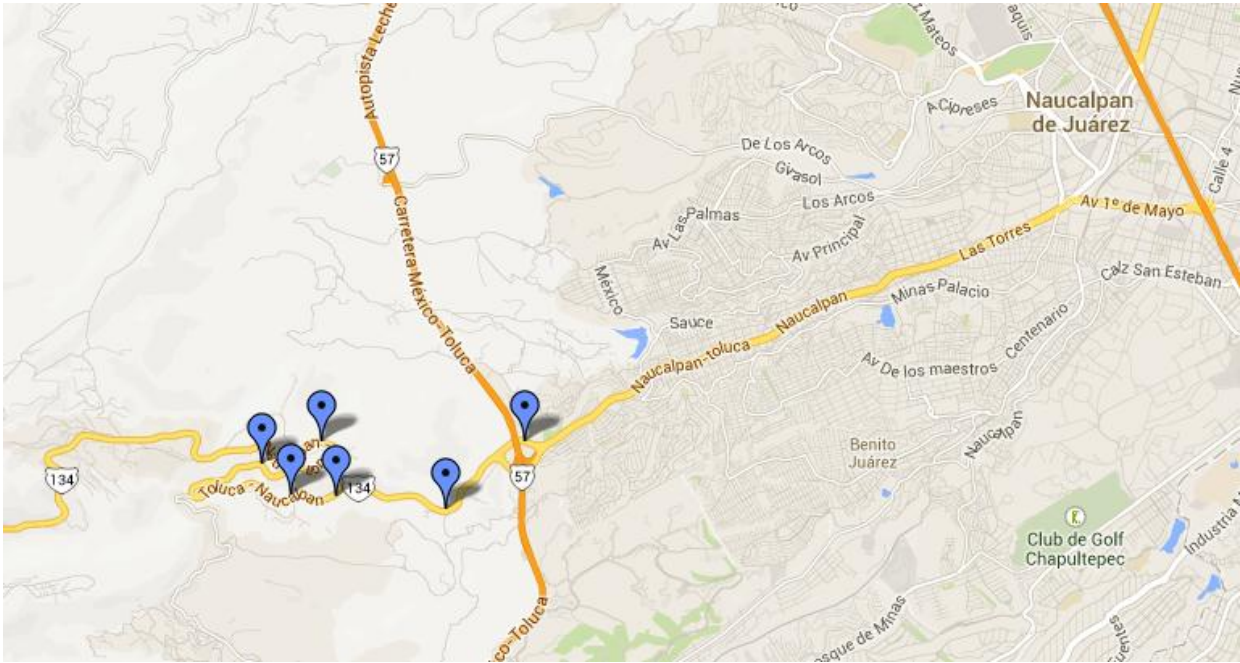


Figura 4.12 Registro número 8

La campaña número ocho se realizó en una de las partes altas del municipio, cuya altitud sobre el nivel del mar es 2729.59 m, dado que se trabajó en la parte oeste del municipio de Naucalpan, sobre la carretera Toluca-Naucalpan, en los kilómetros 10, 11, 12, 13 y 14. Son seis puntos los que se presentan en el mapa de la figura 4.12, los microtemores corresponden del registro 57 al 62. Los detalles de las mediciones realizadas se consignan en la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Características generales de los registros de la campaña de medición 8

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
57	28/06/2013	MB003	13:20	19°26'31.97"	99°17'48.81"	2,468	Prolongación Olímpica libre México - Toluca - Naucalpan, Libramiento Chamapa
58	28/06/2013	MB004	13:30	19°26'07.3'	99°18'19"	2,527	Carretera México - Toluca - Naucalpan, 130 a 50 m de la mina La Colorada Km 10
59	28/06/2013	MB007	13:57	19°26'11.73"	99°19'01.80'	2,585	Carretera - México - Toluca Km 11
60	28/06/2013	MB008	14:08	19°26'13.320"	99°19'22.807"	2,625	Carretera México - Toluca - Naucalpan, Km 12 al lado de puente peatonal, cerro
61	28/06/2013	MB010	14:27	19°26'23.7"	99°19'29.9"	2,686	Carretera México - Toluca Km 13.2 frente a la cocina la Joya pasando la salida a Huixquilucan
62	28/06/2013	MB013	14:47	19°26'31.605"	99°19'07.266"	2,730	Carretera México - Toluca Km 14

Campaña de medición 9

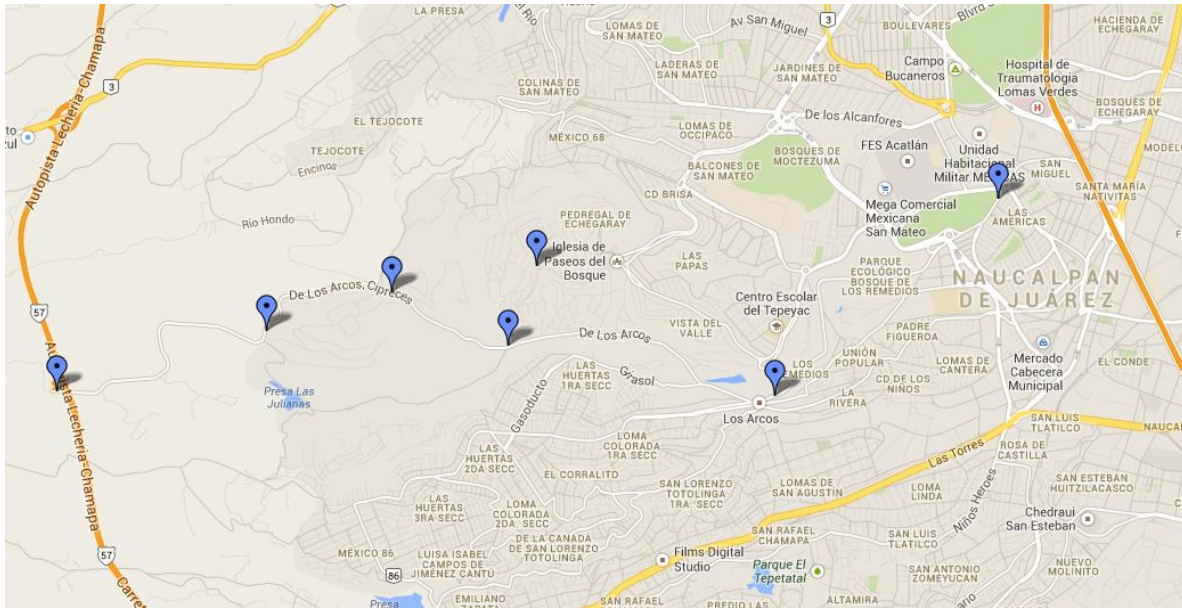


Figura 4.13 Registro número 9

En la figura 4.13, se presentan siete puntos (del 63 al 69), el primero de ellos corresponde a los inicios de la avenida Los Remedios. La jornada número nueve se llevó a cabo el día 23 de Agosto de 2013. De los registros que se obtuvieron se escogieron siete, en la tabla 4.12 se describe los detalles de los microtemores correspondientes a la novena jornada.

Tabla 4.12 Características generales de los registros de la campaña de medición 9

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
63	23/08/2003	NB003	11:59	19°28'53.9"	99°14'26.26"	2,285	Av. De los Remedios 20, 5340, Frac. De las Américas
64	23/08/2003	NB005	12:27	19°28'02.7"	99°15'26.5"	2,333	José Ma. Morelos 38, Los Remedios, "Los Arcos"
65	23/08/2003	NB008	12:53	19°28'37.05"	99°16'31.3"	2,343	Av. De los Arcos 548, Paseos del Bosque
66	23/08/2003	NB010	13:10	19°28'16.2"	99°16'39.1"	2,352	Av. De los Arcos 575, Paseos del Bosque
67	23/08/2003	NB012	13:34	19°28'30.14"	99°17'10.6"	2,400	Camino a los Ciprices, frente al Panteon Gayosso
68	23/08/2003	NC002	14:11	19°28'20.26"	99°17'44.5"	2,497	Emiliano Zapata, Presa las Julianas
69	23/08/2003	NC006	14:56	19°28'04.58"	99°18'41.39"	2,554	Calle las Animas, Entre Universidad Justo Sierra y caseta a carretera

4.5 ANÁLISIS DE REGISTROS

El procesamiento de registros inició con la conversión de los archivos obtenidos de la instrumentación con extensión EVT, el cual está guardado en un formato binario, a un ASCII, empleando el programa KW2ACS.exe de Kinematics®. Una vez transformados los datos al formato ASCII se utilizó el programa Degtra A4 versión 5.1, desarrollado por el Instituto de Ingeniería, UNAM.

Para efecto de realizar una depuración de las señales obtenidas y en consecuencia captar el movimiento esencial del terreno, con el programa Degtra A4 se aplicaron los siguientes dos aspectos:

- Una corrección de línea base, que consiste en obtener el promedio de las amplitudes de todos los puntos del registro, el cual después se resta a cada punto del registro (Hernandez J. L., 1998).
- Y un filtrado tipo pasa banda en un rango de 0.1 a 10 Hz, para eliminar el ruido o impurezas que no pertenezcan a la señal original.

Hecho lo anterior se prosigue graficar los registros acelerográficos en las direcciones transversal (X), lateral (Y), y vertical (Z), con los cuales se obtuvieron espectros de amplitudes de Fourier, así como espectros de respuesta.

4.6 INTERPRETACIÓN DE REGISTROS

4.6.1 Acelerogramas

Cabe mencionar que el sensor se orientó de forma que el eje X coincidiera con el Norte y el eje Y hacia el Oeste. En algunas de las gráficas se observa claramente el incremento de amplitudes a causa del paso de automóviles, razón por las que se descartan para cálculos posteriores.

En la figura 4.14 se muestra el tipo de acelerogramas, previamente procesados, obtenidos de la vibración ambiental en las tres direcciones ortogonales, transversal (x), lateral (y) y vertical (z). Le pertenece al punto 15 (registro KI012), ubicado en el Nor-Oriente del municipio, entre la calle Alonso Pinzón y la Calzada San Agustín por donde se encuentra el Vaso Regulador El Cristo.

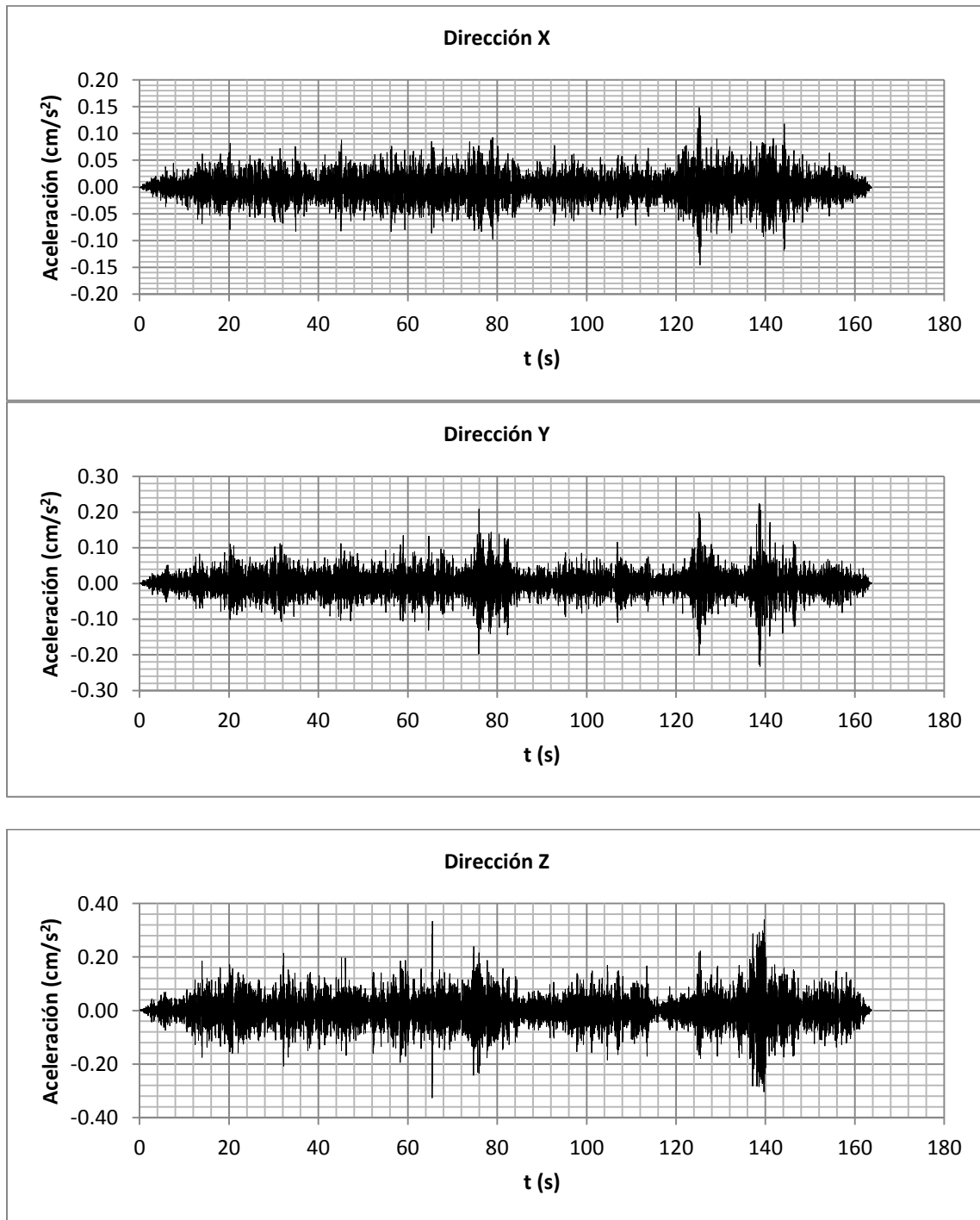


Figura 4.14 Acelerograma del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor-orientado del municipio de Naucalpan)

4.6.2 Cálculos de Espectros de Fourier

Una vez realizada la corrección de línea base y filtrado se procede a calcular los espectros de amplitudes de Fourier, el cual está definido como la gráfica que evalúa el contenido de frecuencias máximas de un registro de aceleración, de manera que en este espectro se puede interpretar la frecuencia (o periodo) asociada a la amplitud máxima, que predomina en el suelo a través de la vibración ambiental.

Para obtener los espectros se aplica a cada registro de aceleraciones $\ddot{x}(t)$ la transformada rápida de Fourier de acuerdo a la siguiente ecuación, en donde se está cambiando del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia (Rivera D. , 2000):

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (4)$$

La ecuación anterior también se puede escribir de la siguiente forma:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}(t) \cos 2\pi ft dt - j \int_{-\infty}^{\infty} \ddot{x}(t) \sin 2\pi ft dt \quad (5)$$

donde:

$X(f)$ = Transformada de Fourier

$\ddot{x}(t)$ = Señal Registrada

f = frecuencia del análisis

$j = \sqrt{-1}$

Utilizando esta ecuación se determina el espectro de Fourier $X(f)$, el cual tienen una parte real y otra imaginaria de la forma $(a + bj)$, donde los elementos impares contienen la parte real, y los pares la imaginaria (Bendat y Piersol, 1986).

Respecto a los espectros de Fourier, los datos que arroja el programa Degtra A4 versión 5.1, son frecuencias naturales (Hz), por lo cual se determinó la inversa ($T = 1/f$) para obtener la periodo natural (escala logarítmica en el eje horizontal) y graficarlas contra las amplitudes (escala logarítmica en el eje vertical).

Como ejemplo se muestra el espectro de Fourier del mismo registro anterior (KI012, del punto número 15 al Nor-oriente del municipio), en las direcciones horizontales como la dirección

vertical. En la figura 4.15, se muestra la amplitud máxima asociada a un periodo de vibración de aproximadamente, 0.1 s en las direcciones ortogonales y 0.8 s para la dirección vertical.

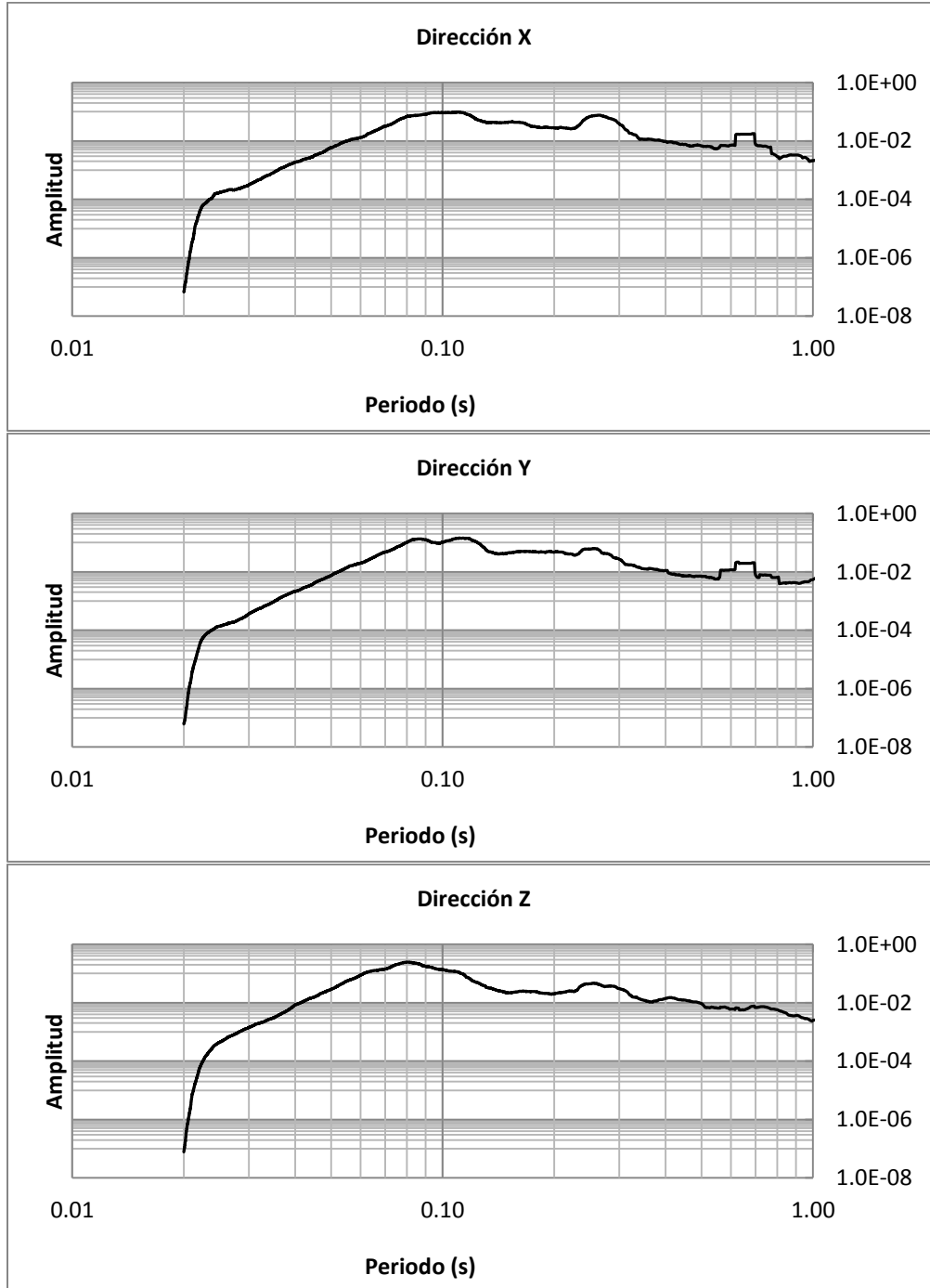


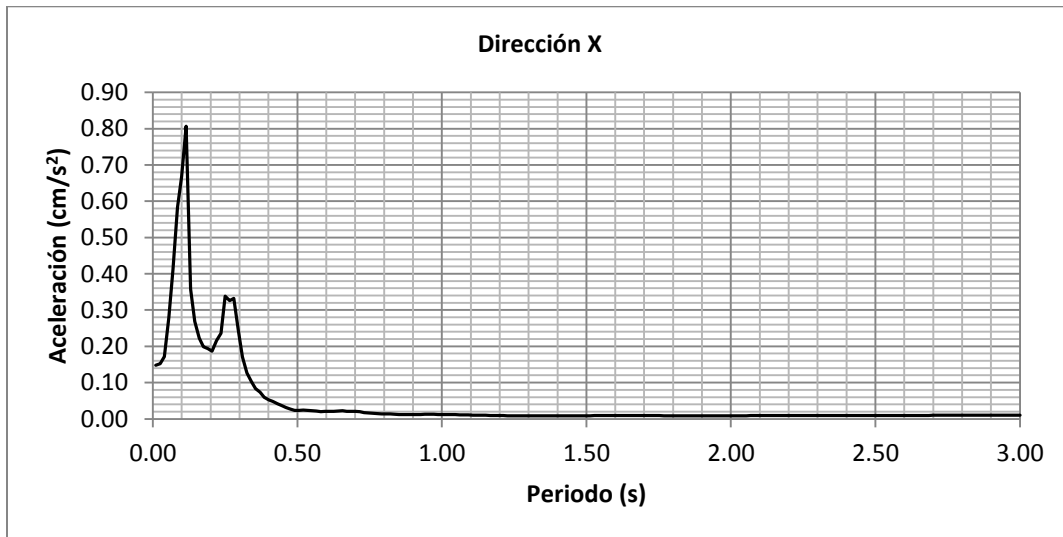
Figura 4.15 Espectro de Fourier del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor-orientado del municipio de Naucalpan)

4.6.3 Cálculos de Espectros de Respuesta

Un espectro de respuesta se define como la respuesta máxima de varios osciladores de un grado de libertad bajo un periodo fundamental de vibración, en tal sentido, lo que se pretende buscar de esta gráfica es el periodo predominante de cada sitio por medio de la vibración ambiental en sus dos componentes ortogonales, transversal (x), lateral (y) y vertical (z).

En el marco de la observación anterior se grafican los espectros, ambos ejes en escala natural, en el eje vertical las aceleraciones y en el horizontal el periodo de hasta 3 segundos, los picos más destacados no rebasan al segundo, dando así una idea del periodo natural del suelo en el punto analizado.

Los siguientes espectros de respuesta (figura 4.16) pertenecen de igual manera al registro KI012 (punto 15 ubicado cerca del Vaso Regulador El Cristo). Dado punto presenta un periodo fundamental de vibración ambiental de alrededor de 0.1 s en las direcciones horizontales y para la dirección vertical se observa un periodo de 0.9 s.



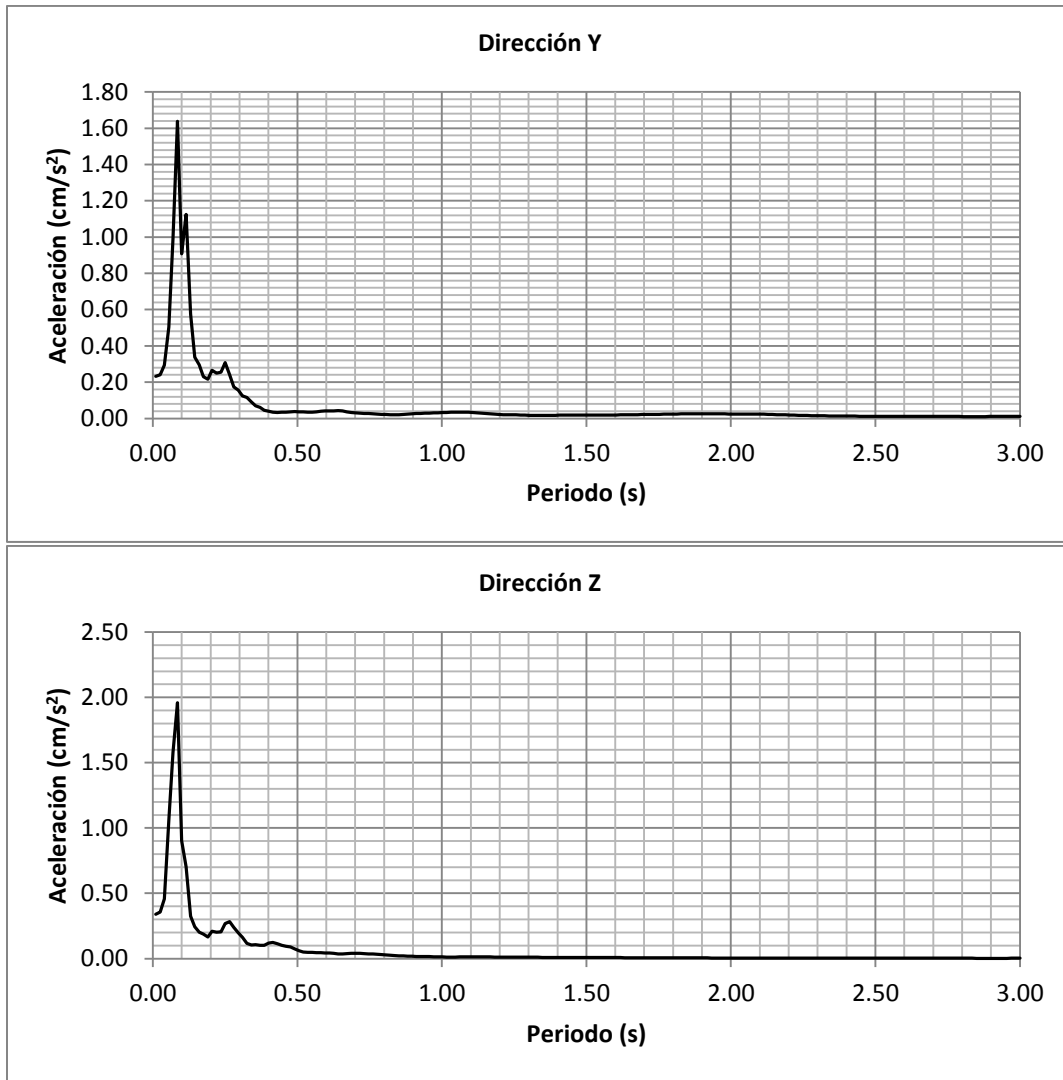


Figura 4.16 Espectro de respuesta del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor-orientado del municipio de Naucalpan)

4.6.4 Método de Nakamura

Rivera (2013) menciona que la interpretación de Nakamura (1989) del cociente H/V se basa en la suposición de que el efecto de las ondas superficiales puede ser “eliminado”, de modo que el resultado final está en relación directa con las funciones de transferencia para las ondas S. Posteriormente se realizó una ligera modificación (Nakamura, 2000). En esencia, si se separan los microtemores en las ondas de cuerpo y las ondas superficiales, la técnica supone que:

- Los microtremores consisten en ondas Rayleigh que se propagan en una capa que está encima de un semiespacio
- El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas
- Las fuentes locales no afectan el movimiento de los microtremores en la base del estrato del suelo

Matemáticamente, lo anterior se expresa de la siguiente manera:

$$SE(w) = \frac{Hs(w)}{Hb(w)} \quad (6)$$

Donde $SE(w)$ representa el espectro de los efectos de sitio, $Hs(w)$ es el espectro de la onda horizontal en superficie y $Hb(w)$ es el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento. Puesto que las ondas internas de los microtremores contienen ondas superficiales, es necesario corregirlas removiendo los efectos de éstas. Nakamura asume que el efecto de las ondas Rayleigh $As(w)$ está incluido en el espectro de ondas verticales superficiales $Vs(w)$ y no en la base del movimiento $Vb(w)$; consecuentemente, puede ser definido como:

$$As(w) = \frac{Vs(w)}{Vb(w)} \quad (7)$$

Removiendo el efecto de las ondas Rayleigh, el espectro de sitio modificado queda definido por:

$$SM(w) = \frac{SE(w)}{As(w)} = \frac{\frac{Hs(w)}{Hb(w)}}{\frac{Vs(w)}{Vb(w)}} \quad (8)$$

Nakamura demostró experimentalmente, usando registros directos y de microtremores, que:

$$\frac{Hb(w)}{Vb(w)} \approx 1 \quad (9)$$

Sustituyendo la ecuación 9 en 8, queda que:

$$SM(w) \approx \frac{Hs(w)}{Vs(w)} \quad (10)$$

Por lo que Nakamura concluye que el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio puede ser usado como un estimativo de los efectos de sitio para

ondas internas. La técnica de Nakamura es muy atractiva, ya que elimina los efectos de fuente, patrón de radiación y trayecto que se presentan en los sismos.

4.6.4.1 Cálculos del Cociente de Nakamura

De acuerdo al trabajo de Rivera (2013) menciona que para tener mayor claridad sobre el periodo fundamental de vibración del terreno, en la que se presenta la máxima amplificación, se utilizó la técnica de Nakamura. Este método consiste, como ya se mencionó, en obtener el cociente espectral ($A(T)$) entre la componente horizontal ($H(T)$) y la componente vertical ($V(T)$), por lo que está dada por:

$$A(T) = \frac{H(T)}{V(T)} \quad (11)$$

Como ejemplo, aplicando la ecuación anterior al mismo registro KI012 del punto 15 ubicado al Nor-orientado de Naucalpan, se determinaron las funciones de transferencia (cocientes espectrales), de las componentes horizontales, x y y , es decir A_x y A_y , con respecto a la componente vertical $z(A_z)$. Asimismo se determinó el promedio de los dos cocientes A_x/A_z y A_y/A_z , tal como se indica en las gráficas de la figura 4.17.

En la figura 4.18 se muestra los coeficientes espectrales del punto 7 (registro KA013), con un periodo de 0.703 s, la figura 4.19 presenta los coeficientes del punto 27 (registro LG005), con un periodo en la máxima amplitud de 0.79 s, la figura 4.20 le corresponde al punto 33 (registro LG017), y muestra un periodo de 0.63 s, en la figura 4.21 contiene al punto 46 (registro LS014), determinando un periodo de 0.028 s, del mismo modo la figura 4.22 presenta las gráficas del punto 52 (registro LY003), periodo de 0.45 s, la figura 4.23 conforma a los coeficientes del punto 60 (registro MB008), con periodo de 0.45.

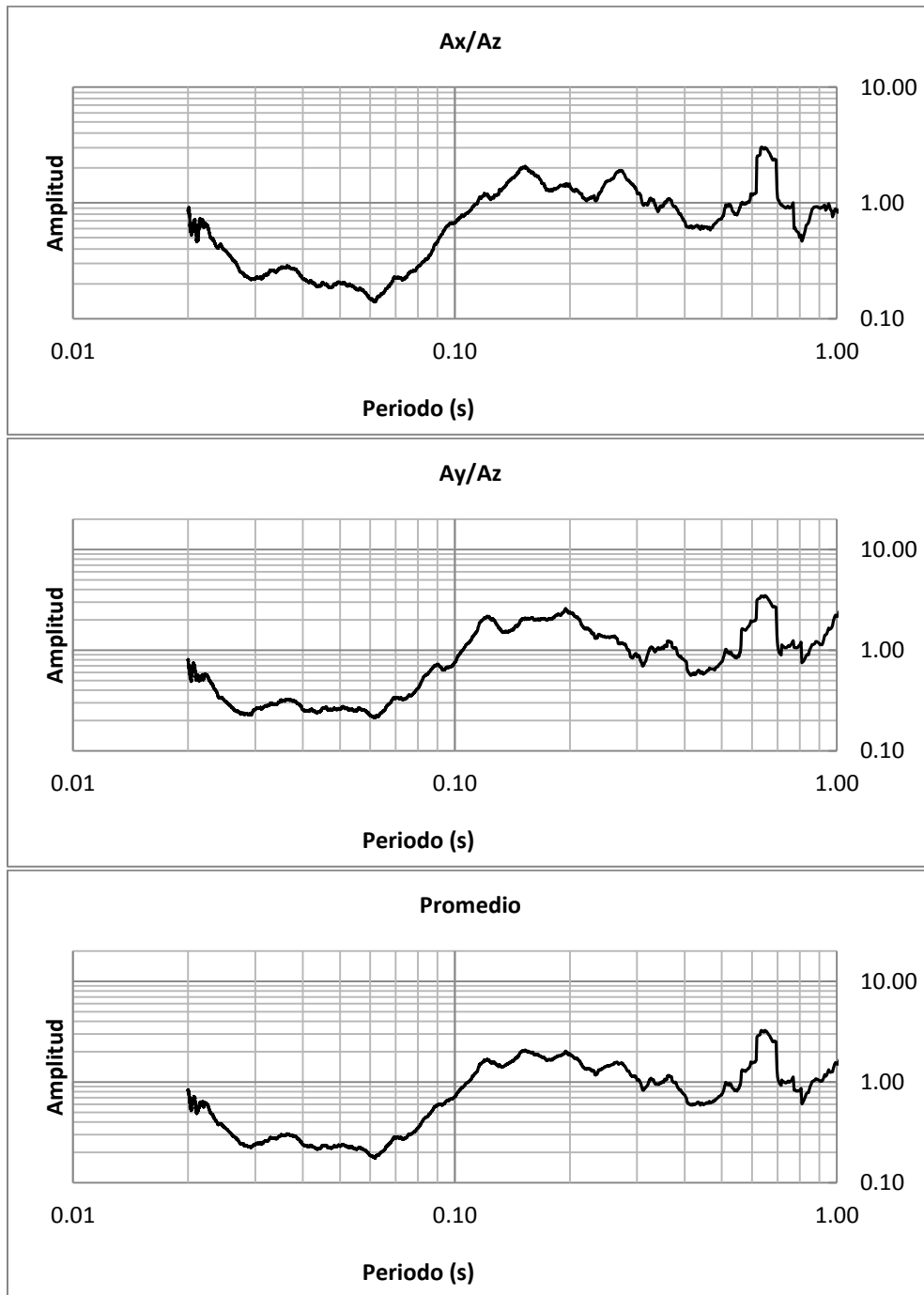


Figura 4.17 Coeficientes espectrales y promedio del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor-orientado del municipio de Naucalpan)

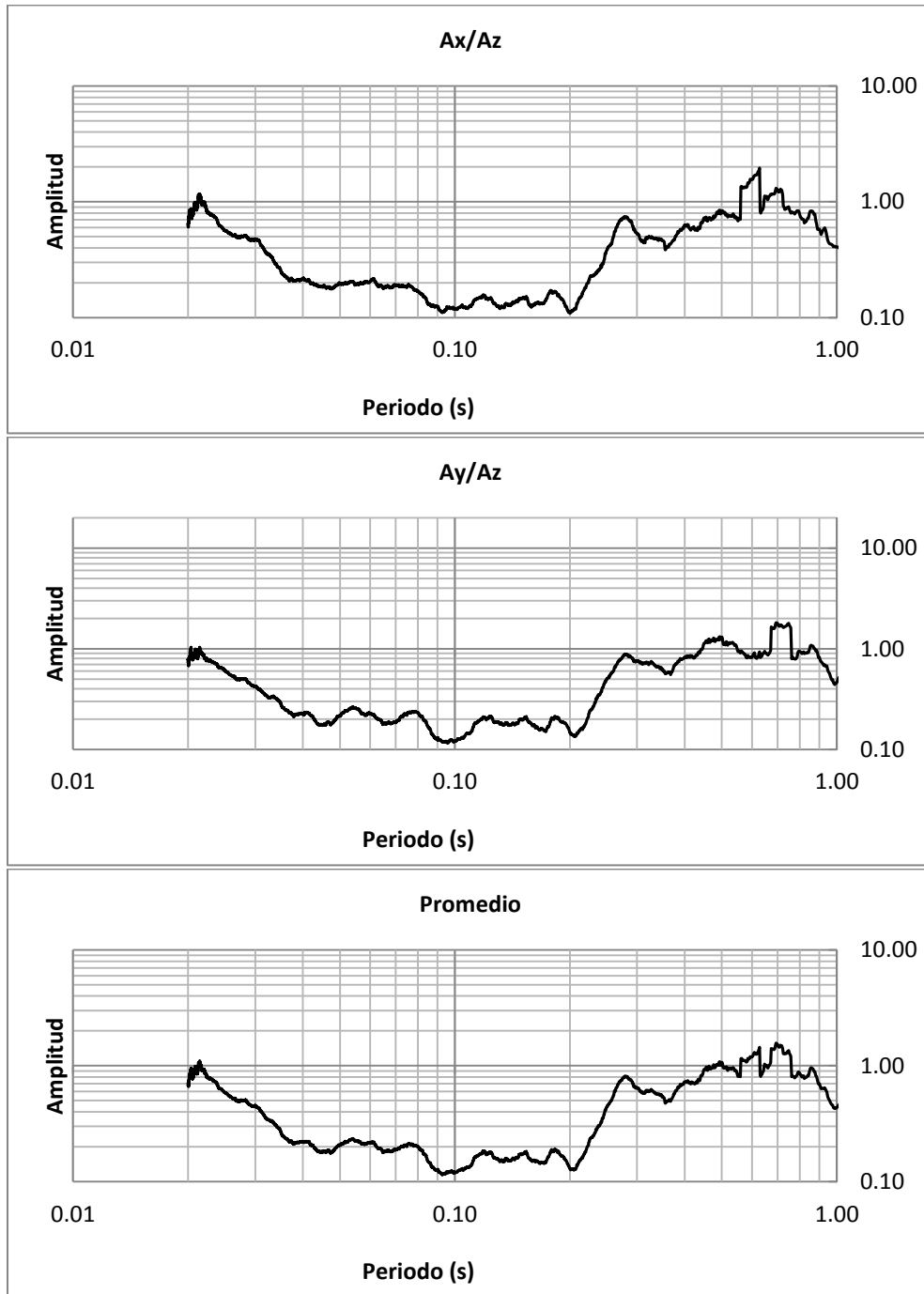


Figura 4.18 Coeficientes espectrales y promedio del registro KA013 (punto 7) ubicada en Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (pavimento)

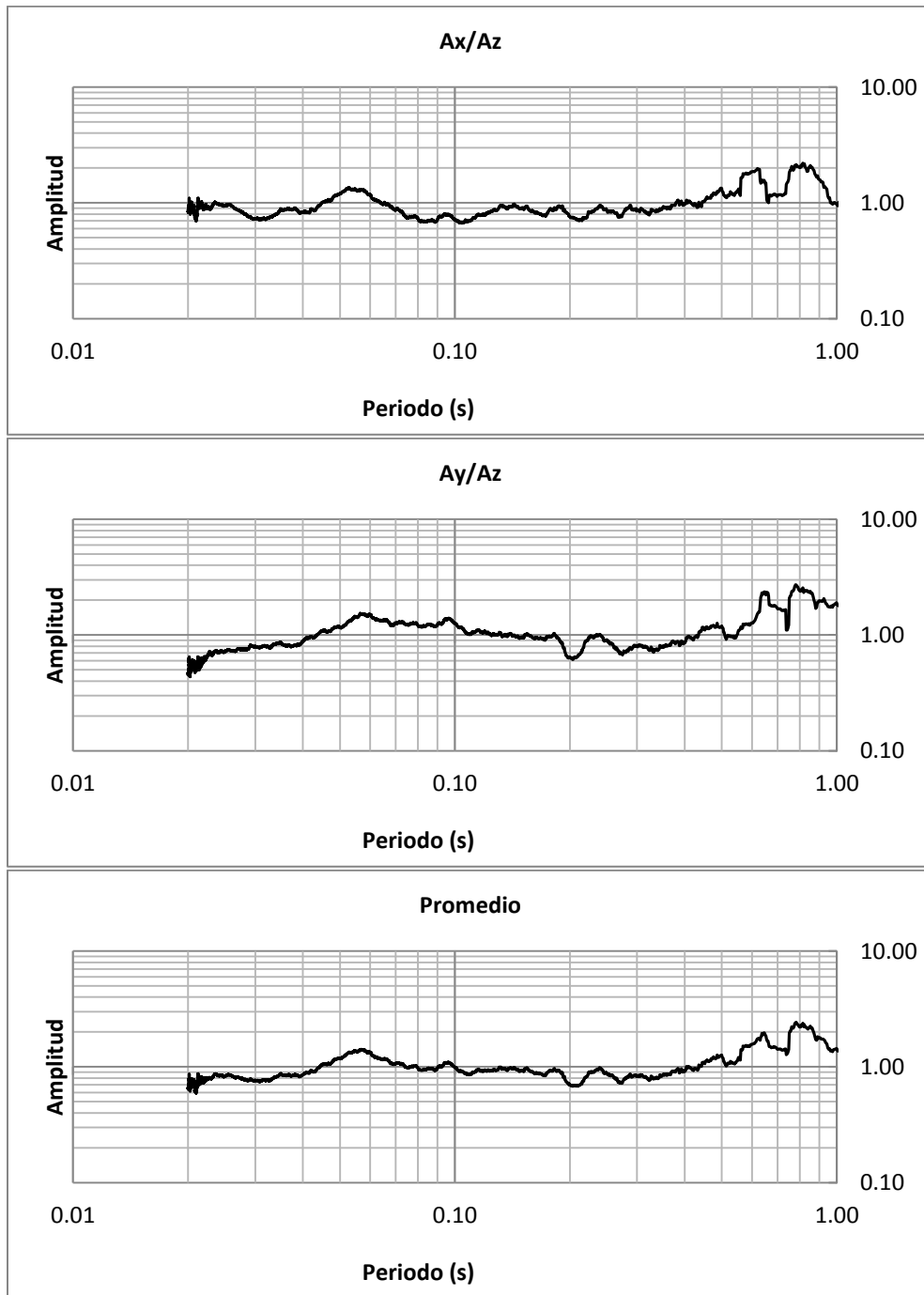


Figura 4.19 Coeficientes espectrales y promedio del registro LG005 (punto 27) ubicada Agua Caliente - Santa Anita

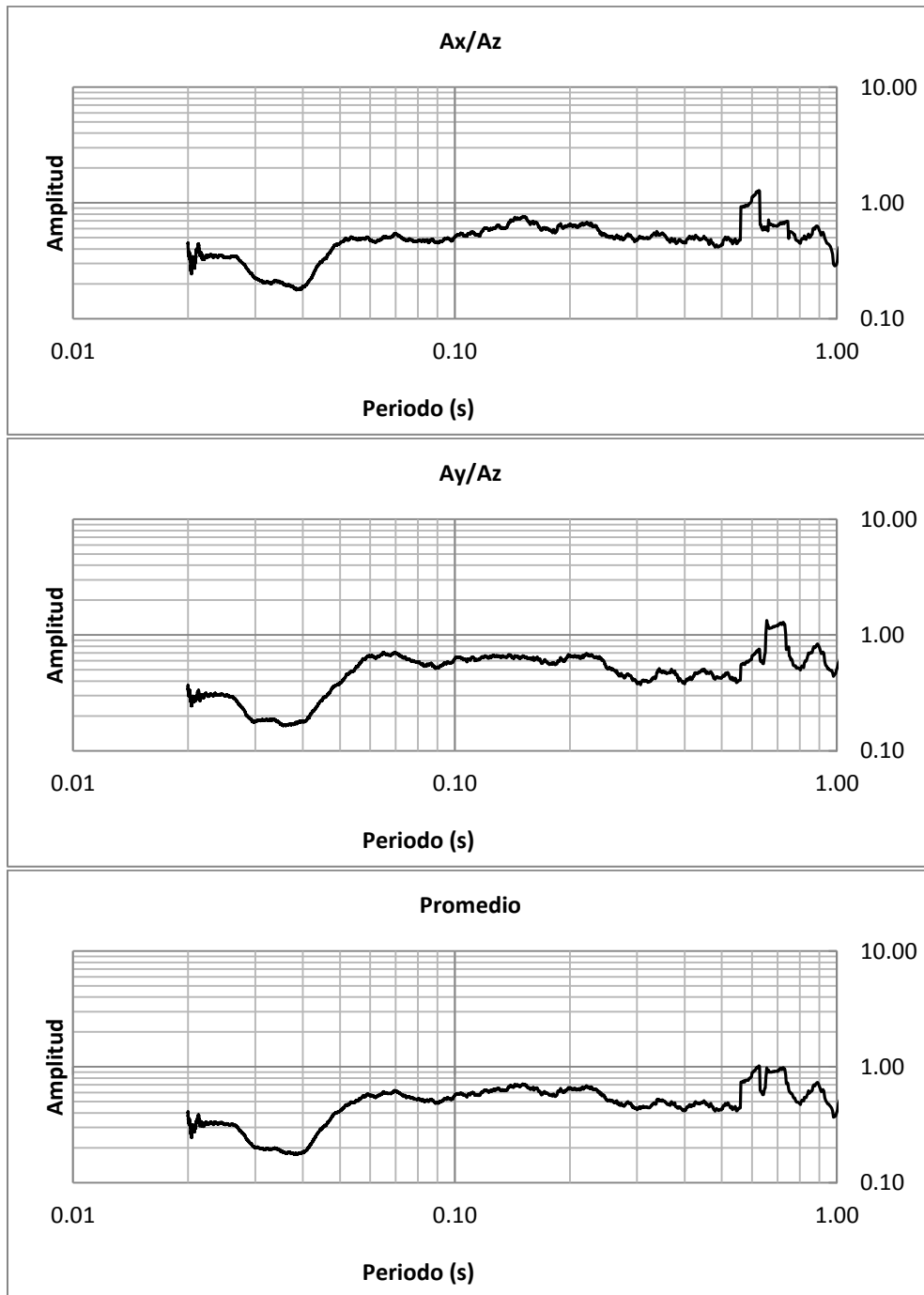


Figura 4.20 Coeficientes espectrales y promedio del registro LG017 (punto 33) ubicado en Camino Arenoso-Aquiles Serdán 101, Emilio Gustavo Baz

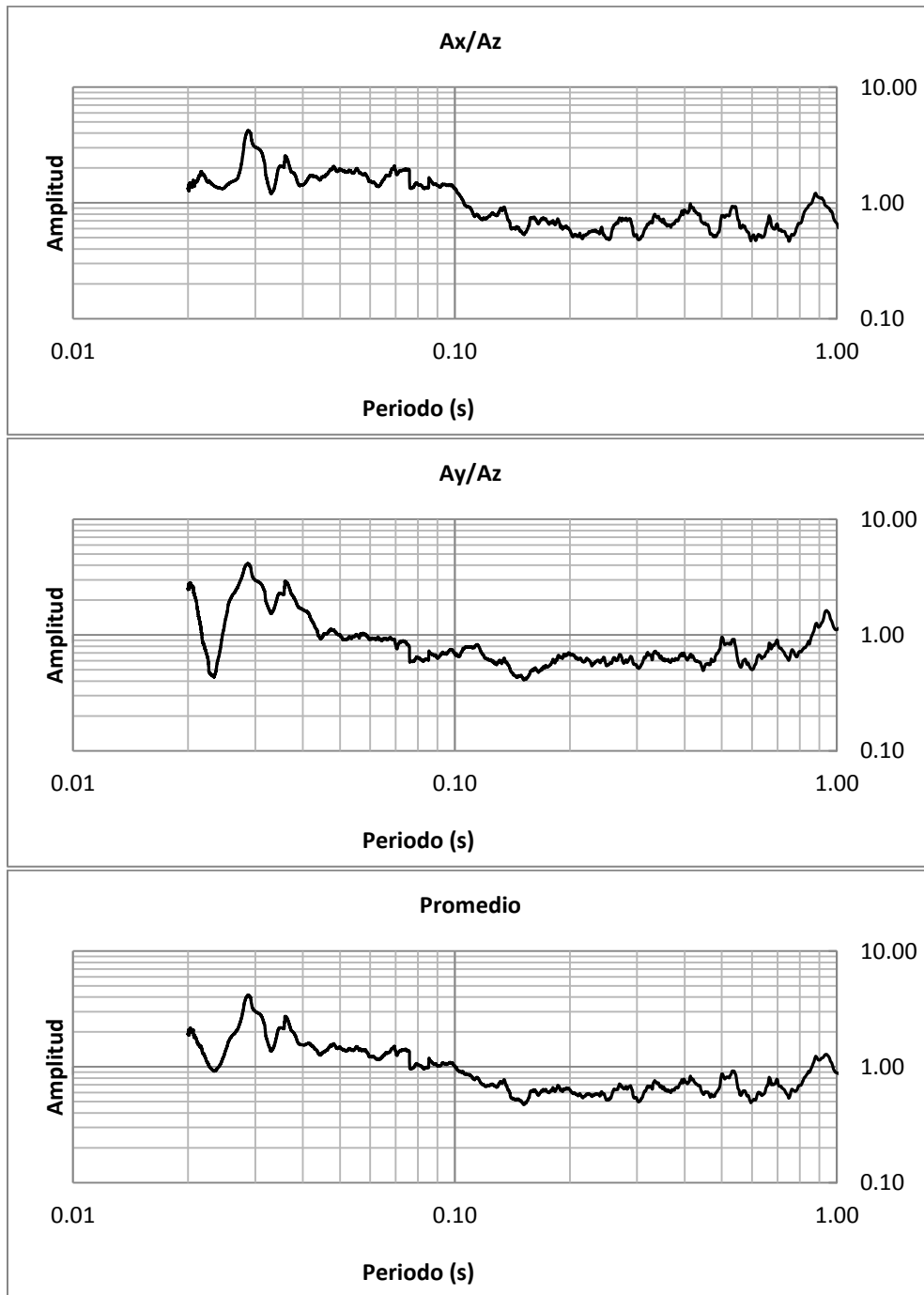


Figura 4.21 Coeficientes espectrales y promedio del registro LS014 (punto 46) ubicada en Presa Madín Orilla Calle 2

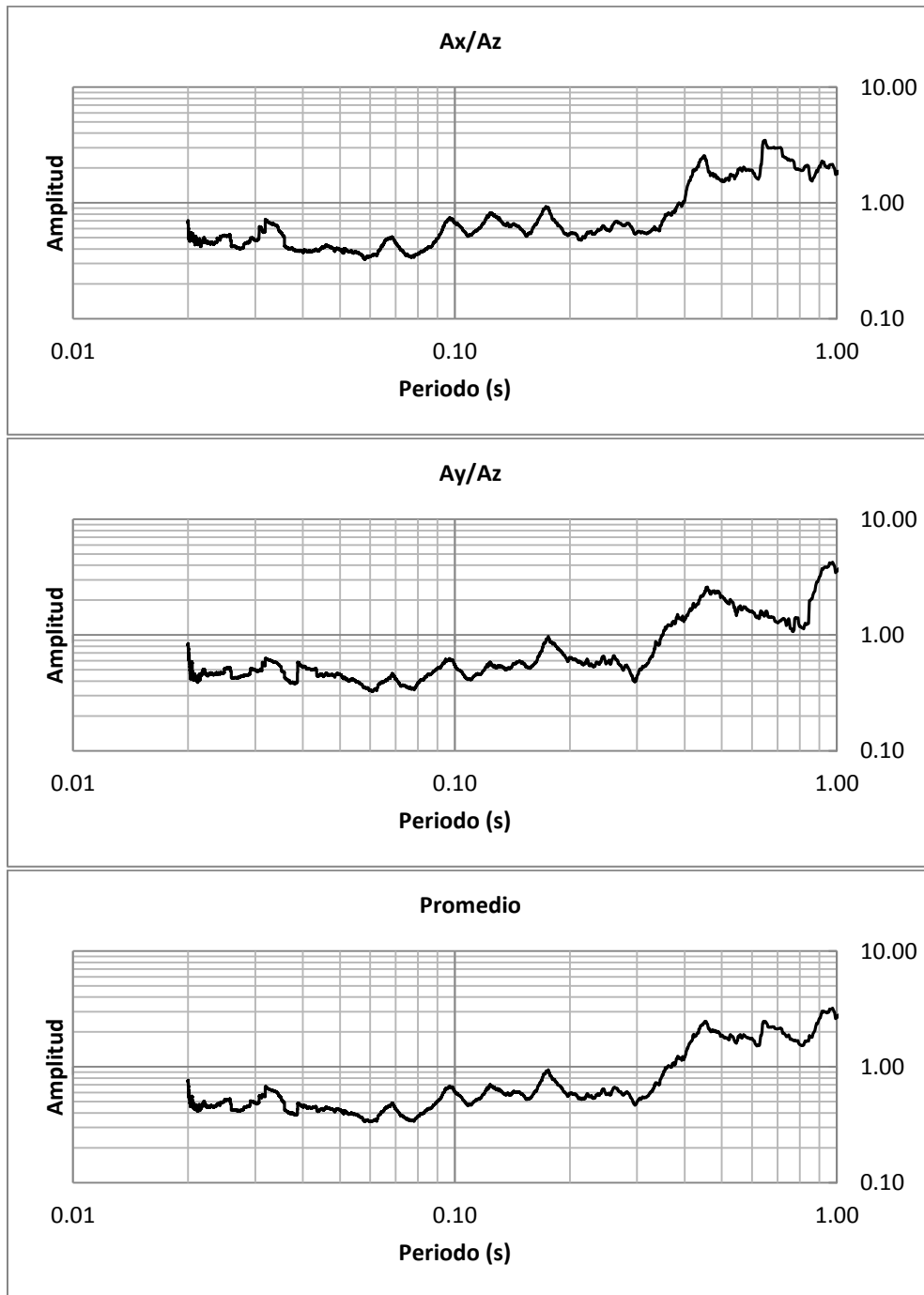


Figura 4.22 Coeficientes espectrales y promedio del registro LY003 (punto 52) ubicada en Río Toluca 13 - San Luis Tlatilco

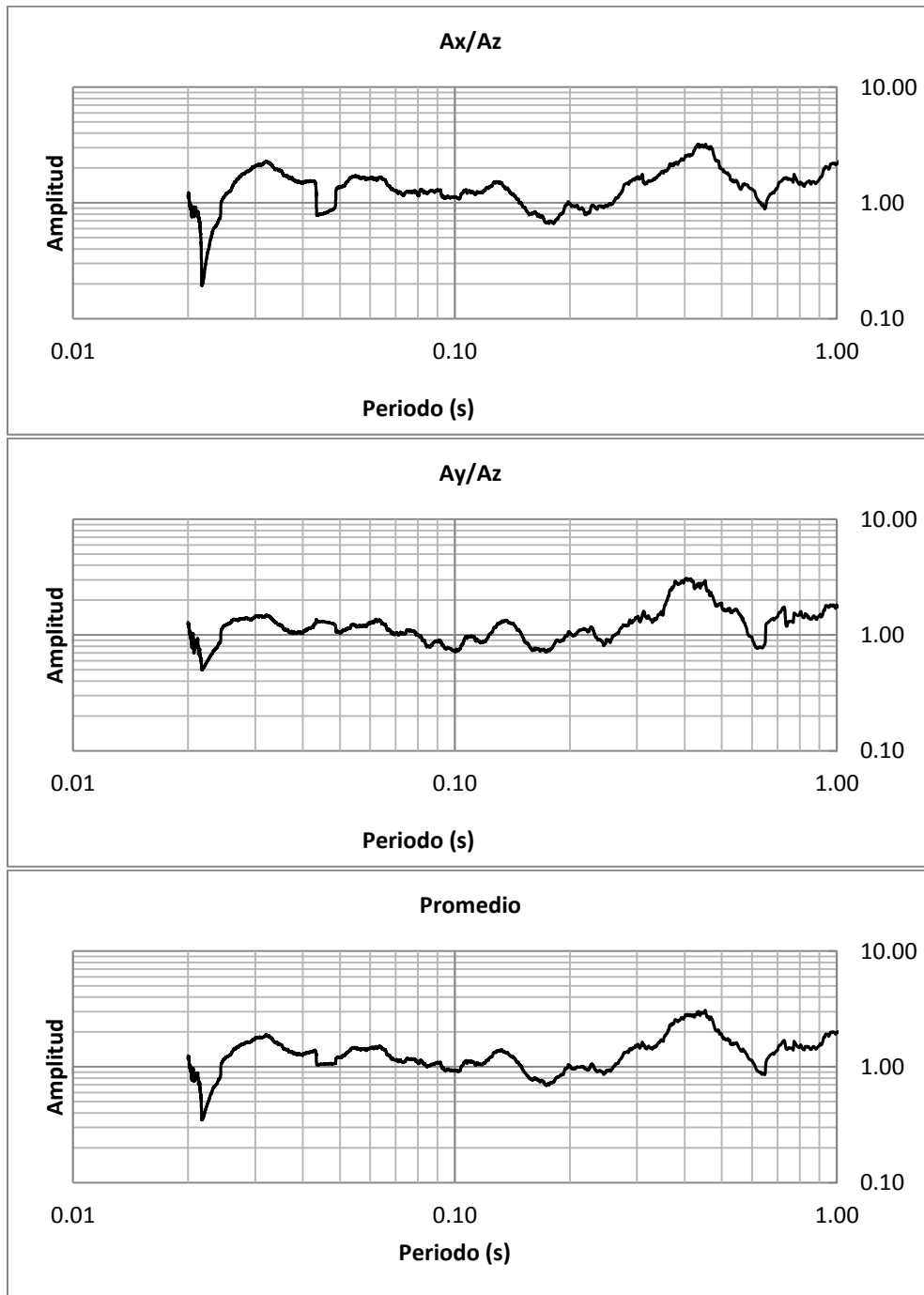


Figura 4.23 Coeficientes espectrales y promedio del registro MB008 (punto 60) ubicado en Carretera México - Toluca - Naucalpan, Km 12

V. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA PRELIMINAR

En zonas sísmicamente activas, como es el caso de la Ciudad de México y de la mayor parte de la República mexicana, es necesario tener en cuenta el efecto de sitio para fines de diseño sísmico. Hoy en día solamente las ciudades de México y Acapulco cuentan con normas técnicas complementarias para el diseño por sismo (NTCDS), las cuales tienen a su vez mapas de periodos dominantes del suelo (T_s) para fines de diseño sísmico. Para el caso de la Ciudad de México, ésta fue dividida en tres zonas principales (I, II y III), además la zona III se subdividió en cuatro subzonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId) (Jaramillo, 2013).

Es importante que no sólo en el Distrito Federal y parte del Estado de Guerrero existan este tipo de estudios tan fundamentales en cuestiones de seguridad, prevención sísmica y para la mitigación de desastres naturales. Es preciso tener una referencia de la vulnerabilidad sísmica que tienen las estructuras construidas y las futuras por proyectar, en el país o por lo menos en las zonas de mayor sismicidad.

5.1 PERIODOS DE VIBRACIÓN DEL TERRENO POR SITIO

En la tabla 5.1 se muestran los periodos de vibración (T) obtenidos a partir de las mediciones de vibración ambiental, determinados con los cocientes espectrales derivados de los espectros de Fourier en cada uno de los sitios donde se tomaron registros, además de las características generales de los 69 puntos. Se tiene que el periodo de mayor magnitud le pertenece al punto 21 (registro LE012), ubicado en la calle Victoria, colonia Las Armas, al Este del municipio; es decir, en los límites con el Distrito Federal (Delegación Azcapotzalco).

Tabla 5.1 Periodos (T) de vibración del terreno por sitio

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones	T (s)
1	16/04/2013	KA001	11:20	19°28'52.58"	99°14'48.61"	2268	Atrás de laboratorio de Análisis de Riesgos Naturales y Antropogénicos (pavimento)	0.630
2	16/04/2013	KA003	11:32	19°29'01.68"	99°14'57.24"	2273.1	Estacionamiento FES Acatlán (pavimento)	0.120
3	16/04/2013	KA007	11:54	19°29'08.51"	99°14'57.116"	2270.65	Teatro Javier Barros, FES Acatlán (banqueta)	0.350
4	16/04/2013	KA010	12:13	19°29'05.21"	99°14'39.432"	2274.21	Calle Yaquis, frente al estadio de soccer de la FES Acatlán (banqueta)	0.075
5	16/04/2013	KA011	12:27	19°28'55.640"	99°14'37.512"	2272.34	Av. Jardines de San Mateo	0.577
6	16/04/2013	KA012	12:38	19°28'59.872"	99°15'11.123"	2283.62	Av. Adolfo López Mateos, CFE (pavimento)	0.082
7	16/04/2013	KA013	12:46	19°29'25.176"	99°15'19.293"	2268.48	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (pavimento)	0.703
8	16/04/2013	KA014	12:50	19°29'25.176"	99°15'19.293"	2268.48	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (banqueta, tierra)	0.380
9	16/04/2013	KA015	13:00	19°30'01.195"	99°14'58.778"	2311.74	Av. Adolfo López y Av. Lomas Verdes (banqueta)	0.112
10	25/05/2013	KI003	12:50	19°29'5.859"	99°14'59.36"	2274.33	Estacionamiento, frente al Teatro Javier Barrios Sierra, FES Acatlán (Pasto/Suelo) - Atrás MEGA	0.310
11	25/05/2013	KI005	13:18	19°28'35.703"	99°13'17.709"	2262.35	Canal - Av. La Naranja	0.266
12	25/05/2013	KI007	13:39	19°29'9.954"	99°13'10.294"	2267.27	El Arroyuelo - Canal - Puente	0.130
13	25/05/2013	KI009	14:04	19°29'33.247"	99°13'14.842"	2266	Cerrada Grijalva - F. de Magallanes (banqueta)	0.162
14	25/05/2013	KI010	14:24	19°29'24.17"	99°13'29.78"	2267.23	Hacienda de la Encarnación - Hacienda Paseo Colón - Caseta de Policía	0.101
15	25/05/2013	KI012	14:40	19°29'48.251"	99°13'27.928"	2250	Calle Alonso Pinzón - Calzada San Agustín - Vaso Regulador El Cristo	0.109
16	25/05/2013	KI016	15:07	19°30'5.586"	99°13'21.591"	2258	Av. Gustavo Baz - Circunvalación - Frontera - Vaso Regulador El Cristo	0.108
17	30/05/2013	LE004	12:37	19°27'36.885"	99°11'34.886"	2241.91	Bodega Comercial Mexicana Tacuba Estacionamiento	0.492
18	30/05/2013	LE005	12:47	19°27'36.026"	99°12'09.196"	2241.74	Panteón Español Estacionamiento	0.741
19	30/05/2013	LE007	13:04	19°27'45.653"	99°12'42.695"	2248.75	Panteón Español Crematorio	0.745
20	30/05/2013	LE010	13:24	19°28'2.863"	99°12'53.930"	2247.97	Calle Gobernador Gustavo Baz 19 A	0.792
21	30/05/2013	LE012	13:41	19°28'21.6"	99°13'20.650"	2248.47	Victoria - Las Armas Junto-Canal	0.987
22	30/05/2013	LE013	13:51	19°28'30.623"	99°13'10.16"	2259.89	Calzada de Las Armas - Av. Adolfo López Mateos	0.745
23	30/05/2013	LE015	14:14	19°28'8.526"	99°12'43.328"	2246.83	San Isidro 642 - San Pedro Xalpa	0.700
24	30/05/2013	LE017	14:35	19°29'48.840"	99°12.519'	2245.69	Zempoaltecas 145, Col. Hacienda del Rosario	0.653

Propuesta de microzonificación sísmica del municipio de Naucalpan

25	30/05/2013	LE020	15:09	19°30'2.895"	99°12'23.890"	2246.66	Av. Hacienda el Rosario - Hacienda de Sotelo	0.688
26	03/06/2013	LG001	12:31	19°28'52.322"	99°14'48.761"	2270.51	Fes Acatlán, UIM	0.610
27	03/06/2013	LG005	13:17	19°26'04.36"	99°13'55.19"	2336.41	Agua Caliente - Santa Anita	0.790
28	03/06/2013	LG007	13:35	19°25'39.35"	99°14'11.23"	2313.15	Av. Fuente de los Leones #65	0.240
29	03/06/2013	LG009	13:50	19°25.256'	99°14.720'	2348	Bosque de Belén - Avenida la Herradura	0.750
30	03/06/2013	LG010	13:55	19°25'15.36"	99°14'43.2"	2348	Bosque de Belén - Avenida la Herradura	0.720
31	03/06/2013	LG011	02:06	19°25'11.40"	99°15'29.68"	2407.35	Bosque del Rey #6 - Bosque de La Antequera	0.650
32	03/06/2013	LG014	02:30	19°25'14.05"	99°15'53.522"	2431.26	Bosque de Minas #21 - Hacienda Salamanca	0.730
33	03/06/2013	LG017	14:52	19°25'39.615"	99°15'15.83"	2437.1	Camino Arenoso frente al tanque Lázaro Cárdenas, Aquiles Serdán 101, Emilio Gustavo Baz	0.630
34	03/06/2013	LG018	15:05	19°26'07.05"	99°15'01.56"	2349.6	Av. Naucalpan - Camino Arenoso	0.730
35	05/06/2013	LI004	12:19	19°29'12.97"	99°13'2.4"	2249.8	De Las Armas - Eje 3 Calzada San Isidro, Módulo de Participación Ciudadana	0.200
36	05/06/2013	LI007	12:44	19°29'53.355"	99°12'46.957"	2247.22	Zempoaltecas - Hacienda del Dorado	0.840
37	05/06/2013	LI008	13:04	19°30'24.719"	99°12'35.017"	2242	Av. Aquiles Serdán - Rancho de en medio, Cd. Azcapotzalco	0.510
38	05/06/2013	LI013	13:39	19°31'11.095"	99°12'47.966"	2278	Calle Viveros de la colina No.66	0.650
39	05/06/2013	LI015	14:02	19°30'39.159"	99°13'16.908"	2255	Calle del Cristo 101 Col. Xoxoyahualco	0.570
40	05/06/2013	LI017	14:33	19°30'59.090"	99°13'46.626"	2262.89	Circuito Científicos 26 Col. Satélite	0.810
41	05/06/2013	LI020	14:58	19°31'08.762"	99°14'30.070"	2320.3	Circuito Educadores - Justo Sierra	0.180
42	05/06/2013	LI023	15:28	19°31'10.599"	99°15'10.079"	2324.92	Av. Fuentes de Satélite 25	0.450
43	07/06/2013	LS004	11:23	19°31'22.527"	99°16'13.167"	2400.8	Calle de la Acordada 771, "ladera", junto a la Iglesia y frente a la falla geológica	0.050
44	07/06/2013	LS007	11:58	19°31'04.086"	99°16'33.227"	2450	Calle de las Capuchinas 66 Casa Verde	0.740
45	07/06/2013	LS011	12:30	19°31'36.838"	99°15'35.283"	2338	Presa Madín Cortina	0.270
46	07/06/2013	LS014	13:02	19°31'42.47"	99°16'02.286"	2352	Presa Madín Orilla Calle 2	0.028
47	07/06/2013	LS017	13:27	19°31'21.74"	99°16'10.514"	2383	Acceso a Carretera Chamapa Lechería, falla geológica	0.036
48	07/06/2013	LS025	14:32	19°30'28.72"	99°16'09.96"	2408	Zenzontle - Quetzal, Av. Lomas Verdes	0.680
49	07/06/2013	LS028	14:59	19°30'32"	99°15'41.811"	2360	Av. Lomas Verdes, cerca de la UVM	0.845
50	14/06/2013	LU005	11:38	19°27'58.516"	99°13'03.086"	2257.6	Av. De las torres No. 68	0.715
51	14/06/2013	LY001	12:38	19°28'05.501"	99°13'43.650"	2268.6	Jacobo Gutiérrez 74 San Andrés Atoto, frente tanque de concreto OAPAS	0.811
52	14/06/2013	LY003	12:59	19°28'00.86"	99°14'21.709"	2283.68	Río Toluca 13 - San Luis Tlatilco	0.455

Propuesta de microzonificación sísmica del municipio de Naucalpan

53	14/06/2013	LY006	13:26	19°27'39.33"	99°15'06.61"	2311.53	Calle Las Torres, CFE, Colonia Lomas de San Agustín	0.666
54	14/06/2013	LY009	13:45	19°27'25.7"	99°15'42.73"	2352.37	Diagonal Av. Minas de Palacio frente al puente peatonal, salida a Toluca	0.571
55	14/06/2013	LY011	14:03	19°27'09.56"	99°16'17.347"	2385.16	Boulevard Luis Donaldo Colosio CP 53660, San Rafael Chamapa	0.070
56	14/06/2013	LY013	14:30	19°27'11.370"	99°16'59.911"	2381.3	Prolongación Vertedero, Colonia La Presa, exactamente entre el vertedero y la corona de la cortina	0.055
57	28/06/2013	MB003	13:20	19°26'31.97"	99°17'48.81"	2467.66	Prolongación Olímpica libre México - Toluca - Naucalpan, Libramiento Chamapa	0.130
58	28/06/2013	MB004	13:30	19°26'07.3'	99°18'19"	2527.5	Carretera México - Toluca - Naucalpan, 130 a 50 m de la mina La Colorada Km 10	0.023
59	28/06/2013	MB007	13:57	19°26'11.73"	99°19'01.80'	2584.6	Carretera - México - Toluca Km 11	0.051
60	28/06/2013	MB008	14:08	19°26'13.320"	99°19'22.807"	2625	Carretera México - Toluca - Naucalpan, Km 12 al lado de puente peatonal, cerro	0.454
61	28/06/2013	MB010	14:27	19°26'23.7"	99°19'29.9"	2686	Carretera México - Toluca Km 13.2 frente a la cocina la Joya pasando la salida a Huixquilucan	0.161
62	28/06/2013	MB013	14:47	19°26'31.605"	99°19'07.266"	2729.59	Carretera México - Toluca Km 14	0.635
63	23/08/2003	NB003	11:59	19°28'53.9"	99°14'26.26"	2285	Av. De los Remedios 20, 5340, Frac. De las Américas	0.832
64	23/08/2003	NB005	12:27	19°28'02.7"	99°15'26.5"	2333	José Ma. Morelos 38, Los Remedios, "Los Arcos"	0.849
65	23/08/2003	NB008	12:53	19°28'37.05"	99°16'31.3"	2343	Av. De los Arcos 548, Paseos del Bosque	0.628
66	23/08/2003	NB010	13:10	19°28'16.2"	99°16'39.1"	2352	Av. De los Arcos 575, Paseos del Bosque	0.709
67	23/08/2003	NB012	13:34	19°28'30.14"	99°17'10.6"	2400	Camino a los Cipreces, frente al PanteonGayosso	0.712
68	23/08/2003	NC002	14:11	19°28'20.26"	99°17'44.5"	2497	Emiliano Zapata, Presa las Julianas	0.645
69	23/08/2003	NC006	14:56	19°28'04.58"	99°18'41.39"	2554	Calle las Animas, Entre Universidad Justo Sierra y caseta a carretera	0.491

5.2 MAPA DE ISOPERIODOS

Los microtemores son vibraciones de amplitudes bajas del suelo, estas están conformadas por ondas internas y superficiales, las cuales pueden ser de periodo largo, mayor a 1 s (ondas Rayleigh y ondas Love, producidas por efectos naturales) o periodo corto, es decir menor a 1 s generadas por fuentes de tipo antrópico (tránsito vehicular, maquinaria pesada, platas industriales).

El mapa de isoperiodos como resultado de los estudios de vibración ambiental se muestra en la figura 5.1, la cual se realizó mediante el programa Surfer V9, en donde se puede observar que en la parte alta del municipio (Oeste) le corresponden periodos cortos, mientras que en la zona urbana y baja (centro y Este) se observan periodos con mayor consideración.

Se observa que los periodos dominantes corresponden a las formaciones geológicas de los suelos que conforman el municipio de Naucalpan, con respecto a esto en las partes altas del municipio, en donde predominan rocas volcánicas y piroclásticas, constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas, se tienen periodos por debajo de 0.3 segundos, estos sitios lo constituyen Lomas Verdes, Ciudad Satélite, Carretera Toluca-Naucalpan, y parte Huixquilucan.

Contrastando con las partes bajas de Naucalpan, en donde predomina la Formación Tarango y Becerra, constituidas por arena limosa con arcilla, se tienen periodos dominantes mayores a 0.3 s dependiendo del espesor, alcanzando estimaciones de hasta 0.97 s. Estas zonas corresponden a Naucalpan Centro, Conscripto, Gustavo Baz y en general en los límites con las delegaciones Azcapotzalco y Miguel Hidalgo del Distrito Federal.

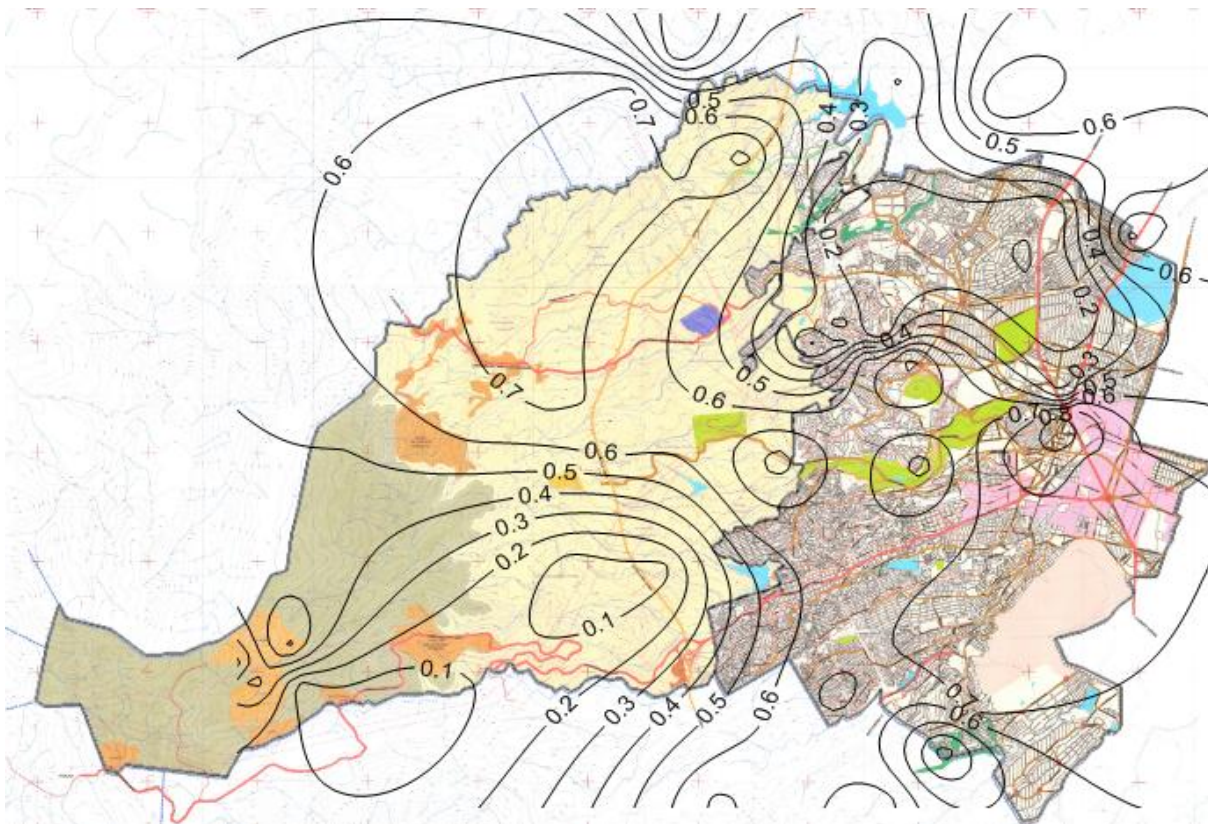


Figura 5.1 Mapa de isoperiodos

5.3 MAPA DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

A partir del mapa de isoperiodos se pueden estimar dos zonas de acuerdo a la constitución geológica de los suelos, también tomando en cuenta las características dinámicas del suelo así como el posible amaneramiento de algunos tipos de estructuras que se encuentran dentro del territorio de Naucalpan. Conforme a lo anterior se puede distinguir la Zona I, correspondiente a suelo firme y la Zona II, suelo de transición, teniendo como antecedente el trabajo de Rivera *et al.*,(2009), las cuales se describen a continuación.

En la figura 5.2 se muestra una zonificación del municipio de Naucalpan en función de las curvas de isoperiodos, de tal forma, que la Zona I correspondería a los colores correspondientes en verde y amarillo, mientras que la Zona II estaría representada por los colores naranjas y rosas. De esta manera se puede observar que los periodos fundamentales de vibración oscilan entre 0.44 s y 0.76 s, aproximadamente, en los límites con las delegaciones del Distrito Federal de acuerdo a la gama de colores del mapa.

5.3.1 Zona I

Dado que esta zona está diferenciada por suelos de origen volcánico (rocas volcánicas y piroclásticas, constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas) en donde predominan periodos dominantes de vibración por debajo de 0.3 segundos, y por lo tanto, teniendo en consideración la teoría para obtener una estimación aproximada del periodo de los edificios, dividiendo el número de pisos entre diez, se debe tener cuidado en las construcciones de 1 a 3 niveles, ante un posible fenómeno de resonancia (cuando el periodo del suelo coincide con el de la estructura), entre ellas están las viviendas, considerando que la mayoría de ellas son autoconstruidas y construcciones históricas.

5.3.2 Zona II

A esta zona le pertenecen sitios con periodos dominantes de vibración del suelo que fluctúan entre 0.3 s y 0.97 s, por lo tanto es preciso tener cuidado en los edificios de 3 a 10 niveles, dentro de ellos están los hospitales, centros de salud, escuelas, oficinas, edificios de gobierno, edificios industriales o de comercio. La zona está caracterizada por depósitos aluviales y fluviales interpuestos con suelos de origen volcánico, con espesores de hasta 10 metros.

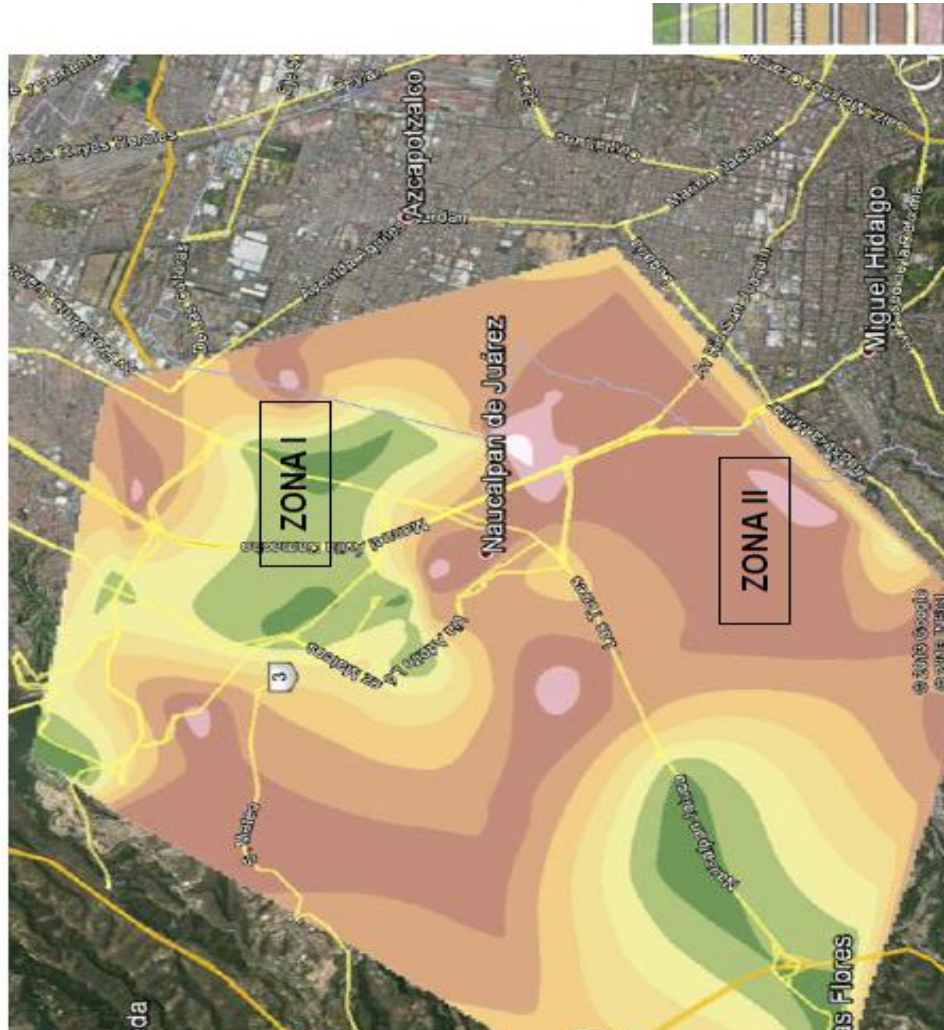
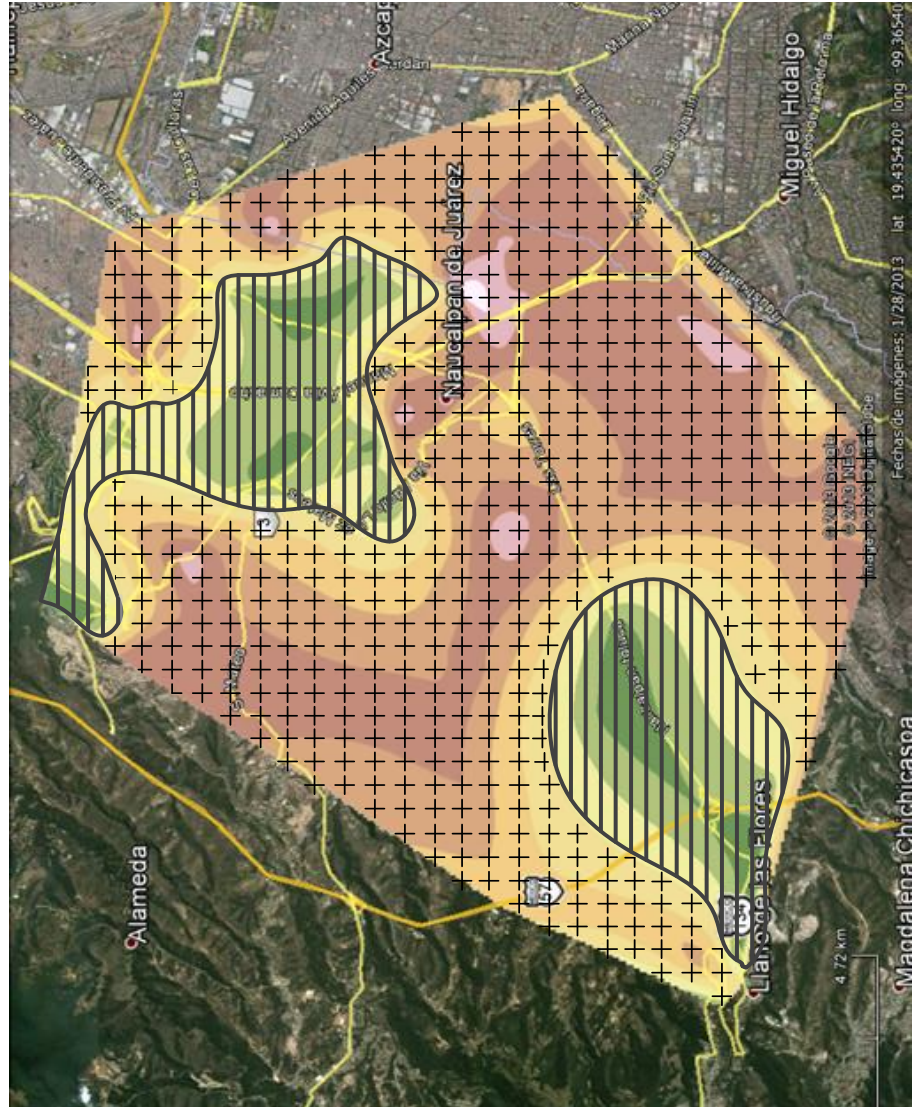


Figura 5.2 Mapa de microzonificación sísmica

Ahora bien, tomando en cuenta las curvas de isoperiodos y delimitando el área de cada una de las zonas, la propuesta de microzonificación sísmica definitiva del municipio de Naucalpan, se observaría de la siguiente manera en la figura 5.3.



ZONA I ZONA II

Figura 5.3 Mapa de microzonificación sísmica

VI. CONCLUSIONES

Naucalpan es uno de los municipios más importantes para el Estado de México, debido a que tiene una significativa aportación económica, el Producto Interno Bruto representa aproximadamente, el 12.5 % del PIB del Estado de México y el 0.9 % del PIB nacional, su pilar se apoya en el sector terciario y secundario. También se puede resaltar los sitios de interés dentro del municipio, tal como; la zona de Toreo, donde se ubica la estación terminal del Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Línea 2, Cuatro caminos y el Paradero del Metro Toreo donde se sitúan líneas de microbuses, autobuses urbanos y suburbanos con distintos destinos locales y regionales, la zona de Satélite, zonas industriales, la Basílica de los remedios, San Juan Totoltepec, las Pirámides del Conde, el cerro de Moctezuma, el museo Tlatilca, las torres de Satélite, el acueducto de los Remedios y el teatro Bicentenario.

El territorio de Naucalpan forma parte del Eje Neovolcánico Transversal Mexicano, en la parte central. Lo que lo hace vulnerable al estar dentro de la zona de peligro sísmico, y ser afectado por fuentes como: la proveniente de la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental (provoca sismos de $M > 7.0$); por fuentes locales, las grietas de “Echegaray” y la “Florida”, dado que forman un graben que puede originar deslizamientos o eventos sísmicos; al mismo tiempo el municipio se ve afectado por la Fosa de Acambay que en el año de 1912, produjo movimientos de las fallas geológicas al grado de generar un sismo de magnitud $M = 7.0$ en la escala de Richter. Adicionalmente, Naucalpan también se podría ver perjudicado por las vibraciones ocasionadas por: el Popocatepetl, la falla de Tehuacán, Puebla y por el graben de Cuautitlán.

Se concluye con base a los estudios de mecánica de suelos consultados, la estratigrafía del lugar; en donde el subsuelo de las partes altas está caracterizado por rocas volcánicas y piroclásticas con una sucesión de tobas, brechas volcánicas y lavas. En cambio las partes bajas están constituidas principalmente por depósitos de suelos de las formaciones Tarango y Becerra, predominando arena limosa con arcilla.

El mapa de isoperiodos se obtuvo a partir de la aplicación de la técnica de Nakamura, es decir, la relación que existe entre las aceleraciones horizontales y la vertical, la configuración del mapa es la siguiente:

- En las zonas altas se decretaron periodos inferiores a 0.30 s, los sitios que se destacan son Lomas Verdes, Ciudad Satélite y Carretera Toluca-Naucalpan

- En las zonas bajas se definieron valores superiores a 0.30 s hasta alcanzar los 0.97 s, los lugares que sobresalen son Naucalpan Centro, Conscripto, Gustavo Baz y los límites con las delegaciones del Distrito Federal, Azcapotzalco y Miguel Hidalgo.

El desarrollo del presente trabajo ha permitido proponer una microzonificación sísmica preliminar, derivándose del mapa de isoperiodos y con ayuda de las características geológicas y geotécnicas del municipio y con base a los resultados obtenidos de la vibración ambiental, se trazó un mapa en donde se puede determinar una microzonificación preliminar. Las zonas que se definieron son:

- **Zona I.** Esta zona está constituida por suelos de origen volcánico (rocas volcánicas y piroclásticas, constituidas por secuencias de tobas, brechas volcánicas y lavas) en donde predominan periodos dominantes de vibración por debajo de 0.30 segundos.
- **Zona II.** A esta zona le pertenecen sitios con periodos dominantes de vibración del suelo que oscilan entre 0.30 s y 0.97 s. La zona está caracterizada por depósitos aluviales y fluviales interpuestos con suelos de origen volcánico.

Se recomienda hacer una segunda etapa de esta propuesta para actualizar y completar el mapa de isoperiodos, así como el de microzonificación sísmica y obtener una mejor representación del comportamiento dinámico del suelo, puesto que hay zonas del municipio en las que no se tomó registro de vibración ambiental. Asimismo puede ser el inicio del estudio a futuro para el desarrollo de Leyes de atenuación, así como la evaluación del peligro sísmico y vulnerabilidad de las estructuras.

De igual manera puede realizarse una propuesta para integrar un apartado al Plan de Desarrollo Urbano del municipio de Naucalpan sobre la vulnerabilidad sísmica a partir de la propuesta de microzonificación sísmica, ya que no se maneja este tipo de evaluación.

La investigación realizada también puede servir como complemento al mapa de microzonificación sísmica de las NTC (2004) para Diseño por Sísmo, en la parte Nor-Oriente del Valle México (donde se considera Zona I con $T_s = 0.5$ s), ya que se obtuvieron periodos fundamentales que varían desde 0.490 s a 0.987 s en las fronteras entre Naucalpan y la Delegación Azcapotzalco del D.F. Lo que indica que al Noroeste de la ciudad aún se extienden suelos blandos de transición (Zona II para las NTC - DS, 2004) y por lo tanto periodos mayores a 0.5 s. Estos registros pertenecen a la Campaña de medición No. 3 (en el Anexo 2 se muestran los puntos 20, 21 y 24 de esta campaña).

Por último este estudio serviría como ayuda para el Ingeniero estructural, dándose una idea del periodo fundamental del suelo y evitar el acoplamiento de éste con el de la estructura a efecto de prevenir fenómenos de resonancia.

REFERENCIAS

- Ajofrím, F. (1763). "*Diario del viaje de la Nueva España*" (Introducción, selección y notas de H. Moreno). Colección Cien de México, Secretaría de Educación Pública, México, 1986.
- Arellano, A. R. (1953). "*Estratigrafía de la Cuenca de México*". Congreso Científico Mexicano, México, Vol. 3, pp. 172-187.
- Arroyo, R., Guinto E. R., Quiun D., Rodríguez M., Salgado A., Sánchez S. (2010). "*Estudio de las características físicas y de vibración ambiental de la vivienda guerrerense de adobe*". La vivienda guerrerense de adobe, Primera edición, Editorial ediciones e impresiones S.A de C.V, ISBN 978-607-00-31588, Universidad Autónoma de Guerrero, Chilpancingo Guerrero, México, pp. 187.
- Bazán E. y Meli R. (2011). "*Diseño sísmico de edificios*". Editorial Limusa, México D.F.
- Badillo, J., Rodríguez, R. (2010). "*Mecánica de suelos Tomo 1 Fundamentos de la Macánica de suelos*". Editorial Limusa.
- Bendat y Piersol (1986). "Random Data, Analysis and Measurement Procedures". Segunda edición, A. Wiley-Interscience Publication JOHN WILEY AND SONS.
- Bernal, Y. (2006). "*Microzonificación sísmica de la ciudad de Tlaxcala*". Tesis de Maestría, Posgrado de Ciencias de la Tierra, UNAM, México.
- Bryan, K. (1948). "*Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos*". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 13.
- Cervantes de Salazar, F. (1555). "*La vida en México en 1554*". Editorial Porrúa, México, 1978.
- CFE. (2008). "*Manual de Obras Civiles, Diseño por Sismo*". Comisión Federal de Electricidad, pp. 11-12.
- Chávez-García, J., L. R. Sánchez y D. Hatzfeld (1996). "*Topographic site effects and HVSR. A comparision between observations and theory*". Bull. Seism. Soc. Am. 86, 1556-1573.
- Chávez, J. M. (2008). "*Atlas multidisciplinario y de riesgo geotécnico de la zona conurbada al norponiente del valle de México*". Academia de Ingeniería(AI), México.
- Comunicación personal. Dr. José María Chávez, 2014.
- Crespo Villalaz, C. (2002). "*Mecánica de suelos y cimentaciones*". Editorial Limusa, Cuarte edición, México.

- Das, Braja M. (2001). *"Fundamentos de Ingeniería Geotécnica"*. Editorial Thomson Learning, México
- De Cserna, Z. et al. (1988). *"Estructura geológica, gravimétrica, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México"*. Instituto de Geología, UNAM, México, D. F., Boletín 104, pp. 71.
- Díaz, J. (2006). *"Los suelos lacustres de la Ciudad de México"*. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, Vol. 6(2), Facultad de Ingeniería, UNAM, México D. F.
- Dirección General de Urbanismo 2006-2009. *"Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Naucalpan de Juárez 2006 - 2009"*, Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Dirección General de Urbanismo 2013-2015. *"Plan de Desarrollo Urbano de Naucalpan de Juárez 2013 - 2015"*, Municipio de Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Fries, C. Jr. (1960). *"Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región de México"*. Instituto de Geología, UNAM, México, Boletín 60, pp. 23.
- Fries, C. Jr. (1962). *"Resumen de la Geología de la Hoja Pachuca, Estados de Hidalgo y México"*. Hoja Pachuca 14 Q-c (11), Esc. 1:100 000, Instituto de Geología, UNAM, México, D.F.
- García Acosta, V. y Suárez Reinoso, G. (1996). *"Los sismos en la historia de México"*. Tomo 1, UNAM, CIESAS, Fondo de Cultura Económica, México.
- Gómez Chavez, S. (2007). *"Análisis sísmico moderno: Ética aplicada"*. Editorial Trillas, México.
- González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortoño, L., Oteo, C. (2004). *"Ingeniería Geotécnica"*. Editorial Pearson, Madrid, España.
- Gutiérrez, C., Quaas, R., Ordaz, M., Guevara, E., Muría, D., Singh, S. k. (2013). *"Fascículo Sismos"*. CENAPRED, México.
- Hass, H. (1978). *Naucalpan, Tallnepantla, Ecatepec, Atizapán, Villa Nicolás Romero, "El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del valle de México". Simposio sobre la ingeniería de cimentaciones en el Valle de México. Editorial SMMS, México.*
- Hernández J. L. (1998), *"Procesamiento y análisis de los registros sísmicos obtenidos entre 1993 y 1997 en un edificio de 14 niveles de la ciudad de México"*, Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Hernández J. J., Jaimes M. A., Huerta B. y Quiroga S. R. (2012). *"Cien años del sismo de Acambay"*. ERNtérate Nota de Interés, Evaluación de Riesgos Naturales, ern.com.mx
- Kanai, K. y T. Tanaka, (1954), *"Measurement of the microtremor"*, Bull Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ., Vol. 32, pp. 199-209.

- Leet, Lewis D., Judson, S. (1980). *"Fundamentos de Geología Física"*. Editorial Limusa, México.
- Legget, R., Karrow, P. (1986). *"Geología aplicada a la Ingeniería Civil. Glosario de términos geológicos"*. Editorial Mc Graw-Hill, México.
- Lermo J. y Chávez-García F. J. (1994). *"Site effect evaluation at Mexico City: dominant period relative amplification from strong motion and microtremor records"*. Soil dynamics and Earthquake Engineering, 13, pp. 413-423.
- Lermo, J., Cuenca, J., Chávez-García, F.J., Huidobro, A., Bermúdez, M.L., Rodríguez, M., Quaas, R., Sanchez-Sesma, F.J., Nava, E., Mijares, H., Briones, E. (1995). *"Características espectrales de temblores Tipo-A, Tipo-B y tremores asociados a la erupción del Volcán Popocatepetl"*, CENAPRED-UNAM (ed.), Volcán Popocatepetl, Estudios realizados durante la crisis de 1994-1995: México, D.F., pp. 139-166.
- Lermo, J., Yanet, A., y Marcos, C. (1994-1997). *"Análisis de la actividad sísmica en el Volcán Popocatepetl (México) durante el periodo 1994-1997"*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana Número Especial de Geología Urbana Tomo LVIII, Núm. 2, 2006, pp. 253-257
- Leyva, R. (2004), *"Obtención de las curvas de isoperiodos de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río"*. Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana, México.
- Marín-Córdova S. y Aguayo-Camargo J. E. (1989). *"Evolución geológica de la Cuenca de México e importancia de sus rasgos estructurales"*. Ecología Urbana (volumen especial), Sociedad Mexicana de Historia Natural, México.
- Marín-Córdova S., C. J. E. Aguayo y V. J. Mandujano (1986). *"Sistemas mayores de fallamiento en la Cuenca de México y su relación con la sismicidad"*. Resúmenes de la VIII Convención Geológica Nacional, México, D. F.
- Marín, S., Campos, O., y Moro, M. (2003). *"Neotectonic related geolical risk at dams in the Mexico Basin: Guadalupe dam"*. Geofísica Internacional (2004), Vol. 43, Núm. 3, pp. 435-443.
- Martínez, D. (2012). *"Estudio del Movimiento sísmico del municipio de Naucalpan"*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, FES Acatlán, UNAM.
- Melgoza. (1978). *"El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México"*. Simposio sobre la ingeniería de cimentaciones en el Valle de México, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, pp. 165-175.
- Mooser, F. (1963). *"La cuenca lacustre del Valle de México"*. Mesas Redondas sobre Problemas del Valle de México, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A. C. México., pp. 12-16.

- Mooser, F., Nair, A.E.M., Negendank, J.F.W. (1974), "*Paleomagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks; VII, A paleomagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of Mexico: Geologische Rundschau*".
- Nakamura, Y. (1989). "*A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*". Quarterly Report of RTRI, Núm 30. Japón: RTRI.
- Nakamura, Y. (2000). "*Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications*". 12th World Conference on Earthquake Engineering, Nueva Zelanda.
- Okada, H. (2003). "*The Microtremor Survey Method*", Geophysical monograph series, No. 12, Society of exploration geophysicists, pp. 135.
- Read, H., Watson, J. (1978). "*Introducción a la Geología*". Editorial Alhambra, Tercera edición, España.
- Reinoso, E. (2000), "*Estudios para la Microzonificación*". Memorias del VI Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica y II reunión sobre la enseñanza de la Ingeniería Sísmica en México, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A. C., México.
- Riquer, G. F. Williams, J. Lermo, G. Torres y R. Leyva (2003), "Microzonificación sísmica en la zona conurbada Veracruz-Boca del Río", XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, Gto., México.
- Rivera, D. (2000). "*Análisis de la respuesta sísmica en la Catedral Metropolitana de la Ciudad de México*". Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, División de Estudios de Posgrado, UNAM, México, D. F.
- Rivera, D., Arce, C. y Martínez, D. (2009). "*Estudio del peligro sísmico en el Municipio de Naucalpan*". XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Nacional de Ingeniería Sísmica, Puebla, Puebla, México.
- Rivera, D., Arce, C. y Zetina, J. (2013). "*Propuesta de microzonificación sísmica para el municipio de naucalpan*". Memorias del XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Boca del Río, Veracruz, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, México.
- Rivera, J. (2013). "*Método H/V para la reconfiguración del mapa de periodos predominantes del suelo del DF para diseño por sismo*". Revista Geotecnia 227, Marzo-Mayo 2013, Órgano oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería, Geotécnica, A. C., México, pp. 19-23.
- Rosenblueth, E., Newmark, N. (1982). "*Fundamentos de Ingeniería sísmica*". Editprial Diana, Tercera edición, México.
- Santana, H. (2008). "*Agrietamiento en la zona de Naucalpan*". Tesina para obtener el título de Ingeniero Civil, FES Acatlán, UNAM, México.

- Santoyo, E., Ovando, E., Mooser, F., y León, E. (2005). "*Síntesis geotécnica de la cuenca del Valle de México*". TGC, México, D. F.
- Sauter, F. (1989). "*Introducción a la sismología*". Fundamentos de Ingeniería Sísmica I, Editorial Tecnológica de Costa Rica, pp. 271.
- Schlaepfer, C. J. (1968). "*Resumen de la Geología de la Hoja México, Distrito Federal, Estado de México y de Morelos*". Carta Geológica de México, Instituto de Geología, UNAM, México.
- Singh S., J. Lermo, T. Domínguez, M. Ordaz, J. Espinosa, E. Mena, R. Quaas (1988). "*A study of the amplification of seismic waves in the Valley of Mexico with respect to a hill zone site*". Earthquake Spectra, Vol. 4, Nº 4, pp. 653-674.
- Singh S.K., Pardo, M. (1993). "*Geometry of the Benioff Zone and state of stress in the overriding plate in Central Mexico*". Geophysical Research Letters, 20, 1483-1486.
- Singh S.K., Ordaz M., Pacheco J. F. Quaas R., Alcántara L., Alcocer S., y otros (1999). "*A preliminary report on the Tehuacan*". México Earthquake of June 15, 1999 (Mw 7.0), Seismological Research Letters.
- Segerstrom, K. (1961). "*Geología del suroeste del estado de Hidalgo y del noreste del estado de México*". Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 13(3-4), México, pp. 147-168.
- Servicio Geológico Mexicano (2002). "*Carta geológico-minera Ciudad de México E14-2 Edo. de Méx., Tlax., D.f., Pue., Hgo. y Mor*". SGM, Primera edición Diciembre 2002.
- Sowers, G., Sowers, G. (1993). "*Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones*". Editorial Limusa, México.
- Strahler, A. (2004). "*Geología física*". Editorial Omega, Barcelona, España.
- Surfer Versión 9. Surface Mapping System, Golden Software.
- Tarback, Edward J., Lutgens, Frederick K. (2005). "*Ciencias de la Tierra*". Editorial Pearson, Octava edición, España.
- Valdés, C., González, G., Arciniega, A., Guzmán, M., Nava, E., Gutiérrez, C., Santoyo, M., (1995). "*Sismicidad del Volcán Popocatepetl a partir del 21 de Diciembre de 1994 al 30 de Marzo de 1995*". CENAPRED-UNAM (ed.), Volcán Popocatepetl, Estudios realizados durante la crisis de 1994-1995, México, D.F., pp. 129-138.
- Vázquez E. y Jaimes R. (1989). "*Geología de la Cuenca de México*". Revista de la Unión Geofísica Mexicana, Instituto de Geofísica, UNAM, Vol. 28, Núm. 2.
- Ward, H. G. (1828). "*México en 1827*". Fondo de Cultura Económica, SEP, Lecturas Mexicanas No. 73, México.

Wicander, R., Monroe, James S. (2000). *"Fundamentos de Geología"*. Editorial Thomson, Segunda edición, México.

Direcciones electrónicas

Gobierno municipal de Naucalpan de Juárez 2013- 2015. Historia. Año de consulta: 2013.
www.naucalpan.org.mx

González, J. P. (2011). *"6 lugares para turistear en Naucalpan"*. El Universal, Estado de México, Año de consulta: 2013. <http://www.eluniversaledomex.mx/naucalpan/nota12599.html>

Google Maps, Año de consulta: 2013, <https://maps.google.com.mx/>

INEGI (2013). *"Atlas de México"*. Año de consulta: 2013. <http://www.inegi.org.mx/>

Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (2003 - 2011). Productos estadísticos, PIB, Año de consulta: 2013, http://portal2.edomex.gob.mx/igecem/productos_y_servicios/index.htm

¹Obtenido de Romero, L. M. (2012). Naturales en el Álvar, Blog de Ciencias Naturales. Las capas de la Tierra. Año de consulta: 2013, <http://naturalesenelalvar.blogspot.mx/2012/02/las-capas-de-la-tierra.html>

²Obtenido del Blog Geofrik's Blog (2010). Manto Terrestre. Año de consulta: 2013, <http://geofrik.wordpress.com/2010/03/14/manto-terrestre/#more-1906>

^{3,5}Obtenido del Blog Biblioteca de investigaciones (2013). Los Volcanes. Año de consulta: 2013, <http://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/los-volcanes/>

⁴Obtenido del Blog Ciencias de la Tierra (Geología - Geografía) (2011). El ciclo de Wilson. Año de consulta: 2013, <http://csdelatierra2011proffautto.blogspot.mx/2011/09/el-ciclo-de-wilson.html>

⁶Obtenido del Blog Universobservado (2012). Terremoto. Año de consulta: 2013, <http://universobservado.blogspot.mx/2012/05/terremoto.html>

⁷Obtenido de Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (2013). Sismos. Año de consulta: 2013, <http://www.smis.org.mx/htm/sm5.htm>

⁸Obtenido de Puerto Rico Red sísmica (2013). Información Sísmica. Año de consulta: 2013, <http://redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/wave.php>

^{9,10}Obtenido de Kinematics. Productos. Año de consulta: 2013, <http://www.kinematics.com/p-163-Home.aspx>

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo II

Figura 2.1 Escudo del municipio de Naucalpan (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).....	8
Figura 2.2 Ele Noevolcánico Transversal Mexicano (INEGI).....	9
Figura 2.3 Colindancias del municipio Naucalpan de Juárez (www.naucalpan.org.mx, 2012).....	10
Figura 2.4 Áreas del municipio de Naucalpan de Juárez (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006)	10
Figura 2.5 División distrital (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).....	11
Figura 2.6 Clima (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2006).....	12
Figura 2.7 Elevaciones de Naucalpan (Municipio de Naucalpan de Juárez, 2013).....	13
Figura 2.8 Basílica de los Remedios (González, 2011).....	17
Figura 2.9 Pirámides del Conde (González, 2011).....	18
Figura 2.10 Museo Tlatilca (González, 2011).....	19
Figura 2.11 Torres de Satélite (González, 2011).....	19
Figura 2.12 Acueducto de los Remedios (www.naucalpan.org.mx, 2013).....	20
Figura 2.13 Teatro Bicentenario (www.naucalpan.org.mx, 2013).....	20
Figura 2.14 Cuenca de México (Chávez, 2008).....	21
Figura 2.15 Corte Geológico de la Cuenca de México (Santoyo et al., 2005).....	24
Figura 2.16 Visión tridimensional de la Cuenca de México (Santoyo et al., 2005).....	25
Figura 2.17 Estratigrafía de la Ciudad de México (Santoyo et al., 2005).....	26
Figura 2.18 Geología de Naucalpan (Santana, 2008).....	28
Figura 2.19 Perfil estratigráfico M-4, lado Norte de la grieta “Echegaray” (Melgoza, 1978).....	30
Figura 2.20 Perfil estratigráfico M-5, lado Sur de la grieta “Echegaray” (Melgoza, 1978).....	30
Figura 2.21 Perfil estratigráfico. Sondeo 2. Toreo Cuatro Caminos (Melgoza, 1978).....	31
Figura 2.22 Perfil estratigráfico. Sondeo 33. Tlalnepantla (Melgoza, 1978).....	32
Figura 2.23 Ubicación de los sondeos de mecánica de suelos.....	32
Figura 2.24 Perfil estratigráfico de Ciudad Satélite.....	33
Figura 2.25 Perfil estratigráfico de Río Hondo.....	34
Figura 2.26 Perfil estratigráfico de Vista de Valle S-1.....	35
Figura 2.27 Perfil estratigráfico de Vista de Valle S-2.....	36
Figura 2.28 Perfil estratigráfico de Vista de Valle S-3.....	37
Figura 2.29 Perfil estratigráfico del Ocotol SPT-1.....	38
Figura 2.30 Perfil estratigráfico del Ocotol SPT-2.....	39
Figura 2.31 Perfil estratigráfico del Ocotol SPT-3.....	40

Figura 2.32 Perfil estratigráfico del Ocotal SPT-4.....	41
Figura 2.33 Perfil estratigráfico del Ocotal SPT-5.....	42
Figura 2.34 Ubicación de cavernas de minas abandonadas (Santoyo et. al., 2005).....	43
Figura 2.35 Grieta de Echegaray y Grieta de La Florida (Santana, 2008).....	44
Figura 2.36 Grietas de “Echegaray” y “La Florida”	45
Figura 2.37 Fallas dentro de la Cuenca de México (Marín et al., 2004).....	46
Figura 2.38 Daños causados por las grietas “Echegaray” y “La Florida” (Santana, 2008)	47

Capítulo III

Figura 3.1 A_{max} registrada en Naucalpan para diferentes distancias epicentrales (Rivera et al., 2013)	50
Figura 3.2 Estructura de la tierra (Gutiérrez et al., 2013)	51
Figura 3.3 Estructura de la Tierra ¹	52
Figura 3.4 Principales Placas tectónicas (Bazán y Melli, 2011)	52
Figura 3.5 Convección y divergencia ²	53
Figura 3.6 Fenómeno de Convección ³	54
Figura 3.7 Fenómeno de divergencia ⁴	54
Figura 3.8 Fosa y Dorsal oceánica ⁵	55
Figura 3.9 Ubicación del foco y epicentro ^{6,7}	55
Figura 3.10 Ondas de cuerpo y superficiales ⁸	56
Figura 3.11 Continental - Continental	58
Figura 3.12 Continental - Oceánica	58
Figura 3.13 Oceánica – Oceánica	58
Figura 3.14 Trinchera Mesoamericana (Martínez, 2012).....	59
Figura 3.15 Brecha sísmica de Guerrero (Martínez, 2012)	59
Figura 3.16 Principales sistemas de fallas en el Valle de México (Martínez, 2012).....	61
Figura 3.17 a) Ubicación geográfica de la Faja Volcánica Mexicana (FVM), b) La Cuenca de México (CM) y el volcán Popocatepetl (Lermo et al., 1994-1997)	63
Figura 3.18 Distancia entre Naucalpan y el Popocatepetl	63
Figura 3.19 Ubicación de los municipios de Acambay y Naucalpan (Martínez, 2012)	64
Figura 3.20 Falla principal de Acambay (Martínez, 2012).....	65
Figura 3.21 Sistema de Fallas Acamaby - Tixmadeje (SGM, 2002).....	66
Figura 3.22 Distancia entre Naucalpan y Tehuacpan.....	67
Figura 3.23 Fallas dentro de la Cuenca de México (Marín et al., 2003).....	68
Figura 3.24 Falla F-12 (Marín et al., 2003)	70
Figura 3.25 Distancia entre Naucalpan y la Presa Guadalupe.....	70

Capítulo IV

Figura 4.1 Ubicación de los sondeos de mecánica de suelos.....	74
--	----

Figura 4.2 Kinematics Makalu ⁹	75
Figura 4.3 EpiSensor ES-T ¹⁰	76
Figura 4.4 Registro total	77
Figura 4.5 Registro Número 1	78
Figura 4.6 Registro número 2	80
Figura 4.7 Registro número 3	82
Figura 4.8 Registro número 4	84
Figura 4.9 Registro número 5	86
Figura 4.10 Registro número 6	88
Figura 4.11 Registro número 7	90
Figura 4.12 Registro número 8	92
Figura 4.13 Registro número 9	94
Figura 4.14 Acelerograma del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor- oriente del municipio de Naucalpan)	97
Figura 4.15 Espectro de Fourier del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor- oriente del municipio de Naucalpan)	99
Figura 4.16 Espectro de respuesta del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor-oriente del municipio de Naucalpan)	101
Figura 4.17 Coeficientes espectrales y promedio del registro KI012 ubicado cerca del Vaso Regulador el Cristo (Nor-oriente del municipio de Naucalpan)	104
Figura 4.18 Coeficientes espectrales y promedio del registro KA013 (punto 7) ubicada en Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (pavimento)	105
Figura 4.19 Coeficientes espectrales y promedio del registro LG005 (punto 27) ubicada Agua Caliente - Santa Anita	106
Figura 4.20 Coeficientes espectrales y promedio del registro LG017 (punto 33) ubicado en Camino Arenoso-Aquiles Serdán 101, Emilio Gustavo Baz	107
Figura 4.21 Coeficientes espectrales y promedio del registro LS014 (punto 46) ubicada en Presa Madín Orilla Calle 2	108
Figura 4.22 Coeficientes espectrales y promedio del registro LY003 (punto 52) ubicada en Río Toluca 13 - San Luis Tlatilco	109
Figura 4.23 Coeficientes espectrales y promedio del registro MB008 (punto 60) ubicado en Carretera México - Toluca - Naucalpan, Km 12	110

Capítulo V

Figura 5.1 Mapa de isoperiodos	115
Figura 5.2 Mapa de microzonificación sísmica	117
Figura 5.3 Mapa de microzonificación sísmica	118

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo II

Tabla 2.1 Elevaciones de Naucalpan	13
Tabla 2.2 PIB de Naucalpan.....	14
Tabla 2.3 Resumen geológico del municipio de Naucalpan de Juárez en la zona alta (Martínez, 2012)	29

Capítulo III

Tabla 3.1 Sismos importantes que han afectado a Naucalpan	49
Tabla 3.2 Grandes sismos ocurridos en la zona de subducción (Martínez, 2012)	60
Tabla 3.3 Historia sismológica de la región (Martínez, 2012)	66
Tabla 3.4 Zonas y Construcciones afectadas por las 16 fallas encontradas por (Marín et al.,2003) 69	

Capítulo IV

Tabla 4. 1 Velocidad de ondas de corte a partir del número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT)	73
Tabla 4.2 Cálculo del periodo dominante del sitio en Ciudad Satélite	74
Tabla 4.3 Periodo dominante de los sitios en estudio	75
Tabla 4.4 Características generales de los registros de la campaña de medición 1	79
Tabla 4.5 Características generales de los registros de la campaña de medición 2	81
Tabla 4.6 Características generales de los registros de la campaña de medición 3	83
Tabla 4.7 Características generales de los registros de la campaña de medición 4	85
Tabla 4.8 Características generales de los registros de la campaña de medición 5	87
Tabla 4.9 Características generales de los registros de la campaña de medición 6	89
Tabla 4.10 Características generales de los registros de la campaña de medición 7	91
Tabla 4.11 Características generales de los registros de la campaña de medición 8	93
Tabla 4.12 Características generales de los registros de la campaña de medición 9	95

ANEXO 1

GLOSARIO

A

Abanicos fluviales: conjunto de sedimentos que marca el lugar donde una corriente cambia de un gradiente abrupto a uno más suave y pierde repentinamente su capacidad de transporte. Es típico de climas áridos y semiáridos, pero no está restringido a ellos (Wicander y Monroe, 2000).

Acelerograma: es un registro de la historia de aceleraciones que provoca el sismo en una dirección determinada y constituye la descripción más útil del movimiento del suelo en un lugar. Los acelerogramas se registran en aparatos llamados acelerógrafos que, colocados en un sitio, arrancan automáticamente al ser excitados por el movimiento del terreno y registran simultáneamente la aceleración de dos direcciones ortogonales y una vertical (Meli, 2011).

Aglomerado: roca piroclástica que contiene un predominio de fragmentos redondeados o subangulares, de más de 3 mm de diámetro; los fragmentos contenidos en una matriz de ceniza o de toba suelen localizarse en los cuellos volcánicos. Su forma no depende en absoluto de la acción del agua superficial (Legget y Karrow, 1986).

Aglomerado basáltico: aglomerado o breccia con fragmentos de roca de composición basáltica (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Andesita: roca ígnea volcánica de grano fino sin cuarzo o sin ortoclasa, compuesta de

alrededor de 75 por ciento de feldespatos plagioclasa y el resto de silicatos ferromagnesianos. Es importante en forma de lavas, posiblemente derivado de un magma basáltico por cristalización fraccionada. Es muy característico de los procesos que dan lugar a la formación de montañas alrededor de los bordes del océano Pacífico. Queda restringida a los sectores continentales (Leet y Judson, 1980).

Andesitas de augita: andesita que contiene ferromagnesianos, como el piroxeno (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Anticlinal: pliegue arqueado hacia arriba en el que las rocas expuestas más antiguas coinciden con el eje de plegamiento y todos los estratos se inclinan apartándose del eje (Leet y Judson, 1980).

Arcillas: están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros metales, también hidratados. Estos minerales tienen, casi siempre, una estructura cristalina definida cuyos átomos se disponen en láminas. Existen dos variedades de tales láminas: la silícica y la alumínica (Badillo y Rodríguez, 2010).

Arena: partículas clásicas del tamaño de arena, compuestas comúnmente, pero no siempre, del mismo mineral cuarzo (Leet y Judson, 1980).

Con partículas comprendidas entre 2 y 0.060 mm, todavía son observables a simple vista. Cuando se mezclan con el agua no se forman agregados continuos, sino que se separan de ella con facilidad (González de Vallejo, 2004).

Areniscas: roca sedimentaria detrítica formada por la cementación de granos individuales del tamaño de la arena (de 0.1 a 2 mm), compuesta comúnmente del mineral cuarzo. Las areniscas constituyen cerca del 32 por ciento de las rocas sedimentarias expuestas sobre el nivel de mar (Leet y Judson, 1980).

B

Basalto: es una roca ígnea volcánica de color oscuro, de grano fino en la que predominan los minerales de color oscuro, que consisten en más de 50 por ciento de feldespatos plagioclasa y el resto de silicatos ferromagnesianos. Los basaltos y las andesitas representan aproximadamente el noventa y ocho por ciento de todas las rocas extrusivas (Wicander y Monroe, 2000).

Bomba volcánica: fragmento piroclástico y aerodinámico expulsado desde un volcán mientras esta todavía semifluido (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Brecha: es una roca sedimentaria clástica (Wicander y Monroe, 2000). Término general aplicable a una roca hecha de fragmentos rocosos angulosos englobados en una matriz de partículas más finas (Strahler, 2004).

Brecha volcánica (breccia, aglomerado): (Rocas piroclásticas) brecha constituida por sedimento piroclástico (Strahler, 2004).

C

Caliza: Roca sedimentaria compuesta en gran parte por calcita (Carbonato de calcio (CaCO_3)) (Wicander y Monroe, 2000), y que contiene proporciones menores variadas de carbonato magnésico, sílice y minerales arcillosos (Strahler, 2004).

Cenizas volcánicas: partículas piroclásticas de tamaño del polvo. Volumen igual o menor que el de una esfera de 0.06 milímetros de diámetro (Wicander y Monroe, 2000).

Cono de deyección: ver abanico aluvial.

Conglomerado: o rudita es una roca sedimentaria detrítica formada de fragmentos (Leet y Judson, 1980) del tamaño de la grava o mayor (>2 mm) (Legget & Karrow, 1986). Se distinguen de las brechas por estar compuestas de clastos angulosos (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Convergencia: fenómeno de destrucción, donde dos placas chocan, con frecuencia una placa oceánica (más densa) se sumerge dentro de una placa continental (menos densa), para que este desplazamiento se produzca debe de acumularse tanta energía en tensión entre las dos placas hasta que los límites de resistencia de las masas rocosas ceden, dando lugar a la formación de fosas oceánicas en los límites entre la placa marina y la continental y cadenas montañosas en la superficie.

Convección: forma de transferencia del calor en un fluido mediante el movimiento interno de masas del propio fluido que tienen distinta densidad.

Consolidación: un incremento del esfuerzo provocado por la construcción de cimentaciones u otras cargas comprime los

estratos del suelo. La composición es causada por a) deformación de las partículas del suelo, b) reacomodo de las partículas del suelo, y c) expulsión de agua o aire de los espacios vacíos (Das, 2001).

Cretácico: periodo del mesozoico en la escala del tiempo geológico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Clástico: ver detrítico. Roca o material compuesto por clastos en una matriz o cementante fino (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Cuenca: gran depresión cortical circular o elíptica en un cratón en la que se acumula una gruesa serie de rocas sedimentarias mientras ve hundiéndose en fondo de la cuenca (Strahler, 2004). Entre ellas se distingue la endorreica (aquella que su cauce desemboca en lagos o lagunas) y la exorreica (su cauce descarga en el mar).

D

Dacitas: roca ígnea extrusiva (volcánica) compuesta por feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa sódica (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Depósitos Aluviales: son materiales transportados y depositados por el agua. Su tamaño varía desde la arcilla hasta las gravas gruesas, cantos y bloques. Las facies más gruesas presentan bordes redondeados (González de Vallejo, 2004).

Derrames lávicos basálticos y andesíticos: corrientes de lava de composición basáltica y andesítica. Con plagioclasas cálcicas, las primeras y las plagioclasas sódicas las segundas (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Depósito de abanicos aluviales: forma de un depósito aluvial al pie de una montaña o cordillera (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Depósitos Fluviales: un río que ha establecido un curso en su correspondiente valle deposita sedimentos en el cauce propiamente dicho y en la llanura de inundación o cause mayor. La velocidad varía a lo largo del curso del río, así es que se depositan constantemente fracciones de la carga del mismo, aunque dicha disposición pueda tener carácter temporal. Los depósitos de cause son lentejones irregulares de gravas, arenas, limos y arcillas (Read y Watson, 1978)

Depósitos Lacustres: en general son sedimentos de grano fino, predominando los limos y las arcillas. El contenido en materia orgánica puede ser muy alto, sobre todo en zonas pantanosas, en las que pueden encontrarse turberas (González de Vallejo, 2004).

Depósitos de origen volcánico: los suelos volcánicos pueden ser residuales por alteración de los materiales infrayacentes, resultando depósitos limo-arenosos y arcillas, y transportados como productos de las emisiones volcánicas dando acumulaciones de piroclastos, de tipo lacustre o aluvial cuando con transportados por el agua (González de Vallejo, 2004).

Depósitos de roca piroclástica: vastos depósitos, en forma de sábana, compuestos de materiales piroclásticos félsicos arrojados por fisuras (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Depósitos de piroclastos: están formados por partículas de tamaños variables, desde cenizas (<2 mm) hasta lapillis (2-64 mm), p

fragmentos de mayor tamaño. Se acumulan, en capas estratiformes, según sea la dirección del viento, o dirección de la nube de cenizas o colada de piroclastos (González de Vallejo, 2004).

Deslizamiento de tierra: tipo de movimiento de masa, que consiste en el desplazamiento del material a lo largo de una o más superficies de falla (Wicander y Monroe, 2000).

Detrito, detrítico, detrítica (clástico): material fragmentado, como arena y lodo, derivado de rocas más antiguas por medio de la desintegración (producto de la erosión, el transporte, meteorización, y procesos diagénéticos, como el agua y viento). Los depósitos producidos por la acumulación de detritos constituyen los sedimentos detríticos (Legget y Karrow, 1986).

Diagénesis: término colectivo para todos los cambios químicos, físicos y biológicos, que se producen después de que los sedimentos se depositen y durante y después de la litificación (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Diatomita, tierras de: son limos que contienen gran cantidad de diatomeas, que son esqueletos silíceos de organismos diminutos de aguas saladas o dulces (Sowers y Sowers, 1993).

Distancia epicentral: es aquella que va del epicentro de un sismo a un lugar de estudio.

Divergencia: fenómeno de construcción, el surgimiento de nueva corteza oceánica, en los límites divergentes las placas oceánicas se separan y el espacio libre que dejan es ocupado por magma de las capas inferiores,

de esta manera se forman las dorsales oceánicas.

Duna: amontonamiento o promontorio de arena apilada por el viento (Wicander y Monroe, 2000).

E

Escala de tiempo geológico: división de la historia de la Tierra en bloques temporales: eones, eras, períodos y épocas (Tarbuck y Lutgens, 2010). Ver figura A-1.

Efectos de Sitio: efectos cuya cuantificación es importante para la definición del peligro sísmico de centros urbanos y de lugares donde se van a construir obras de gran importancia. Estos estudios se denominan de Microzonificación, ya que conducen a distinguir las variaciones en las características del peligro sísmico en un área pequeña (Meli, 2011).

Erosión: incorporación y transporte de material por un agente dinámico como el agua, el viento y el hielo (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Epicentro: punto sobre la superficie terrestre directamente encima del foco sísmico.

Época pleistocena: época del período Cuaternario que empezó hace alrededor de 1.8 millones de años y acabó hace unos 10, 000 años. Mejor conocida como la época de la gran glaciación continental (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Era: división principal de la escala de tiempo geológico (figura A.1); las eras se dividen en unidades más cortas denominadas periodos (Tarbuck y Lutgens, 2010).

**TABLA 7.1
ESCALA DEL TIEMPO GEOLÓGICO**






Edad (Millones de años)	Eón	Era	Periodo	Características	Imagenes
4000	Criptozoico	Precámbrico		Bacterias, algas, aminoácidos, proteínas	
2600	Proterozoico			Protozoos, esponjas, pólipos, medusas	
590			Cámbrico	Rocas sedimentarias, fósiles marinos, trilobites	
485			Ordovícico	Inicio de la deriva continental, primeros vertebrados, clima templado	
435			Silúrico	Gran desarrollo de los peces, plantas terrestres	
405			Devónico	Clima cálido, anfibios, rca taurina acuática	
360			Interior (Missisipico) Superior (Pensilvanico)	Carbonífero	
320		Paleozoica o Primaria			
290			Permiico	Fauna, aridez	
230	Fanerozoico		Triásico	Fragmentación del supercontinente Pangea, dinosaurios, primeros mamíferos	
195			Jurásico	Separación de África y América del Norte, auge de dinosaurios	
138			Cretácico	Aumento de mamíferos, desaparición de dinosaurios al final del periodo	
65			Paleoceno	Entramiento del clima, vulcanismo	
53	Terciario	Cenozoica o Terciaria	Eoceno	Primates, roedores, primer caballo	
37			Oligoceno	Urnivoros	
24			Mioceno	Subvización del clima, Australopithecus	
5			Plioceno	Animales de aspecto actual, Istmo de Centro América	
2			Pleistoceno	Glaciaciones, Homo Sapiens	
2 m.a. a 10.000 a.			Cuaternario	Retirada de glaciares, desiertos	

Figura A.1 Escala de tiempo geológico

Era Cenozoica: lapso temporal en la escala de tiempo geológico que empieza aproximadamente hace 65 millones de años, después del Mesozoico (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Era Mesozoica: lapso en la escala de tiempo geológico que transcurre entre las eras Paleozoica y Cenozoica, desde hace 248 millones de años hasta hace 65 millones de años (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Era Paleozoica: lapso en la escala de tiempo geológico comprendido entre las eras Precámbrica y Mesozoica desde hace unos 540 millones de años hasta hace 284 millones de años (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Erosión: incorporación y transporte de material por un agente dinámico, como el agua, el viento y el hielo (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Estratificación: estructura producida por el depósito de sedimentos en estratos o capas

(Leet y Judson, 1980). El término estratos se refiere a las capas en las rocas sedimentarias mientras que estratificación alude al aspecto, dispuesto en tales capas, de esas rocas (Wicander y Monroe, 2000).

Estratificación cruzada o lenticular: estructura en la cual capas relativamente finas están inclinadas en ángulo con respecto a la estratificación principal. Formada por corrientes de aire o agua (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Estratigrafía: es una rama de la Geología que versa sobre la sucesión de acontecimientos de la historia de la tierra, interpretada a partir de la evidencia hallada en rocas sedimentarias (Strahler, 2004).

F

Fallas: son roturas en las rocas a lo largo de las cuales ha tenido un lugar movimiento diferencial (Leet y Judson, 1980). Este movimiento se llama desplazamiento.

Feldespatos: silicatos minerales compuestos de tetraedros de silicio-oxígeno y aluminio-oxígeno unidos en una red tridimensional con iones positivos encajados en dos intersecciones de la red de tetraedros cargados negativamente. Se les clasifica como silicio-aluminatos. Cuando el ion positivo es K^+ , el mineral resultante es ortoclasa; cuando el ion es Na^+ , el mineral es albita; cuando es Ca^{+2} , es el mineral anortita (Wicander y Monroe, 2000). Mineral esencial abundante en rocas ígneas ácidas (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Flujos piroclásticos: material de la fase explosiva de una erupción volcánica que se desprende como avalancha a partir del cráter

hacia las faldas del volcán, constituidas por clastos o fragmentos de roca, cristales y vidrio que dan como resultando la roca ignimbrita (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Fosa tectónica: depresión larga, estrecha, profunda y en forma de surco del fondo oceánico que representa la línea de subducción de litosfera oceánica bajo el margen de litosfera continental (Strahler, 2004).

Formación geológica: capa o serie diferenciada de estratos sedimentarios físicamente parecidos correspondientes a un lapso de tiempo geológico relativamente breve e identificada con un nombre propio (Strahler, 2004).

G

Galerías: excavaciones echas en el macizo rocoso con fines constructivos o de explotación en diferentes direcciones y dimensiones, por ejemplo túneles, socavones y cruceros (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Geofísica: rama de las ciencias de la Tierra o geociencia que aplica principios y métodos de física al estudio de la tierra; incluye especialidades de sismología, magnetismo terrestre y gravedad (Strahler, 2004).

Geología: ciencia que estudia la Tierra; comprende los estudios de los materiales terrestres (minerales y rocas) y de los procesos de la superficie e internos, así como la historia del planeta (Wicander y Monroe, 2000).

Geotecnia: parte de la ingeniería que incluye estudios de geología aplicada, mecánica de

rocas y mecánica de suelos. Se dedica al análisis con precisión del macizo rocoso previo a la construcción de una obra civil, como autopistas, túneles, puentes o grandes edificaciones (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Gneis: roca metamórfica con clivaje gnéisico. Comúnmente se forma por el metamorfismo regional del granito (Wicander y Monroe, 2000) o de la arenisca de grano grueso. (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Graben: valle formado por el hundimiento de un bloque limitado por fallas normales. (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Grieta: abertura o brecha de un bordo natural (Leet y Judson, 1980).

H

Hipocentro o Foco sísmico: lugar donde se libera la energía y donde empieza el corrimiento de la falla geológica que originó el sismo (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Holocristalina: textura de una roca ígnea que contiene solamente cristales (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Hornblenda: mineral ferromagnesiano (máfico u oscuro del grupo de los anfíboles). Se encuentra principalmente en rocas ígneas (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

I

Intensidad sísmica: es una medida de los efectos que éste produce en un sitio dado, o sea de las características del movimiento del

terreno y de la potencialidad destructiva del sismo, en ese lugar en particular y en lo que concierne a sus efectos en las construcciones. La más común es la de Mercalli modificada en la que la intensidad se mide por una apreciación subjetiva del comportamiento de las construcciones en el sitio. Las intensidades varían en grados que se designan en números romanos I a XII (Meli, 2011).

L

Lapilli (“piedras pequeñas”): piroclastos cuyo tamaño oscila entre el de una cuenta de collar pequeña y el de una nuez (2 a 64 mm) (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Lava: magma que alcanza la superficie terrestre (Tarbuck y Lutgens, 2010), material de roca fundida que brota de un volcán o fisura (Leet y Judson, 1980).

Lava almohadilla: lava basáltica que solidifica en un ambiente subacuático y desarrolla una estructura que se parece a un apilamiento de almohadas (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Lavas andesíticas y dacíticas: lava que tiene la composición de una andesita o dacita. JMC

Lenticular: depósitos sedimentarios en forma de lentes u horizontes muy delgados. JMC

Limo: sedimento pelágico de mar abierto, compuesto principalmente de conchas de animales y plantas marinas (Wicander y Monroe, 2000). Con partículas comprendidas entre 0.060 mm y 0.020 mm. Retienen el agua mejor que los tamaños superiores, si se forma una pasta agua-limo y se coloca sobre la mano, al golpear con la mano se ve cómo

el agua se exhuda con facilidad (González de Vallejo, 2004)

Límite plástico: el esfuerzo máximo que puede soportar un sólido sin sufrir una deformación permanente, ya sea por flujo plástico o por ruptura (Leet y Judson, 1980).

Litología: es la parte de la Geología que trata de las rocas, que se basa en las observaciones megascópicas sobre muestras de mano (Legget y Karrow, 1986).

Litoral: lado marino de la costa, esta zona se extiende desde el nivel más elevado de la acción de las olas durante los temporales hasta el nivel más bajo de la marea (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Litosfera: es la capa más rígida de la Tierra y tiene un espesor de alrededor de 80 km (Meli, 2011). De manera muy burda, la litosfera puede representarse como un rompecabezas y que cada una de sus piezas simboliza una placa tectónica, las cuales están divididas en placas oceánicas y continentales.

Loess: depósitos de limo y arcilla acarreados por el viento, derivados de desiertos, el deslave glacial del Pleitoseno y las llanuras aluviales o de corrientes de inundación en regiones semiáridas (Wicander y Monroe, 2000).

Lutita: roca sedimentaria detrítica de grano fino constituida de partículas del tamaño de limo y arcilla, de cuarzo, feldespato, calcita, dolomita, y otros minerales. La fisibilidad que se presenta sirve para distinguirla de la lodolita (Leet y Judson, 1980).

M

Máfica: término nemotécnico con que se designan los ferromagnesianos y otros minerales no félsicos que se presentan en un roca ígnea (Legget y Karrow, 1986).

Magnitud sísmica: la magnitud de un sismo es una medida del tamaño del mismo que es independiente del lugar donde se hace la observación y que se relaciona en forma aproximada con la cantidad de energía que se libera durante el evento. Se determina a partir de las amplitudes de registros de sismógrafos estándar. La escala más conocida de magnitudes es la de Richter (m_L). Cada incremento de una unidad en la escala de Richter implica un aumento de 32 veces en la cantidad de energía liberada. Existen otras escalas de magnitud que se basan en ondas de cuerpo (m_b) en ondas superficiales (m_s) y en el momento sísmico (m_w). Hay diferencias significativas en las magnitudes medidas por las diferentes escalas (Meli, 2011).

Marga: depósito detrítico que contiene proporciones casi iguales de arena, limo y arcilla; estos términos se refieren al tamaño de grano de las partículas (Legget y Karrow, 1986).

Material Piroclástico: ver piroclastos.

Material clástico fluvial: sedimentos detríticos aportados por el cauce de un río (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Mecánica de suelos: es la rama de la Mecánica que trata de la acción de las fuerzas sobre la masa de los suelos. El Dr. Karl Terzaghi la definió como la aplicación de las leyes de la Mecánica y la Hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no

consolidadas de partículas sólidas (Crespo, 2002).

Meteorización: es la desintegración y/o descomposición de los materiales geológicos en superficie. El término incluye todas aquellas alteraciones de carácter físico o químico que modifican las características y propiedades de los materiales. Los procesos de meteorización de las rocas dan lugar finalmente a los suelos (González de Vallejo, 2004).

Mioceno: etapa del Terciario en la Escala del Tiempo Neológico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

O

Onda de cuerpo: onda sísmica que viaja a través del interior de la tierra (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Onda primaria, P: la onda sísmica más rápida, que se transmite por compresión y expansión del material a través del que pasa (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Onda secundaria, S: onda sísmica más lenta que la onda P, que viaja sólo a través de sólidos y que implica una oscilación perpendicular a la dirección de propagación (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Ondas de superficie: ondas sísmicas que viajan a lo largo de la capa externa de la Tierra (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Ondas largas o de superficie, L: estas ondas sísmicas que viajan a lo largo de la capa externa de la Tierra y son responsables de la mayor parte del daño de superficie. Tienen períodos más largos que las otras ondas (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Ondas Love: tipo de onda sísmica superficial en la que el movimiento es íntegramente horizontal y perpendicular a la dirección de movimiento de la onda (Strahler, 2004).

Ondas Rayleigh: tipo de onda sísmica superficial en la que todo movimiento de partículas tiene lugar en el plano vertical y sigue una órbita elíptica retrógrada situada en el plano del avance de la ola (Strahler, 2004).

Oligoceno: etapa del Terciario en la Escala del Tiempo Neológico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

P

Paleocanales fluviales:

Paleontología: estudio sistemático de los fósiles y la historia de la vida sobre la Tierra (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Peligro sísmico: el peligro sísmico de un sitio se relaciona con la intensidad de los movimientos sísmicos que se esperan en el lugar y con la frecuencia con que se exceden movimientos de distintas intensidades. El peligro sísmico de un lugar dependerá de la sismicidad.

Piamonte: depósitos de talud en la base de una montaña (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Piroclastos (tefra): roca y fragmentos minerales vomitados por una grieta volcánica bajo la presión de gases que se expanden rápidamente durante una erupción volcánica (Strahler, 2004).

Placa tectónica: segmento de la litósfera continental u oceánica que flota sobre la astenosfera.

Plagioclasa: mineral esencial en la formación de las rocas ígneas, feldespato calcálico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Pleistoceno: etapa del Terciario en la Escala del Tiempo Geológico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Pliegues y Plegamientos: capa o serie de capas dobladas que originalmente eran horizontales y después se deformaron (Tarbuck y Lutgens, 2010) cuando las rocas estaban en estado plástico (Leet y Judson, 1980).

Plioceno Eoceno: etapa del Terciario en la Escala del Tiempo Geológico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Plioceno superior: etapa del Terciario en la Escala del Tiempo Geológico (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Pómez (pumita): roca piroclástica llena de cavidades formadas por burbujas de gas. Siendo de textura celular, con muchos espacios abiertos no interconectados, resulta un material ligero que flota en el agua (Wicander y Monroe, 2000).

Porfírico, porfírica: término textural que se aplica a las rocas ígneas en las que los cristales más grandes, llamados fenocristales, quedan dispuestos en una matriz más fina que puede ser cristalina o vítrea, o ambas (Wicander y Monroe, 2000).

Prueba de penetración estándar: se realiza en el interior de sondeos durante la perforación. Permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que puede ser correlacionado con parámetros geotécnicos como la densidad relativa, el ángulo de

rozamiento, la carga admisible (González de Vallejo, 2004).

R

Regionalización sísmica: se debe tomar en el sentido de mayor o menor riesgo, y una base aceptable para los mapas “de intensidad máxima probable” es el tiempo de retorno a que puedan corresponder (Rosenblueth y Newmark, 1982)

Refracción sísmica: analiza las trayectorias de las ondas refractadas en los contactos entre diferentes materiales del subsuelo (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Reflexión: regreso al origen de una parte de la energía de la onda sísmica, cuando ésta topa con un límite que separa materiales de diferente densidad o elasticidad (Leet y Judson, 1980).

Resonancia: cuando la frecuencia interna de la estructura coincide con la frecuencia externa sucede el fenómeno de resonancia. Aquí los desplazamientos sufren grandes incrementos dependiendo de la relación de amortiguamiento (Gómez, 2007).

Riolita: roca ígnea de grano fino con la composición del granito (Wicander y Monroe, 2000).

Roca ígnea extrusiva o volcánica compuesta principalmente por cuarzo, feldespato potásico y micas en textura fluidal y grano muy fino (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Roca: material natural formado por agregados o masas de minerales, que constituyen una parte esencial y apreciable de la corteza terrestre. Las rocas son materiales

naturales de la Tierra compuesto por agregados de uno o más minerales que tienen cierto grado de homogeneidad química o mineralógica (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Agregado de minerales de diferentes clases en proporciones variables (Wicander y Monroe, 2000).

Rocas ígneas (intrusivas y extrusivas): rocas formadas a partir de la cristalización del magma; si esta ocurre en el interior de la corteza, en la cámara magmática, se forman las rocas ígneas intrusivas con cristales grandes, visibles al observador. Si el magma logra llegar a la superficie, se le llama lava y dará lugar a las ígneas extrusivas o volcánicas, cuyo enfriamiento será más rápido, los cristales serán muy pequeños e invisibles al observador pero visibles al microscopio (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Roca formada por la cristalización del magma (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Roca ígnea extrusiva ácida: roca volcánica en cuya composición química destaca el SiO₂ con un porcentaje mayor al 63 % (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Roca ígnea extrusiva intermedia: roca volcánica en cuya composición química destaca el SiO₂ con un porcentaje entre 57 % y 63% (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Roca metamórfica: roca formada por la modificación de otras preexistentes en el interior de la Tierra (pero todavía en estado sólido) mediante calor, presión y/o fluidos

químicamente activos (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Roca que cambió de forma, cualquier roca que, después de su formación original, sufrió cambios en su textura o composición por efecto del calor, la presión, o fluidos químicos activos (Wicander y Monroe, 2000).

Roca piroclástica: roca fragmentaria arrojada por una explosión volcánica y depositada por el aire. Incluye bombas, bloques, escoria, cenizas, tobas y pumicita (Wicander y Monroe, 2000).

Roca sedimentaria: roca formada por la acumulación de sedimentos, que pueden consistir de fragmentos de roca de varios tamaños, los restos o productos de animales o vegetales, el producto de la acción química o de la evaporación o mezclas de éstos. La estratificación es el rasgo particular más característico de las rocas sedimentarias, las cuales cubren casi el 75% del área terrestre (Wicander y Monroe, 2000).

Roca formada a partir de los productos de meteorización de rocas preexistentes que han sido transportadas, depositadas y litificadas (Tarbuck y Lutgens, 2010)

Rocas sedimentarias detríticas o clásticas: formadas por la acumulación de minerales y fragmentos de roca derivados ya sea de la erosión de rocas preexistentes o de los productos intemperizados de éstas (Wicander y Monroe, 2000).

Rocas que se forman a partir de la acumulación de los materiales que se originan y son transportados como partículas sólidas, resultado de la meteorización

mecánica y química (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Rocas piroclásticas: rocas producto de la compactación de materiales y cenizas eructados en fases explosivas por el volcán (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Rocas volcánicas: rocas ígneas extrusivas (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

S

Secuencias de “surges”: inicio o base de una secuencia piroclástica (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Sedimento: partículas no consolidadas creadas por la meteorización y la erosión de rocas, por precipitación química de soluciones acuosas o por secreciones por el agua, el viento o los glaciares (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Series Clásticas Fluvial y Aluvial: materiales granulares aluviales y depósitos superficiales de formación lacustre principalmente arcillosos, con intercalaciones de pómez, arena volcánica de color negro y vidrio volcánico (Hass, 1978).

Silicato: cualquiera de los numerosos minerales que tienen el tetraedro silicio-oxígeno como su estructura básica (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Silicato ferromagnesiano: o silicato oscuro, silicatos que contienen iones de hierro y/o magnesio en su estructura. Tienen un color oscuro y un peso específico más elevado que los silicatos no ferromagnesianos (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Silicato no ferromagnesiano: o silicato claro, silicatos carentes de hierro y/o magnesio. En general tienen un color más claro y pesos específicos menores que los silicatos oscuros (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Sismicidad: se relaciona con la actividad sísmica de la región o, más propiamente, con la frecuencia con la que se generan sismos de diferentes magnitudes en el área considerada. (Meli, 2011).

Sismógrafo: instrumento que registra las ondas sísmicas (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Sismología: estudio de terrenos y las ondas sísmicas (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Subducción: proceso por el cual la litosfera oceánica se sumerge en el manto a lo largo de una zona convergente (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Suelo: material que se forma en la superficie de la Tierra como resultado de procesos orgánicos e inorgánicos. El suelo varía según el clima, la vida animal y vegetal, el tiempo, la pendiente del terreno y el material (rocoso) del que se deriva (Wicander y Monroe, 2000).

Suelos normalmente consolidados: la presión de sobre carga efectiva presente es la presión máxima a la que el suelo fue sometido en el pasado (Sowers y Sowers, 1993). Ver consolidación.

Suelos pre-consolidados: la presión de sobre carga efectiva presente es menor que la que el suelo experimentó en el pasado. La presión efectiva máxima es el pasado se llama esfuerzo de preconsolidación (Sowers y Sowers, 1993). Ver consolidación.

T

Talud: pendiente formada por la acumulación de fragmentos de roca al pie de un acantilado o de una sierra (Wicander y Monroe, 2000).

Teoría la Deriva Continental: hipótesis atribuida a Alfred Wegener, según la cual todos los continentes actuales estuvieron agrupados en el pasado como un único supercontinente. Después, hace unos 200 millones de años, el supercontinente empezó a romperse en continentes menores, los cuales fueron “derivaron” hasta sus posiciones actuales (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Terciario temprano: Etapa de la Escala del Tiempo Geológico que indica el inicio del terciario (65 millones de años)(Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Terremoto: vibración de la Tierra producida por la liberación rápida de energía (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Tierra diatomácea: suelo que contiene diatomeas (ver diatomita) (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Toba: ceniza volcánica consolidada (Wicander y Monroe, 2000).

Tobas ácidas: rocas piroclásticas con un contenido de SiO_2 mayor del 62% (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Toba dacítica: toba de composición dacítica (ver dacita) (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Tobas dacíticas de lapilli: roca piroclástica de composición dacítica con partículas de tamaño entre 2 y 64 mm) (Comunicación personal, Dr. José María Chávez).

Travertino: forma de caliza (CaCO_3) que es depositada por manantiales calientes o como un depósito cárstico (Tarbuck y Lutgens, 2010).

Turba: material vegetal o leñoso parcialmente reducido, que contiene aproximadamente 60 por ciento de carbono y 30 por ciento de oxígeno. Es un material intermedio en el proceso de formación del carbón (Wicander y Monroe, 2000).

V

Valle de rift: valle largo y estrecho limitado por fallas normales. Representa una región en la que se está produciendo una divergencia (Tarbuck y Lutgens, 2010).

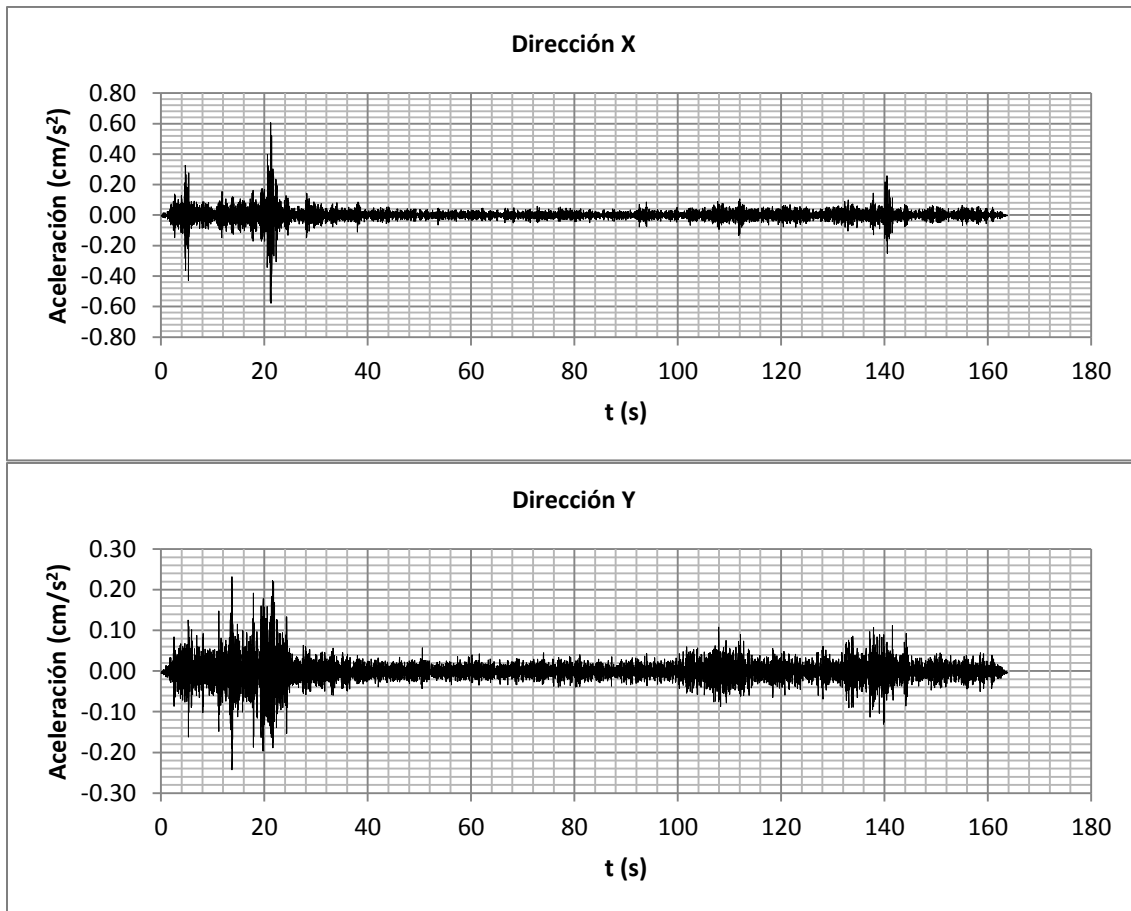
Volcán: forma terrestre desarrollada por la acumulación de productos magmáticos cerca de un conducto central (Wicander y Monroe, 2000).

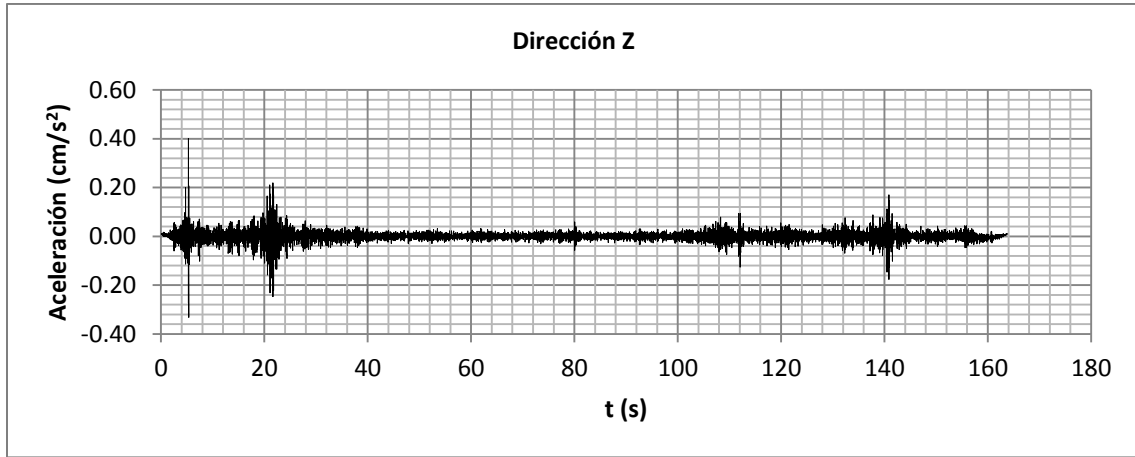
Vítrea: término utilizado para describir la textura de ciertas rocas ígneas, como la obsidiana, que no contiene cristales (Tarbuck y Lutgens, 2010).

ANEXO 2

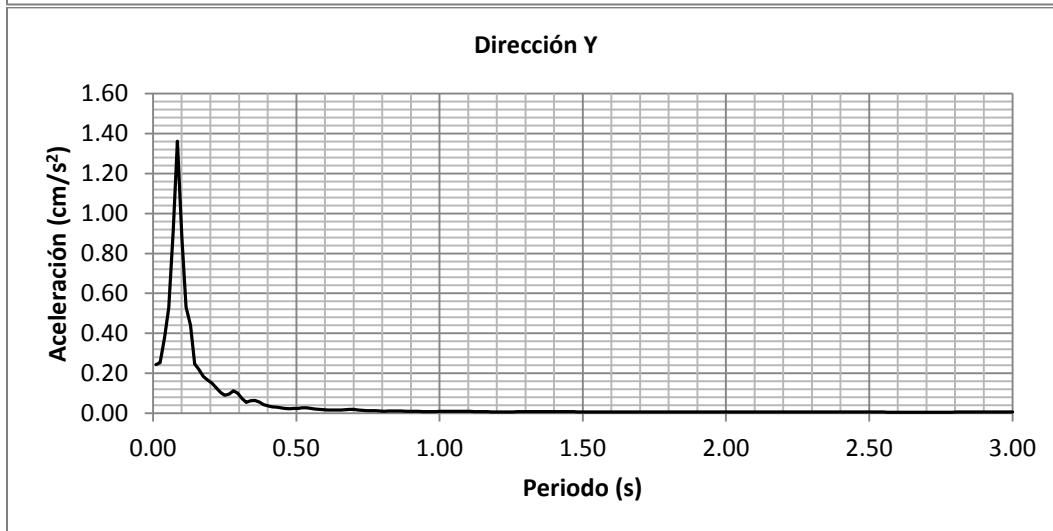
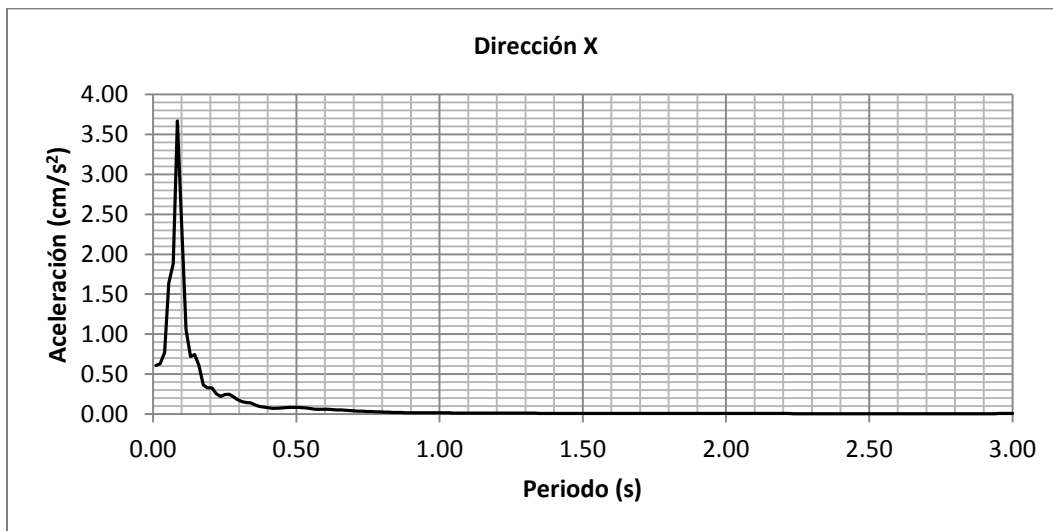
Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
20	30/05/2013	LE010	13:24	19°28'2.863"	99°12'53.930"	2247.97	Calle Gobernador Gustavo Baz 19 A

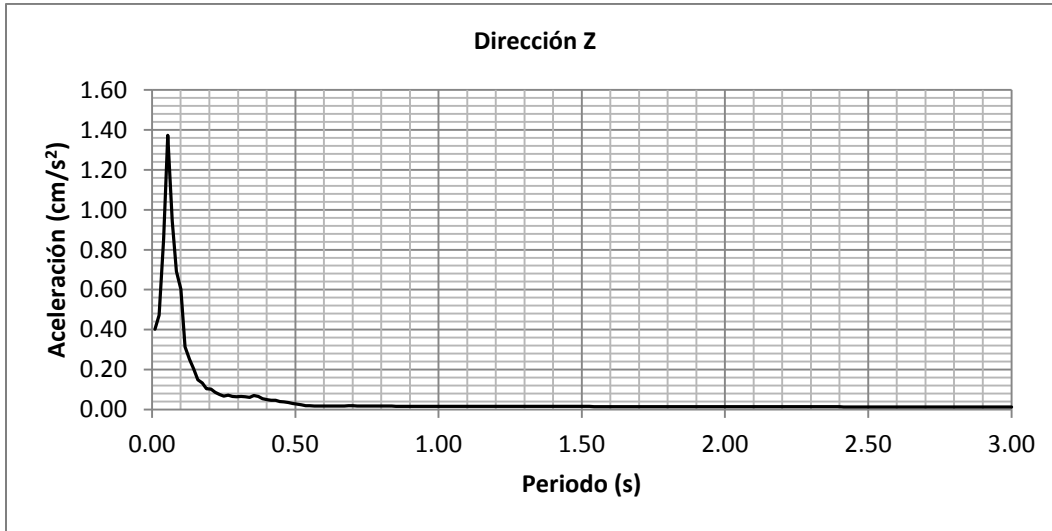
ACELEROGRAMAS



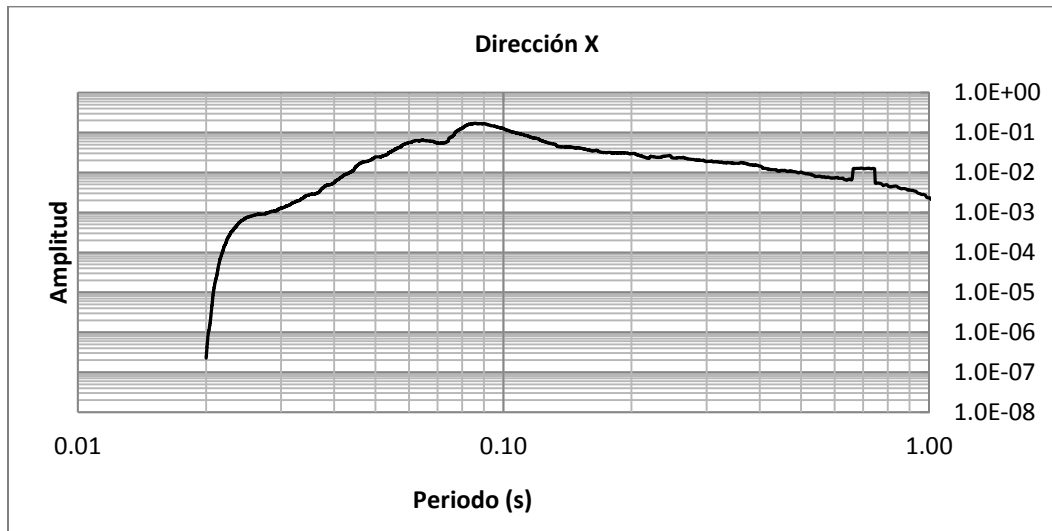


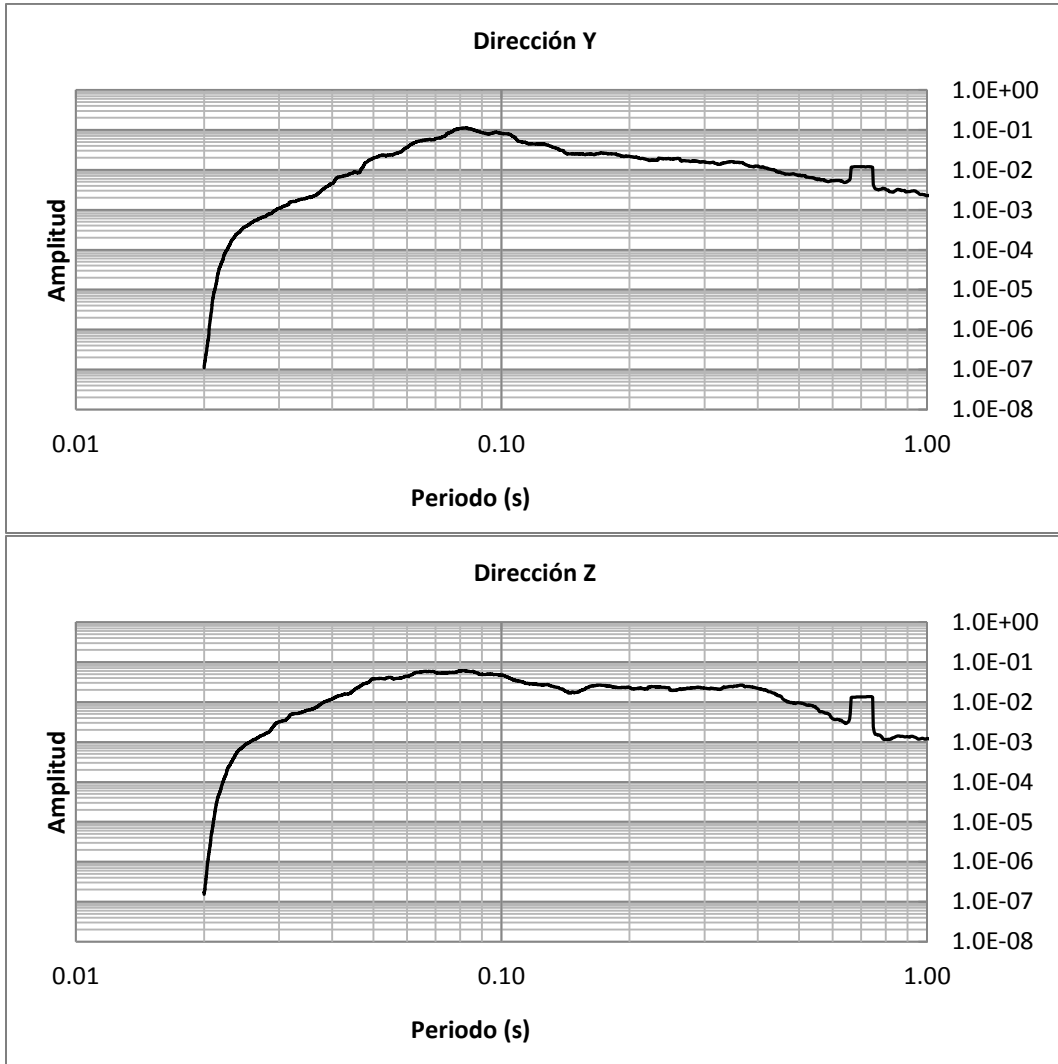
ESPECTROS DE RESPUESTA



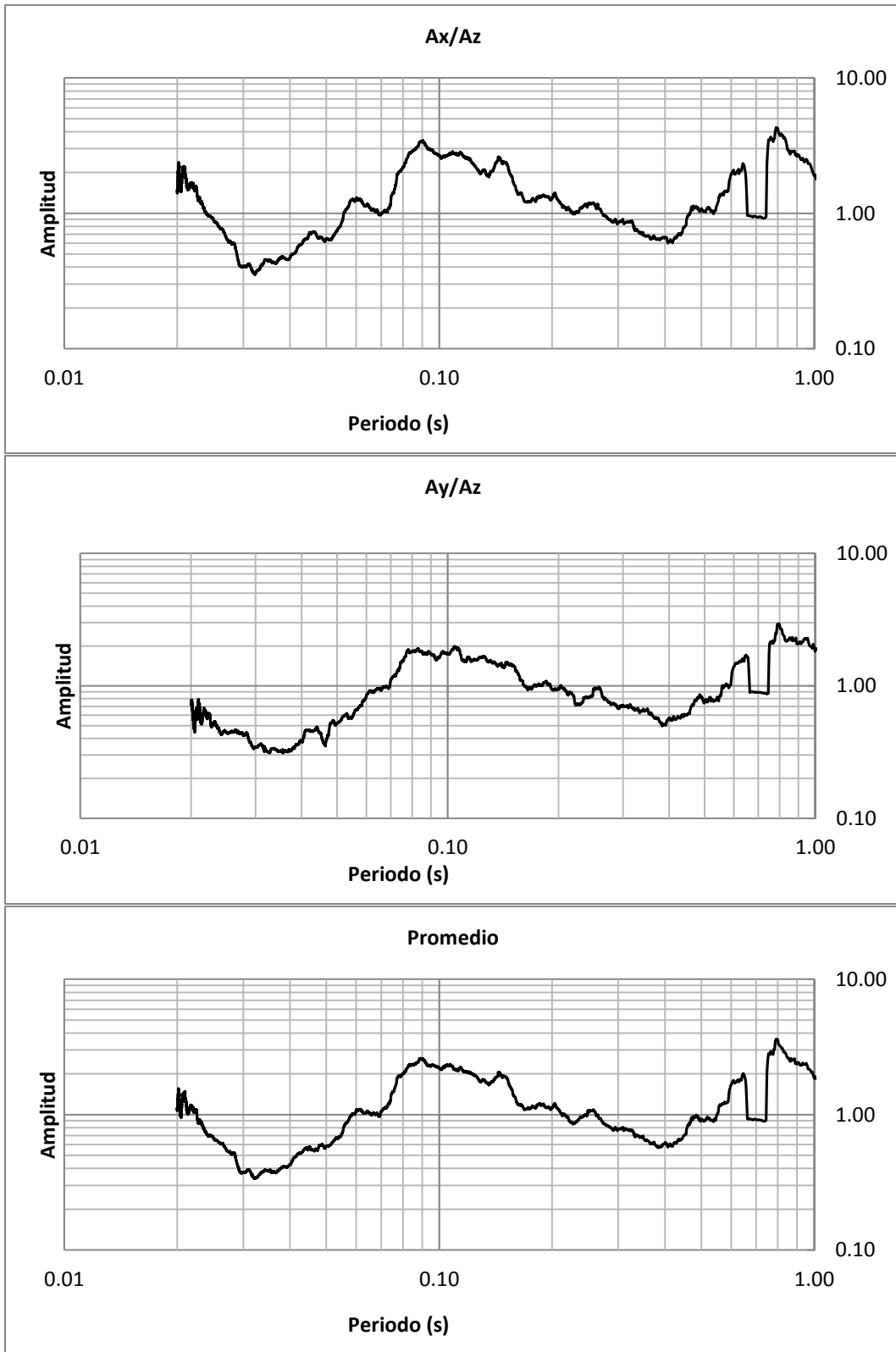


ESPECTROS DE FOURIER





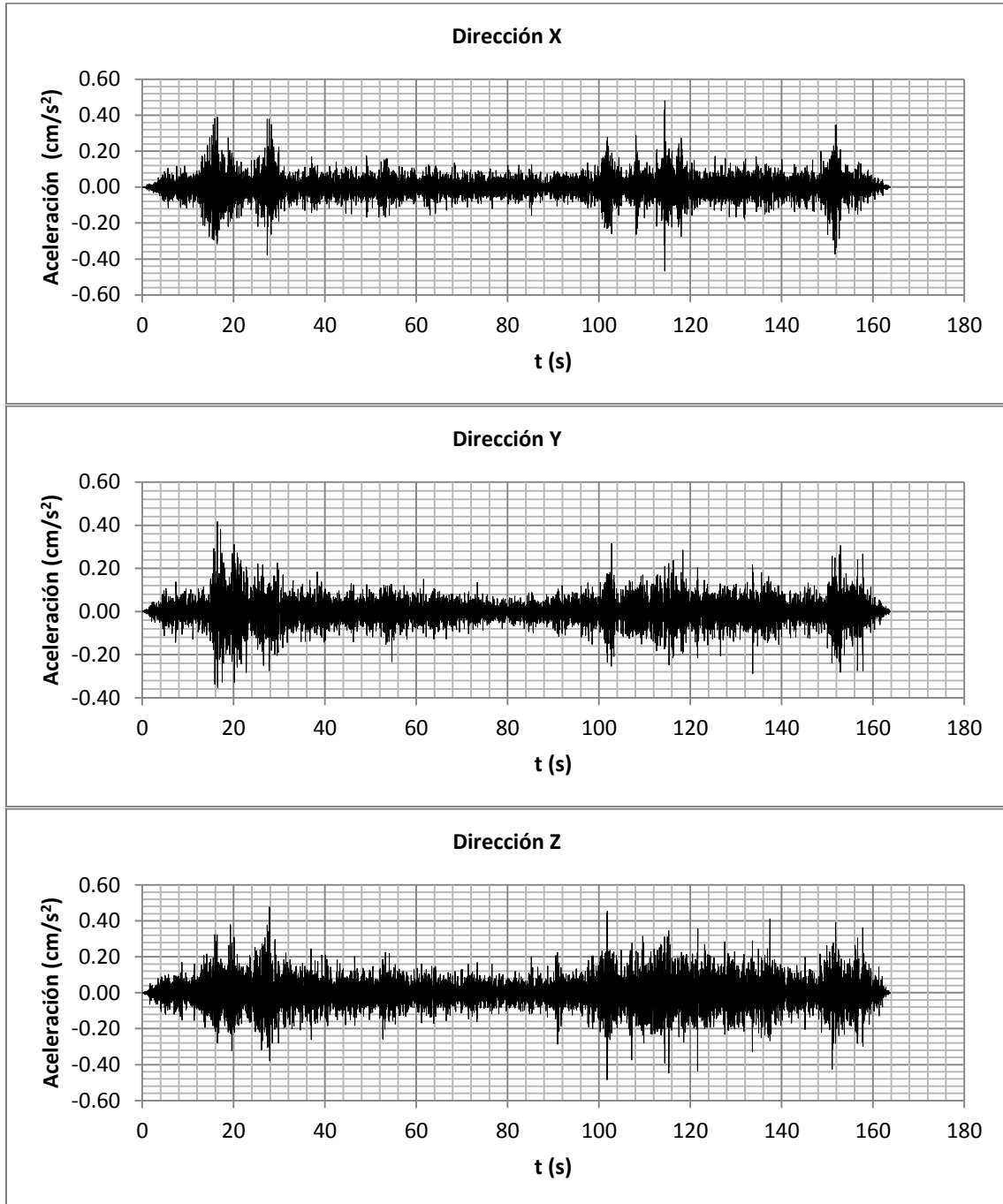
COCIENTES ESPECTRALES



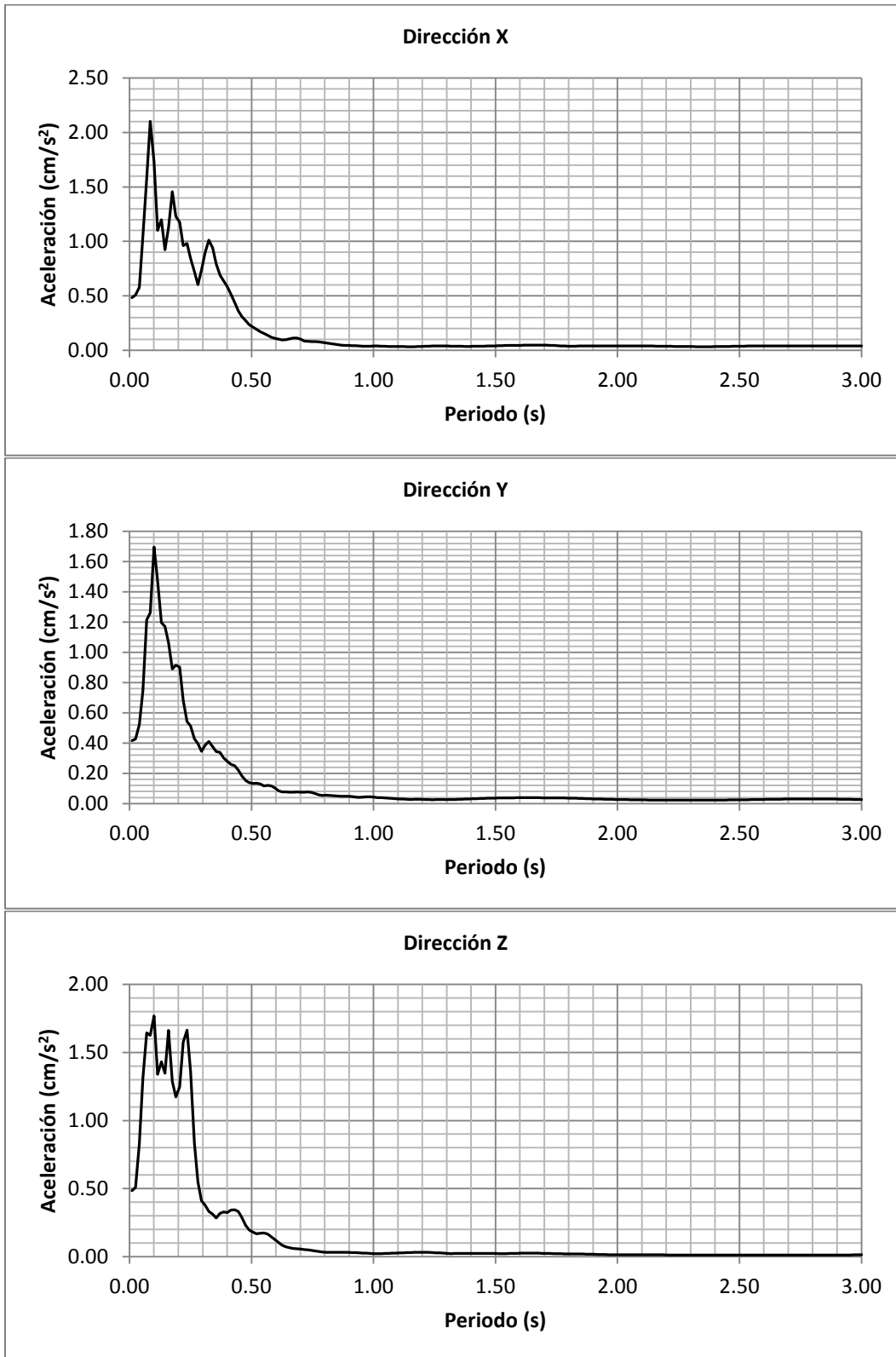
Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
--------	-------	---------	------	---------	----------	-------------	---------------

21	30/05/2013	LE012	13:41	19°28'21.6"	99°13'20.650"	2248.47	Victoria - Las Armas Junto - Canal
----	------------	-------	-------	-------------	---------------	---------	---------------------------------------

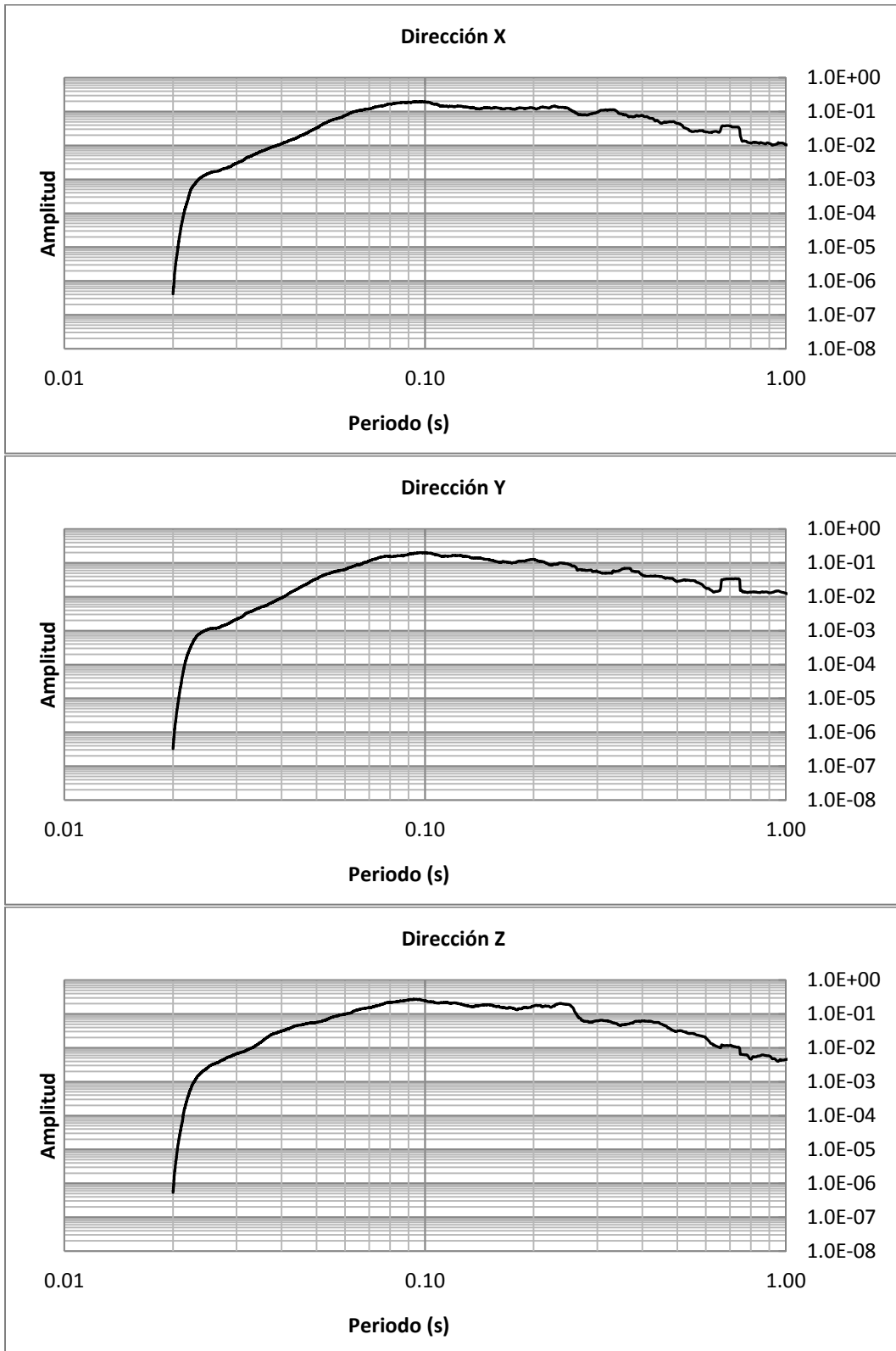
ACELEROGRAMAS



ESPECTROS DE RESPUESTA

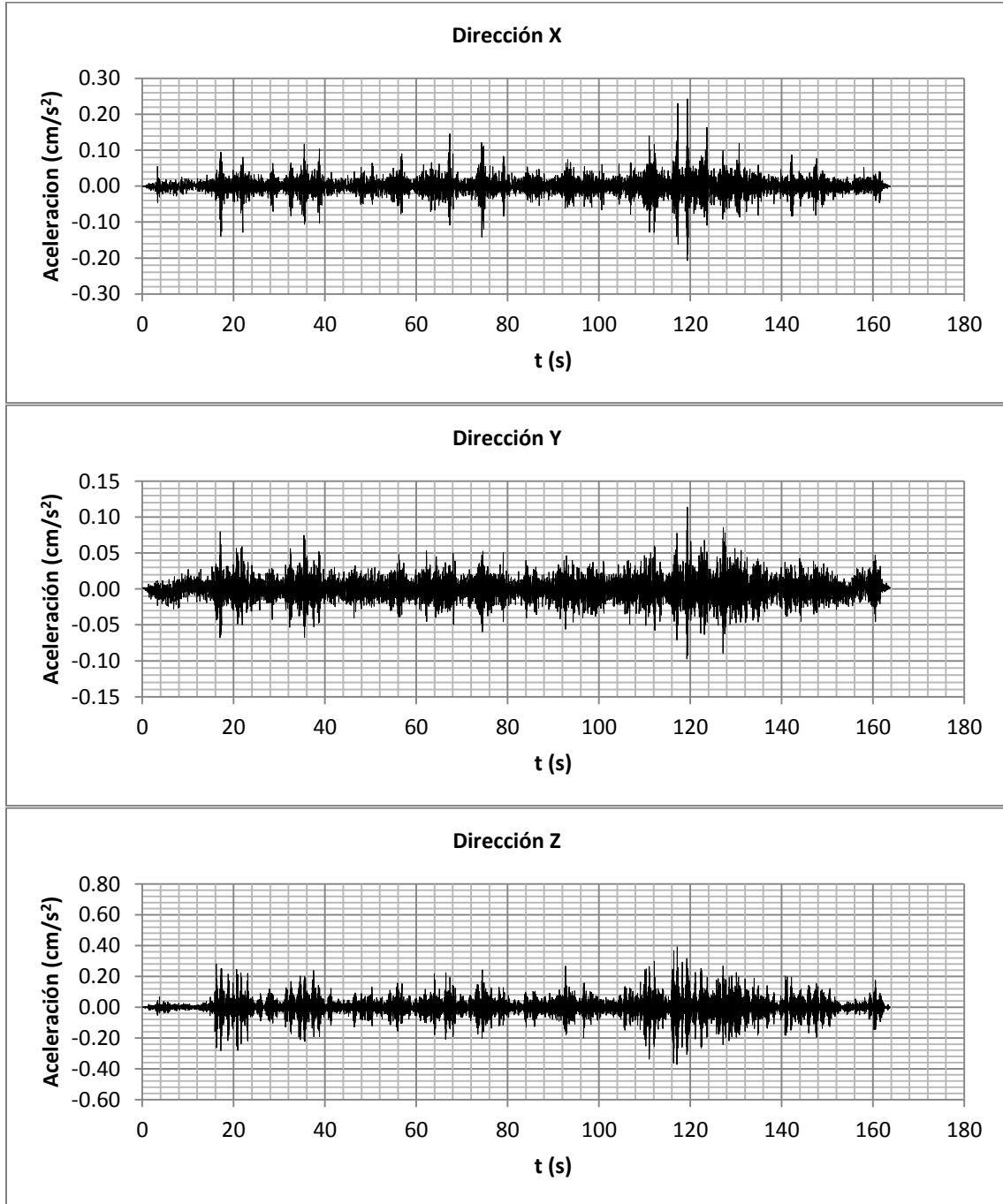


ESPECTROS DE FOURIER

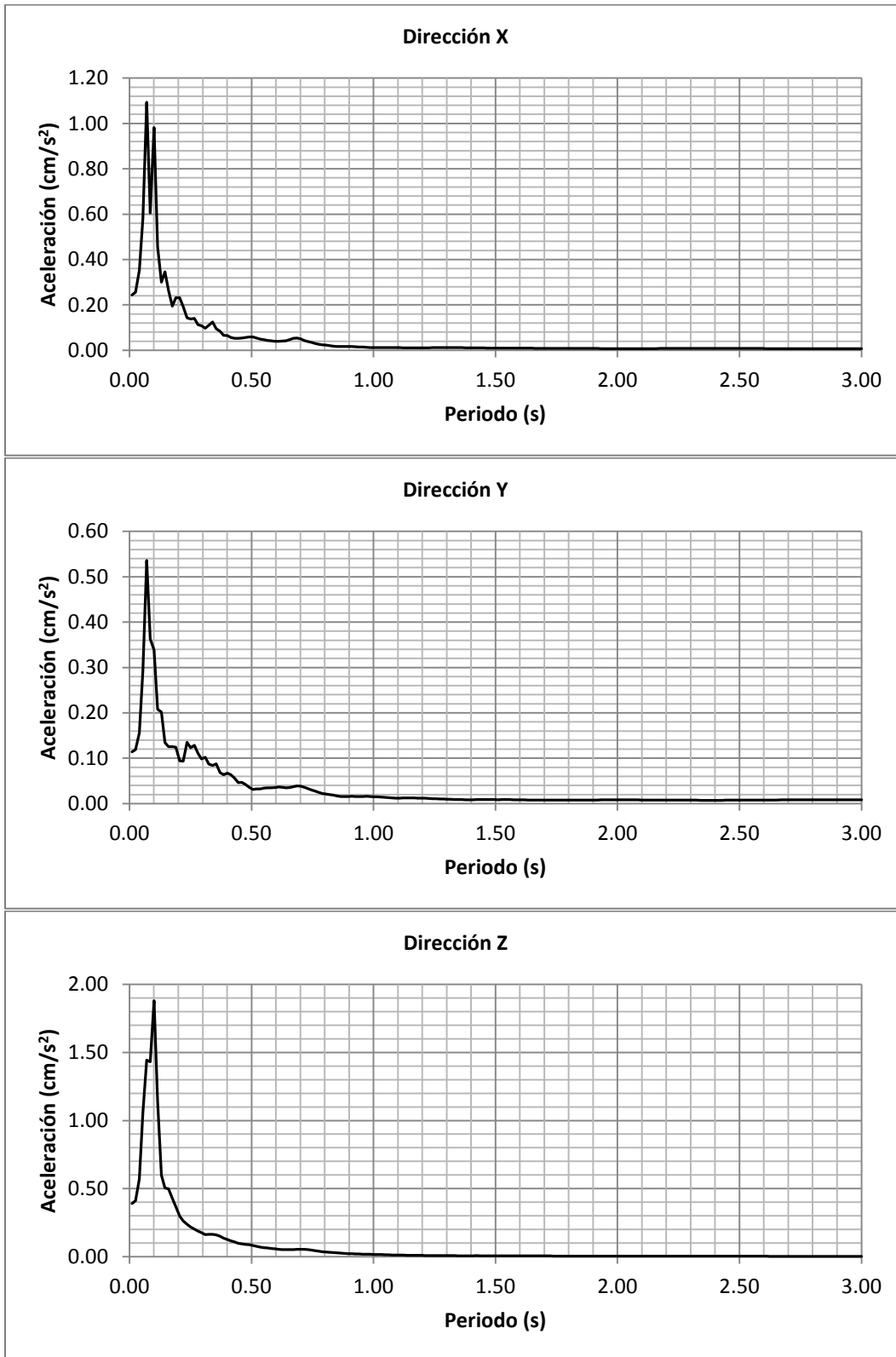


Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
24	30/05/2013	LE017	14:35	19°29'48.840"	99°12.519"	2245.69	Zempoaltecas 145, Col. Hacienda del Rosario

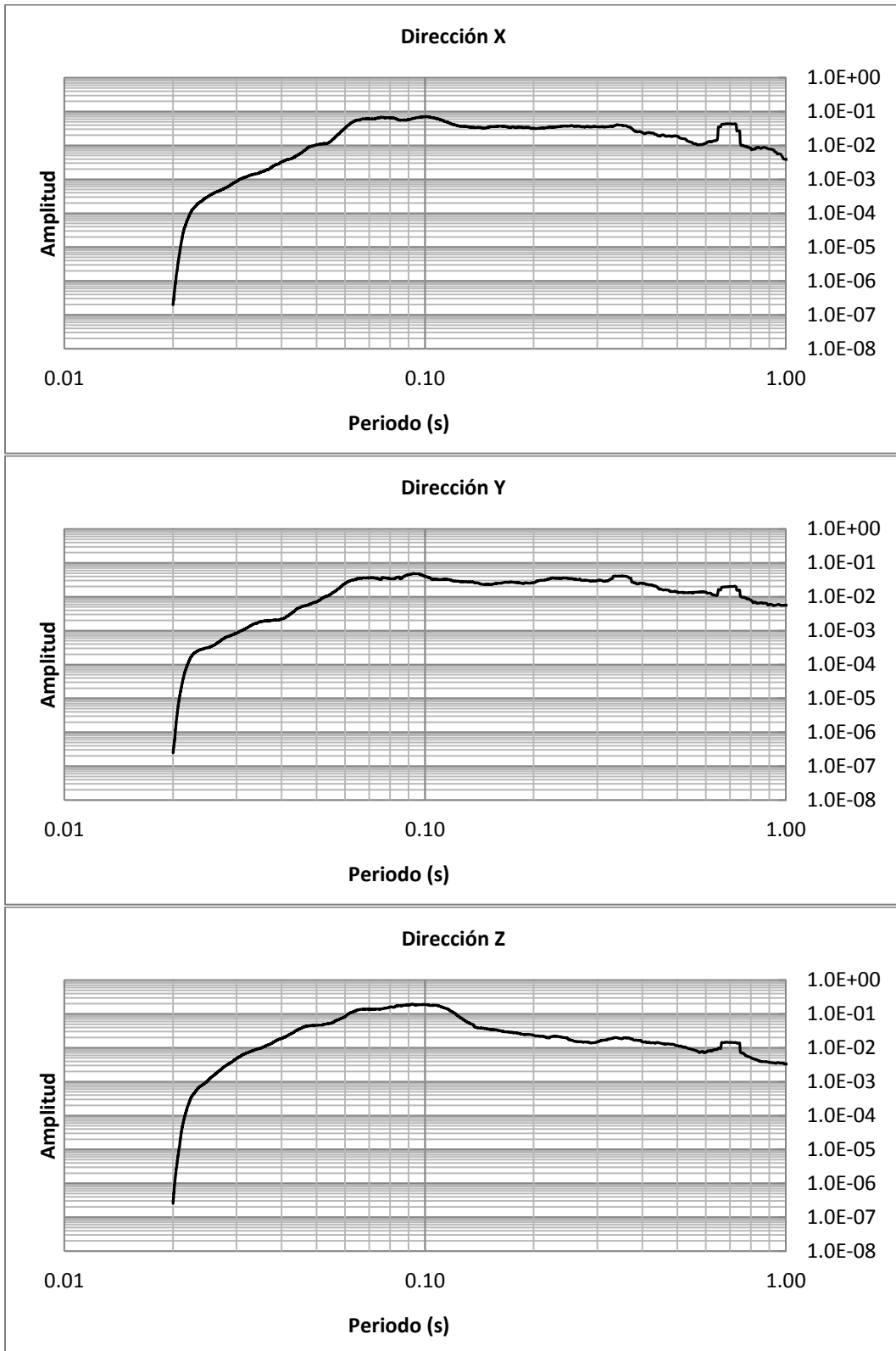
ACELEROGRAMAS



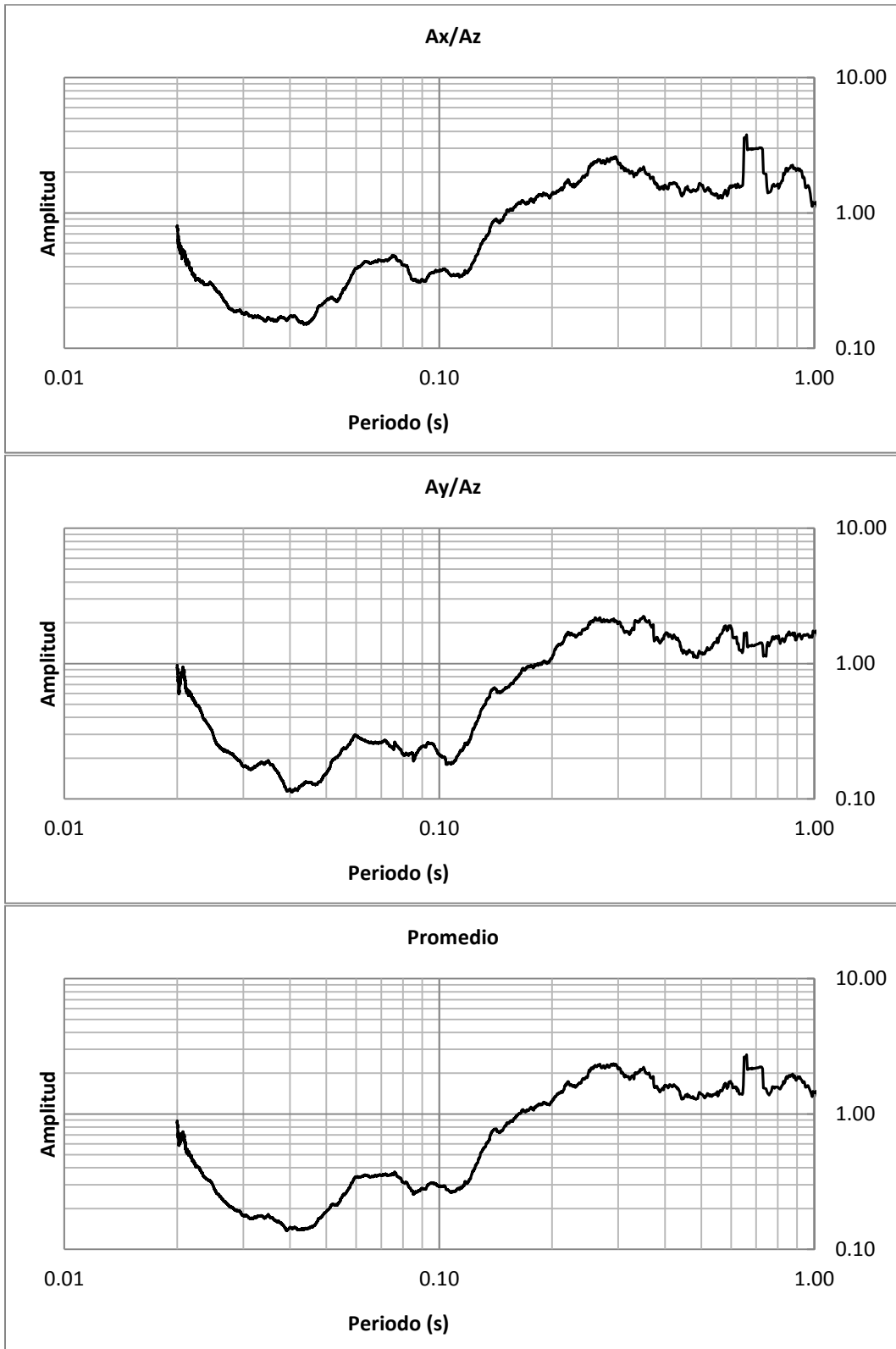
ESPECTROS DE RESPUESTA



ESPECTROS DE FOURIER

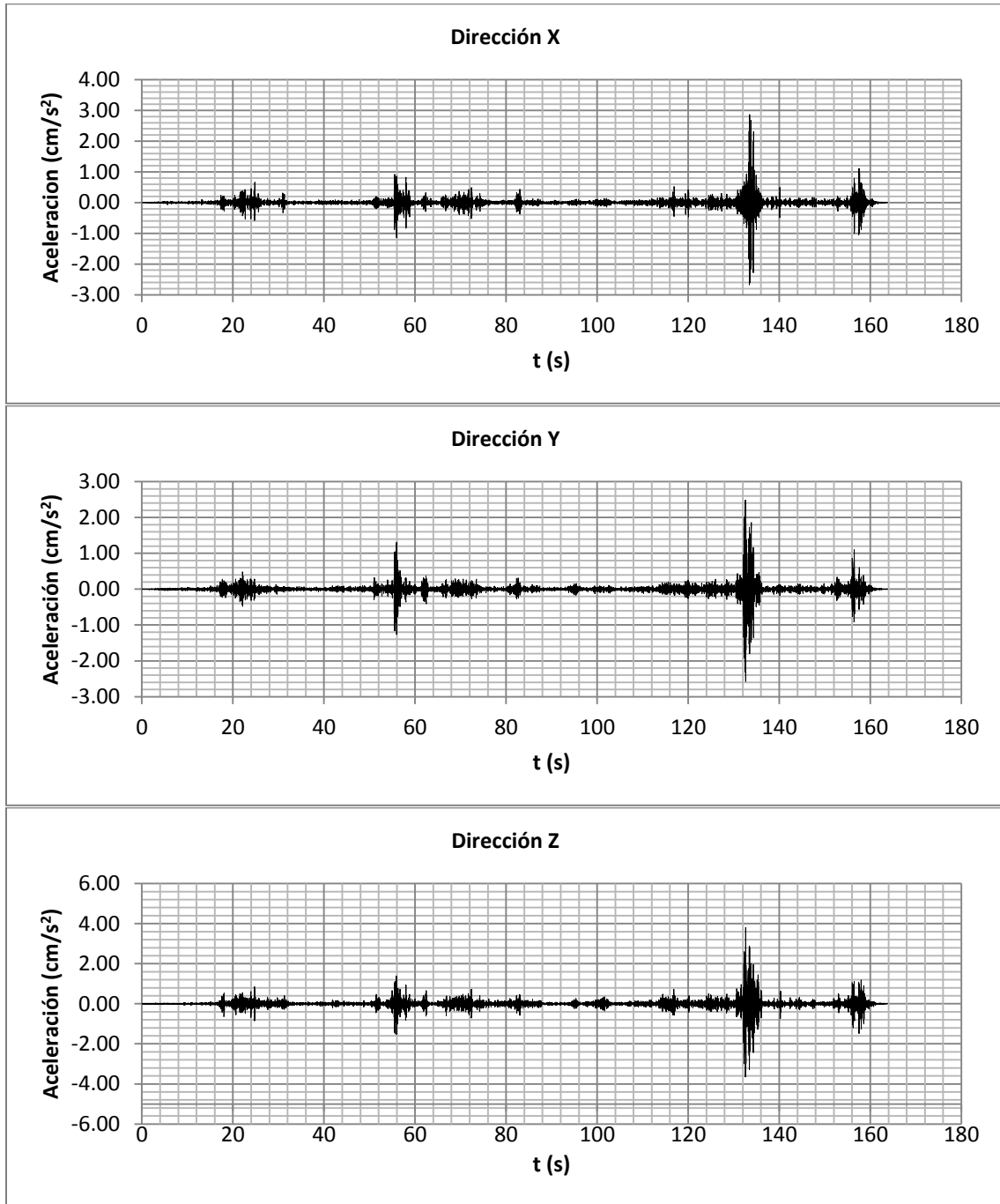


COCIENTES ESPECTRALES

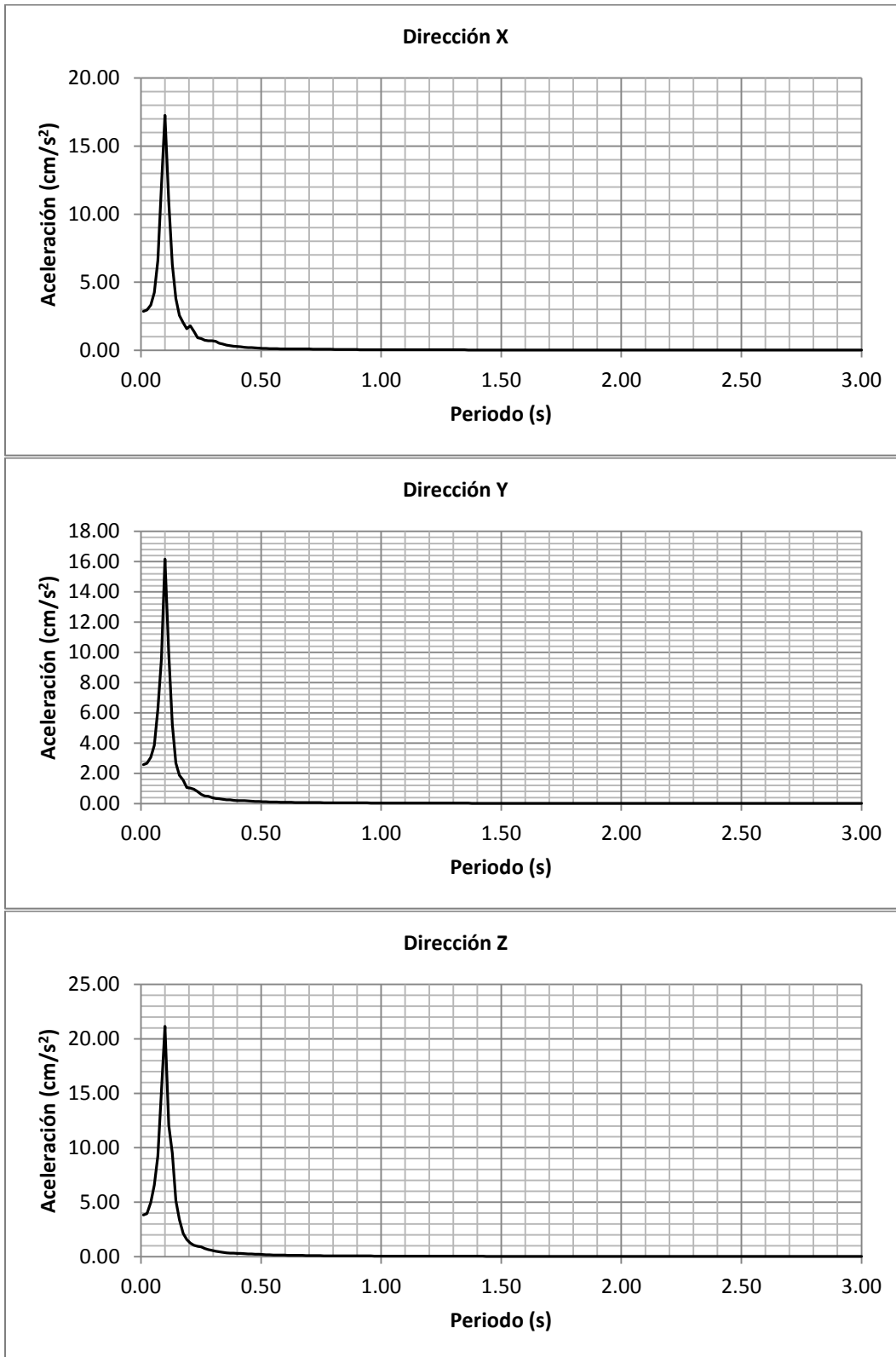


Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
25	30/05/2013	LE020	15:09	19°30'2.895"	99°12'23.890"	2246.66	Av. Hacienda el Rosario - Hacienda de Sotelo

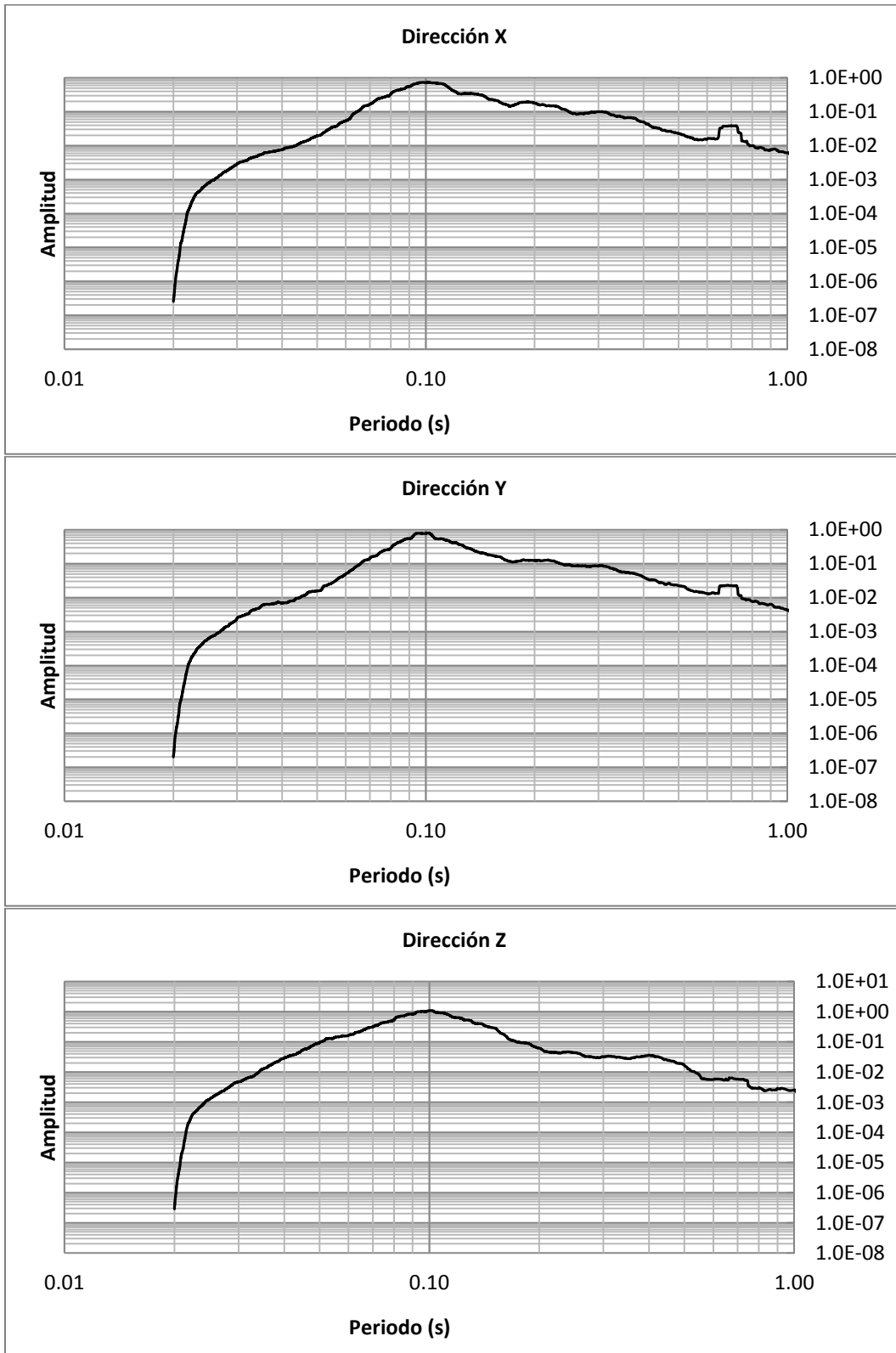
ACELEROGRAMAS



ESPECTROS DE RESPUESTA



ESPECTROS DE FOURIER



COCIENTES ESPECTRALES

