



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

**“AMPLIFICACIÓN SÍSMICA DEL MUNICIPIO DE
NAUCALPAN DE JUÁREZ EN TÉRMINOS DEL
ESPECTRO DE FOURIER”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

ÁNGELES SÁNCHEZ BERENICE

ASESOR:

DR. DARÍO RIVERA VARGAS

Febrero 2016



Santa Cruz Acatlán, Naucalpan, Estado de México



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.

Dedicatoria

A mis abuelos Catalina y Manuel

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por el apoyo constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Manuel

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mi familia

A mis hermanos Alejandro y Leonardo por aportar el lado divertido a este largo camino que espero seguir compartiendo con ustedes hasta que la vida me permita. A mi tía Olivia por esos valiosos consejos y cariño dado justo cuando lo necesitaba y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis. ¡Gracias a ustedes!

A mis maestros y sinodales.

Agradezco a cada uno por su gran apoyo, tiempo, conocimientos y motivación para la culminación de mis estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

Gracias al Departamento de Riesgos Naturales y Antropogénicos de la Unidad de Investigación Multidisciplinaria de la FES Acatlán. En especial al Ing. Carlos Arce León por todo el apoyo brindado y por permitirme trabajar a su lado no solo compartiendo un lugar de trabajo, si no grandes experiencias y conocimientos que llevare conmigo siempre presentes.

Y 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".

Índice

1. Introducción.....	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Objetivo y alcance	8
1.3. Contenido de la investigación.....	8
2. Estudios preliminares	10
2.1. Aspectos geológicos y geotécnicos.....	10
2.2. Aspectos sísmicos	22
2.2.1. Definición de sismo.....	22
2.3. Fuentes sísmicas que afectan el valle de México	27
2.4. Efectos de sitio.....	30
3. Registro y análisis de señales	31
3.1. Mediciones de vibración ambiental.....	31
3.2. Equipo de medición.....	33
3.3. Puntos de medición.....	33
3.4. Archivos y señales obtenidos	42
3.5. Criterios de análisis obtenidos.....	44
3.6. Procedimiento de análisis de señales	46
4. Amplificación sísmica y periodos de sitio.....	49
4.1. Evaluación de la respuesta del sitio	49
4.2. Cálculo de cocientes espectrales H/V	53
4.3. Mapa de amplificación sísmica.....	59
5. Microzonificación sísmica.....	67
5.1. Respuesta de las estructuras	67
5.2. Mapa de microzonificación	69

6. Conclusiones.....	73
Referencias.....	75
Anexo.....	78
Estudios Petrográficos.....	78
Concentrado de periodos y ampliaciones.....	84
Espectros de Fourier.....	87

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El termino Sismo Proviene del griego seismós, terremoto, sacudida, agitación: de sefein, temblar, sacudir; y del indoeuropeo, tweis, sacudir (Pavón, 1998).

Probablemente, la tierra ha sufrido los estragos de los sismos desde hace miles de años. Los antiguos lo atribuían a causas sobrenaturales. En Japón antiguamente se ligaba al origen de los terremotos al pez gato, el cual habitaba en las profundidades de los mares.

Mientras que los aztecas pensaban que existían calamidades con frecuencia periódicas al fin de cada era llamada "sol" (terremoto en náhuatl significa ollin), Gómez Chávez, 2007.

Aristóteles, el filósofo griego (384-322 A.C.) atribuyó los terremotos a movimientos de la tierra producidos por desplazamientos de aire caliente que desde el interior del planeta trataba de fugarse. Propuso, así mismo, una clasificación de seis tipos de temblores, según el movimiento que observaba, por ejemplo los que ocasionan un desplazamiento hacia arriba, los que sacuden la tierra lateralmente, etc. (Pavón, 1998).

Los recientes avances de la sismología han permitido conocer con gran precisión la composición del interior de la tierra, han logrado determinar la causa y origen de los temblores.

La República Mexicana se encuentra en una de las zonas sísmicas más importantes del mundo: En diversas regiones del territorio del país existe una notable actividad sísmica, la cual da lugar a una liberación de aproximadamente el 3% de la energía sísmica en el mundo.

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". El Municipio de Naucalpan de Juárez se encuentra localizado en el Valle de México en la parte meridional aproximadamente en el paralelo de latitud 19⁰30' N y el meridiano de longitud 99⁰15' W; limita al norte con Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz y Jilotzingo; al sur con Huixquilucan; al este y sureste con el Distrito Federal; al oeste nuevamente con Jilotzingo, y al

suroeste con los municipios de Ocotlán, Xonacatlán y Lerma. Cuenta con una extensión territorial de 149.86 km².

Es uno de los municipios más densamente poblado (833,779 habitantes, aproximadamente, año 2010) y de mayor importancia en el país, por sus crecientes sedes de zonas industriales las cuales generan aportaciones económicas importantes, de tal forma que genera al PIB del país el 0.9 % respecto al de toda la República Mexicana. (Martínez, 2010)

Uno de los fenómenos naturales más destructores para el hombre son precisamente los sismos y terremotos y dado que casi la totalidad de muertes ligadas a los sismos ocurre por el colapso de las estructuras construidas por el hombre, la tendencia actual de las sociedades para protegerse de estos fenómenos consiste en la prevención de sus efectos en las construcciones.

Debido a su ubicación y características geológicas del municipio se ve expuesto a una gran actividad sísmica y provoca gran impacto en su población, afectando múltiples sectores como el económico, en el que se ven incluidas las obras de ingeniería civil. A lo largo del tiempo se han podido documentar algunos de los sismos que han impactado al municipio y que gracias a esto podemos tener conocimiento del riesgo al que se ve expuesto. Entre estos destaca el ocurrido en Acambay Edo. De México en 1912, debido a el paso de este fenómeno se permitió reconocer, que existe el graben o fosa tectónica de Acambay, es importante tener en cuenta que la zona en estudio se encuentra a menos de 100 km de distancia.

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, Arce, & Zetina, 2013).

En México se cuenta con amplia experiencia en el campo de la protección de estructuras a través de la elaboración de Reglamentos de Construcción. Uno de los primeros Reglamentos para el Distrito Federal se elaboró entre 1966, el cual asimiló la experiencia de los daños causados por

el temblor de julio de 1957. En efecto, es importante resaltar que todo Reglamento de Construcciones se basa en las observaciones disponibles hasta el momento de su elaboración y, con base en ellas, se realizan estimaciones estadísticas de los niveles de movimiento sísmico que pueden esperarse en una cierta zona durante un periodo determinado. Estudios formales de evaluación de riesgo sísmico durante los años 60 llevaron a la elaboración de los primeros mapas de riesgo sísmico para el país, los cuales fueron actualizados en 1974 y a la fecha están nuevamente en proceso de revisión para incorporar observaciones recientes causadas por diferentes fenómenos.

Cabe mencionar que falta desarrollar más investigación en el campo de la ingeniería sísmica en el país con el objeto de apoyar el diseño de las edificaciones en varios lugares de la República Mexicana con características peculiares.

Uno de estos lugares es el Municipio de Naucalpan de Juárez que posee una transición de suelo firme a depósitos de suelo blando en la frontera con el Distrito Federal, una de estas características es la frontera entre el terreno de transición y el firme en colindancia con el Distrito Federal. Esta transición genera que el movimiento de la superficie del terreno de un sitio dado puede diferir radicalmente del que se tiene en roca base, debido a alteraciones de las ondas sísmicas causadas por efectos geológicos, topográficos y de rigidez del suelo. El estudio de estas alteraciones se ha incrementado recientemente lo que ha conducido a la necesidad de realizar estudios de microzonificación en áreas más delimitadas de asentamientos humanos, para detectar aquellas zonas donde se presentan estos problemas especiales.

Existen trabajos previos relacionados sobre el tema realizados por diversos investigadores (Rivera, 2013, Reinoso 2007) en los que se han desarrollado diferentes criterios en sitios específicos. Como base de sustentación metodológica son una fuente de información. Esto permitirá profundizar de manera más adecuada en los temas que se abordarán en este trabajo.

Específicamente tomando, no solo de referencia, si no partiendo de información generada del mismo, el trabajo realizado por (Zetina, 2014) aporta una amplia descripción del área de estudio y los problemas que presenta este ante las fuentes sísmicas que le atacan. Además de brindar información específica sobre las campañas de medición, donde se obtuvieron 69 puntos de registro de vibración ambiental, dando a cada uno de estos su correspondiente interpretación.

Para finalmente presentar un mapa donde se muestran los periodos dominantes del municipio y otro donde se esquematiza una microzonificación preliminar del municipio.

1.2. Objetivo y alcance

El objetivo de esta investigación radica en realizar estudios de amplificación sísmica en el municipio de Naucalpan de Juárez a fin de obtener una microzonificación sísmica representativa; este tipo de estudios se atribuyen a la planeación urbana en lo que concierne a la reducción del riesgo sísmico de las construcciones.

El alcance de este estudio es poder conocer las características dinámicas del subsuelo en el municipio, a través de una evaluación de la respuesta del sitio ante el paso de ondas sísmicas, la que permitirá obtener las variaciones en la amplitud y en el contenido de frecuencias de la señal en la superficie. Ese efecto tiende a causar una variación de la intensidad con un posible aumento en los daños a la infraestructura.

1.3. Contenido de la investigación

El presente trabajo está conformado por cinco capítulos los cuales se explican a continuación:

Dentro del capítulo I se plantea el objetivo de la investigación y antecedentes que la justifican.

En el capítulo II se exponen los estudios preliminares a la evaluación de la respuesta del terreno, los cuales servirán para justificar y sustentar distintos comportamientos. Se realiza una descripción de los aspectos geológicos y geotécnicos, comenzando del más general que es la Cuenca de México hasta llegar a la realización del mapa geológico del Municipio de Naucalpan, con el cual se podrá comparar el tipo de suelo o roca con el comportamiento sísmico de la misma. Se definen también algunos conceptos sísmicos que permiten comprender más el origen de los movimientos sísmicos que afectan al área de estudio. Por último dentro de este capítulo se aborda el tema de efectos de sitio, la cual es una característica peculiar de la Cuenca Del Valle de México y que afectan directamente a Naucalpan.

En capítulo III se define el tipo de información obtenida con la campaña de medición de vibración ambiental y los criterios utilizados para su análisis de los mismos.

En el capítulo IV se presenta la evaluación de los datos por medio del método de cocientes espectrales H/V (Nakamura) la cual se expresa en términos de espectros de amplitudes de Fourier, a partir de dicho análisis se desarrollaron mapas de isoamplitudes en las diferentes direcciones en las que se presenta un sismo, en estos se puede apreciar los puntos más críticos de las diferentes amplificaciones que se presentan en el municipio.

Para finalizar el trabajo en el capítulo V se presentan los resultados finales, representados en un mapa de microzonificación sísmica, donde el área de estudio queda dividida en sectores de diferente riesgo potencial, también llamados zonas de riesgo sísmico, que se etiquetan, de acuerdo con su peligrosidad, en orden ascendente. Con esta información se podrán inferir los efectos de un sismo sobre las edificaciones dentro del área de estudio.

Las conclusiones se abordan en el capítulo VI donde se expresa una opinión sobre el trabajo realizado, así como analizar si se cumplió con el objetivo del trabajo.

2. Estudios preliminares

2.1. Aspectos geológicos y geotécnicos

La Cuenca de México es muy compleja desde el punto de vista tectónico, por su localización dentro del Cinturón Volcánico Transmexicano (figura 1), el cual constituye uno de los más característicos rasgos de la geología de México.

La información geotécnica actual, al respecto de la zona conurbada al norponiente del Valle de México, se obtiene de 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 la cimentación de obras de Ingeniería

La Cuenca de México posee una interesante historia geológica. Para fines del Mioceno, hace unos catorce millones de años, la actividad volcánica rindió sus primeros frutos: la sierra de Pachuca, la de Guadalupe, la de Tepetzotlán, la de Tepozán y la de Las Pilas. Les siguió, con cerca de diez millones de años, la sierra de las Cruces, que delimita la parte occidental de lo que hoy es la Cuenca de México y, al oriente las primeras formaciones de la Sierra Nevada y la de Rio Frio. Este amplio valle por donde circulaban varios ríos, quedo cerrado desde hace unos setecientos mil años, cuando una intensa actividad volcánica dio origen a la Sierra de Chichinautzin, privando al río Balsas de un afluente y formando una cuenca cerrada 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 Iztaccihuatl con sus fumarolas (Chávez, 2008).



Figura 1 Cuenca de México.

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 km, por otro lado en el sur alcanza unos 50 km; el área aproximada de la cuenca es de 9600 km² (figura 1). Sus altitudes Oscilan entre 2,390 en el norte y 2,240 m en dirección sur (Santoyo, 2005). A la fecha está rodeada por altas montañas, limitada al norte por la sierras de Pachuca, Tepotzotlán, Guadalupe y Tepozán. Al sur el Popocatepetl, con una altura media de 5,300 m. Al oeste la cuenca está limitada por las sierras 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
- Vulcanismo y depósito de sedimentos fluviales y lacustres en el graben durante las épocas Plioceno-Eoceno (Era Cenozoica).
- Depósito de flujos de lava y materiales piroclásticos durante el Oligoceno, Mioceno y Pleistoceno (Era Cenozoica).
- Depósito de abanicos fluviales y de piamonte en las regiones del este y oeste, durante el Plioceno superior y el Pleistoceno (Era Cenozoica).
- 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
- Desarrollo de un conjunto de fallas NE-SW, a través del piso de la cuenca, bajo los depósitos lacustres
- Desarrollo del ambiente lacustre como una consecuencia del cierre de la cuenca.

2.1.1. Aspectos geotécnicos de la Cuenca de México

Actualmente se cuenta con algunos mapas de caracterización geotécnica de la Cuenca del Valle de México, donde se busca detallar las zonas de tipos de materiales existentes. Para el Estado de México se cuenta con un mapa que define cuatro tipos de terreno:

- Sierras y cerros, conformados por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
- Planicies y lomeríos, en los que los depósitos profundos se encuentran a 20 m o menos y están constituidos predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre.
- Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que puede existir superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos

- Lago, integrado por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limos o arcillas, medianamente compactos o muy compactos.

Pleistoceno y Holoceno (última y actual época geológica 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 continúa (Santoyo, 2005)

La Cuenca de México permaneció de forma exorreica (es decir, las aguas de la cuenca tenían salida fluvial hacia el mar), hasta hace 700,000 años, cuando surgió producto de una 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 conos de deyección (abanicos aluviales), materiales muy diversos al confluir a dichos lagos. La parte central de la cuenca se fue llenando con acarreo 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 la 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, el nivel del lago bajó y se formaron costras endurecidas por deshidratación incluida 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 (Santoyo et al, 2005).

El proceso descrito formó una secuencia ordenada de estratos de arcilla blanda separados por lentes duras 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, pierden importancia y 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 en clima relativamente caliente, condición en que se producen suelos con coloides debido a la actividad fitológica más intensa.

2.1.2. Geología del norponiente del valle de México (Naucalpan)

La información geotécnica actual, al respecto de la zona conurbada al norponiente del valle de México, se obtiene de 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 la cimentación de obras de Ingeniería (Chávez, 2008)

En esta zona, a la cual corresponde Naucalpan, se encuentran principalmente rocas volcánicas y piroclásticas.

La secuencia inicia con rocas extrusivas del Mioceno Medio y Tardío, constituidas por 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 en Naucalpan se encuentran en las bases de la Sierra de Guadalupe y la Sierra de las Cruces, donde se amplían más hacia el norte en la base de la Sierra de Tepozotlán, lugar donde predominan (Vázquez & Jaimes, 1989)

La Formación Las Cruces fue interpretada por Bryan (1948), Segerstrom (1961) y Mooser (1974) como Formación Tarango (depósitos volcánicos expuestos). En el norponiente del valle de México se encuentran sus afloramientos a lo largo de la carretera Nuacalpan-Jiquipilco, en las afueras de San Mateo Nopala y la carretera Naucalpan-Cuajimalpa. Está constituida por depósitos piroclásticos como pómez pliniana y secuencias de "surges" (inicios de secuencias piroclásticas), planares o masivos, cristalinos, vítreos y en ocasiones con pómez, cubiertos por flujos piroclásticos generalmente no soldados de cenizas cristalinas, vítreas. En algunos casos estos piroclastos se encuentran cubiertos o interestratificados con material aluvial en 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 (Santoyo, 2005).

Los depósitos aluviales consisten de material clástico fluvial acumulado simultáneamente con sedimentos lacustres y depósitos volcánicos del Cuaternario, afloran formando llanuras al norte y sur de la cuenca. Los espesores máximos son alrededor de 500 m y se encuentran en el centro de las depresiones y se adelgazan hacia las márgenes de la llanura. En la zona norte y sur de la cuenca se incluye material propio consolidado, compuesto por fragmentos del tamaño de la grava, arena, limos y arcilla, conteniendo localmente marga, tierra diatomácea, turba, loess (depósitos de limo) 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 (Chavez, 2008).

La formación geológica del municipio de Naucalpan está compuesta en gran parte de rocas ígneas y sedimentarias, provenientes del periodo Terciario de la era Cenozoica y en menor medida del período Cuaternario (Martínez, 2012). Cabe agregar que Naucalpan 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 las partes más bajas del municipio, los suelos superficiales son estratos de material vegetal con espesores aproximadamente de 1 a 2 m, después aparecen los suelos pertenecientes a la series Clástica Fluvial y Aluvial (es decir, materiales granulares aluviales y depósitos superficiales de color negro y vidrio volcánico) de las formaciones de la Sierra de Las Cruces, la Sierra de Tepozotlán y la Sierra de Guadalupe (Martínez, 2012).

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 capaz de pómez, provenientes de las erupciones de las Sierra de Las Cruces y están constituidas por lava, toba y aglomerados basálticos, andesíticos y dacíticos (Santana, 2008).

2.1.3. Mapa Geológico de Naucalpan

El mapa geológico del territorio de Naucalpan de Juárez se presenta en la figura 8 y 9. Mapa geológico de Naucalpan de Juárez. En él se observa una secuencia de rocas en la porción central donde predominan las que constituyen la Formación Tarango (T), en ocasiones cubierta por rocas ígneas extrusivas de composición intermedia (Igei) con gran cantidad de estructuras volcánicas sobre todo en la parte oeste del territorio. Hacia el norte, junto con las rocas piroclásticas de la Formación Tarango se encuentran brechas volcánicas (Bv) que marcan el límite con el Municipio de Atizapán.

Cerca de la presa Madín aparecen las secuencias piroclásticas descritas, asociadas en ocasiones a materiales tobáceo-arenosos

Hacia la porción oriental del municipio, cerca de la FES Acatlán, los materiales predominantes son los correspondientes a suelos que constituyen parte del valle de Cuautitlán y están compuestos de series de arcillas de baja plasticidad con arena y limo, limo y arena-arcillosa con espesor de 12 m, cubiertas por 8 m de arcilla y limo de consistencia blanda (Hass Mora, 1978).

En el cerro del Ocotillo, que colinda con el de Moctezuma, al poniente de la FES Acatlán, se encuentra un cuerpo intrusivo (figura 2 a 4) de composición intermedia (pórfido andesítico) (Igi), que ha sido descubierto por la construcción de avenidas debido al avance urbano y que no aparece en los mapas geológicos que se han hecho de la zona, ni se menciona en la bibliografía que describe a la Sierra de Las Cruces. Este cuerpo probablemente continúe hacia el norte pues aflora también cerca de la presa Madín en el Municipio de Atizapán; generalmente está coronado por rocas piroclásticas y volcánicas de composición principalmente andesítica y basáltica, y se observan sus intrusiones afectando a secuencias de tobas, como se muestra en las figuras 2 y 3.



Figura 2. Cuerpo intrusivo en Atizapán



Figura 3 Cuerpo intrusivo en Naucalpan

Para la investigación este punto es importante ya que se realizaron algunas mediciones en esa zona y la información obtenida (que en el capítulo IV se explicará más a fondo) discrepaba de los valores esperados, así que se realizó una visita al sitio con el fin de identificar el tipo de roca presente en ese lugar y así justificar su comportamiento. Se tomaron tres muestras de rocas para corroborar su clasificación a través de un análisis petrográfico.



Figura 4. Recolección de muestras

El estudio petrográfico nos proporciona una clasificación de cada muestra: Pórfido andesítico (muestra 1, figura 5), Toba andesítica (muestra 2, Figura 6) y toba vitrolítica (muestra 3, figura 7).



Figura 5 Muestra 1



Figura 6. Muestra 2



Figura 7. Muestra 3

Esta información nos indica que constituye una roca sumamente resistente y profunda, sin embargo presenta un alto grado de alteración y fracturamiento, lo que puede justificar el comportamiento inesperado, presentando periodos en el espectro de Fourier altos. Es importante tomar en cuenta este cuerpo intrusivo para la delimitación de áreas de respuesta a las ondas sísmicas ya que constituye el basamento.

En general, y principalmente en las secuencias de la Formación Tarango (T) y en las rocas volcánicas (Igei), se observa un alto grado de fracturamiento y escasas fallas; la única reportada por el INEGI afecta a la Formación Tarango y se ubica en la parte central del mapa, registrada como falla normal con buzamiento hacia el oeste.

Al oriente del mapa se delimitan las grietas de Echegaray y La Florida, que afectan a los suelos de los terrenos aluviales con hundimientos hasta de 80 cm y que pueden provocar

desplazamientos en las edificaciones por efecto de sismos. Estas grietas se formaron debido a la extracción del agua del subsuelo, tienen orientación E-W y longitudes que superan los 1000 metros.

Las tobas de la Formación Tarango fueron motivo de explotación indiscriminada durante varios años por su similitud con las arenas y formaron parte de los materiales de construcción de la Ciudad de México durante su expansión hacia el norponiente de la Cuenca. Esta explotación subterránea sin control dejó gran cantidad de extensas cavidades ocultas, que actualmente constituyen un riesgo para las construcciones, pues su falta de ubicación provoca que se descubran demasiado tarde, cuando las edificaciones sufren fracturamientos en sus muros, hundimientos, basculamientos e incluso colapso.

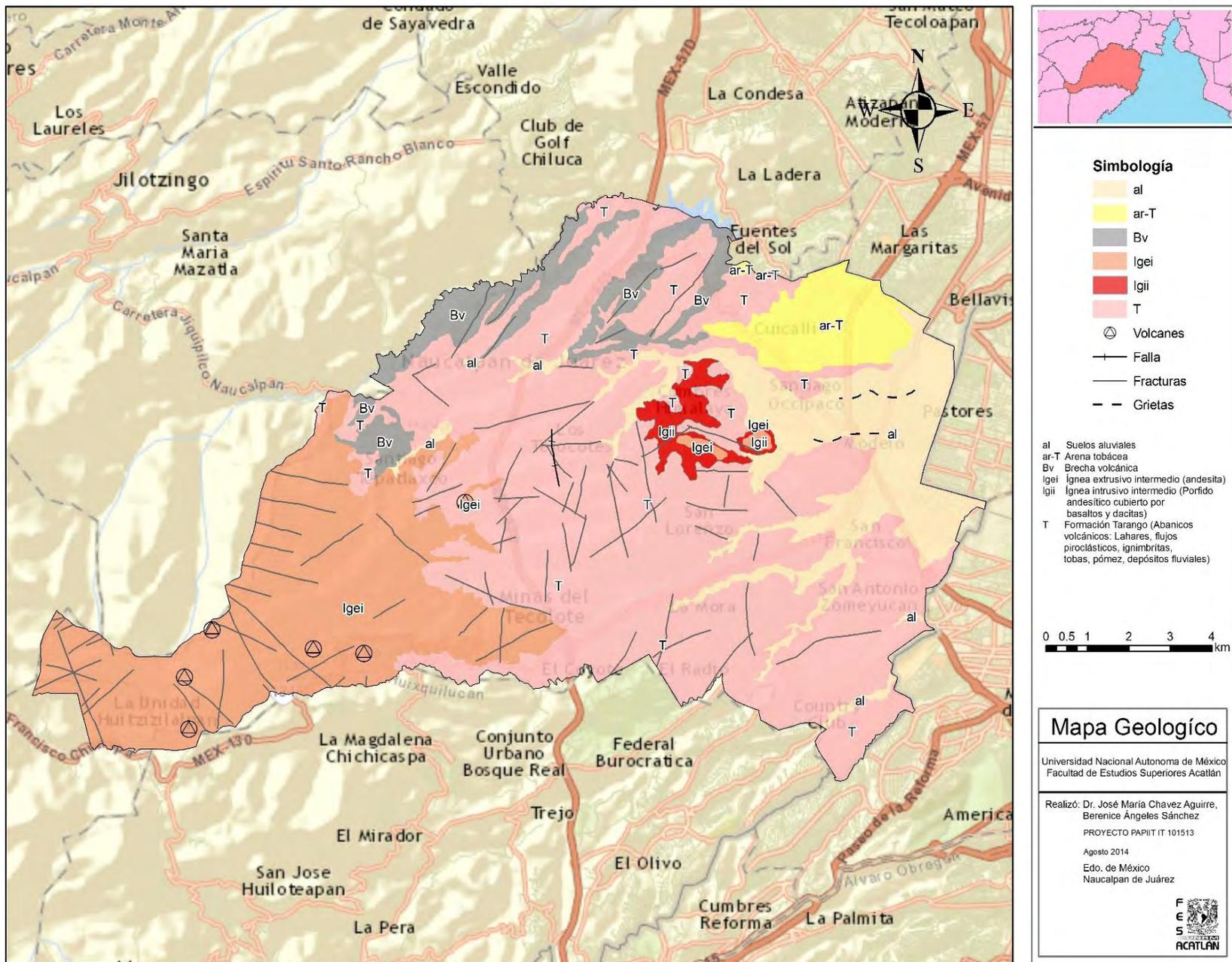


Figura 8. Mapa geológico de Naucalpan de Juárez. INEGI, SGM, Comunicación personal Chávez, 2014.

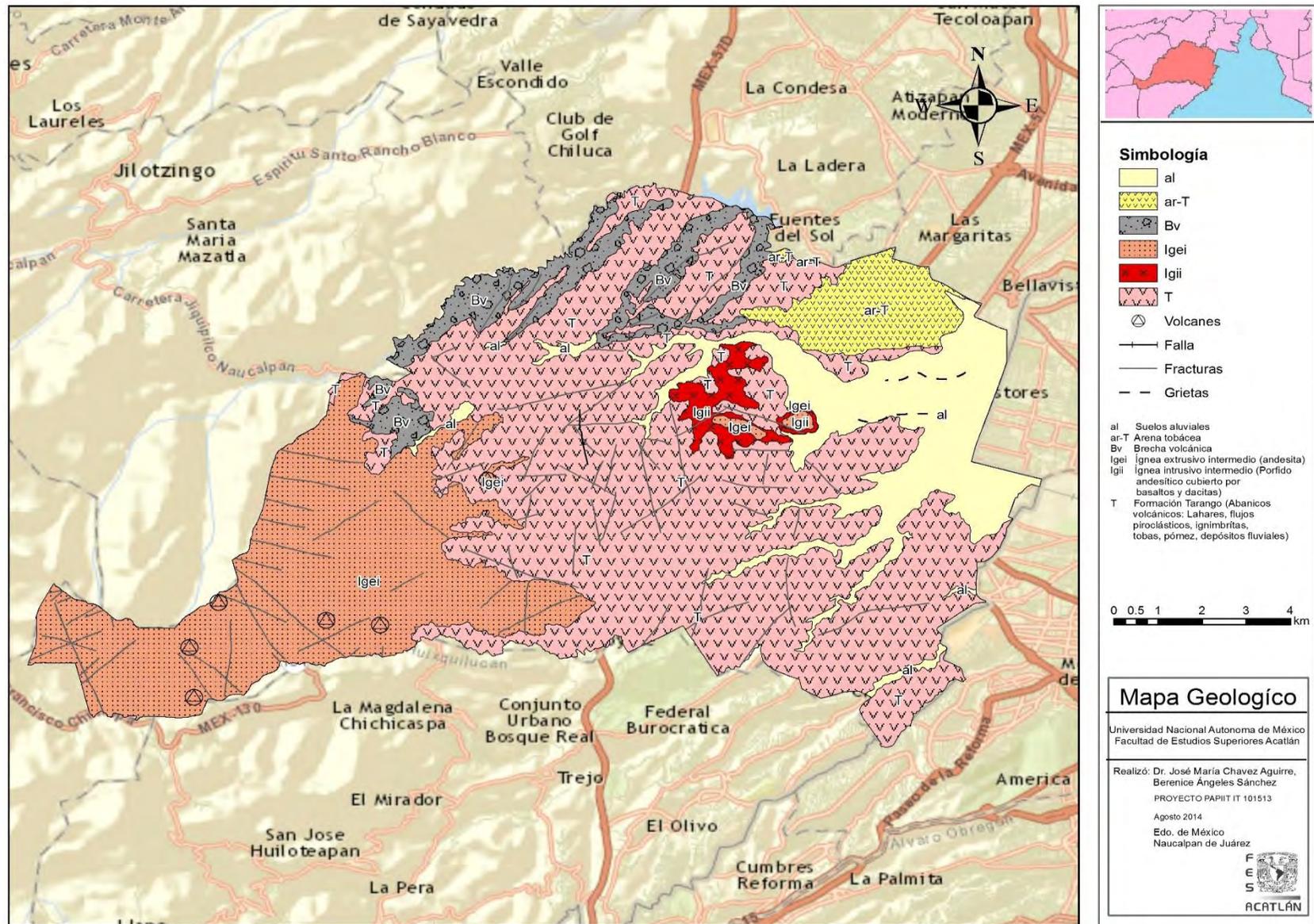


Figura 9. Mapa geológico de Naucalpan de Juárez. INEGI, SGM, Comunicación personal Chávez, 2014, versión ashurada.

2.2. Aspectos sísmicos

2.2.1. Definición de sismo

Un sismo se define como la liberación súbita de energía, producto de la interacción dinámica entre las distintas placas tectónicas que conforman la Tierra. Esta liberación produce varios efectos sobre el terreno (roca o suelo blando), el cual se deforma de distintas maneras dependiendo básicamente de las características físicas y dinámicas tales como su estratigrafía, la frecuencia natural de vibración, el amortiguamiento y el módulo de rigidez, entre otros. (Pavón, 1998)

Entonces los sismos se pueden caracterizar como un proceso de ruptura y deformación elástica del material de la litósfera, y bajo esas condiciones todos los sismos son iguales, sin embargo, se ha visto que dependiendo del tipo de falla o mecanismo causal, así como del medio de propagación, los sismos pueden tener consecuencias diferentes en la superficie. Es por eso que se pueden clasificar según su zona de generación, y su profundidad. De acuerdo a lo anterior tenemos la siguiente clasificación:

- Sismos de subducción someros. Aquellos que se generan en las fronteras de este tipo y que ocurren a profundidades que no exceden los 40 km.
- Sismos de subducción profundos. Aquellos que ocurren debido a la interacción de subducción y en la zona de fricción (interplaca), pero a profundidades mayores a los 40 km.
- Sismos intraplaca de profundidad intermedia. Sismos que se presentan en la placa subducida, pero no ocasionados por la fricción entre las placas sino por fractura de la placa que ha penetrado, sus profundidades son mayores a los 80 km y generalmente menos de 500 km en México.
- Sismos de zonas de acreción (acumulación de sedimentos deformados que se acumulan en forma de cuña en una zona de subducción en un borde convergente de placas tectónicas). Sismos que se presentan en este tipo de fronteras, por lo general con profundidades que no exceden los 20 km.
- Sismos de fallas de transurrencia. Los que se presentan en este tipo de frontera, cuyas profundidades nos exceden los 30 km por lo común.
- Sismos corticales intracontinentales. Sismos que se presentan en fallas no directamente relacionadas con los procesos de interacción entre las placas, sino al interior de una placa. Sus profundidades no exceden el grosor de la placa.

Adicionalmente, se pueden considerar los sismos volcánicos, los cuales tienen una clasificación propia. Entre estos, los llamados sismos volcano-tectónicos que serían equivalentes a los sismos corticales. Otros sismos de este tipo pueden deberse al transporte de fluidos (magma o agua) en cavidades y fracturas, ocasionando la emisión de bajas frecuencias por lo que se llaman temblores. (Zúñiga, 2012)

2.1.4. Ondas sísmicas

Cuando se produce una sacudida sísmica se libera una gran energía de deformación almacenada. Esta energía se transmite por el interior de la tierra (rocas) en forma de ondas las cuales se clasifican en dos grupos principales. Las ondas de cuerpo y las ondas de superficie. A su vez, las ondas de cuerpo se subdividen en ondas P y ondas S, ambas se propagan por el interior de la tierra y en todas direcciones a partir del foco (figura 10).

Las ondas P, primarias, son similares a las del sonido en el sentido de que al propagarse comprimen y estiran a la roca por lo que también se les conoce como ondas de compresión. Poseen la propiedad de viajar lo mismo a través de la roca sólida como de material líquido, tales como el magma y el agua de los océanos.

El otro tipo es la onda S (secundaria), que posee la propiedad de propagarse transversalmente al movimiento de la onda P con una velocidad menor que ésta y es incapaz de trasladarse a través de los líquidos o los fluidos.

Puesto que la onda P viaja a mayor velocidad, es la primera en arribar y queda registrada en los sismógrafos. Su efecto es similar al de las ondas sonoras al estremecer las vidrieras.

Unos segundos después arriban las ondas S, con un movimiento horizontal de un lado a otro, así como verticalmente de arriba abajo. Este es el causante principal de daño en las construcciones.

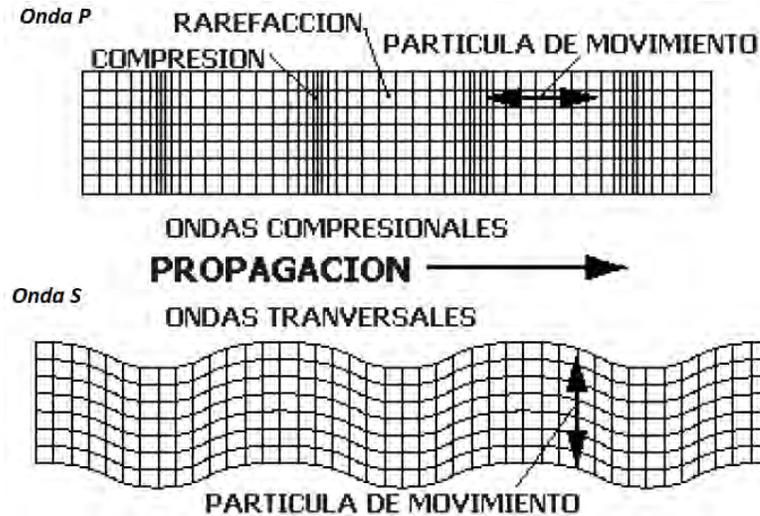


Figura 10. Tipos de ondas de cuerpo.

En el segundo grupo de las ondas se encuentran las de superficie, son como su nombre lo indican, son las que su movimiento está restringido a las cercanías de la superficie terrestre o en las discontinuidades de los estratos rocosos. Se inicia su propagación después de que las ondas de cuerpo interactúan a lo largo de las discontinuidades. Por lo que en los medios homogéneos donde no existen discontinuidades, no hay ondas de superficie. Además contienen la mayor cantidad de energía en los temblores poco profundos y por ello son la causa principal de la destrucción en los centros densamente poblados (Pavón, 1998).

A su vez las ondas de superficie pueden dividirse en dos clasificaciones. La primera es la de Love que mueve al terreno en un plano paralelo a la superficie y sin que exista un desplazamiento vertical. El movimiento lateral es transversal a la dirección de la propagación. (Figura 10). Su efecto es el de sacudir a la cimentación de las construcciones horizontalmente y de un lado a otro, dando lugar a considerable daño a éstas.

La otra clase de onda superficial es la onda de Rayleigh. El movimiento al que da lugar es de rotación sobre las partículas del material perturbado, pues estas sufren un movimiento vertical y horizontal en un mismo plano, en la dirección del viaje de la onda (figura 11). De hecho el movimiento de una partícula del suelo o roca sigue la trayectoria de una elipse al paso de la onda. (Pavón, 1998).

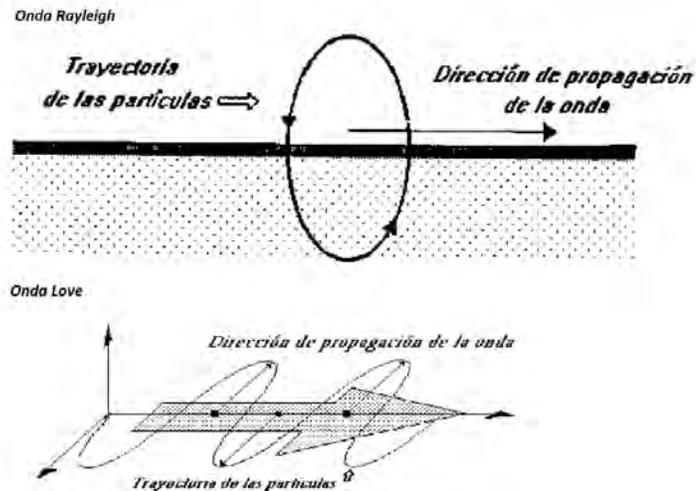


Figura 11 Trayectoria de las ondas.

2.1.5. Tectónica de placas

El globo terráqueo se encuentra dividido en 13 grandes placas a las que se denomina “Placas Tectónicas” las cuales se mueven entre sí. Dichos bloques tienen un espesor que va de los 15 a los 50 km, aproximadamente, y componen lo que se ha dado en llamar la “Litósfera”, la cual es la parte rígida de la superficie de la Tierra y comprende tanto a la corteza como a una parte, la más superficial, del Manto. La capa de la Tierra que se encuentra inmediatamente abajo de la Litósfera es la Astenósfera, la cual no es rígida. Las placas tectónicas se mueven arrastradas por el material que las suprayace teniendo velocidades del orden de 2.5 cm/año.

Las velocidades y, en ciertos casos, las direcciones de movimiento entre placas son diferentes lo que da lugar a interacciones en sus fronteras. Existen tres tipos principales de frontera entre placas:

a) Convergentes.- En este tipo las placas han tenido una “colisión” y, por lo general, ocurre que una de ellas (la de mayor densidad) penetra por debajo de la otra (figura 12).



Figura 12. Frontera de Convergencia Oceánica-Continental.

b) Divergentes.- En este tipo de frontera, las placas se separan en dirección opuesta partiendo de la frontera, debido a la emergencia de material proveniente del interior (Manto). Este tipo de fronteras forma por lo general una cordillera (**dorsal**) con un surco en la cima y se localizan muy comúnmente en el océano (figura 13).

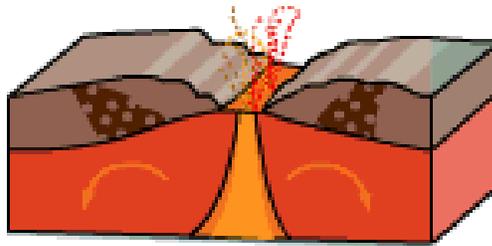


Figura 13. Frontera divergente.

c) Fronteras transcurrentes. En este tipo de linderos las placas se mueven con desplazamientos laterales, es decir, pasan una junto a la otra (Zúñiga, 2012), tal como se muestra en la figura 10. Las placas se mueven en dirección opuesta lateralmente, siguiendo el mismo rumbo de la frontera que corresponde a la línea de Falla principal (dicha línea es la traza de la falla, es decir, la intersección del plano de falla con la superficie).



Figura 14. Frontera transcurrente

2.3. Fuentes sísmicas que afectan el valle de México

La Cuenca de México comprende una de las porciones centrales del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT). Varios factores geológicos se conjuntan para hacer de la Cuenca una provincia de alto riesgo sísmico. (Chavez, 2008). Dentro de la Cuenca existen varios sistemas de fallas geológicas sismogénicas. Los principales sistemas son: A, fallas esencialmente corriendo en dirección NE; B, fallas con orientación SE, y C, fallas con dirección aproximada de EW, tal como se muestra en la Figura 15. Fallas en la Cuenca de México. (Rosenblueth, Ordaz, & Sánchez Sesma, 1989).

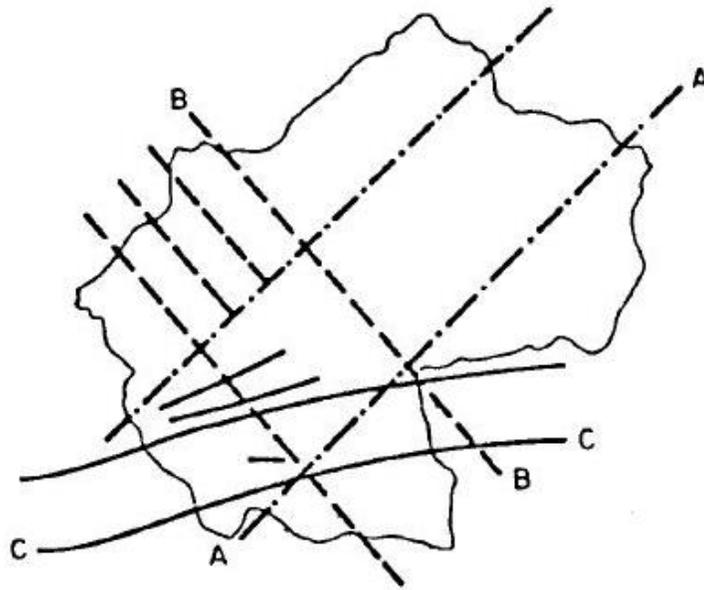


Figura 15. Fallas en la Cuenca de México.

Las principales fuentes sísmicas que afectan al Valle de México pueden clasificarse en cuatro grupos cuya localización se muestra en la Figura.

- Temblores locales, originados dentro de la cuenca o cerca de ella. Generalmente de pequeña magnitud, menores a 5.5 grados (Reinoso, 1995).
- Temblores que se originan en la placa de Norteamérica. Los deslizamientos de las fallas sismogénicas se deben esencialmente a dos fenómenos, el desplazamiento de esta placa con respecto a las placas oceánicas, debido principalmente a la resistencia y al empuje de las corrientes de convección magmáticas, y a la flexión inducida por la fricción de las placas

oceánicas. Pueden alcanzar magnitudes hasta de 7.0 grados Richter. También conocidos como tipo Acambay por el sismo que ahí se generó en 1912.

- Temblores de subducción. Los que históricamente más estragos han causado en la Ciudad de México ya que pueden mantener magnitudes de hasta 8.4 grados. Pese a la relativa lejanía del Municipio de Naucalpan al epicentro de estos temblores (entre 280 y 600 km), la zona metropolitana es particularmente vulnerable porque las ondas que llegan son de periodos largos y de gran duración, sobre todo en la zona de suelo blando.
- Temblores de profundidad intermedia, también conocidos como de falla normal. Causados por rompimientos de la placa de Cocos ya subducida. Los que se originan cerca de la zona de subducción pueden tener magnitudes de hasta ocho grados, pero a medida que el epicentro se aleja de esta zona la magnitud disminuye. (Rosenblueth, Ordaz, & Sánchez Sesma, 1989).

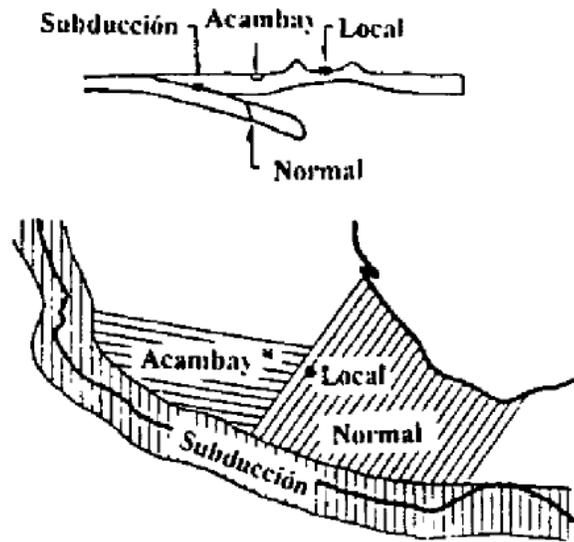


Figura 16. Fuentes sísmicas del Valle de México.

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 1.

Fecha	Tipo de sismo	Observaciones
2-noviembre-1894	Subducción	• 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
19-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

Tabla 1. Sismos importantes en el Municipio de Naucalpan.

De estos tres sismos el de mayor intensidad fue el ocurrido el 19- noviembre -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 (figura 17) 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 de ancho, aproximadamente, y está definida por el sistema de fallas Acambay-Tixmadejé y la falla de Pastores (Rivera, Arce, & Zetina, 2013)

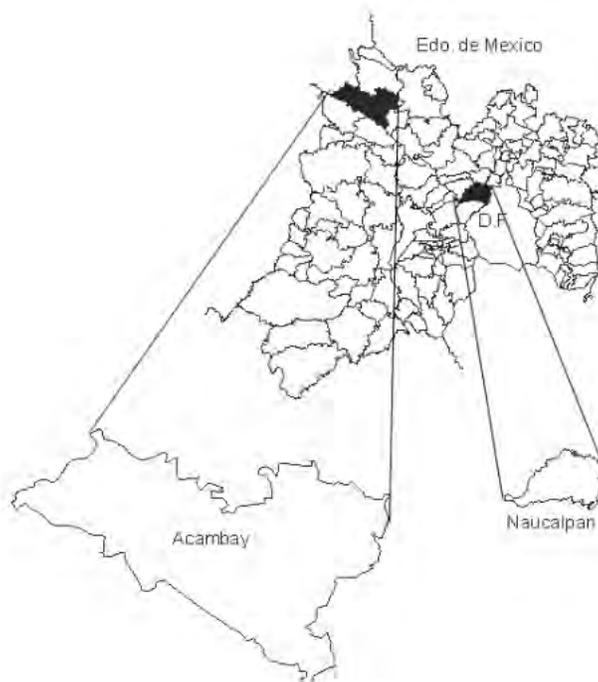


Figura 17. Ubicación del Municipio de Acambay.

2.4. Efectos de sitio

En eventos sísmicos con alto índice destructivo existen evidencias de cómo altera la composición geológica del lugar el movimiento. Dependiendo del arreglo estratigráfico, que en la mayoría del territorio nacional son estructuras geológicamente complejas, se modifican drásticamente los movimientos generados por las ondas sísmicas. Se puede afirmar que la amplificación del movimiento es producto de los efectos locales o de sitio, por los que el conocimiento de las características geológicas es de vital importancia para disminuir los daños ocasionados por estos fenómenos. Una de las actividades de interés para la sismología es la medición de las amplificaciones causadas por el suelo en áreas densamente pobladas (Torres L. , 2010)

Los sismos que se originan en cada una de las fuentes son diferentes y sus efectos se manifiestan de diferente manera a las zonas de lomas, transición y lacustres de la ciudad. Los temblores de subducción son ricos en frecuencias bajas (periodos largos) mientras que los otros concentran su energía en frecuencias más altas (periodos cortos). Esto explica por qué los temblores de subducción son los que más afectan a la zona de arcillas lacustres.

Para el Municipio de Naucalpan, si se presentara un sismo similar al ocurrido en Acambay en 1912, por ejemplo, las zonas de terrenos duros o las de transición podrían ser las más dañadas. Es bien sabido que hay una relación estrecha entre la intensidad sísmica de un sitio, las condiciones locales del subsuelo, la magnitud, la distancia epicentral y la naturaleza de las fuentes sísmicas. Todos esos aspectos han sido objeto de investigación cuya importancia volvió a evidenciarse después de 1985 (Santoyo, 2005).

Algunas de las implicaciones prácticas de estas pesquisas se han reflejado en las Normas Técnicas Complementarias para el diseño sísmico de edificios. En particular, la zonificación sísmica de nuestra ciudad. Los espectros de diseño para cada una de estas zonas toman en cuenta todas las fuentes que contribuyen al peligro sísmico y así mismo, las condiciones geotécnicas particulares de cada una de ellas. Una importante aportación a la práctica ha sido la inclusión en estas normas de los mapas de iso-periodos naturales del terreno, obtenidos a partir de registros de vibraciones ambientales (ruido ambiental), los cuales permiten conocer puntualmente las características dinámicas promedio del subsuelo del valle (Santoyo, 2005).

Las peculiaridades del subsuelo modifican en cada sitio su respuesta sísmica y, como se ha observado repetidamente, las intensidades locales pueden tener grandes variaciones, como se ilustra en la Figura. Ahí se observa que los movimientos menos intensos ocurren en la zona de terreno firme y aparece un fuerte efecto de amplificación originado por la presencia de los suelos lacustres blandos. Además, la duración del movimiento sísmico también resulta más prolongada en los suelos blandos y por ello se incrementan los daños. En general un movimiento de gran amplitud pero corta duración puede ser inocuo, mientras que uno de amplitud media con gran duración puede involucrar suficientes ciclos como para generar daños considerables.

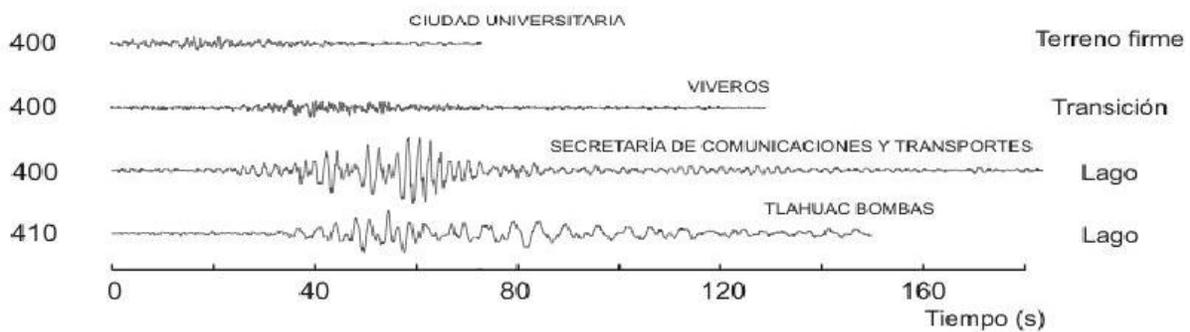


Figura18. Acelerogramas registrados durante el sismo de 1985.

3. Registro y análisis de señales

3.1. Mediciones de vibración ambiental

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. La técnica de vibración ambiental es una de las más usadas en la estimación de los efectos de sitio en los últimos años. Esto se debe a la facilidad y bajo costo con la que se puede obtener información acerca de las condiciones locales del terreno con la simple utilización de un equipo de registro.

Las mediciones de vibración ambiental (también conocidas como: microtrepidaciones, microsismos, ruido sísmico de fondo, campo natural, microtremores) tienen el potencial de contribuir significativamente a la respuesta dinámica del suelo ante la excitación sísmica, en particular en zonas urbanas como el Municipio de Naucalpan.

Los suelos tienen diferentes comportamientos dinámicos frente a las ondas sísmicas, los cuales afectan de forma directa a las estructuras cimentadas sobre ellos. Esta respuesta dinámica de los suelos está íntimamente ligada con la frecuencia natural de vibración de éste.

Para llegar a conocer las frecuencias naturales de vibración de los suelos se usan las microtrepidaciones, son vibraciones de baja amplitud del terreno, conformadas por ondas internas y superficiales, Estas ondas pueden ser de período largo y período corto; conformadas por ondas superficiales Rayleigh y Love generadas por diferentes fuentes (Torres, 1995). La mayoría de las vibraciones ambientales de interés práctico sólo ocurren en el intervalo de frecuencias de 0.01 a 30 Hz; cabe mencionar que en la banda de 0.1 a 10 Hz, la energía se transmite como ondas Rayleigh (Asten, 1976).

Generalmente, las vibraciones ambientales con frecuencias menores a 1 Hz son el resultado de fenómenos naturales como la acción de las olas, viento y variaciones atmosféricas mientras aquéllos con frecuencias mayores a 1 Hz, son producidos por fuentes artificiales que se deben a la actividad humana, como trenes, vehículos y el funcionamiento de maquinaria pesada. Detalladamente tenemos:

A bajas frecuencias (por debajo de 0.5 hasta 0.3 Hz.) son causados por las olas oceánicas que ocurren a grandes distancias, y es posible encontrar buena correlación de las vibraciones ambientales con condiciones meteorológicas de gran escala en el océano.

A frecuencias intermedias (entre 0.3-0.5 Hz y 1 Hz.) las vibraciones ambientales son generados por el oleaje que rompe en las costas, por lo que su estabilidad es significativamente menor.

Para altas frecuencias (mayores a 1 Hz) las fuentes de las vibraciones ambientales están ligadas a la actividad humana, por lo que reflejan los ciclos de esta actividad, y se manifiestan por cambios en la amplitud de éstos.

Siempre que se utilicen registros de vibraciones ambientales en la estimación de efectos de sitio se debe recordar que se suponen trayectorias de las ondas simples y similares, esto implica que no existe dispersión tridimensional. (López, 2014).

3.2. Equipo de medición

Para la obtención de estos registros se realizó un trabajo de campo provistos de los siguientes instrumentos; un adquisidor de datos Kinematics® Makalu grabadora digital mejorada que proporciona una resolución de 24 bits y sensores triaxiales con grabación a gran escala de ± 0.25 a $\pm 4g$ (Gal) 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 y hasta 200 muestra por segundo Figura.



Figura 19. Equipo Kinematics Makalu y sensores triaxiales.

El sensor triaxial utilizado tiene sus ejes identificados como “x”, “y” y “z”. El eje “x” se alineó hacia el norte; el eje “y” hacia el este; mientras que el eje “z” queda perpendicular al plano horizontal. En adición, los acelerómetros se nivelaron con un nivel esférico incluido en el mismo para asegurar que estuviesen completamente horizontales. Los acelerómetros están diseñados para captar el movimiento del terreno y cuenta con un umbral de disparo que debe ser rebasado para registrar el movimiento que se está presentando. Este umbral se fija para cada aparato de acuerdo a las condiciones donde se encuentre.

3.3. Puntos de medición

Durante el trabajo precedente se realizó la medición de 69 puntos, tal como se describe ampliamente en el trabajo de Zetina (2014) los cuales fueron complementados con 4 campañas más que agregan 33 puntos dando un total de 102 puntos. A continuación se describen las últimas campañas realizadas.

Campaña 1

En la Tabla 2. Registro de campaña 1 se muestran los puntos de la campaña número 1 realizada el 17 diciembre del 2013 donde se obtuvieron 39 registros de los cuales solo 20 fueron seleccionados. El objetivo era cubrir las fronteras del municipio, tanto al sur con la Delegación Miguel Hidalgo y al Oeste registrando a través de la autopista Lecheria-Chamapa (figura 20).

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
80	17/12/2013	NT011	11:42	19°27.319	99°12.627	2260	Iglesia Greal. Mariano Arista Col. Argentina antigua
81	17/12/2013	NT014	12:06	19°27.545	99°11.750	2253	Calzada México Torre Blanca
82	17/12/2013	NT019	12:55	19°27.141	99°12.017	2260	Calzada Legaria 311 Frente a secundaria No. 168
83	17/12/2013	NT021	13:15	19°26.538	99°12.608	2301	Presa Santa Rosa 44 frente a Primaria Lic Manuel Gual Vidal
84	17/12/2013	NT027	13:45	19°25.644	99°13.873	2324	Fuente de las Nayades 22
85	17/12/2013	NT029	14:05	19°25.293	99°14.333	2353	Av. De las fuentes 201 Lomas Tecamachalco
86	17/12/2013	NT033	14:29	19°24.873	99°14.736	2407	Fuente de Jupiter 27
87	17/12/2013	NU002	14:55	19°24.383	99°15.612	2450	Universidad Anahuac 2 Lomas Anahuac
88	17/12/2013	NU007	15:23	19°24.042	99°16.653	2501	Paseo Bosque de las Palmas 82
89	17/12/2013	NU008	15:35	19°23.859	99°17.388	2522	Av. Juesus del Monte 41 Frente al Walmart
90	17/12/2013	NU011	16:00	19°23.930	99°17.803	2503	Av. Real del Conuntry 24 Autopista
91	17/12/2013	NU013	16:14	19°49.594	99°17.780	2459	Autopista pasando el puente
92	17/12/2013	NU015	16:28	19°25.368	99°17.856	2445	Boulevard Bosque Real
93	17/12/2013	NU017	16:42	19°25.858	99°17.775	2449	Caseta Km 28
94	17/12/2013	NX001	17:13	19°26.933	99°18.119	2482	Km 26
95	17/12/2013	NX002	17:23	19°27.682	99°18.542	2519	Km 25
96	17/12/2013	NX005	17:40	19°28.319	99°18.731	2533	Km 24
97	17/12/2013	NX007	17:50	19°28.964	99°18.767	2482	Km 23
98	17/12/2013	NX009	18:02	19°29.521	99°18.517	2502	Km 22
99	17/12/2013	NX010	18:10	19°30.231	99°18.053	2476	Km 21

Tabla 2. Registro de campaña 1

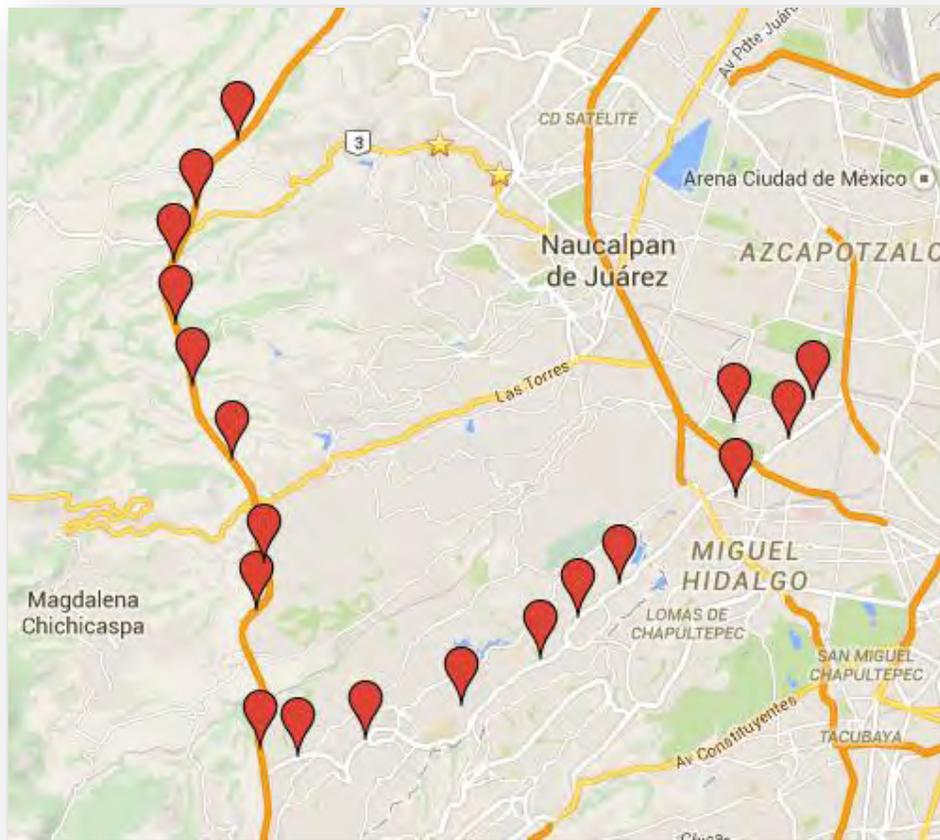


Figura 20. Puntos de medición de la campaña 1.

Campaña 2

Se realizó con el objetivo de cubrir las áreas altas del municipio registrando principalmente al noroeste del municipio, iniciando en la Parroquia de Santiago apóstol ubicada en el camino Real a San Mateo y continuando por la misma hasta finalizar en la carretera Jiquipilco Naucalpan, en la colindancia entre el municipio de Jilotzingo y Naucalpan Edo. De México (Figura). Esta campaña se realizó el día 19 de diciembre del 2013, realizando 21 registros en total de los cuales solo se eligieron 10 (Tabla 3) para contribuir a la microzonificación.

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
70	19/12/2013	NZ004	11:17:00	19°29.891	99°15.179	2301	Parroquia Santiago Apostol
71	19/12/2013	NZ008	11:38:00	19°30.206	99°15.847	2304	Cerrada de la Iglesia de San Mateo Nopala
72	19/12/2013	NZ013	12:01:00	19°30.173	99°16.339	2333	15 de Septiembre Praderas de San Mateo
73	19/12/2013	NZ017	12:19:00	19°29.874	99°17.431	2373	Calle Mirazo 14
74	19/12/2013	NZ019	12:36:00	19°29.461	99°17.861	2391	Av. Camino Real San Mateo
75	19/12/2013	NZ023	12:58:00	19°29.206	99°18.772	2506	Hwy 3 Av. Camino Real San Mateo
76	19/12/2013	NZ026	13:15:00	19°29.319	99°19.753	2575	
77	19/12/2013	NZ031	13:41:00	19°29.983	99°20.341	2554	Carretera Barrio de Tito-Ejido de Santa Maria
78	19/12/2013	NZ035	14:02:00	19°29.766	99°21.567	2686	Carretera Jiquipilco San Luis Arguacan
79	19/12/2013	NZ038	14:19:00	19°29.56	99°22.516	2792	Carretera Jiquipilco Naucalpan-Jilotzingo Mex.

Tabla 3. Registro de campaña 2.

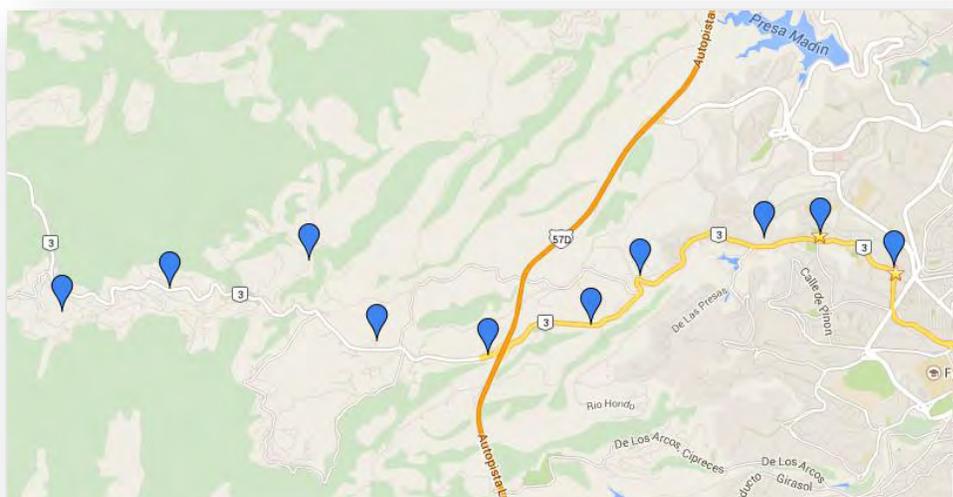


Figura 21. Puntos de mediciones en la campaña 2

Campaña 3 y 4.

Ambas campañas se realizaron con el objetivo de cubrir sitios específicos de interés (figuras 22 y 23), la cual fue la zona al Noroeste de la FES Acatlán, ya que ahí se encuentran formaciones rocosas expuestas. Se obtuvieron 8 registros de los cuales solo se analizaron 3 que se muestran en las tablas 3 y 4,

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
100	14/03/2014	HK001	12:36	19°28.993	99°15.626	2337	San Juan Totoltepec a faldas del cerro Moctezuma,
101	14/03/2014	HJ002	13:35	19°28.994	99°15.627	2348	San Juan Totoltepec a faldas del cerro Moctezuma

Tabla 4. Registro de la campaña 3.

Número	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
102	06/06/2014	IC001R	12:33	19°28.354	99°16.729	2381	Bosques de Arabeles

Tabla 5. Registro de la campaña 4.

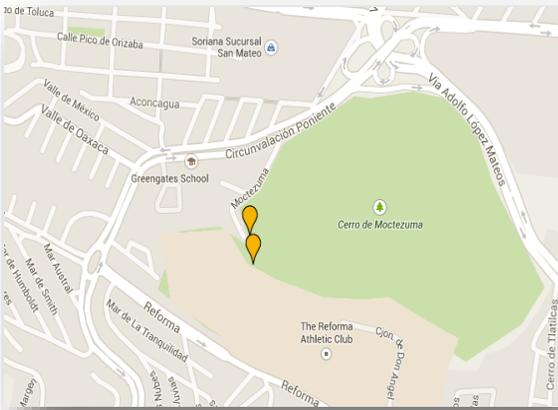


Figura 22. Registro 3.

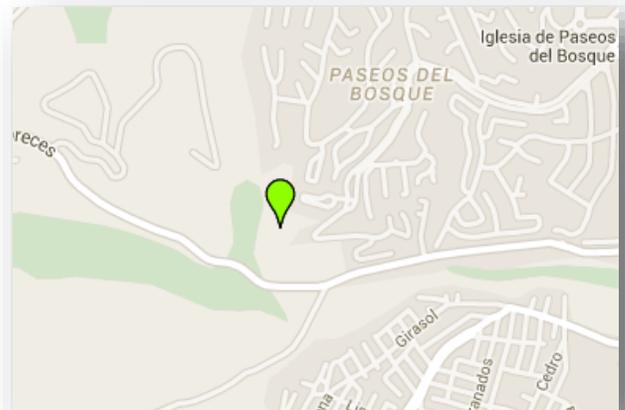


Figura 23. Registro 4.

En la figura 24 se muestra la distribución de los 102 puntos de medición en el municipio y en la tabla X se pueden consultar el concentrado de puntos totales con los que se realizó el trabajo, la cual contiene la ubicación por coordenadas, fecha y observaciones realizadas en el punto.

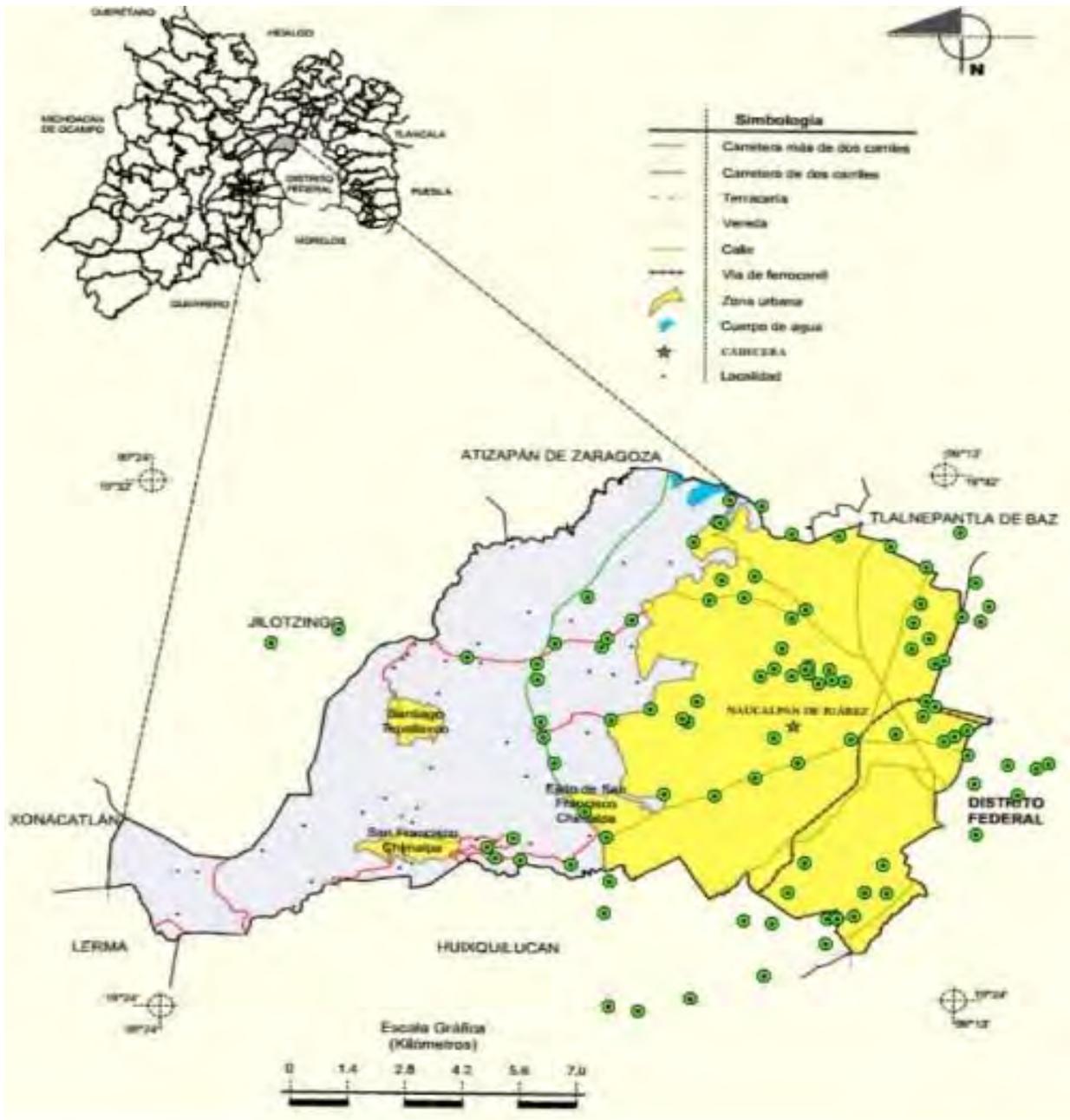


Figura 24. Distribución de los 102 registros de vibración ambiental en el Municipio de Naucalpan de Juárez

No.	Fecha	Archivo	Hora	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Observaciones
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)
2	16/04/2013	KA003	11:32	19°29'01.68"	99°14'57.24"	2273.1	Estacionamiento FES Acatlán (pavimento)
3	16/04/2013	KA007	11:50	19°29'08.51"	99°14'57.116"	2270.65	Teatro Javier Barros, FES Acatlán (banqueta)
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)
5	16/04/2013	KA011	12:27	19°28'55.640"	99°14'37.512"	2272.34	Av. Jardines de San Mateo
6	16/04/2013	KA012	12:38	19°28'59.872"	99°15'11.123"		Av. Adolfo López Mateos, CFE (pavimento)
7	16/04/2013	KA013	12:46	19°29'25.176"	99°15'19.293"	2268.48	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (pavimento)
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)
9	16/04/2013	KA015	13:00	19°30'01.195"	99°14'58.778"	2311.74	Av. Adolfo López - Av. Lomas Verdes (banqueta)
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 Canal - Av. La Naranja
11	25/05/2013	KI005	13:18	19°28'35.703"	99°13'17.709"	2262.35	
12	25/05/2013	KI007	13:39	19°29'9.954"	99°13'10.294"	2267.27	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"	2267.23	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"	2250	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"	2258	Av. Gustavo Baz - Circunvalación - Frontera - Vaso Regulador El Cristo
17	30/05/2013	LE004	12:37	19°27'36.885"	99°11'35.946"	2241.91	Bodega Comercial Mexicana Tacuba Estacionamiento
18	30/05/2013	LE005	12:47	19°27'36.026"	99°12'09.196"	2241.74	Panteón Español Estacionamiento
19	30/05/2013	LE007	13:04	19°27'45.653"	99°12'42.695"	2248.75	Panteón Español Crematorio
20	30/05/2013	LE010	13:24	19°28'2.863"	99°12'53.869"	2247.97	Calle Gobernador Gustavo Baz 19 A
21	30/05/2013	LE012	13:41	19°28'21.068"	99°13'20.650"	2248.47	Victoria - Las Armas Junto - Canal
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
23	30/05/2013	LE015	14:14	19°29'08.526"	99°12'43.328"	2246.83	San Isidro 642 - San Pedro Xalpa
24	30/05/2013	LE017	14:35	19°29.822'	99°12.519'	2245.69	Zempoaltecas 145, Col. Hacienda del Rosario
25	30/05/2013	LE020	15:09	19°30'2.895"	99°12'23.890"	2246.66	Av. Hacienda el Rosario - Hacienda de Sotelo
26	03/06/2013	LG001	12:31	19°28'52.322"	99°14'48.761"	2270.51	Fes Acatlán, UIM, Prueba
27	03/06/2013	LG005	13:17	19°26'04.35"	99°13'55.19"	2336.41	Agua Caliente - Santa Anita
28	03/06/2013	LG007	13:35	19°25'39.35"	99°14'11.23"	2313.15	Av. Fuente de los Leones #65
29	03/06/2013	LG009	13:50	19°25.256'	99°14.720'	2348	Bosque de Belén - Avenida la Herradura
30	03/06/2013	LG010	13:55	19°25'15.36"	99°14'43.2"	2348	Bosque de Belén - Avenida la Herradura
31	03/06/2013	LG011	14:06	19°25'11.40"	99°15'29.68"	2407.35	Bosque del Rey #6 - Bosque de La Antequera
32	03/06/2013	LG014	14:30	19°25'14.05"	99°15'53.522"	2431.26	Bosque de Minas #21 - Hacienda Salamanca
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
34	03/06/2013	LG018	15:05	19°26'07.05"	99°15'01.56"	2349.6	Av. Naucalpan - Camino Arenero
35	05/06/2013	LI004	12:19	19°29.209"	99°13.035"	2249.8	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"	2247.22	Zempoaltecas - Hacienda del Dorado
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
38	05/06/2013	LI013	13:39	19°31'11.095"	99°12'47.966"	2278	Calle Viveros de la colina No.66
39	05/06/2013	LI015	14:02	19°30'39.159"	99°13'16.908"	2255	Calle del Cristo 101 Col. Xoxoyahualco
40	05/06/2013	LI017	14:33	19°30'59.090"	99°13'46.626"	2262.89	Circuito Científicos 26 Col. Satélite
41	05/06/2013	LI020	14:58	19°31'08.762"	99°14'30.070"	2320.3	Circuito Educadores - Justo Sierra
42	05/06/2013	LI023	15:28	19°31'10.599"	99°15'10.079"	2324.92	Av. Fuentes de Satélite 25
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
44	07/06/2013	LS007	11:58	19°31'04.086"	99°16'33.227"	2450	Calle de las Capuchinas 66 Casa Verde
45	07/06/2013	LS011	12:30	19°31'36.838"	99°15'35.283"	2338	Presa Madín Cortina
46	07/06/2013	LS014	13:02	19°31'42.47"	99°16'02.286"	2352	Presa Madín Orilla Calle 2
47	07/06/2013	LS017	13:27	19°31'21.74"	99°16'10.514"	2383	Acceso a Carretera Chamapa Lechería, falla geológica
48	07/06/2013	LS025	14:32	19°30'28.72"	99°16'09.96"	2408	Zenzontle - Quetzal, Av. Lomas Verdes
49	07/06/2013	LS028	14:59	19°30'32"	99°15'41.811"	2360	Av. Lomas Verdes, cerca de la UVM
50	14/06/2013	LU005	11:38	19°27'58.516"	99°13'03.086"	2257.6	Av. De las torres No. 68
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
52	14/06/2013	LY003	12:59	19°28'00.86"	99°14'21.709"	2283.68	Río Toluca 13 - San Luis Tlailco
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
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
55	14/06/2013	LY011	14:03	19°27'09.56"	99°16'17.347"	2385.16	Boulevard Luis Donald Colosio CP 53660, San Rafael Chamapa
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
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
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
59	28/06/2013	MB007	13:57	19°26'11.73"	99°19'01.80"	2584.6	Carretera - México - Toluca Km 11
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
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
62	28/06/2013	MB013	14:47	19°26'31.605"	99°19'07.266"	2729.59	Carretera México - Toluca Km 14
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
64	23/08/2003	NB005	12:27	19°28'02.07"	99°15'26.5"	2333	José Ma. Morelos 38, Los Remedios, "Los Arcos"
65	23/08/2003	NB008	12:53	19°28'37.05"	99°16'31.3"	2343	Av. De los Arcos 548, Paseos del Bosque
66	23/08/2003	NB010	13:10	19°28'16.2"	99°16'39.1"	2352	Av. De los Arcos 575, Paseos del Bosque
67	23/08/2003	NB012	13:34	19°28'30.14"	99°17'10.6"	2400	Camino a los Ciprices, frente al Panteon Gayosso
68	23/08/2003	NC002	14:11	19°28'20.26"	99°17'44.5"	2497	Emiliano Zapata, Presa las Julianas
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
70	19/12/2013	NZ004	11:17	19°29.891	99°15.179	2301	Parroquia Santiago Apostol

71	19/12/2013	NZ008	11:38	19°30.206	99°15.847	2304	Cerrada de la Iglesia de San Mateo Nopala
72	19/12/2013	NZ013	12:01	19°30.173	99°16.339	2333	15 de Septiembre Praderas de San Mateo
73	19/12/2013	NZ017	12:19	19°29.874	99°17.431	2373	Calle Mirazo 14
74	19/12/2013	NZ019	12:36	19°29.461	99°17.861	2391	Av. Camino Real San Mateo (estanban taladrando a lo lejos)
75	19/12/2013	NZ023	12:58	19°29.206	99°18.772	2506	Hwy 3 Av. Camino Real San Mateo
76	19/12/2013	NZ026	13:15	19°29.319	99°19.753	2575	
77	19/12/2013	NZ031	13:41	19°29.983	99°20.341	2554	Carretera Barrio de Tito-Ejido de Santa Maria
78	19/12/2013	NZ035	14:02	19°29.766	99°21.567	2686	Carretera Jiquipilco San luis Arguacan
79	19/12/2013	NZ038	14:19	19°29.56	99°22.516	2792	Carretera Jiquipilco Naucalpan-Jilotzingo Mex.
80	17/12/2013	NT011	11:42	19°27.319	99°12.627	2260	Iglesia Greal. Mariano Arista Col. Argentina antigua
81	17/12/2013	NT014	12:06	19°27.545	99°11.750	2253	Calzada México Torre Blanca
82	17/12/2013	NT019	12:55	19°27.141	99°12.017	2260	Calzada Legaria 311Frente a secundaria No. 168
83	17/12/2013	NT021	13:15	19°26.538	99°12.608	2301	Presa Santa Rosa 44 frente a Primaria Lic Manuel Gual Vidal
84	17/12/2013	NT027	13:45	19°25.644	99°13.873	2324	Fuente de las Nayades 22
85	17/12/2013	NT029	14:05	19°25.293	99°14.333	2353	Av. De las fuentes 201 Lomas Tecamachalco
86	17/12/2013	NT033	14:29	19°24.873	99°14.736	2407	Fuente de Jupiter 27
87	17/12/2013	NU002	14:55	19°24.383	99°15.612	2450	Universidad Anahuac 2 Lomas Anahuac
88	17/12/2013	NU007	15:23	19°24.042	99°16.653	2501	Paseo Bosque de las Palmas 82
89	17/12/2013	NU008	15:35	19°23.859	99°17.388	2522	Av. Juesus del Monte 41 Frente al Walmart
90	17/12/2013	NU011	16:00	19°23.930	99°17.803	2503	Av. Real del Conuntry 24 Autopista
91	17/12/2013	NU013	16:14	19°29.594	99°17.780	2459	Autopista pasando el puente
92	17/12/2013	NU015	16:28	19°25.368	99°17.856	2445	Boulevard Bosque Real
93	17/12/2013	NU017	16:42	19°25.858	99°17.775	2449	Caseta Km 28
94	17/12/2013	NX001	17:13	19°26.933	99°18.119	2482	Km 26
95	17/12/2013	NX002	17:23	19°27.682	99°18.542	2519	Km 25
96	17/12/2013	NX005	17:40	19°28.319	99°18.731	2533	Km 24
97	17/12/2013	NX007	17:50	19°28.964	99°18.767	2482	Km 23
98	17/12/2013	NX009	18:02	19°29.521	99°18.517	2502	Km 22
99	17/12/2013	NX010	18:10	19°30.231	99°18.053	2476	Km 21
100	14/03/2014	HK001	12:36	19°28.993	99°15.626	2337	San Juan Totoltepec a faldas del cerro Moctezuma, la hora entre parentesis es la del adquisidor
101	14/03/2014	HJ002	13:35	19°28.994	99°15.627	2348	San Juan Totoltepec a faldas del cerro Moctezuma, la hora entre parentesis es la del adquisidor
102	06/06/2014	IC001R	12:33	19°28.354	99°16.729	2381	Bosques de Arabeles

Tabla 6. Concentrado de Puntos.

3.4. Archivos y señales obtenidos

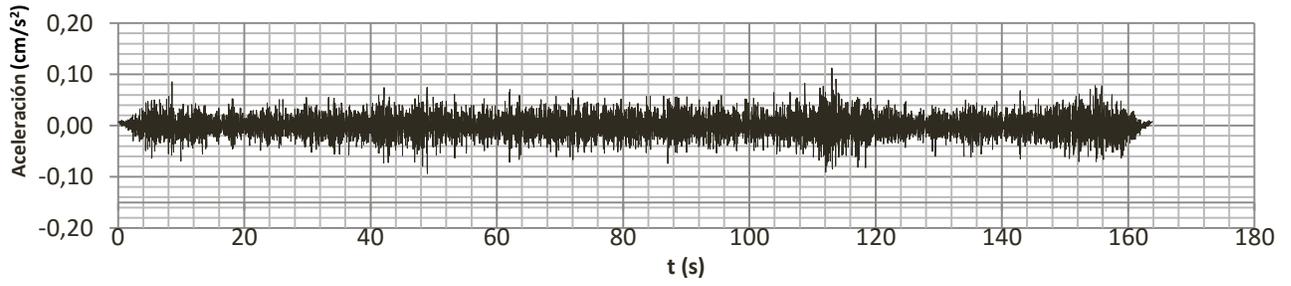
Se estableció un plan de trabajo con el fin de crear un proceso estandarizado tanto para la adquisición como el procesado de datos. Para la elección del sitio donde se realizaba la medición, fue dividido el municipio en una cuadrícula de 1 km aproximadamente entre cada punto, además, se tomaba en cuenta diferentes factores que pudieran afectar la señal como la vibración aportada por el tráfico vehicular, flujo de agua en tuberías, altas temperaturas por el impacto de la luz solar, etc. En la Figura 25 se muestra la colocación en campo del equipo. En cada medición se llenó un formato en donde se anotaban las coordenadas del punto, elevación, hora y características del sitio. Cada punto registró aceleraciones durante 180 segundos por duplicado, conservando el registro más uniforme, es decir, el que sea menos afectado por grandes disturbios y así solo captar el ruido ambiental.



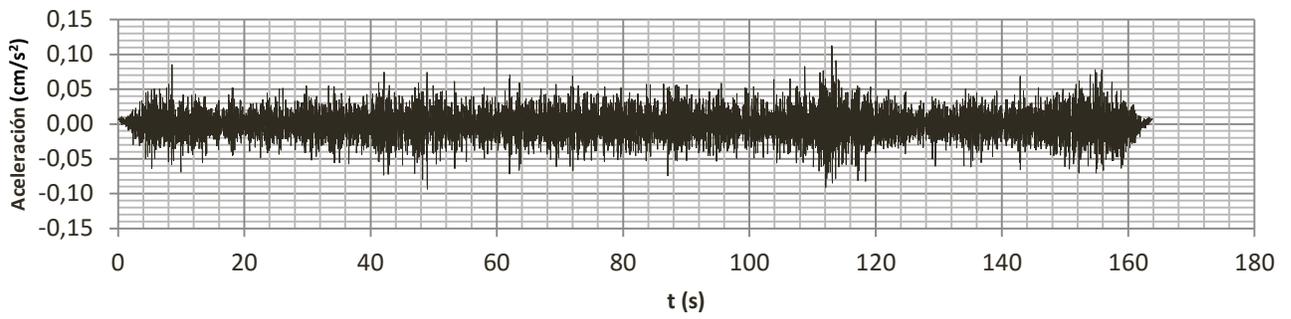
Figura 25. Colocación en campo del equipo.

Los archivos que proporciona el acelerómetro tienen la extensión EVT que presenta un código binario y las amplitudes están dadas en milivolts. Estos archivos fueron transformados a código ASCII por medio del sistema operativo MS-DOS y el programa KW2CNTS32 que genera tres archivos correspondientes a la componente norte-sur (dirección x), este-oeste (dirección y) y a la vertical (dirección z) del movimiento del suelo, como se muestra en la figura 26, esta muestra uno de los dos registros tomados en el estacionamiento del crematorio del panteón Español.

Dirección X



Dirección X



Dirección Z

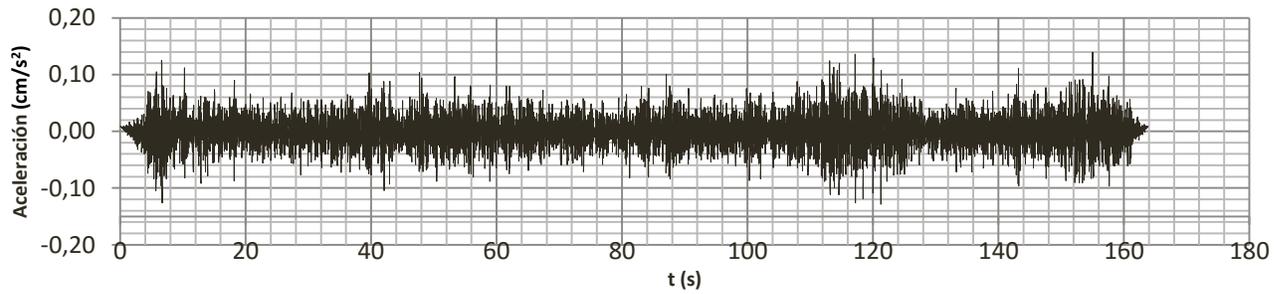


Figura 26. Registro LE007, Panteón Español, crematorio.

3.5. Criterios de análisis obtenidos

Para poder realizar una el análisis es necesario conocer con que tipos de datos contamos. Las vibraciones ambientales son un fenómeno físico que puede ser descrito por medio de una serie de datos que se miden en término de amplitudes contra tiempo. Los valores de amplitud que se registran representan la aceleración del punto medido. El conjunto de esta serie de datos puede poseer una naturaleza determinista o aleatoria (Castelan, 2001).

Los datos deterministas son aquellos que pueden describir un fenómeno físico de manera razonable por medio de una relación matemática explícita, como ejemplo, el movimiento de un satélite en órbita alrededor de la tierra, o la oscilación de un cuerpo rígido sujeto a un resorte con comportamiento lineal.

Los datos aleatorios (no-deterministas) representan al fenómeno físico observado y pueden ser descritos empleando postulados probabilísticos y promedios estadísticos debido a que cada una de las observaciones del fenómeno es única. Como ejemplo de datos aleatorios se pueden mencionar las aceleraciones sísmicas y de vibración ambiental, los cambios de temperatura durante el día, la fuerza del viento, entre otros.

Por lo tanto es necesaria una herramienta matemática que permita analizar datos no-determinísticos que analice el contenido de frecuencia para así identificar la que más predomine con su respectiva amplificación, para de esta manera asociarla con un posible movimiento característico del punto que se midió. En este sentido el análisis de Fourier es una herramienta útil para reordenar los datos originales tomando en cuenta la frecuencia en lugar del tiempo. En especial la transformada de Fourier, son ampliamente utilizada en diversos campos de la ciencia. El cálculo del espectro de amplitudes de Fourier, se obtiene con ayuda de la transformada discreta de Fourier. Este espectro muestra la señal en el dominio de la frecuencia, así como, las frecuencias dominantes que la forman.

La esencia de la Transformada de Fourier de una señal es descomponerla o separarla en una serie de senoides de diferentes frecuencias, las cuales corresponden a la suma de la original.

Mediante la siguiente expresión se define la transformada de Fourier:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

Donde,

$f(\omega)$ = Señal transformada al dominio de la frecuencia (ω)

$f(t)$ = Señal en el dominio del tiempo

$$j^2 = -1 \quad (2)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (3)$$

Donde,

ω = Frecuencia en Hz

T = periodo en s

Ya que los registros obtenidos sólo tienen datos de aceleración de tipo discreto, el cálculo numérico realizado por las computadoras digitales requiere ese tipo de muestras, por lo que se desarrolló la transformada discreta de Fourier (TDF), la cual puede ser estimada mediante un algoritmo conocido como transformada rápida de Fourier (TRF) La ventaja de este algoritmo es que permite reducir el número de cálculos y funciona partiendo la señal completa en un cierto número de subseñales más cortas y calculando la TDF de cada una de éstas, posteriormente la TRF las combina para obtener la TDF de la señal original.

Al aplicar la transformada rápida de Fourier a una señal se determina la relación de esta en un dominio de frecuencias asociadas a valores de amplitud. Cuando se grafica el resultado de esta operación se obtiene el espectro de Fourier, se calcula como el valor absoluto de la raíz de la suma de los cuadrados de las partes real e imaginaria de la señal en el dominio de la frecuencia, mediante las siguientes expresiones, (Torres González 2012).

$$|F(\omega)| = [R(\omega)^2 + jX(\omega)^2]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) \cos(\omega t) dt \quad (5)$$

$$X(\omega) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \text{sen}(\omega t) dt \quad (6)$$

$F(\omega)$ = Señal de la transformada al dominio de la frecuencia (ω)

$R(\omega)$ = Parte real

$X(\omega)$ = Parte imaginaria

3.6. Procedimiento de análisis de señales

El procesamiento de los datos adquiridos en campo se llevó a cabo mediante el uso del programa DEGTRA A4 desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Ordaz, 2005), el cual permite visualizar señales y analizarlas. Con una designación de paso de tiempo de 0.01s en cada componente.

A cada registro se le realiza corrección de línea base normal, como se ilustra en la figura 27 el cual consiste en restar una constante a todo registro sísmico. Esta constante es el promedio de los valores del registro. La corrección es tal que, después de aplicada, el promedio de los valores es cero.

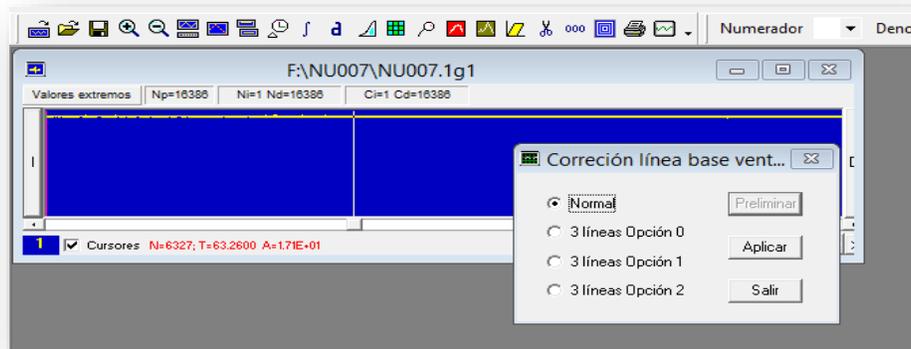


Figura 27. Corrección de línea base en acelerograma.

En cada punto de registro las condiciones físicas alrededor de este eran distintas, al realizar el registro se podía ver contaminado con vibraciones innecesarias que podían influir más adelante en la interpretación de los datos. Para poder restringir la banda de frecuencias de análisis a un rango determinado es necesario el uso de un filtro, los cuales existen dos tipos, análogos y digitales.

El diseño de filtros analógicos está reservado para especialistas porque requiere del conocimiento de matemáticas avanzadas y el entendimiento de los procesos que involucran al sistema que está afectado por el filtro. Gracias a los sistemas de muestreo moderno y a las herramientas de procesamiento digital

de señales, es posible utilizar filtros digitales en aplicaciones que requieren flexibilidad y programabilidad, como audio, telecomunicaciones, geofísica, monitoreo médico y mediciones en estructuras.

Algunos filtros digitales se pueden usar para controlar parámetros, tales como: tipo de filtro, límite de frecuencias, amplitud de onda y demás. Entre las ventajas que poseen este tipo de filtros sobre los analógicos se pueden mencionar:

- Existe software programable.
- Son estables y predecibles.
- No tiene errores producidos por la humedad y no requieren componentes de precisión
- Tiene una relación costo-beneficio mayor

Cuando un filtro es capaz de transmitir sin distorsión las componentes de las frecuencias contenidas dentro de una banda dada, anulando el resto de las componentes fuera de ésta, se conoce como filtro ideal. (López, 2014)

El programa DEGTRA cuenta con 6 variantes de filtros ideales, todos ellos realizan el filtrado en el dominio de la frecuencia:

- Pasa-baja hasta la frecuencia F_{max}
- Pasa-alta desde la frecuencia F_{min}
- Pasa-banda
- Band-stop
- Gaussiano
- Futterman

Pasa-banda es con el cual se filtraron todas las señales obtenidas (figura 28), como su nombre lo indica se le asignan las frecuencias mínimas (0.1 Hz) y frecuencias máximas (10 Hz).

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f^2 - F_{min}F_{max}}{f(F_{max} - F_{min})}\right)^{2N}}} \quad (7)$$

Dónde: F_{max} y F_{min} son las frecuencias máximas y mínimas, N es el número de polos. Cabe mencionar que el programa aplica un "tapering" cosenoidal cuya longitud, al inicio y al final de la señal, es una fracción de su longitud total (figura 28).

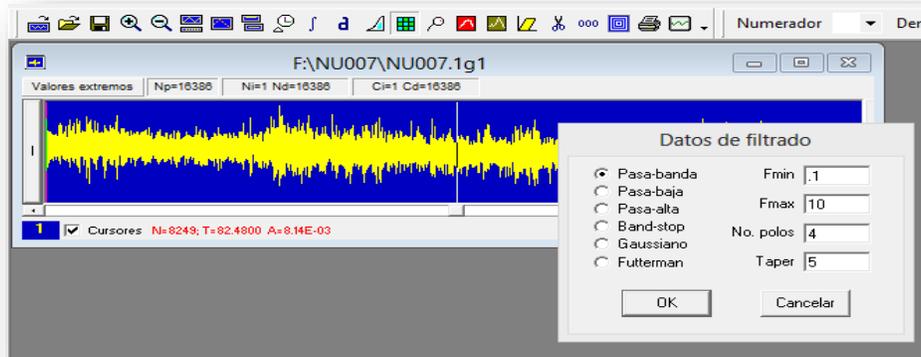


Figura 28. Filtrado de acelerograma

Las señales de cada punto son exportadas a un solo archivo de Excel con la finalidad de que los registros de vibración ambiental sean divididos en 5 ventanas de 30 segundos y para cada una de ellas se calcula la FFT (Transformada Rápida de Fourier) a fin de aplicar la técnica de razones espectrales H/V. En las razones y para cada punto de medida se identifica, las frecuencias predominantes (F_r) y las amplificaciones relativas (A_r). En la figura 29 se muestra el cálculo de dicho espectro con el apoyo del programa DEGTRA A4.

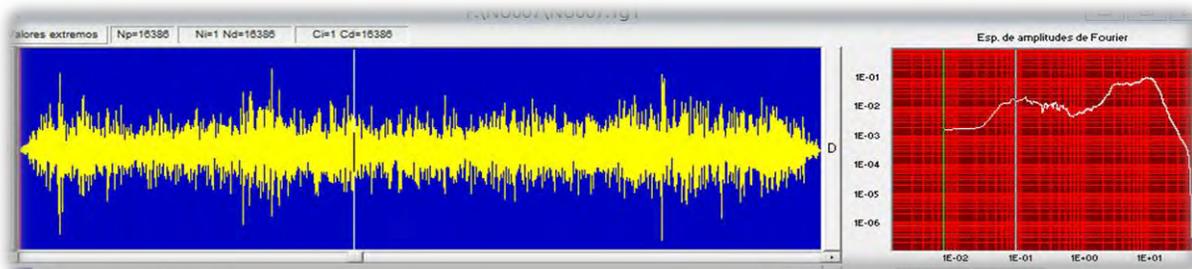


Figura 29. Cálculo de Espectro de Fourier

4. Amplificación sísmica y periodos de sitio

4.1. Evaluación de la respuesta del sitio

La respuesta de sitio es ampliamente reconocida como un importante factor que debe ser representado en la microzonificación o sitio a evaluar. Los criterios actuales para la evaluación de los efectos de sitio son o empíricos o teóricos, cada uno con sus propias ventajas y limitaciones.

El modelo teórico, por ejemplo, presenta el análisis de la importancia de diferentes parámetros y cálculo de resultados de una amplia muestra de la posible entrada de movimientos. Por otra parte, dicho enfoque requiere ambos estudios geotécnicos detallados de cada sitio y sofisticados métodos computacionales.

El enfoque empírico se basa en cambio en los datos de movimiento débiles o fuertes registrados en sitios de diferente geología local. Estos registros son analizados para obtener las diferencias en la respuesta de los sitios de suelo blando respecto a los de sitios de roca firme. Este criterio ha sido muy popular en recientes años, especialmente en regiones de alta sismicidad, donde es posible registrar varios pequeños sismos en un lapso razonable de tiempo.

En regiones donde la sismicidad es moderadamente baja, grabar una muestra representativa de sismo puede ser tardado. Adicionalmente, puede ser difícil de obtener registros simultáneos en estaciones de suelo blando y las estaciones de roca firme.

La aplicación de microsismos de periodo largo, permiten una estimación aproximada de los efectos de sitio y la amplitud del cociente espectral de un sitio de suelo blando, con relación a un sitio de roca firme, se correlaciona bien con el espesor de los sedimentos. Aunque este enfoque es útil para una amplia clasificación de las condiciones del lugar, no se puede dar una precisa estimación del factor de amplificación debido al efecto fuente desconocida.

La aplicación de microtemblores de periodo corto para estimar los efectos de sitio considera que es posible estimar el periodo dominante y amplificación a nivel de sedimentos blandos. Sin embargo, hay todavía cierta discusión sobre la aplicabilidad de microtemblores de periodo corto para estimar período dominante de sitios de suelos blandos, principalmente debido a la dificultad de separar la fuente de

efectos de sitio. De hecho, entre más corto es el período de microtrepidaciones, más fuerte es la dependencia sobre las fuentes muy locales que los excitan, por lo que es difícil interpretar las variaciones de un sitio a otro (Aki, 1988).

A pesar de los problemas relacionados con su interpretación, las mediciones de microtemblores proporcionan un muy interesante enfoque de la evaluación efecto de sitio en virtud al bajo costo y la rapidez de las operaciones de campo y la simplicidad de análisis.

De hecho, los microtemblores son de gran interés como una herramienta para estimar los efectos de sitio, es porque las operaciones de campo son muy simples y rápidas, requiere sólo unos minutos de grabación en cada punto. (Lermo & Chávez, 1994)

Sin embargo la zona de estudio de este trabajo está conformada principalmente por suelo firme o suelo de transición por lo que de este método se pueden obtener resultados favorables. Además de que facilita su registro y proceso de recopilación de la información requerida.

4.1.1. Amplitudes espectrales

Como se mencionó uno de los efectos de sitio es la amplificación de las ondas sísmicas arriban a un sitio con características peculiares en su geología. Utilizando la técnica de los cocientes espectrales H/V es posible medir la amplificación relativa de los sitios de interés.

El cociente representa la amplificación medida en el dominio de la frecuencia y refleja las características dinámicas del sitio, entre ellas el periodo o frecuencia dominantes. A partir de un cociente espectral, el periodo dominante del sitio será el asociado a la máxima amplitud de ese cociente.

El periodo asociado a la mayor amplitud del espectro de velocidad se considera como el periodo dominante del sitio. La importancia de conocer el periodo dominante del suelo en un sitio dado, está en que debe evitarse construir allí estructuras con periodos similares. Ello reduciría la probabilidad de que la estructura entrara en resonancia con el suelo. Además, el reglamento vigente permite hacer una reducción del coeficiente sísmico cuando se conoce el periodo del suelo y tomar en cuenta los efectos de interacción suelo-estructura en donde el periodo del suelo es un parámetro necesario para los cálculos (Reinoso, 2007).

4.1.2. Cocientes espectrales relativos a un sitio de referencia

El cálculo de cociente espectral requiere mediciones de dos estaciones sísmicas (estación de referencia y estación de interés) que deberán registrar el mismo evento sísmico. La estación de referencia se coloca sobre un terreno firme (roca sana o lo menos alterada posible). La estación de interés se posiciona sobre el sitio donde se desea conocer el efecto de sitio (Lermo & Chávez, 1994). El sitio de referencia ideal, debe permitir obtener estimaciones confiables del movimiento de entrada que afecta al suelo de lugares cercanos. Generalmente las estaciones de referencia deben estar localizadas sobre terreno firme libre de efecto de sitio (Singh, 1995)

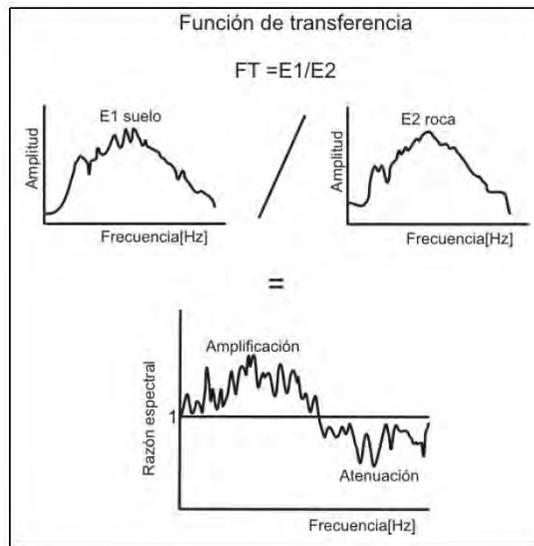


Figura 30. Función de transferencia.

Con el uso de los cocientes espectrales es posible estimar como variará el movimiento sísmico de un lugar a otro, lo que podrá determinar factores de amplificación o atenuación de la respuesta sísmica (figura 30).

La desventaja de esta técnica es que necesita registros simultáneos en las estaciones del sitio de interés y en el de referencia, también puede ser complicado definir la ubicación de la estación de referencia, ya que su respuesta ante un movimiento sísmico debe ser mínima.

Existe controversia sobre si los microtremores permiten estimar la amplificación relativa de un sitio con respecto a una posición en roca durante sismo. Han sido muchos los trabajos y autores que confirman que, los microtremores son una herramienta útil para inferir el periodo dominante de vibración del suelo

en un sitio. Sin embargo, aseguran que el método presenta deficiencias en la obtención de la amplificación relativa (Lermo, 2013).

Para este trabajo la técnica de funciones de transferencia se trató de aplicar con registros de microtemores contando como punto de referencia el cerro de Moctezuma ubicado al Noroeste de la FES Acatlán, donde con anterioridad se comentaba que existe presencia de roca ígnea extrusiva fracturada, lo cual propicia a que la lectura sea errónea mostrando un periodo relativamente alto. Al realizar los cocientes espectrales la información obtenida no era congruente con los resultados esperados dando una amplificación alta, fuera de lo que la geología pudiera respaldar, lo que nos indica que la técnica de funciones de transferencia no es un método confiable para ser trabajado con registros de vibración ambiental.

4.1.3. Coeficientes espectrales H/V (Nakamura)

De acuerdo al trabajo de Lermo y Chavez-Garcia (1994) el método que permite hacer una buena interpretación de los registros de vibración ambiental para analizar los efectos de sitio es el cociente espectral H/V, mejor conocido como la técnica de Nakamura, el cual 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.

En esencia, si se separan los microtemores en las ondas de cuerpo y las ondas superficiales, la técnica supone que:

- Los microtemores 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 microtemores en la base del estrato del suelo.

En el dominio de Fourier hay cuatro espectros de amplitud implicados: componentes horizontal y vertical del movimiento en la superficie y en la base de la capa de terreno blando. La técnica supone que la componente vertical del movimiento no es amplificada por la capa de suelo blando.

Matemáticamente, lo anterior se expresa de la siguiente manera:

$$SE(\omega) = \frac{Hs(\omega)}{Hb(\omega)} \quad (8)$$

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

$$As(\omega) = \frac{Vs(\omega)}{Vb(\omega)} \quad (9)$$

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

$$SM(\omega) = \frac{SE(\omega)}{As(\omega)} = \frac{\frac{Hs(\omega)}{Hb(\omega)}}{\frac{Vs(\omega)}{Vb(\omega)}} \quad (10)$$

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

$$\frac{Vb(\omega)}{Hb(\omega)} = 1 \quad (11)$$

Sustituyendo, queda que:

$$SM(\omega) = \frac{Hs(\omega)}{Vs(\omega)} \quad (12)$$

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. (Nakamura, 1989)

4.2. Cálculo de cocientes espectrales H/V

Dentro del trabajo de (Lermo & Chavez-García, 1995) se hace mención de un problema común dentro de la técnica de razones espectrales, la cual es identificar un tren de ondas común para las dos estaciones implicadas. Una de las soluciones que se plantea es asumir que un promedio de muchas ventanas para un sitio dado es representante de su movimiento en cualquier momento.

Para los espectros de Fourier obtenidos en la investigación surgió un problema similar ya que en los registros de las zonas más firmes del municipio, se complicó la lectura de un pico que indicara el periodo dominante del sitio, por lo que se decidió tomar la solución propuesta por (Lermo, 1995), a pesar de que esta se plantea para una técnica distinta. Sin embargo se obtuvieron resultados bastante aceptables y

se decidió aplicarlo para todos los registros y corroborar los periodos y amplificaciones relativas de cada punto.

En seguida se muestran algunos ejemplos compuestos por 5 ventanas y promedio de las mismas, tomadas de señales correspondientes a las dos direcciones horizontales y a la dirección vertical de distintos registros de vibración ambiental, de las cuales se ha calculado su respectivo espectro de Fourier. En el anexo se podrán encontrar los registros de los 102 puntos analizados.

Los cocientes espectrales H/V tienen, en teoría, una máxima amplitud que corresponde a la frecuencia predominante del terreno. Generalmente, para esta frecuencia, la curva muestra un pico bien definido por una forma característica.

En las siguientes figuras se muestran ejemplos donde en el cociente H/V se identifica claramente la frecuencia dominante del sitio. En suelos formados por depósitos blandos los picos de dicha frecuencia son bastante definidos, conforme los estratos se van haciendo menos profundos la forma del cociente espectral se torna menos definida con picos que son más anchos (figuras 31-33).

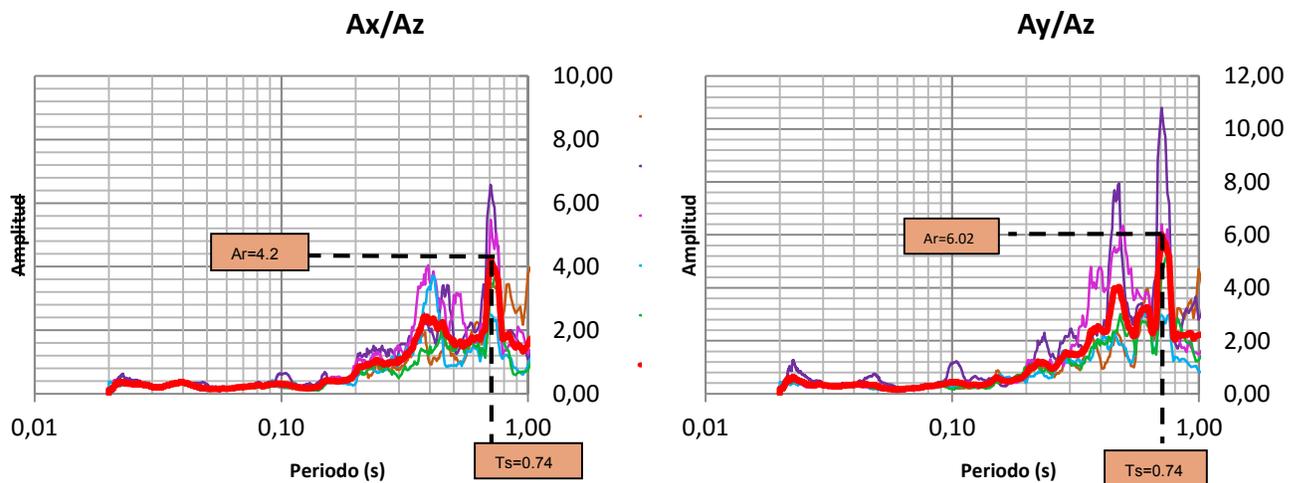


Figura 31. Registro NT014, Calzada México Torre Blanca..

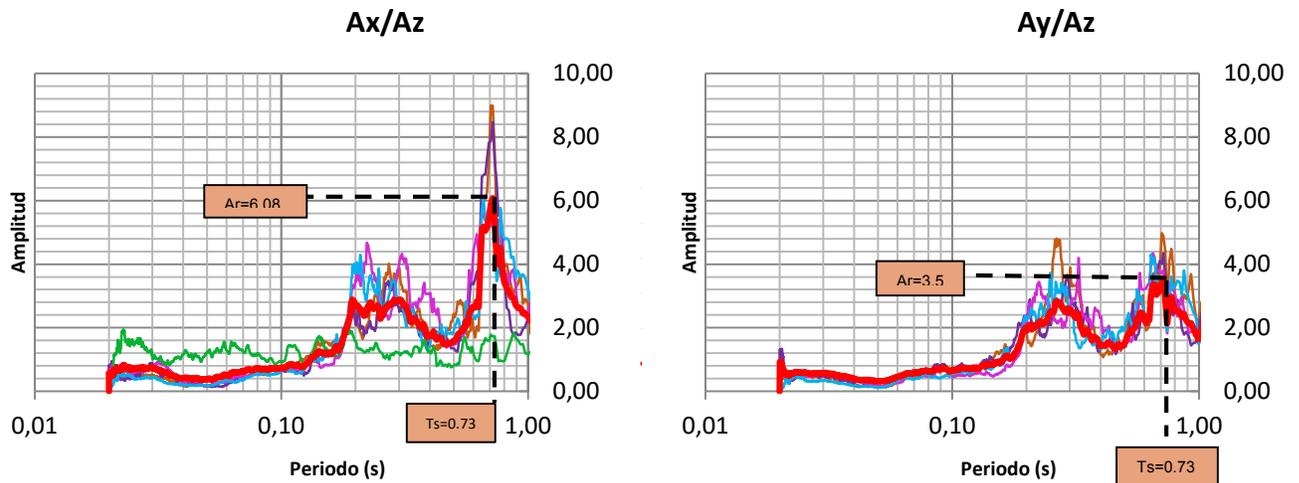


Figura 32. NU014, Calzada México Torre Blanca.

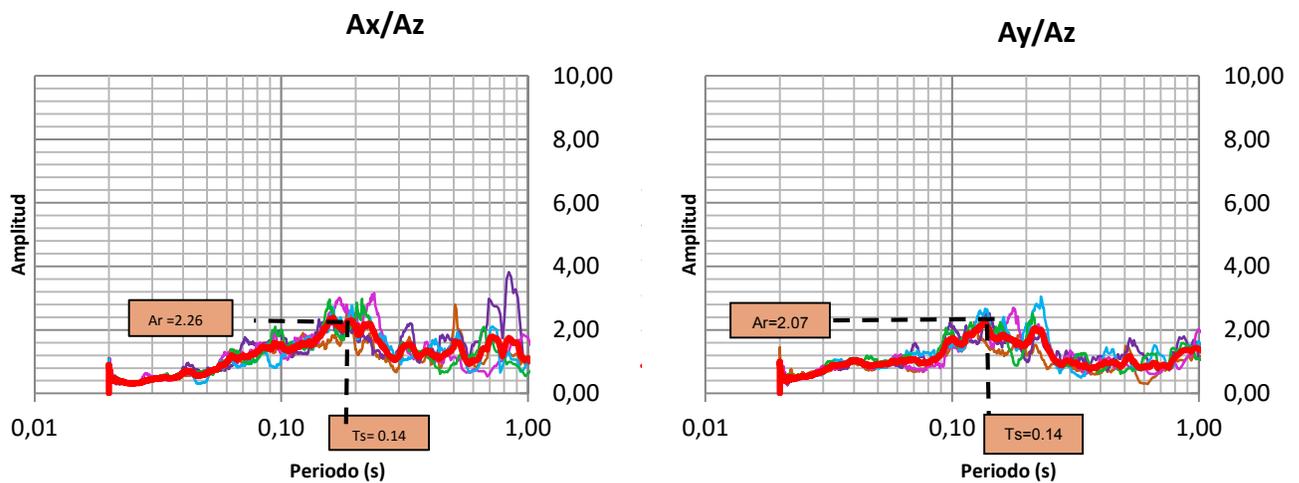


Figura 33. NU017, Caseta Km 28.

La identificación de la frecuencia predominante del suelo mediante esta técnica funciona de manera adecuada, sobre todo cuando el contraste entre las propiedades de los depósitos de suelo y el semiespacio o estrato (en particular la velocidad de las ondas S) profundo resistente es grande; sin embargo, no sucede lo mismo con la amplitud relativa. En algunas zonas donde se ha aplicado la técnica con fines de microzonificación, los resultados muestran valores de amplificación satisfactorios comparados con los obtenidos de mediciones de movimiento fuerte (Lermo, 1994).

Existen casos en que la identificación de la frecuencia predominante no resulta obvia como se mencionó anteriormente, lo que con alta probabilidad significa que es terreno firme, pero también es posible que la energía proveniente de las fuentes de excitación no sea lo suficientemente grande como para provocar un movimiento intenso para observar los efectos de sitio en el registro.

Los 102 puntos fueron trabajados e interpretados de esta forma, en el anexo se podrá encontrar la tabla con el concentrado de la información, periodo, amplificación y ubicación.

Para llevar a cabo la presentación del mapas se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap, versión 9.3, el cual nos proveen una metodología para comprender, representar, manipular y relacionar aspectos y elementos de estudio, además, de organizar de tal forma que se garantice la confiabilidad de los resultados obtenidos, los cuales se presentarán de forma clara, concisa y ordenada. (Martínez Cruz, Ferrer Toledo, Aguilar Mora, Aguirre González, & Azomoza Ponce, 2005)

En este análisis se manejan las vertientes de información espacial y temática. Lo anterior significa que se emplea cartografía y bases de datos a la vez, uniendo ambas partes para constituir una sola base de datos geográfica, denominada geodatabase.

El método más utilizado para crear la información a analizar mediante un SIG es la digitalización. Esto es que un mapa impreso se transfiere a un medio digital con capacidades de estar referenciado geográficamente o con “georreferenciación”.

Se creó una geodatabase la cual está compuesta por los 102 sitios de medición de vibración ambiental, añadiendo los periodos obtenidos a partir de los espectros de Fourier antes mencionados y las amplificaciones correspondientes a cada punto medido.

Interpolación de los períodos dominantes obtenidos en cada punto de medición mediante fue realizada por el método de geo-estadística Kriging cuya teoría establece que una variable sigue un mismo patrón dentro de un área determinada. El resultado de esta interpolación permite desplegar la influencia de los datos obtenidos sobre un cierto entorno a una determinada distancia (datos raster). Con esto se logra visualizar las zonas donde se agrupa ciertos periodos dominantes.

La obtención de las curvas de isoperiodos se da en base a los datos raster obtenidos aplicando un intervalo de contorno de 0.01 para la presentación de las curvas.

En el mapa de isoperiodos (figura34) se aprecia la distribución de los periodos dominantes del terreno cuentan con una relación congruente con el mapa geológico anteriormente mostrado. En este se puede apreciar como en la zona de frontera con el Distrito Federal donde los suelos que abundan son arcillas de baja plasticidad con arena y limo, limo y arena-arcillosa, los periodos que predominan son superiores a 0.54 segundos, estos valores varían dependiendo de los depósitos de mencionados materiales. En las zonas más profundas los periodos alcanzan hasta 0.88 segundos.

Las curvas de isoperiodos y la clasificación sísmica de la zona urbana de Motozintla en donde no fue posible realizar mediciones de la vibración del suelo, fueron definidas al considerar una alta probabilidad de que las áreas con una geología similar deben presentar la misma respuesta sísmica.

Hacia la zona oeste del municipio en suelos volcánicos, específicamente suelos andesíticos los periodos que se indican abarcan desde 0.3 a 0.17 segundos, lo que nos expresa que se tiene una menor respuesta por parte del terreno.

En la parte central del municipio donde se realizó una exploración más a fondo de la geología se observa un comportamiento de transición entre la zona blanda y la firme por lo que a su vez los periodos varían entre 0.3 y 0.5 segundos.

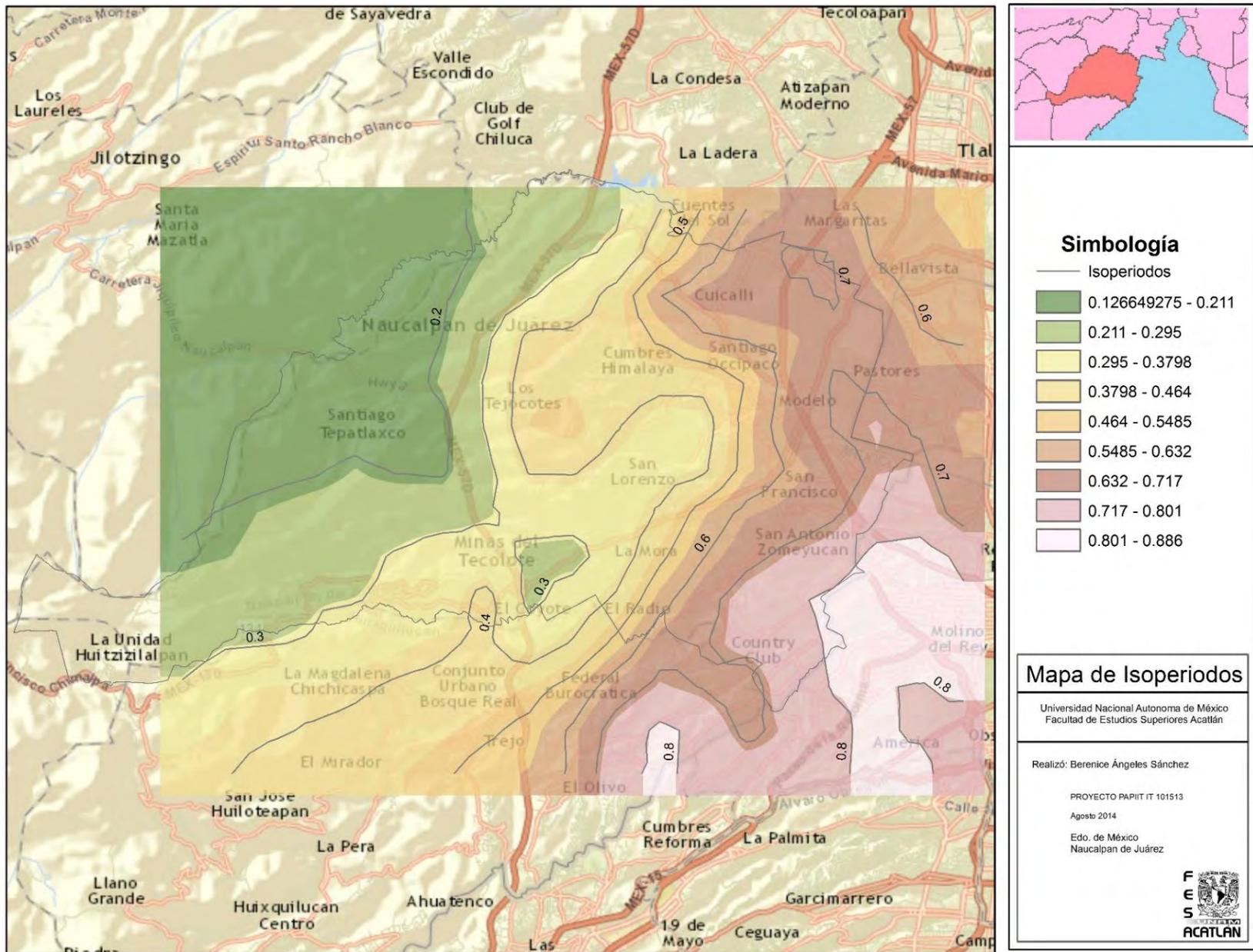


Figura 34. Mapa de isoperiodos.

4.3. Mapa de amplificación sísmica

La metodología de Nakamura ha sido objeto de múltiples investigaciones teóricas, aplicadas y de simulaciones numéricas, siendo ratificada por muchos y cuestionada por otros. Sin embargo, la gran mayoría ha tenido resultados exitosos, llegándose a un consenso mínimo acerca de los alcances, limitaciones y rango de validez del método.

Como se mencionó su principal ventaja radica en que es una técnica sencilla y de fácil ejecución, es decir, la toma de datos y su procesamiento se logran de manera simple. Y aunque específicamente, sirve para determinar los periodos fundamentales de vibración de los suelos, la técnica de Nakamura indica que la amplitud máxima del cociente espectral corresponde al factor de amplificación de los suelos, sin embargo, algunas investigaciones teóricas y trabajos experimentales han comentado que no es así, sino que el método permite únicamente la determinación del periodo predominante. Para este trabajo la amplificación tomada de esta técnica será relativa, permitiendo posteriormente profundizar en el futuro con mayor información y así llegar a resultados absolutos.

Así, la técnica de los cocientes espectrales ha aportado datos de amplificación relativa, observando desde los primeros cálculos de cocientes en el municipio, para un mismo punto de registro, variaban los cocientes calculados en ambos componentes horizontales. Esto llevó a la conclusión de que la amplificación en Naucalpan si depende o está influenciado por las características locales de cada sitio registrado.

Los siguientes ejemplos (figuras 35-37) representan los tres parámetros en los que se ha dividido la amplificación del municipio. En ellos se puede observar la diferencia de ésta entre cada punto, así como la diferencia que existe en la forma de los cocientes en el mismo punto. Cabe mencionar que la diferencia se hace menos notoria mientras la amplificación disminuye, lo que indica que el efecto de sitio es menos influyente.

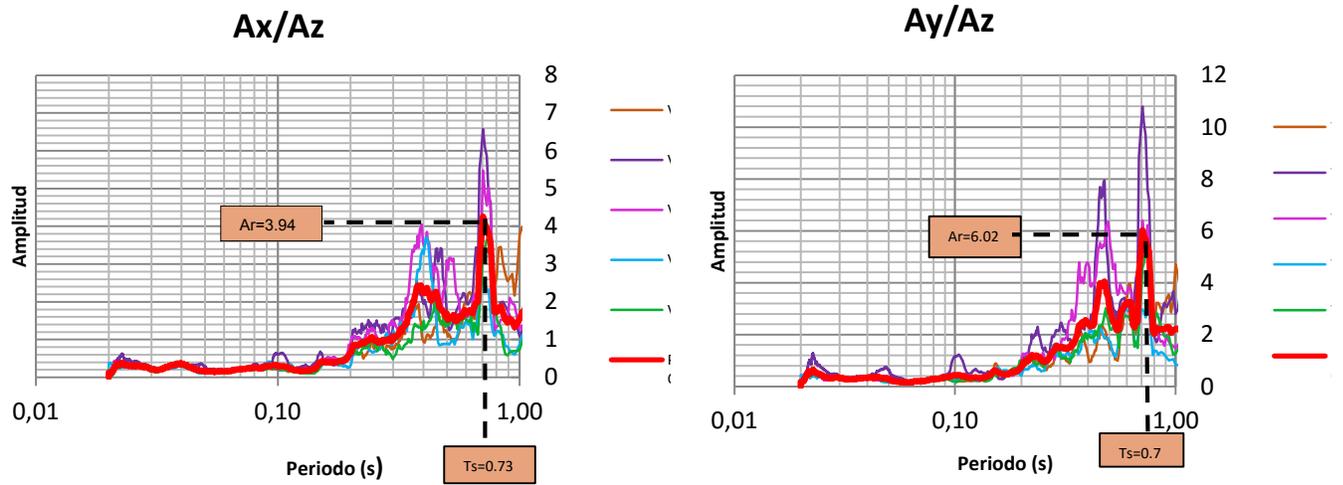


Figura 35.. Registro NT014, Calzada México Torre Blanca.

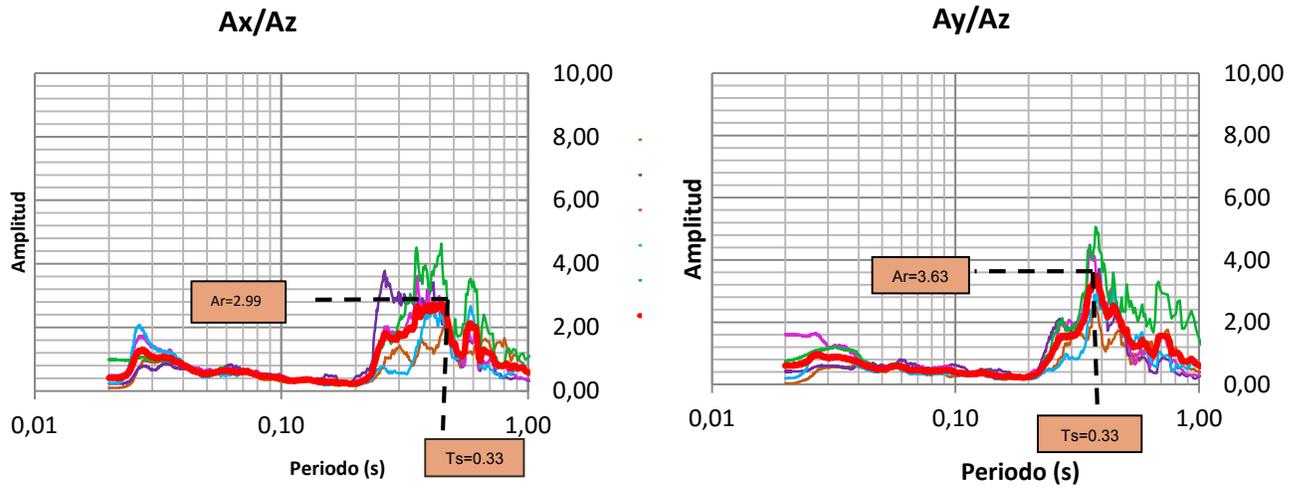


Figura 36. Registro KI003, Estacionamiento, Frente al Teatro Javier Barrios Sierra FES Acatlán.

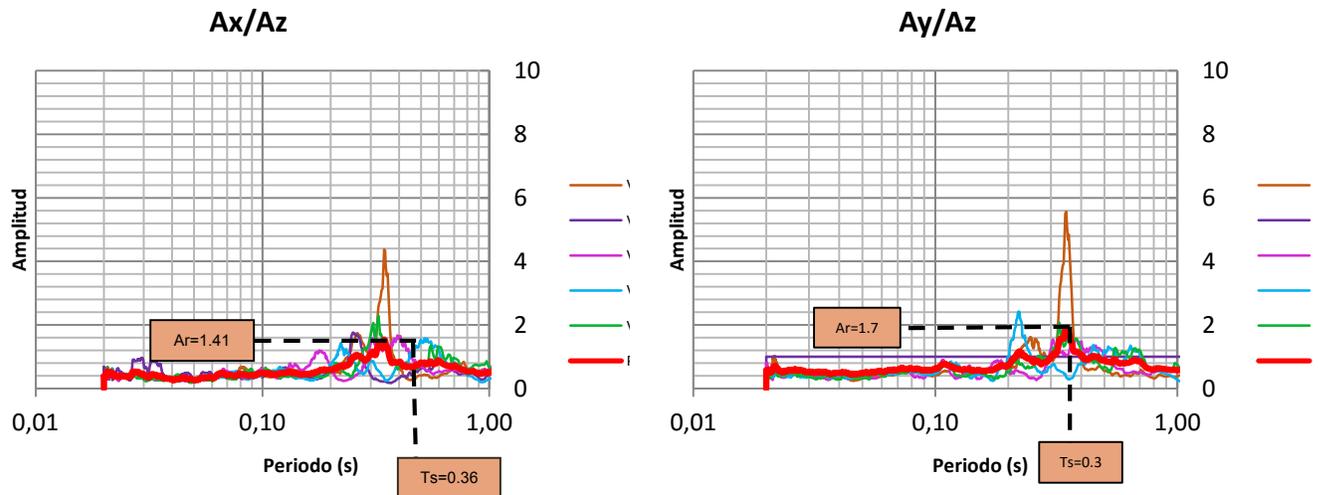


Figura 37. Registro NX001, Km 26.

El mapa de amplificación relativa del terreno tiene buena correlación con los mapas de geología y el de isoperiodos, dado que en la zona de suelo de consistencia firme, identificada en este trabajo como partes altas de Naucalpan, los periodos y la amplificación del suelo son bajos. En tanto, que en las partes bajas de Naucalpan en donde se tiene depósito de suelos aluviales, el periodo y la amplificación de movimiento del suelo tienden a incrementarse, de tal forma, que los máximos valores de estos parámetros dinámicos se presentan en la frontera con el Distrito Federal.

Se presentan dos mapas, en cada uno se muestra la dirección X (Norte-Sur) y dirección Y (Este-Oeste) basados en los datos obtenidos del análisis por medio de Nakamura, la presentación se realiza de manera gráfica obtenida de la misma forma que los mapas anteriores.

Se puede apreciar que en ambos mapas (figuras 39 y 40) en la zona de colindancia con el Distrito Federal se tiene una amplificación de hasta 4.6, recordando que la interpolación agrupa valores en una cierta área, por lo que seguramente existan valores más grandes, pero al interpolar, este es el valor más representativo del área.

Dada la distribución de puntos obtenida de las mediciones de vibración ambiental y de la interpretación de estas, se pueden representar en función de la amplificación que le corresponde a cada una, agrupándola en tres magnitudes de amplificación; alta, media y baja. En la figura 38 se observa la mayor concentración de amplificación alta en la frontera con el Distrito Federal y a su alrededor las de

magnitudes medias, finalmente las aplicaciones bajas se presentan en la parte alta del municipio, con sus excepciones las cuales pueden ser causadas debido a las características del sitio de medición.

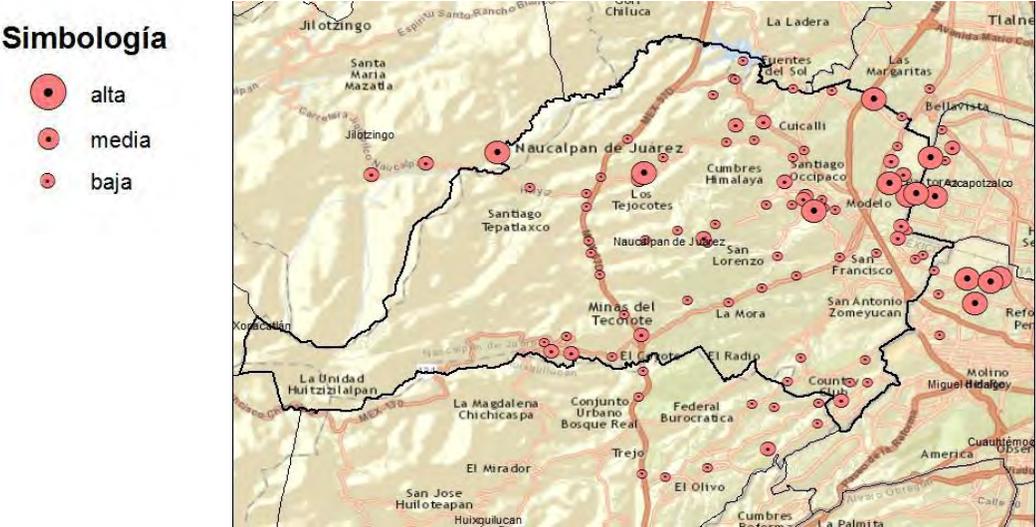


Figura 38. Representación de amplificación sísmica por punto de registro.

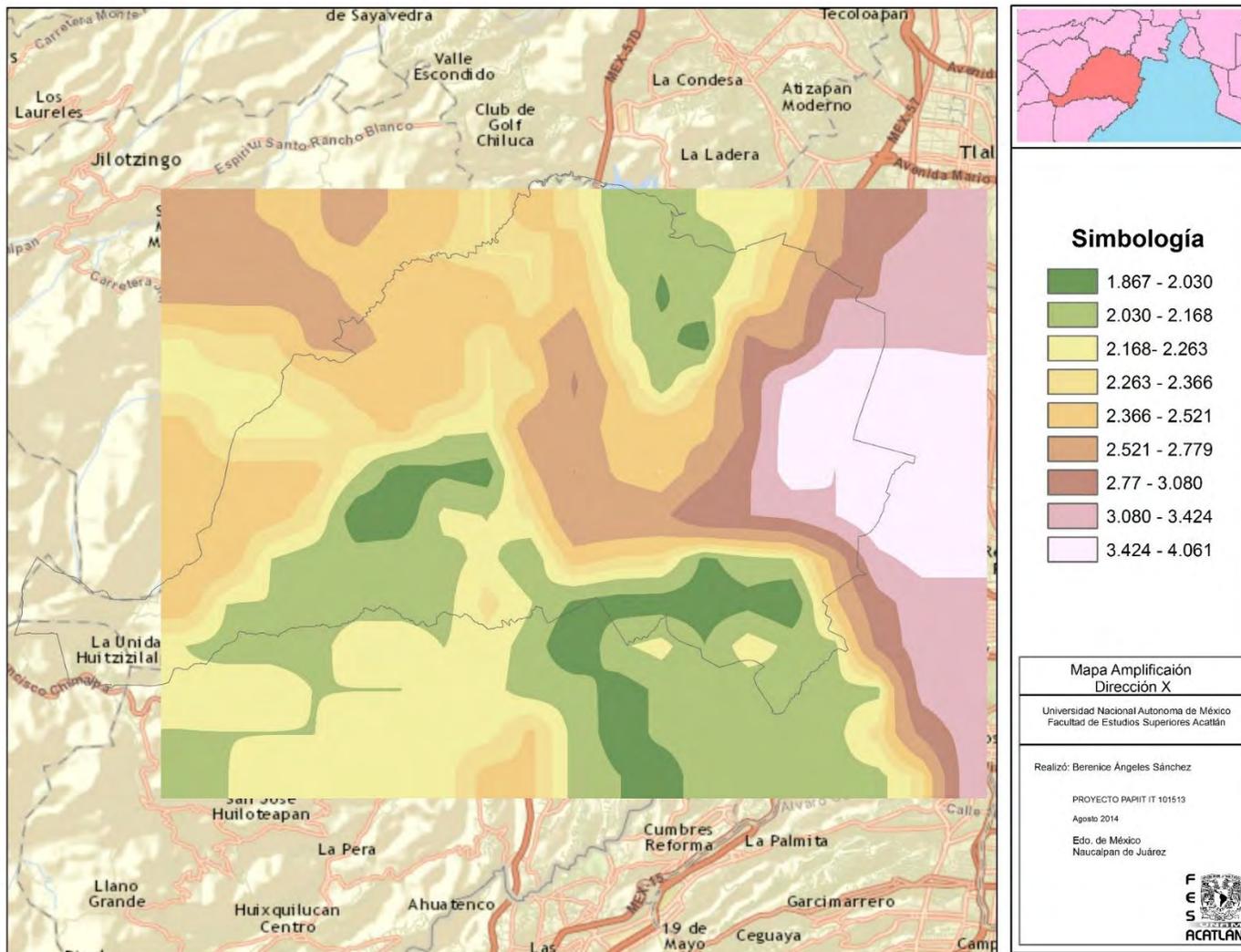


Figura 39. Mapa de amplificación sísmica dirección "X".

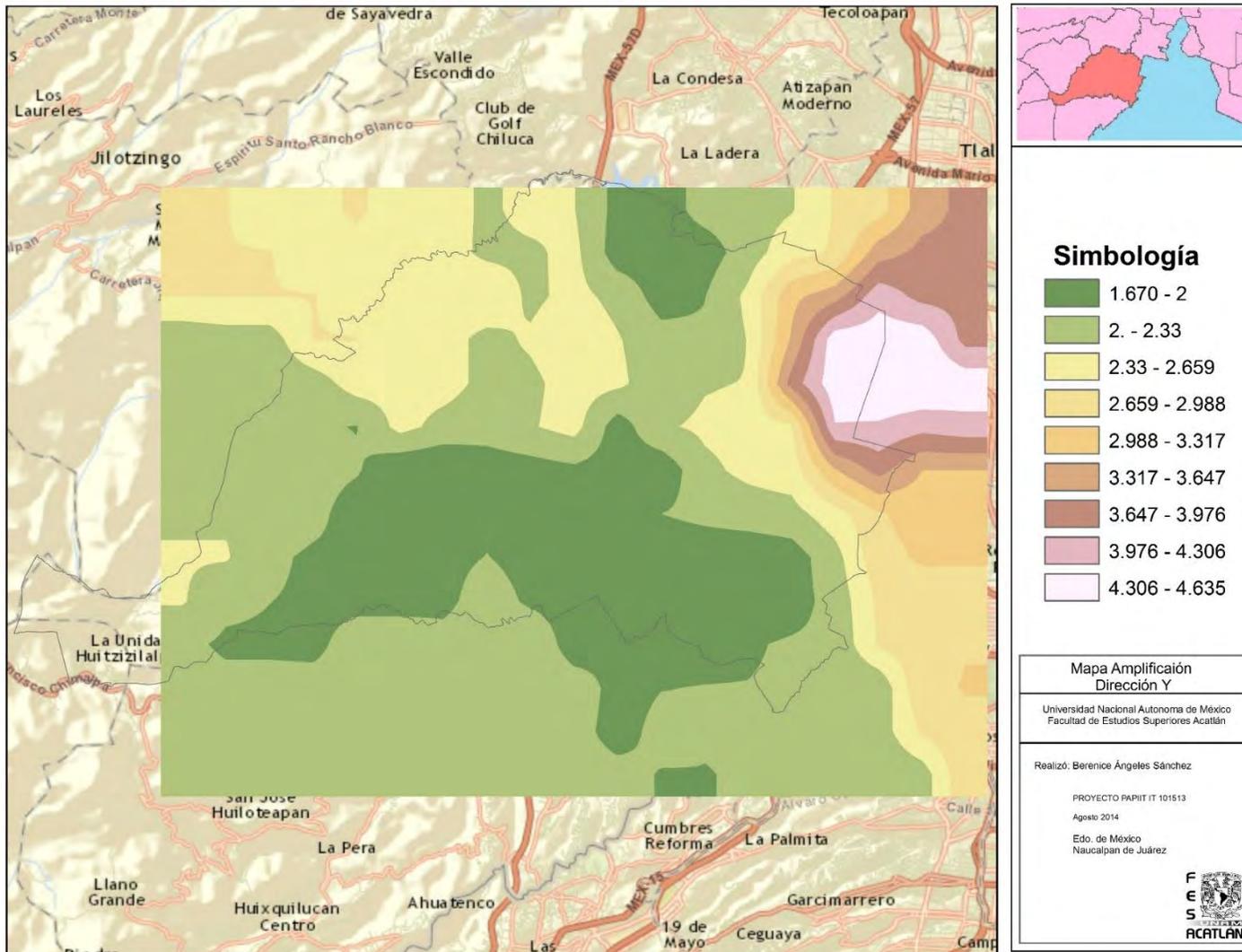


Figura 40. Mapa de amplificación sísmica dirección "Y".

En las partes altas del municipio se observa como la amplificación disminuye, pero al apreciar la distribución de los puntos y su amplificación (Figura 38), sobresalen algunos puntos con amplificación mayor a 2, esto puede ser ocasionado a la geología presente en ese sitio. Recordando que en las partes altas se cuenta intercalación de brecha volcánica. O bien ha debido a un efecto topográfico como anteriormente se explicó.

Para llevar a cabo la presentación del mapa de curvas de isoperiodos se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcMap, versión 9.3, el cual nos provee una metodología para comprender, representar, manipular y relacionar aspectos y elementos de estudio, además de organizar de tal forma que se garantice la confiabilidad de los resultados obtenidos, los cuales se presentarán de forma clara, concisa y ordenada. (Martínez Cruz, Ferrer Toledo, Aguilar Mora, Aguirre González, & Azomoza Ponce, 2005)

En este análisis se manejan las vertientes de información espacial y temática. Lo anterior significa que se emplea cartografía y bases de datos a la vez, uniendo ambas partes para constituir una sola base de datos geográfica, denominada geodatabase.

El método más utilizado para crear la información a analizar mediante un SIG es la digitalización. Esto es que un mapa impreso se transfiere a un medio digital con capacidades de estar referenciado geográficamente o con "georreferenciación".

Se creó una geodatabase la cual está compuesta por los 102 sitios de medición de vibración ambiental, añadiendo los periodos obtenidos a partir de los espectros de Fourier antes mencionados y las amplificaciones correspondientes a cada punto medido.

Interpolación de los períodos dominantes obtenidos en cada punto de medición fue realizada por el método de geo-estadística Kriging cuya teoría establece que una variable sigue un mismo patrón dentro de un área determinada. El resultado de esta interpolación permite desplegar la influencia de los datos obtenidos sobre un cierto entorno a una determinada distancia (datos raster). Con esto se logra visualizar las zonas donde se agrupan ciertos periodos dominantes.

La obtención de las curvas de isoperiodos se da en base a los datos raster obtenidos aplicando un intervalo de contorno de 0.01 para la presentación de las curvas. En el mapa de isoperiodos (figura 34) se aprecia que la distribución de los periodos dominantes del terreno cuenta con una relación congruente con el mapa geológico anteriormente mostrado.

En éste se puede apreciar cómo en la zona de frontera con el Distrito Federal, donde los suelos que abundan son arcillas de baja plasticidad con arena y limo, limo y arena-arcillosa, los periodos que predominan son superiores a 0.54 segundos, estos valores varían dependiendo de los depósitos de materiales mencionados. En las zonas más profundas los periodos alcanzan hasta 0.88 segundos.

Las curvas de isoperiodos y la clasificación sísmica de la zona urbana ubicada a lo largo de la zona suroeste, en donde no fue posible realizar mediciones de la vibración del suelo, fueron definidas al considerar una alta probabilidad de que las áreas con una geología similar deben presentar la misma respuesta sísmica.

Hacia la zona oeste del municipio en suelos volcánicos, específicamente suelos andesíticos los periodos que se indican abarcan desde 0.3 a 0.17 segundos, lo que nos expresa que se tiene una menor respuesta por parte del terreno.

En la parte central del municipio, donde se realizó una exploración más a fondo de la geología, se observa un comportamiento de transición entre la zona blanda y la firme por lo que a su vez los periodos varían entre 0.3 y 0.5 segundos.

5. Microzonificación sísmica

5.1. Respuesta de las estructuras

La respuesta sísmica de una estructura, está representada por las deformaciones y fuerzas que aparecen en ella al verse sujeta a la acción de un sismo. Para el diseño en la ingeniería, interesa el efecto que tendrán estos movimientos en las estructuras reales, puesto que no son infinitamente rígidas, si no deformables, responderán a los impulsos del terreno de una manera definida por sus características estructurales expresadas por medio de modos naturales de vibración, del amortiguamiento, de las leyes de carga deformación de cada uno de sus elementos, esto tanto en el rango elástico como en el inelástico.

El efecto de los sismos sobre las estructuras depende de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un sismo, como de uno a otro sismo, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras.

Las características de interés del movimiento son la duración, la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la amplitud a los máximos valores que se alcanzan durante un sismo. Por otro lado las características dinámicas de las estructuras no son fáciles de estimar correctamente, debido a las incertidumbres existentes en la determinación de las propiedades de los elementos que conforman las estructuras, a la variación de las propiedades al presentarse el comportamiento inelástico, así como a las incertidumbres en cuanto a la colaboración a la resistencia y rigidez de los elementos no estructurales que suelen participar en la respuesta sísmica debido a que es difícil desligarlos adecuadamente de la estructura, también es poco frecuente incluir la participación de la cimentación y del suelo circundante en la determinación de las propiedades dinámicas de un edificio.

En el Municipio de Naucalpan la mayoría de los habitantes consideran segura toda esta área, ignorando que existen ciertas características que no siempre son favorecedoras para las edificaciones.

A partir de las curvas de isoperiodos se pueden delimitar las zonas preliminares de peligro sísmico, al tomar en consideración las características dinámicas del suelo y la posible afectación a ciertos tipos de construcciones.

Como se mencionó anteriormente las características dinámicas de un edificio se ven influenciadas por sus elementos estructurales, métodos constructivos, subsuelo, entre otros, por lo tanto, también influyen en los daños que pueden presentar ante un sismo. De igual forma la respuesta del edificio es diferente ante las distintas ondas sísmicas, las cuales se describen de la siguiente manera:

- Ondas de baja frecuencia (sismos lejanos al lugar): hacen que los edificios altos entren en resonancia y por el contrario con los edificios bajos, el daño es menor.
- Ondas de altas frecuencias (sismos cercanos al lugar): afectan sobre todo a las edificaciones bajas y en menor grado a las grandes estructuras.

Algunos de los daños más comunes y sus respectivas causas se describen a continuación:

- Fallas en la cimentación de los edificios.
- Separación entre los edificios: esto puede provocar un golpeteo entre edificaciones.
- Sobrecargas excesivas, debidas a cambios de destino con respecto al proyecto original.
- Configuración estructural de los edificios, entendida no solo como la forma exterior si no también relacionada con la distribución de los elementos estructurales y no estructurales y de las cargas.
- Distribución irregular de los elementos no estructurales en elevación, asimismo las variaciones en el tamaño de las plantas en elevación debida a escalonamientos conduciendo a cambios bruscos de masas y rigidez
- Edificios con plantas irregulares, como T, L o triangulares, ya que por lo general tienen mal comportamiento debido a las torsiones asociadas a excentricidades importantes

En el centro poniente del municipio se encuentra la zona más crítica y dentro de esta se encuentra ubicada la zona industrial, próxima a la cabecera municipal y vialidades regionales. Una característica de este sector es la antigüedad de sus construcciones ya que algunas de estas construcciones fueron inauguradas desde la época de la Reforma (Martínez, 2012), otras edificaciones que se encuentran dentro de esta área son los de servicios médicos y actualmente se encuentran en construcción diversos edificios para uso de oficinas y comercios los cuales cuentan de 2 a 10 pisos, podemos suponer que estas edificaciones pueden presentar periodos que puedan coincidir con el del suelo donde se encuentran desplantadas, generando distintos daños, no solo por el efecto de resonancia que pudiera

presentarse sino además por los efectos dados por las características de los suelos, que se han abordado, los cuales producen un fenómeno sísmico.

5.2. Mapa de microzonificación

En el municipio de Naucalpan no se tiene la seguridad de que ante la ocurrencia de eventos sísmicos de diferente intensidad, las edificaciones tengan un buen desempeño estructural, además de que no se dispone de un Reglamento de Construcción que guíe a los ingenieros y arquitectos en el diseño de las edificaciones (Rivera, 2012)

La importancia de este y cualquier estudio de microzonificación sísmica radica, en que, a través de ellos, se evalúa la peligrosidad sísmica de las zonas urbanas. El mapa que se genera apoyará los planes de planificación territorial urbana (uso del suelo). Es útil para la proyección de la localización de las edificaciones y constituye la base para establecer las normas de construcción sísmica de una determinada localidad.

La respuesta dinámica de las estructuras depende de sus características físicas, siendo el periodo natural de vibración la propiedad más importante de las construcciones. Además, debe considerarse la respuesta dinámica del medio en el que se propagan las ondas sísmicas y la intensidad del sismo. Esto se debe a que las perturbaciones del subsuelo generadas por un movimiento sísmico actúan en los cimientos de la estructura, posteriormente se propagan al resto de sus elementos, manifestándose como un movimiento oscilatorio, cuyos principales componentes son la frecuencia y la amplitud suelo-estructura que si coinciden con los periodos propios de las ondas sísmicas y la estructura, se producirá el fenómeno de resonancia, provocando la máxima oscilación (distancia que alcanza un cuerpo a partir de la posición de equilibrio) de la estructura (Beles, Ifrim, & Yagüe, 1975). A fin de evitar este fenómeno es importante lograr una discrepancia entre los periodos de estos elementos. Con este propósito es indispensable determinar la distribución espacial del periodo natural de vibración del suelo de las ciudades.

La superposición de la microzonificación sísmica con los datos de ubicación de las viviendas e instalaciones es de gran importancia, debido a que apoyan los planes de respuesta o mitigación de las autoridades de Protección Civil (Moreno, 2011)

Con el estudio anteriormente presentado, la obtención de los periodos del territorio de Naucalpan y el análisis de las amplificaciones por medio de Fourier se pudo realizar una zonificación sísmica en base a estos dos parámetros, obteniendo tres áreas que ayudan a identificar el periodo que se presenta en el punto de interés, así como la amplificación que las ondas reciben en ese tipo de suelo.

Las características que presentan estas zonas sísmicas se definen a continuación:

La Zona I (verde). Firme representa el área estable, en ella la amplificación de las ondas sísmicas (efecto de sitio) es mínima. Esta se localiza en la zona alta del municipio donde se presenta una formación geológica de roca ígnea extrusiva y estructuras volcánicas. Y estaría delimitada por periodos dominantes de vibración inferiores a 0.3 s.

La Zona II (amarilla). Media se encuentra dentro de la formación Tarango con intercalaciones de brecha volcánica en la franja central del municipio. La amplificación de las ondas sísmicas en esta zona es moderada (2 veces más en promedio, al compararlo con la zona firme). Su delimitación en términos de las propiedades dinámicas del suelo sería para aquellos sitios en donde los periodos de vibración del suelo oscilan entre 0.3 s y 0.6 s.

La Zona III (roja). Blanda está ubicada en la frontera con el Distrito Federal donde se encuentran suelos aluviales y arenas. En este sitio la amplificación de las ondas sísmicas es máxima (4 veces más en promedio, al compararlo con la zona firme), alcanzando un periodo máximo de 0.8s

Las zonas mayormente afectadas son II y III donde los periodos de vibrar del suelo van de 0.3 a 0.8 s,

Recordando el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal las estructuras tipo A, edificaciones cuya falla estructural podría causar la pérdida de un número elevado de vidas o pérdidas económicas o culturales excepcionalmente altas, o cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas y terminales de transporte. El grupo B con edificaciones comunes destinadas a vivienda, oficinas y locales comerciales. Se puede notar que ambos grupos cuentan con estructuras con niveles de entre 3 y 10 niveles. La importancia o uso común de estas edificaciones pone un foco rojo sobre ellas sobre todo en edificaciones esbeltas y flexibles que puedan presentar una coincidencia con el periodo de vibrar del suelo.

Es importante recordar los antecedentes sísmicos del municipio, existe la probabilidad de la ocurrencia de un sismo de magnitud considerable que afectaría a toda edificación que presente las características antes mencionadas. A continuación se muestra el mapa obtenido para el Municipio de Naucalpan de Juárez.

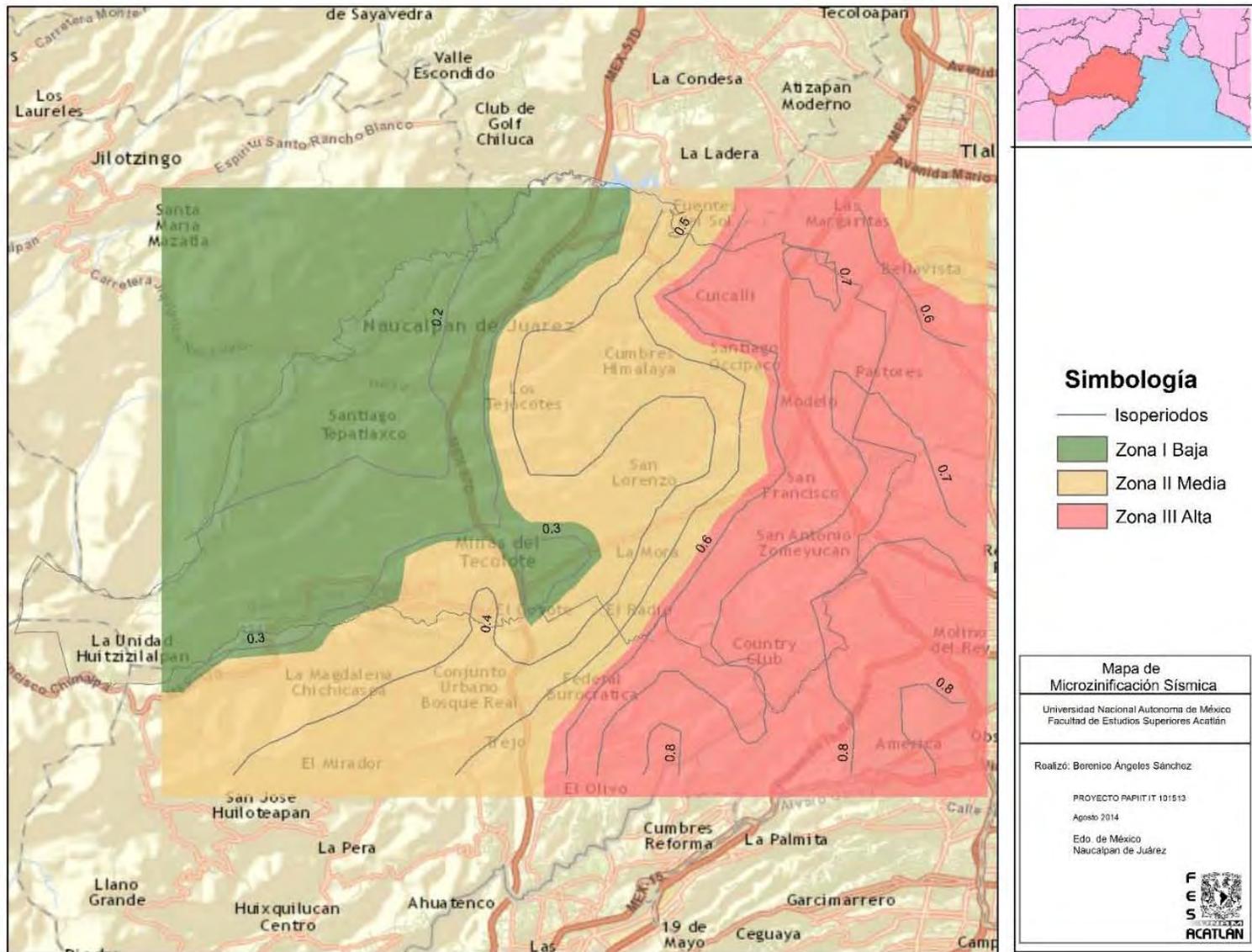


Figura 41. Mapa de microzonificación sísmica del Municipio de Naucalpan de Juárez

6. Conclusiones

En este trabajo el objetivo era conocer las características dinámicas del suelo del Municipio de Naucalpan de Juárez, representando dicha información en mapas (geológico, isoperiodos, amplificación y microzonificación), para poder tener una mejor interpretación de esta y apoyar el diseño sísmico de esta área, ya que actualmente no cuenta con un mapa oficial en donde se pueda apreciar la transición del suelo firme de la ciudad de México con los suelos firmes de la zona de lomas. Ya que aún se considera todo el municipio como zona I, así minimizando los riesgos que representa un movimiento sísmico para las edificaciones, sobre todo para las que se encuentran en la zona de frontera con el Distrito Federal y algunos puntos de interés donde se presentan características peculiares en el terreno.

Hasta este trabajo no se contaba con un estudio similar o tan detallado del área de estudio y aporta información importante para la ingeniería, sin embargo no son valores absolutos sino relativos y es importante comentar que la información podría ser complementada utilizando diferentes técnicas que requieren mayor tiempo y recursos. No obstante los resultados presentados aportan información valiosa para comprender el comportamiento de las zonas sísmicas del municipio y así poder tomar precauciones necesarias como establecer estructuraciones de menor riesgo, políticas de desarrollo urbano, establecer escenarios de pérdidas para el manejo de emergencias y establecer estrategias de planeación.

Los mapas de amplificación e isoperiodos presentados ofrecen una buena correlación con el geológico, lo cual nos da bases sólidas para que esta información tenga fines de diseño sísmico. La información de estos mapas se concentró con el fin de esquematizar las zonas de riesgo con las que cuenta el municipio, en el mapa de microzonificación se pueden establecer tres zonas: baja, media y alta; en la primera los periodos fundamentales del terreno son inferiores a 0.3 s, que corresponde a las partes altas del Municipio y la amplificación de las ondas presente en este lugar es mínima; la segunda zona se presentan periodos entre 0.3 y 0.6 s con una amplificación más elevada que las partes altas y menos pobladas del municipio, en tanto que en las partes bajas del municipio y zonas que colinda con las delegaciones Azcapotzalco y Miguel Hidalgo, oscila entre 0.6 s y 0.88 s, teniendo una mayor amplificación relativa. Es importante tomar en cuenta que estas zonas (media y alta) es donde se concentra la mayoría de la población del municipio, por lo que el riesgo incrementa.

Naucalpan es un área que se encuentra constantemente amenazada por movimientos sísmicos, a pesar de que muchos habitantes lo consideran seguro, es imprescindible el desarrollo de un estudio de peligro sísmico, sobre todo si se valora que ha crecido de manera importante la población, en la cual se tienen

definidas áreas urbanizadas y aquellas que están en proceso de urbanización de tal manera que ha sido considerado el tercer municipio con el mayor número de habitantes del Estado de México, por lo que el impacto en su población podría ser relevante ante la ocurrencia de este fenómeno geológico

Referencias

- Aki, K. (1988). American Society of Civil Engineering. *Geotechnical Special Publicación*, 103-155.
- Asten, M. (1976). *"The use of microseisms in geophysical exploration"* Ph. D. Thesis, Macquire University. Australia.
- Beles, A., Ifrim, M., & Yagüe, A. (1975). *Elementos de Ingeniería Sísmica*. Barcelona : Omega .
- Borcherdt, R. (1994). *Earthquake Spectra*, 617-653.
- Bryan, K. (1948). Boletín de la sociedad Geológica Mexicana. *"Los suelos complejos y fósiles de la altiplanicie de México, en relación a los cambios climáticos, 73.*
- Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 84, No. 5. (1994). En J. Lermo, & F. Chavez Garcia, *Are Microtremors Useful in Site Response Evaluation?* (págs. 1350-1364). México D.F.
- Castelan. (2001). *Determinación experimental de las propiedades dinámicas de un edificio reforzado con disparadores de energía .*
- Chavez, J.M.. (2008). *Atlas multidisciplinario y de riesgo geotécnico de la zona conurbada al norponiente del Valle de México.*
- Chávez Aguirre, J. (2006). *Geotecnia*.
- Chávez, J. (2008). *"Atlas multidisciplinario y de riesgo geotécnico de la zona conurbada al norponiente del valle de México"* . México: Academia de Ingeniería (AI).
- Díaz, J. (2006). *Los suelos lacustres de la ciudad de México*. Facultad de ingeniería, UNAM, México D.F. : Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, Vol. 6(2).
- Echeverri Ramírez, G. (2006). *Atenuación espectral sísmica en el campo lejano: una aproximación con redes neuronales artificiales*. México D.F.
- Fries, C. J. (1960). Geología del estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero región de México. México: Instituto de Geología, UNAM.
- Fries, C. J. (1962). En *"Resumen de Geología de la Hoja Pachuca, estados de Hidalgo y México"*. Hoja Pachuca 14Q-(11), Esc. 1:100 000,. México, D.F.: Instituto de Geología, UNAM.
- Gómez Chávez , S. (2007). *Análisis sísmico moderno: ética aplicada*. México, D.F: Trillas.
- Hass Mora, H. (1978). *El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de Mexico*. Simposio Sobre el Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de Mexico, 1.

- Hernández, I. (2010). *Bases técnicas para la determinación de la prima de riesgo y la pérdida máximaprobable de los seguros de terremoto*. Mexico D.F.: CNSF.
- Lermo, J. (2013). *Validación del factor de amplificación de los cocientes espectrales a partir de microtembres*.
- Lermo, J., & Chávez, F. (1994). Bulletin of the Seismological Society of America, Núm. 84. *Are microtremors useful in site response evaluation?*
- Lermo, J., & Chavez-García, F. (1995). *Site effect evaluation at México City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records*.
- López. (2014). *Análisis y evaluación de las vibraciones causadas por tráfico y su impacto en zonas de vivienda*. Tesis de maestría UNAM.
- Martínez. (2010). *Estudio del movimiento sísmico en el Municipio de Naucalpan de Juárez*.
- Martínez Cruz, U., Ferrer Toledo, H., Aguilar Mora, A., Aguirre González, J., & Azomoza Ponce, G. (2005). *Usos de los sistemas de información geográfica como herramientas de apoyo para la evaluación del riesgo sísmico del centro histórico de la Ciudad de Puebla*.
- Martínez Zárate, D. (2012). *Estudio del movimiento sísmico del municipio de Naucalpan de Juárez*.
- Mooser, F., Nair, A., & Negendank, J. (1974). "Paloemagnetic investigations of Tertiary and Quaternary igneous rocks; VII, A paloemagnetic and petrologic study of volcanics of the Valley of México: Geologische Rundschau".
- Moreno Perales, G. (2011). *Microzonificación Sísmica de la Zona Urbana de Motozintla de Mendoza, Chiapas*. México D.F.: Tesis UNAM.
- Nakamura, Y. (1989). *method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*.
- Ordaz. (2005). *Manual de uso del programa DEGTRA A4*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, INSTITUTO DE INGENIERÍA – IIUNAM.
- Ordaz, M. (1992). *Estimación de Movimientos Fuertes ante Temblores Mexicanos de Subducción*. México D.F.: Tesis Doctoral, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad, UNAM.
- Pavón, V. M. (1998). *Causas y orígenes de los sismos. Los temblores de la tierra. El poder destructor de los sismos y los volcanes*. México, D.F: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Reinoso. (2007). *Riesgo sísmico de la Ciudad de México*.
- Reinoso, E. (1995). *Características Sísmicas de la Ciudad de México: Amplificación de las ondas sísmicas en el valle de México: Amplificación de las ondas sísmicas en el valle de México, características del movimiento del terreno y microzonificación de la ciudad*.
- Rivera. (2012). *Estudio del peligro sísmico en el Municipio de Naucalpan*.

- Rivera, Arce, & Zetina. (2013). *Propuesta de microzonificación sísmica para el Municipio de Naucalpan de Juárez*.
- Rosenblueth, E., Ordaz, M., & Sánchez Sesma. (1989). *The Mexico Earthquake of september 19, 1985. Desing spectra for Mexico's Federal District*.
- Santana , H. (2008). *"Agrietamiento en la zona de Naucalpan"* . FES Acatlán, UNAM, México: Tesina para obtener el titulo de Ingeniero Civil .
- Santoyo. (2005). *Sintesis geotécnica de la cuenca del valle de México*. México D.F.: TGC.
- Singh, S. (1995). *Is there truly a hard rock site in the valley of Mexico?*
- Torres. (1995). *Determinacion de los efectos de sitio*.
- Torres, L. (2010). *"Efectos de sitio observados en estaciones acelerograficas de la ciudad de Puebla"*.
- Tsige , M., & García Flórez, I. (2006). *Propuesta de clasificación geotécnica del "Efecto Sitio" (Amplificación)*.
- Vázquez, E., & Jaimes, R. (1989). *Geología de la Cuenca de México*. Revista de la Unión Geofísica Mexicana, Instituto de Geofísica, UNAM: Vol. 28, Núm. 2.
- Zetina, J. (2014). *"Propuesta de Microzonificación Sísmica del municipio de Naucalpan"*. México.
- Zúñiga, F. R. (2012). *Notas introductorias , Sismología*. México, D.F.: Posgrado ciencias de la Tierra.

Anexo

Estudios Petrográficos

ESTUDIO PETROGRÁFICO 1

I.- DATOS DE CAMPO:

Muestra No: Be 01-14

Localidad: Proyecto "Riesgo Sísmico en Naucalpan", Estado de México. Roca colectada de afloramiento en el centro social del Cerro el Ocotillo, Naucalpan, Estado de México.

Descripción de la Roca: Sin descripción.

II.- DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Gris verdoso claro (5GY 8/1)

Estructura y Textura: Compacta-masiva, fanerítica.

Minerales observables: Feldespatos, máficos (hornblenda), óxidos de hierro.

III.- DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Porfídica en matriz pilotaxítica

Mineralogía:

- | | | |
|---------------------------|-------------------|--------|
| a) Minerales esenciales: | Oligoclasa | 44% |
| | Andesina | 35% |
| b) Minerales accesorios: | Hornblenda | 10% |
| | Augita | 3% |
| | Augita diopsídica | 3% |
| | Minerales opacos | 5% |
| | Apatito | Trazas |
| c) Minerales secundarios: | Hematita | |
| | Biotita | |

d) Matriz o cementante: matriz de microlitos de plagioclasas cuyos intersticios los ocupa material feldespático.

e) Caracteres especiales: Fenocristales de plagioclasas intermedias (andesina-oligoclasa) de forma tabular y con macla de la albita, algunas presentan zoneamiento y bordes de exsolución, hornblenda de forma tabular y prismática euedrales alterando algunas a biotita y reemplazadas por opacos, igual que piroxenos prismáticos; el conjunto se observa en una matriz pilotaxítica.

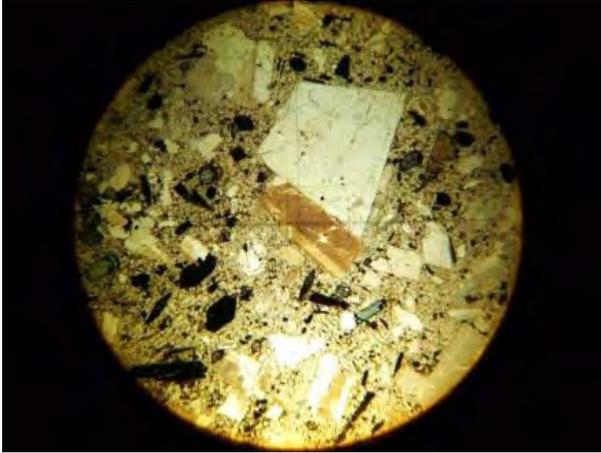
IV.- ORIGEN DE LA ROCA: Ígneo intrusivo hipabisal.



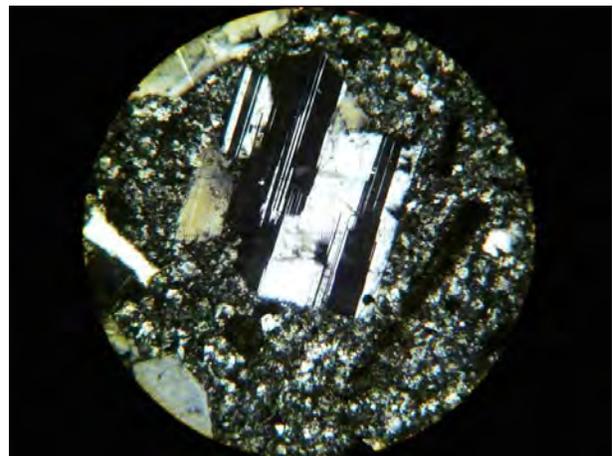
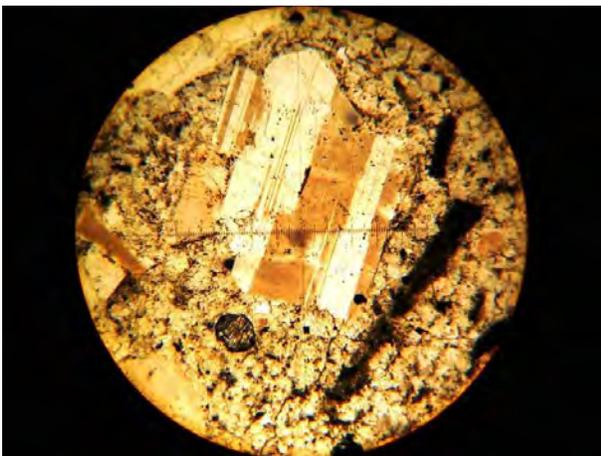
V.- CLASIFICACIÓN: PÓRFIDO ANDESITICO DE HORNBLENDA Y PIROXENO

FOTOMICROGRAFIAS DE MUESTRAS COLECTADAS EN EL PROYECTO “RIESGO SÍSMICO EN NAUCALPAN”. ESTADO DE MÉXICO

Muestra No: Be 01-14



Se observan fenocristales al centro y alrededor de plagioclasas de composición intermedia las cuales exhiben una forma tabular y con maclas con color de interferencia blanco, gris claro a negro, cristales de piroxeno al centro de color amarillo de forma prismática y hornblenda al centro de color verdoso y anaranjado, al lado izquierdo anfíboles de color negro por reemplazamiento de opacos en una matriz criptocristalina feldespática. Ocular 12,5x kpl, objetivo 2,5x, microfotografía izquierda en Luz Natural (LN) y derecha con Nícoles Cruzados (NX).



Fenocristal de plagioclasa al centro con forma tabular y con macla, al lado derecho anfíboles tabulares reemplazados por minerales opacos de color negro, al centro piroxeno de forma prismática con color de

interferencia gris oscuro, el conjunto se encuentra englobado en una matriz criptocristalina feldespática. Ocular 12,5x kpl, objetivo 10x, microfotografía izquierda en Luz Natural (LN) y derecha con Nícoles Cruzados (NX).

ESTUDIO PETROGRÁFICO 2

I.- DATOS DE CAMPO:

Muestra No: Be 02-14

Colector: Dr. José María Chávez Aguirre

Localidad: Proyecto "Riesgo Sísmico en Naucalpan", Estado de México. Roca colectada de afloramiento en el centro social del Cerro el Ocotillo, Naucalpan, estado de México.

Descripción de la Roca: Sin descripción. Posible roca de la Formación Tarango?

II.- DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

Color: Naranja muy pálido (10 YR 8/2)

Estructura y Textura: Compacta-deleznable, piroclástica.

Minerales observables: Cuarzo, feldespatos, máficos, líticos.

III.- DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Textura: Piroclástica

Mineralogía:

- a) Minerales esenciales: Andesina
Oligoclasa
Fragmentos de roca
Vidrio
- b) Minerales accesorios: Hornblenda
Biotita
Minerales opacos
- c) Minerales secundarios: Hematita
Limonita
- d) Matriz o cementante: matriz de material criptocristalino feldespático y vítreo de composición intermedia (N≈B).
- e) Caracteres especiales: La muestra está constituida por material triturado de una masa rocosa intermedia constituida por cristales de plagioclasas (oligoclasa – andesina), líticos de composición intermedia, cristales de plagioclasa intermedias, biotita y hornblenda en una mesostásis criptocristalina feldespática vítrea.

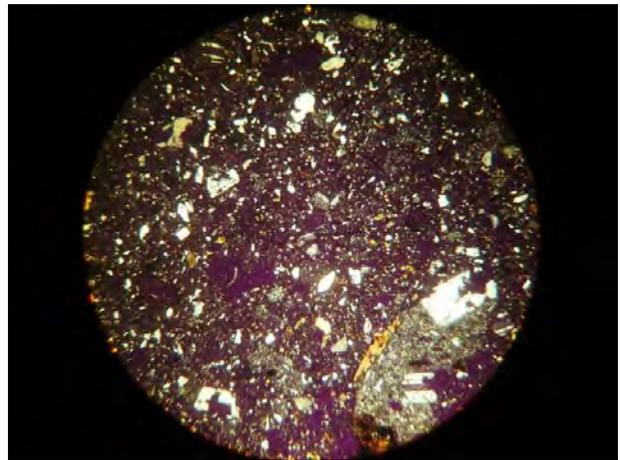
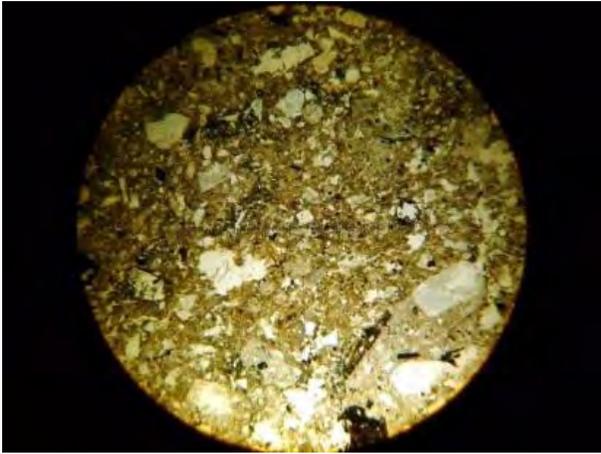


IV.- ORIGEN DE LA ROCA: Ígneo extrusivo explosivo.

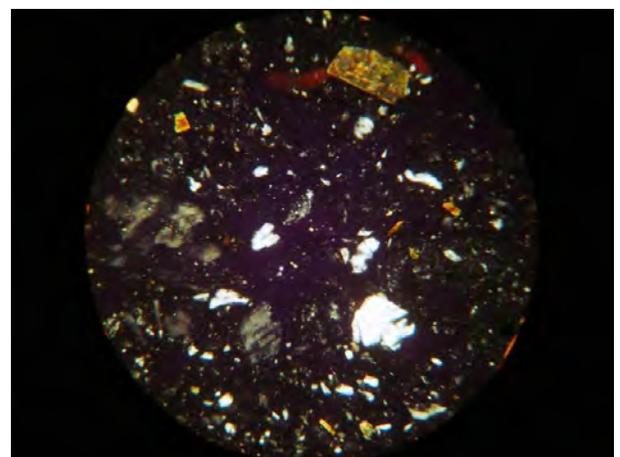
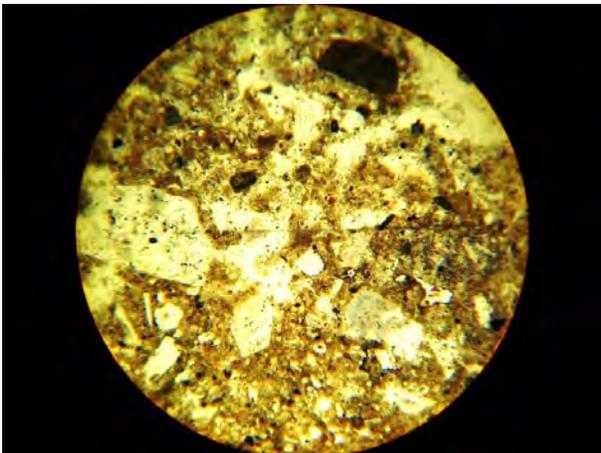
V.- CLASIFICACIÓN: TOBA ANDESITICA DE HORNBLENDA Y BIOTITA

FOTOMICROGRAFIAS DE MUESTRAS COLECTADAS EN EL PROYECTO “RIESGO SÍSMICO EN NAUCALPAN”. ESTADO DE MÉXICO

Muestra No: Be 02-14



Se observan fragmentos de roca color pardo y claro abajo a la derecha y arriba a la izquierda, minerales opacos arriba a la derecha, al centro y en el extremo izquierdo de color negro; vidrio pumicitico en extremo inferior, englobados en una matriz microcristalina y vitrea. Ocular 12,5x kpl, objetivo 2,5x, microfotografía izquierda en Luz Natural (LN) y derecha con Nicoles Cruzados (NX).



Fenocristal de biotita de color pardo y pardo amarillento arriba a la derecha con forma tabular, feldespatos de color blanco y gris claro y oscuro alrededor de la lámina en una matriz vitreocristalina. Ocular 12,5x kpl, objetivo 10x, microfotografía izquierda en Luz Natural (LN) y derecha con Nicoles Cruzados (NX).

ESTUDIO PETROGRÁFICO 3

I.- DATOS DE CAMPO:

Muestra No: Be 03-14

Colector: Dr. José María Chávez Aguirre

Localidad: Proyecto "Riesgo Sísmico en Naucalpan", estado de México. Roca colectada de afloramiento en el centro social del Cerro el Ocotillo, Naucalpan, estado de México.

Descripción de la Roca: Sin descripción.

II.- DESCRIPCIÓN MACROSCOPICA

Color: Gris claro (n7) con tonos gris muy claro (N8)

Estructura y Textura: Compacta-masiva, fanerítica.

Minerales observables: Cuarzo, feldspatos, máficos, óxidos de hierro.

III.- DESCRIPCIÓN MICROSCOPICA

Textura: Piroclástica

Mineralogía:

- f) Minerales esenciales: Andesina
Oligoclasa
Fragmentos de roca andesítica
Vidrio pumítico
- g) Minerales accesorios: Hornblenda
Minerales opacos
- h) Minerales secundarios: Minerales opacos
Arcillas
- i) Matriz o cementante: matriz vítrea de composición intermedia a acida ($N < B$), ligeramente alterada a arcillas.
- j) Caracteres especiales: Cristales de plagioclasas intermedias de formas tabulares y con maclas, fragmentos de pómez y de roca andesítica y cristales tabulares a prismáticos de hornblenda; el conjunto englobado en una matriz vítrea de composición intermedia a ácida ($N = B$).

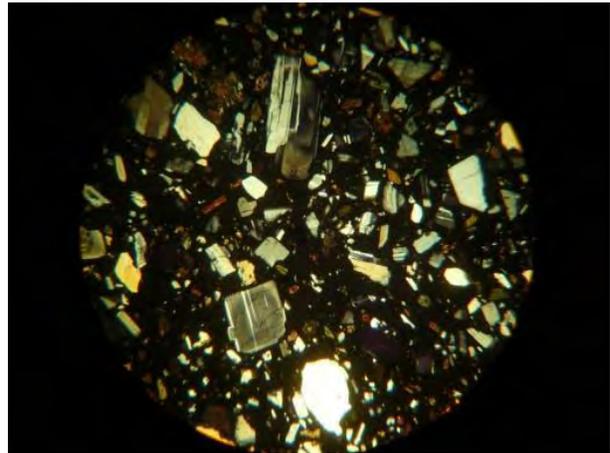
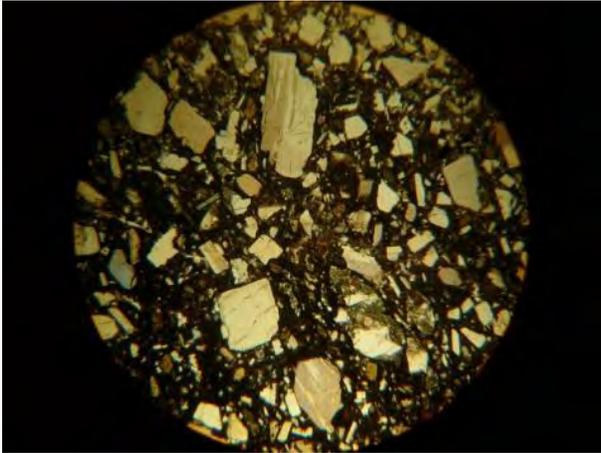


IV.- ORIGEN DE LA ROCA: Ígneo extrusivo explosivo.

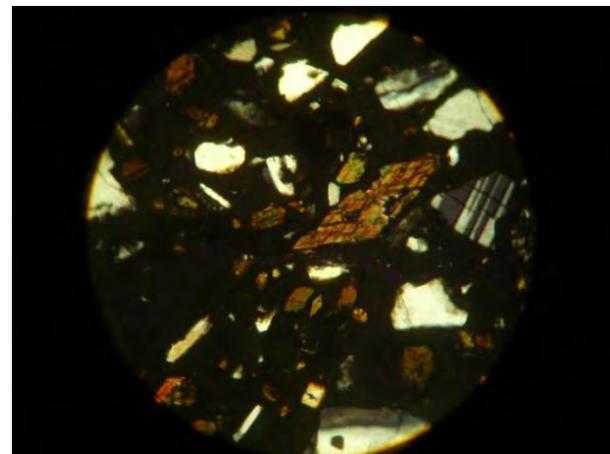
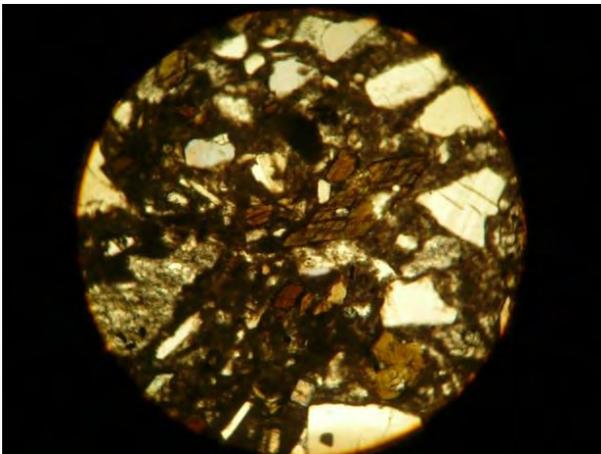
V.- CLASIFICACIÓN: TOBA VITROLITICA DE HORNBLENDA

FOTOMICROGRAFIAS DE MUESTRAS COLECTADAS EN EL PROYECTO “RIESGO SÍSMICO EN NAUCALPAN”. ESTADO DE MÉXICO

Muestra No: Be 03-14



Se observan cristales de plagioclasas de forma tabular subedral con zoneamiento y con macla en toda la lámina, ferromagnesianos de color amarillo anaranjado con formas tabulares arriba en la derecha, izquierda y al centro; fragmento de roca al centro arriba y debajo de rocas andesíticas, fragmentos de roca color pardo y negro arriba a la izquierda, arriba a la derecha y al centro, minerales opacos de color negro; vidrio de composición intermedia englobando a los constituyentes. Ocular 12,5x kpl, objetivo 2,5x, microfotografía izquierda en Luz Natural (LN) y derecha con Nicoles Cruzados (NX).



Fenocristal euedral al centro de hornblenda, otros más pequeños alrededor de la lámina con colores de interferencia pardo verdoso, cristales de plagioclasas anedrales y subedrales con macla de color de interferencia blanco a gris claro en una matriz microcristalina vítrea de composición intermedia. Ocular 12,5x kpl, objetivo 10x, microfotografía izquierda en Luz Natural (LN) y derecha con Nicoles Cruzados (NX).

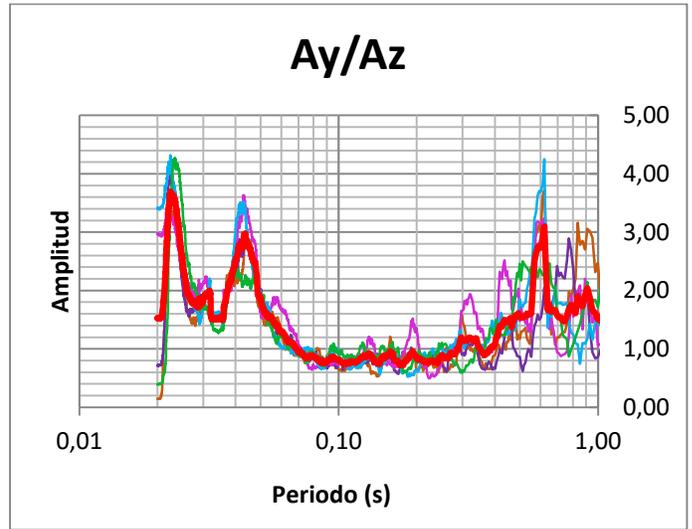
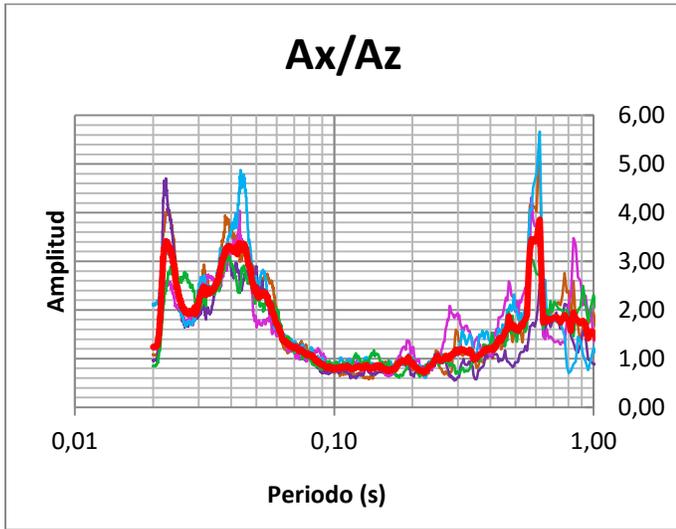
Concentrado de periodos y amplificaciones

Archivo	Observaciones	Amplificación Ax/Z	Amplificación Ay/Z	Tr
KA001	Atrás de laboratorio de Análisis de Riesgos Naturales y Antropogénicos (pavimento)	3.86	3.1	0.61
KA003	Estacionamiento FES Acatlán (pavimento)	1.66	1.68	0.27
KA007	Teatro Javier Barros, FES Acatlán (banqueta)	2.78	2.72	0.32
KA010	Calle Yaquis, frente al estadio de soccer de la FES Acatlán (banqueta)	1.22	2	0.42
KA011	Av. Jardines de San Mateo	5.47	2.33	0.62
KA012	Av. Adolfo López Mateos, CFE (pavimento)	1.97	1.34	0.37
KA013	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (pavimento)	1.26	2	0.46
KA014	Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos (banqueta, tierra)	2.5	3.24	0.38
KA015	Av. Adolfo López - Av. Lomas Verdes (banqueta)	2.12	1.81	0.69
KI003	Estacionamiento, frente al Teatro Javier Barrios Sierra, FES Acatlán (Pasto/Suelo) - Atrás MEGA	2.99	3.63	0.33
KI005	Canal - Av. La Naranja	6.24	3.24	0.6
KI007	El Arroyuelo - Canal - Puente	4.01	6.83	0.8
KI009	Cerrada Grijalva - F. de Magallanes (banqueta)	4.99	3.46	0.8
KI010	Hacienda de la Encarnación - Hacienda Paseo Colón - Caseta de Policía	3.3	10	0.62
KI012	Calle Alonso Pinzón - Calzada San Agustín - Vaso Regulador El Cristo	2.6	3.25	0.69
KI016	Av. Gustavo Baz - Circunvalación - Frontera - Vaso Regulador El Cristo	2.21	1.88	0.62
LE004	Bodega Comercial Mexicana Tacuba Estacionamiento	5.49	4.2	0.37
LE005	Panteón Español Estacionamiento	7.18	5.42	0.73
LE007	Panteón Español Crematorio	3.38	1.93	0.93
LE010	Calle Gobernador Gustavo Baz 19 A	2	2	0.85
LE012	Victoria - Las Armas Junto - Canal	3.3	3.32	0.74
LE013	Calzada de Las Armas - Av. Adolfo López Mateos	4.67	2	0.74
LE015	San Isidro 642 - San Pedro Xalpa	4.07	4.63	0.74
LE017	Zempoaltecas 145, Col. Hacienda del Rosario	2.68	2.56	0.34
LE020	Av. Hacienda el Rosario - Hacienda de Sotelo	6.08	3.5	0.73
LG001	Fes Acatlán, UIM, Prueba	4.26	4.26	0.63
LG005	Agua Caliente - Santa Anita	1.89	2.31	0.84
LG007	Av. Fuente de los Leones #65	2.47	1.95	0.66
LG009	Bosque de Belén - Avenida la Herradura	2.4	2.23	0.79
LG010	Bosque de Belén - Avenida la Herradura	2.24	2.06	0.64
LG011	Bosque del Rey #6 - Bosque de La Antequera	1.52	1.96	0.66

LG014	Bosque de Minas #21 - Hacienda Salamanca	2.01	2.26	0.7
LG017	Camino Arenoso frente al tanque Lázaro Cárdenas, Aquiles Serdán 101, Emilio Gustavo Baz	0.95	1.72	0.72
LG018	Av. Naucalpan - Camino Arenero	1.27	1.28	0.73
LI004	De Las Armas - Eje 3 Calzada San Isidro, Módulo de Participación Ciudadana	2.1	10	0.63
LI007	Zempoaltecas - Hacienda del Dorado	4.02	4.26	0.84
LI008	Av. Aquiles Serdán - Rancho de en medio, Cd. Azcapotzalco	2.16	1.89	0.55
LI013	Calle Viveros de la colina No.66	1.94	2.1	0.46
LI015	Calle del Cristo 101 Col. Xoxoyahualco	1.74	2.04	0.74
LI017	Circuito Científicos 26 Col. Satélite	3.19	5.26	0.84
LI020	Circuito Educadores - Justo Sierra	1.94	1.88	0.69
LI023	Av. Fuentes de Satélite 25	2.02	1.89	0.53
LS004	Calle de la Acordada 771, "ladera", junto a la Iglesia y frente a la falla geológica	1.3	1.22	0.2
LS007	Calle de las Capuchinas 66 Casa Verde	1.55	1.63	0.28
LS014	Presa Madín Orilla Calle 2	1.35	1.26	0.45
LS017	Acceso a Carretera Chamapa Lechería, falla geológica	2.33	1.96	0.18
LS025	Zenzontle - Quetzal, Av. Lomas Verdes	3.31	2.77	0.67
LS028	Av. Lomas Verdes, cerca de la UVM	4.11	3.39	0.82
LU005	Av. De las torres No. 68	1.32	1.13	0.37
LY001	Jacobo Gutiérrez 74 San Andrés Atoto, frente tanque de concreto OAPAS	3.47	2.52	0.73
LY003	Río Toluca 13 - San Luis Tlaililco	2.11	2.07	0.45
LY006	Calle Las Torres, CFE, Colonia Lomas de San Agustín	2	1.72	0.77
LY009	Diagonal Av. Minas de Palacio frente al puente peatonal, salida a Toluca	3.83	1.34	0.51
LY011	Boulevard Luis Donald Colosio CP 53660, San Rafael Chamapa	1.27	0.78	0.28
LY013	Prolongación Vertedero, Colonia La Presa, exactamente entre el vertedero y la corona de la cortina	2.08	1.92	0.27
MB003	Prolongación Olímpica libre México - Toluca - Naucalpan, Libramiento Chamapa	3.73	3.07	0.15
MB004	Carretera México - Toluca - Naucalpan, 130 a 50 m de la mina La Colorada Km 10	2.03	2	0.71
MB007	Carretera - México - Toluca Km 11	1.88	2.95	0.05
MB008	Carretera México - Toluca - Naucalpan, Km 12 al lado de puente peatonal, cerro	3.79	3.22	0.48
MB010	Carretera México - Toluca Km 13.2 frente a la cocina la Joya pasando la salida a Huixquilucan	3.27	1.88	0.14
MB013	Carretera México - Toluca Km 14	1.86	1.55	0.63
NB003	Av. De los Remedios 20, 5340, Frac. De las Américas	5.42	2.27	0.84

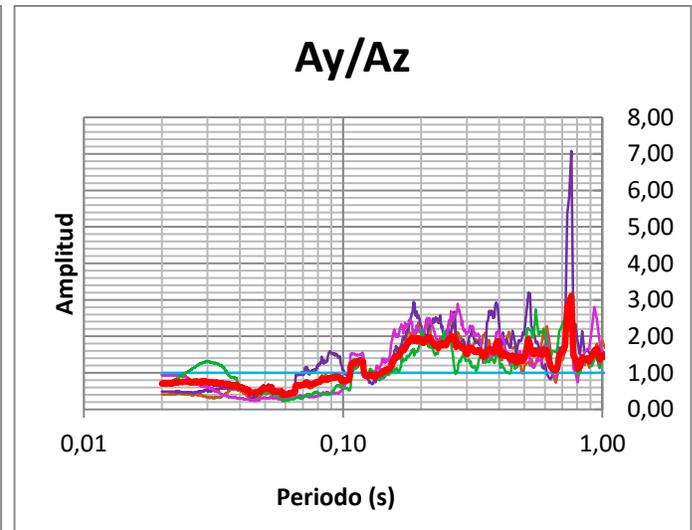
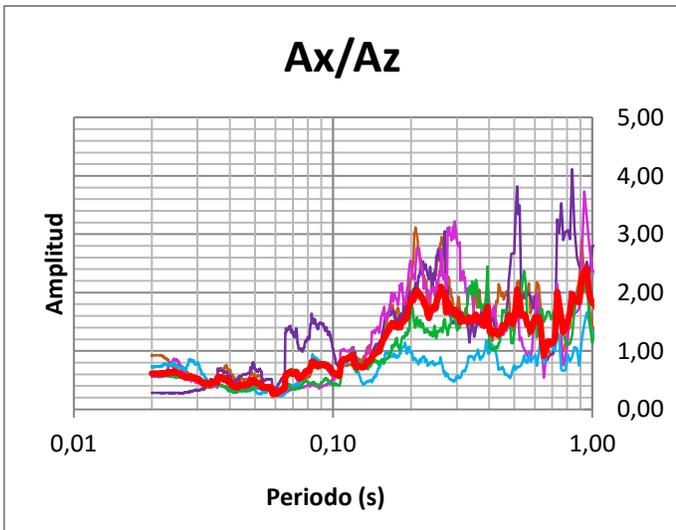
NB005	José Ma. Morelos 38, Los Remedios, "Los Arcos"	2.15	1.99	0.1
NB008	Av. De los Arcos 548, Paseos del Bosque	3.57	2.05	0.43
NB010	Av. De los Arcos 575, Paseos del Bosque	5.81	1.5	0.46
NB012	Camino a los Ciprices, frente al Panteon Gayosso	2.67	2.43	0.63
NC002	Emiliano Zapata, Presa las Julianas	2.9	2.2	0.57
NC006	Calle las Animas, Entre Universidad Justo Sierra y caseta a carretera	2.77	2.49	0.14
NZ004	Parroquia Santiago Apostol	1.51	0.98	0.62
NZ008	Cerrada de la Iglesia de San Mateo Nopala	1.62	1.45	0.63
NZ013	15 de Septiembre Praderas de San Mateo	1.52	1.81	0.27
NZ017	Calle Mirazo 14	2	1.34	0.35
NZ019	Av. Camino Real San Mateo (estaban taladrando a lo lejos)	4.32	2.84	0.22
NZ023	Hwy 3 Av. Camino Real San Mateo	1.59	1.42	0.35
NZ026		1.61	1.91	0.17
NZ031	Carretera Barrio de Tito-Ejido de Santa Maria	5.18	5.06	0.1
NZ035	Carretera Jiquipilco San Luis Arguacan	2.95	2.74	0.15
NZ038	Carretera Jiquipilco Naucalpan-Jilotzingo Mex.	3.12	3.33	0.12
NT011	Iglesia Greal. Mariano Arista Col. Argentina antigua	3.02	2.21	0.63
NT014	Calzada México Torre Blanca	3.94	6.02	0.73
NT019	Calzada Legaria 311 Frente a secundaria No. 168	4.13	3.67	0.9
NT021	Presa Santa Rosa 44 frente a Primaria Lic Manuel Gual Vidal	2.45	2.08	1
NT027	Fuente de las Nayades 22	1.64	1.21	0.77
NT029	Av. De las fuentes 201 Lomas Tecamachalco	2.27	2.75	1
NT033	Fuente de Jupiter 27	1.54	1.25	0.3
NU002	Universidad Anahuac 2 Lomas Anahuac	5.18	3.4	1
NU007	Paseo Bosque de las Palmas 82	1.91	1.76	0.91
NU008	Av. Juesus del Monte 41 Frente al Walmart	2.07	2.2	0.33
NU011	Av. Real del Conuntry 24 Autopista	1.17	1.89	0.64
NU013	Autopista pasando el puente	4.13	7.2	0.95
NU015	Boulevard Bosque Real	1.17	1.18	0.45
NU017	Caseta Km 28	2.26	2.07	0.14
NX001	Km 26	1.41	1.77	0.36
NX002	Km 25	1.36	1.15	0.18
NX005	Km 24	0	0	0.17
NX007	Km 23	1.44	1.18	0.11
NX009	Km 22	1.51	1.66	0.15
NX010	Km 21	2.15	2.15	0.18
HK001	San Juan Totoltepec a faldas del cerro Moctezuma	2.11.	1.81	0.42
HJ002	San Juan Totoltepec a faldas del cerro Moctezuma	1.78	1.81	0.38
IC001R	Bosques de Arabeles	1.42	2.66	0.14

Espectros de Fourier



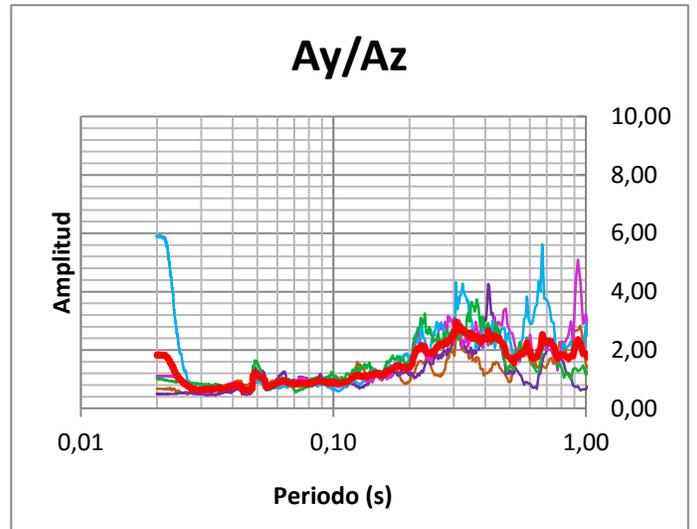
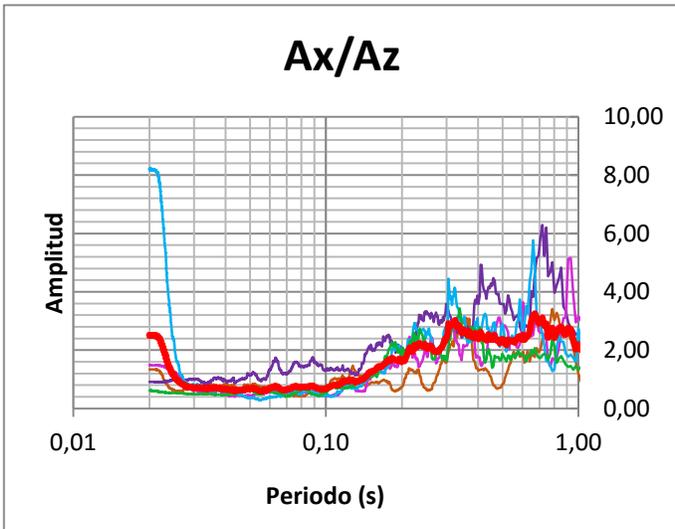
KA001 *Atrás de laboratorio de Análisis de Riesgos*
Naturales y Antropogénicos

$Ar_{Ax/z}$	$Ar_{Ay/z}$	$Tr (s)$
3.86	3.1	0.61



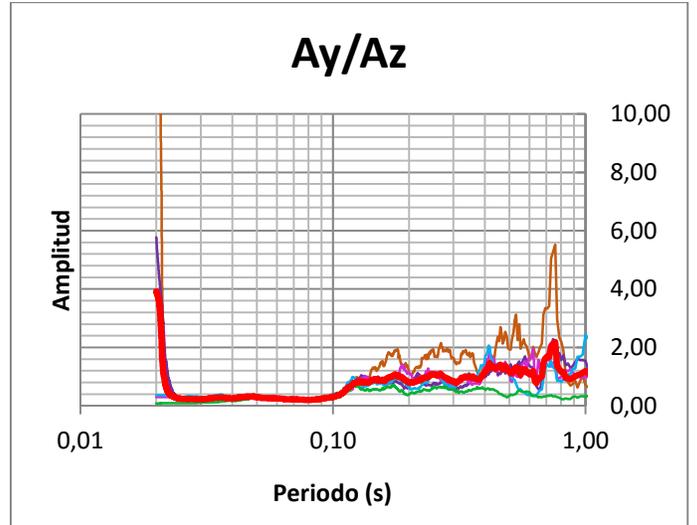
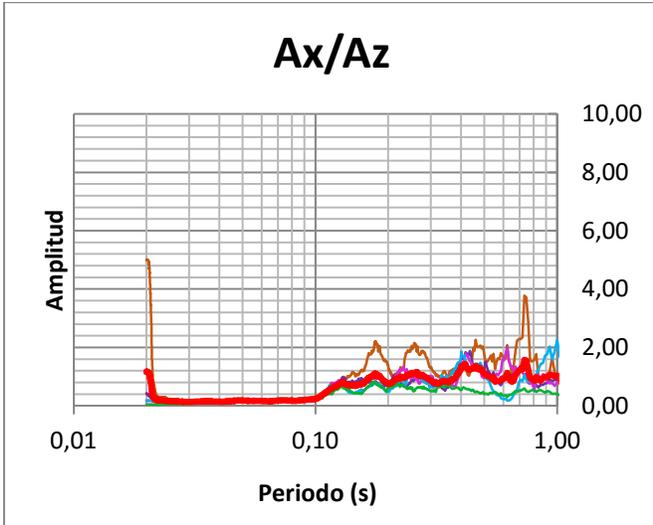
KA003 *Estacionamiento FES Acatlán (pavimento)*

$Ar_{Ax/z}$	$Ar_{Ay/z}$	$Tr (s)$
1.66	1.68	0.27



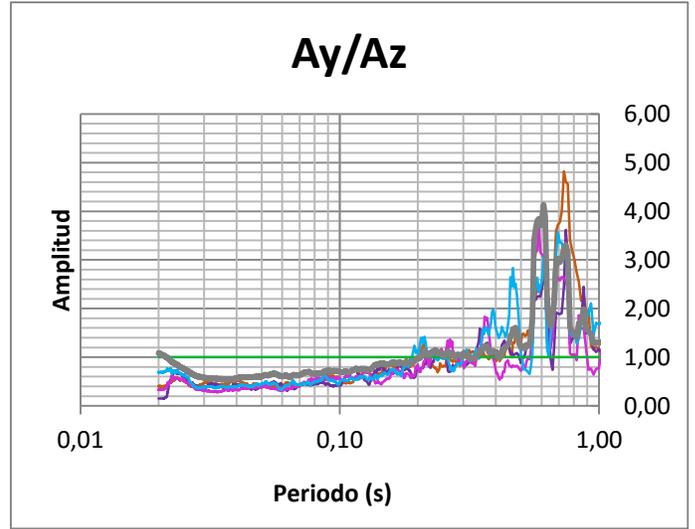
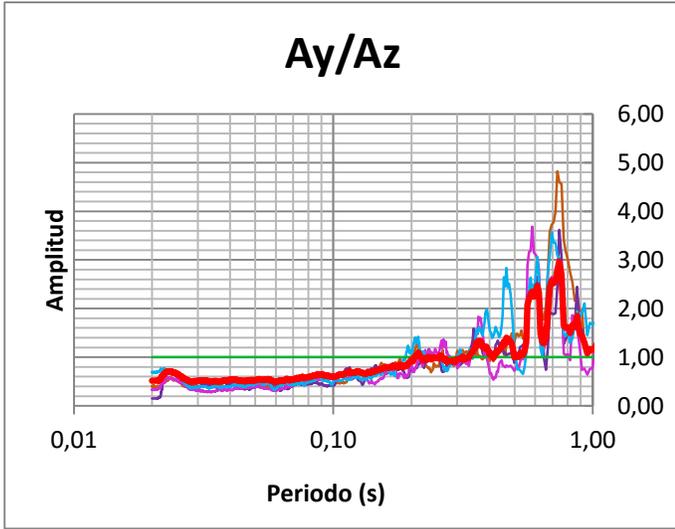
KA007 Teatro Javier Barros, FES Acatlán (banqueta)

A_r Ax/z	A_r Ay/z	T_r (s)
2.78	2.72	0.27



KA010 Calle Yaquis, frente al estadio de soccer de la FES Acatlán (banqueta)

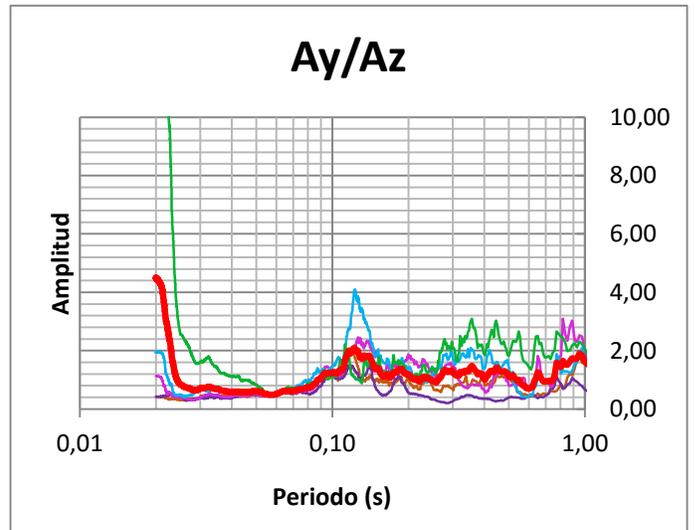
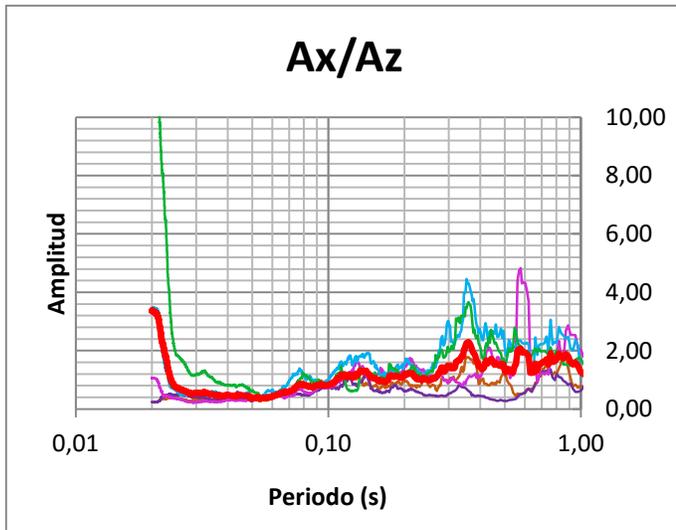
A_r Ax/z	A_r Ay/z	T_r (s)
1.22	2	0.47



KA011

Av. Jardines de San Mateo

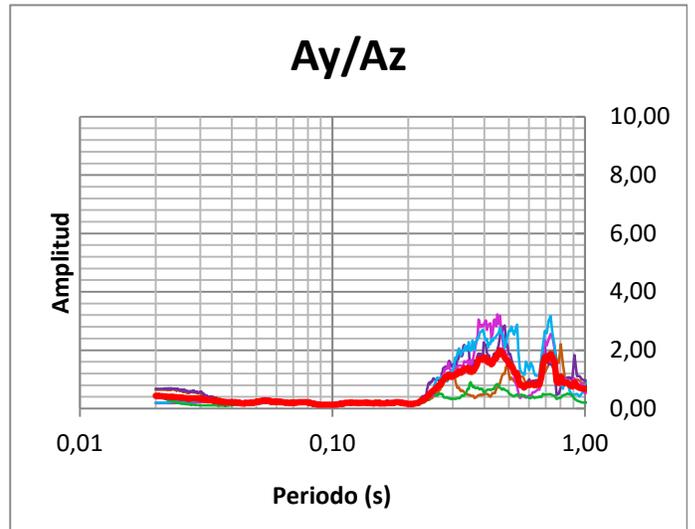
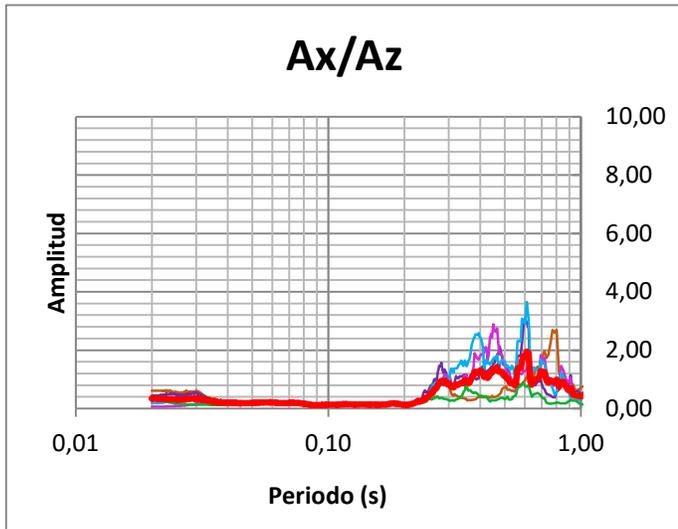
A_r Ax/z	A_r Ay/z	T_r (s)
5.47	2.33	0.62



KA012

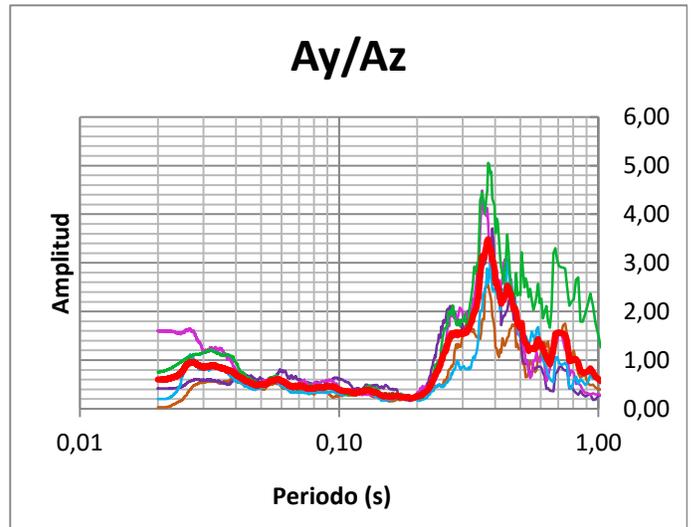
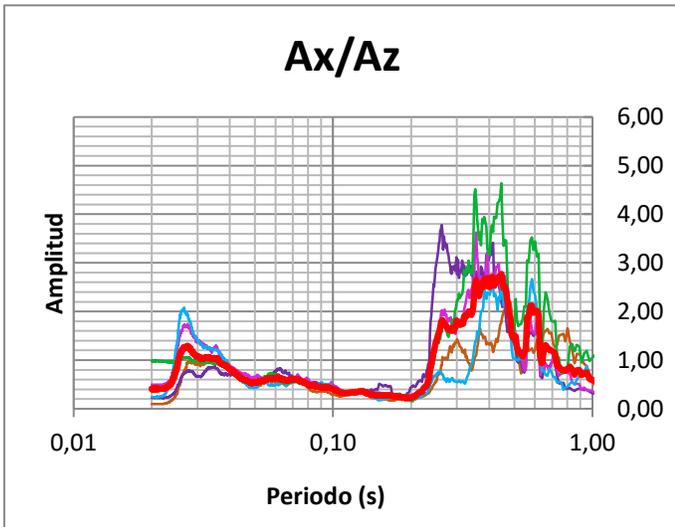
Av. Adolfo López Mateos, CFE (pavimento)

A_r Ax/z	A_r Ay/z	T_r (s)
1.97	1.34	0.37



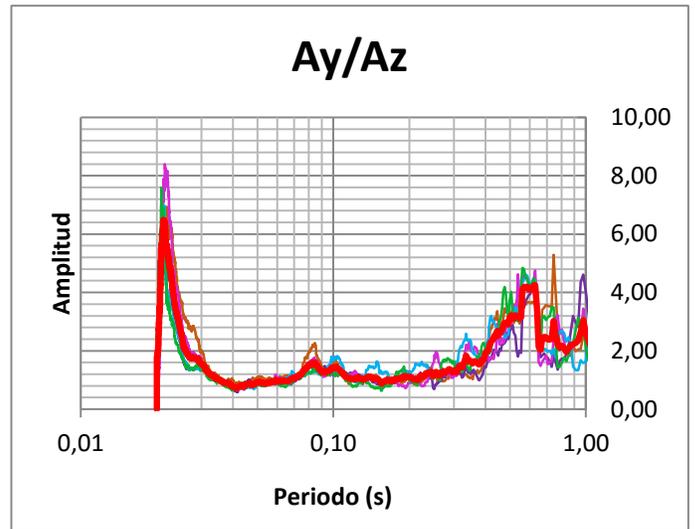
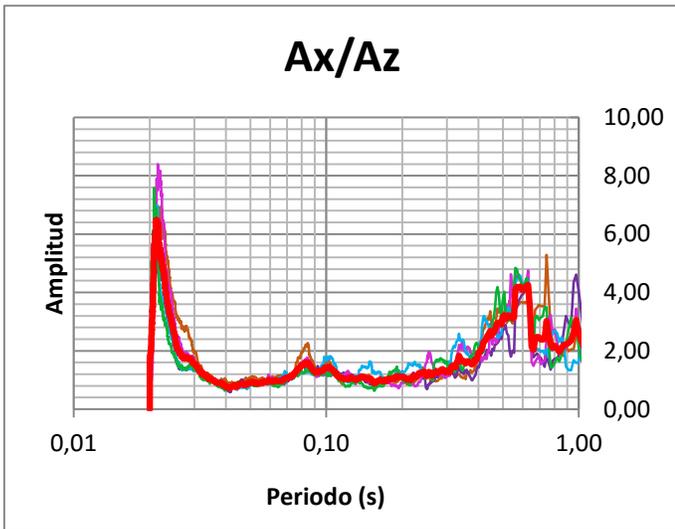
KA013 Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos
(pavimento)

A_r Ax/z	A_r Ay/z	T_r (s)
1.26	2	0.46



KA014 Av. Adolfo López Mateos - Av. Fresnos
(banqueta, tierra)

A_r Ax/z	A_r Ay/z	T_r (s)
2.5	3.24	0.38



LG001

Fes Acatlán, UIM

A_r Ax/z

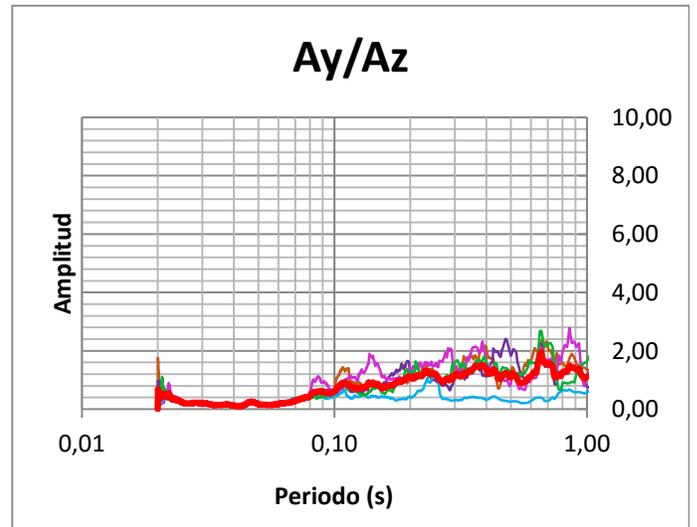
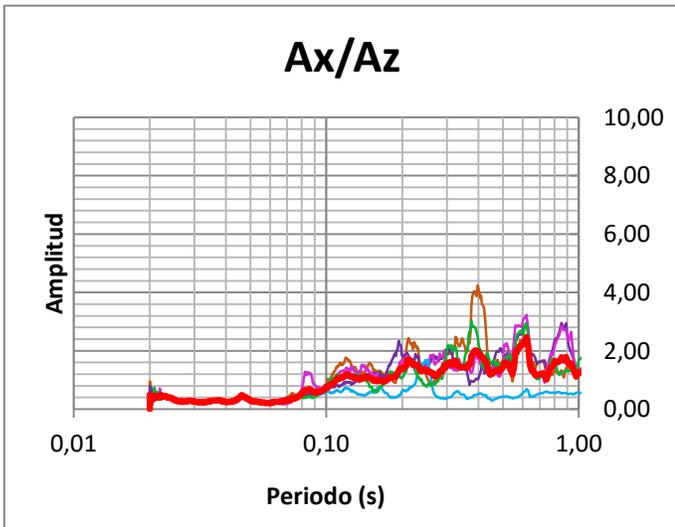
A_r Ay/z

T_r (s)

4.26

4.26

0.63



LG007

Av. Fuente de los Leones #65

A_r Ax/z

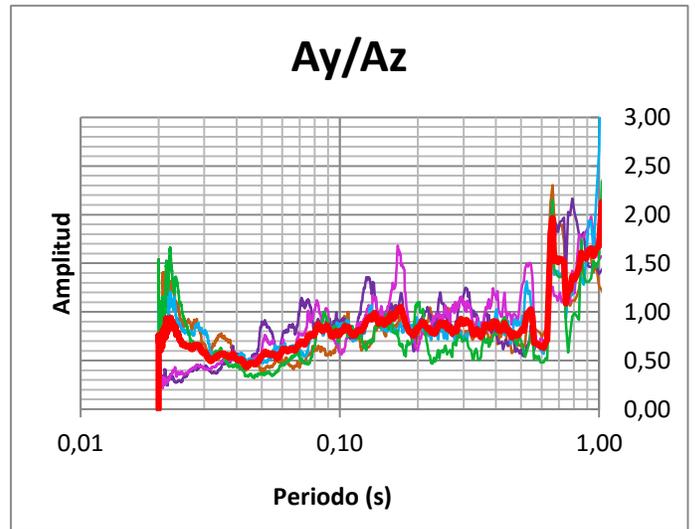
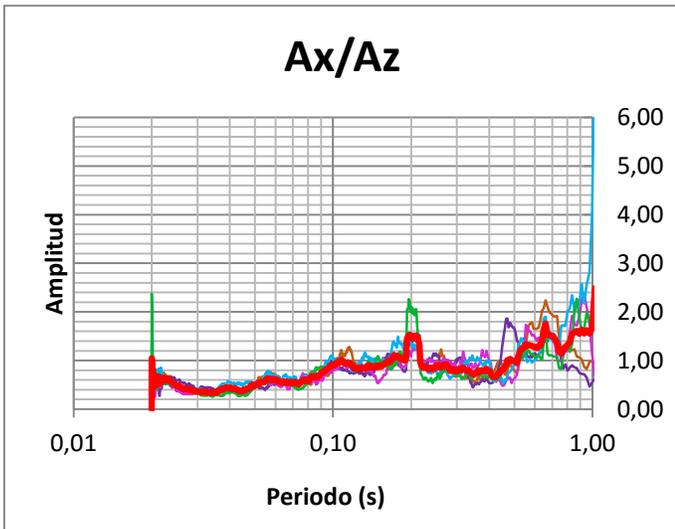
A_r Ay/z

T_r (s)

2.47

1.47

0.66



LG007

Av. Fuente de los Leones #65

Ar Ax/z

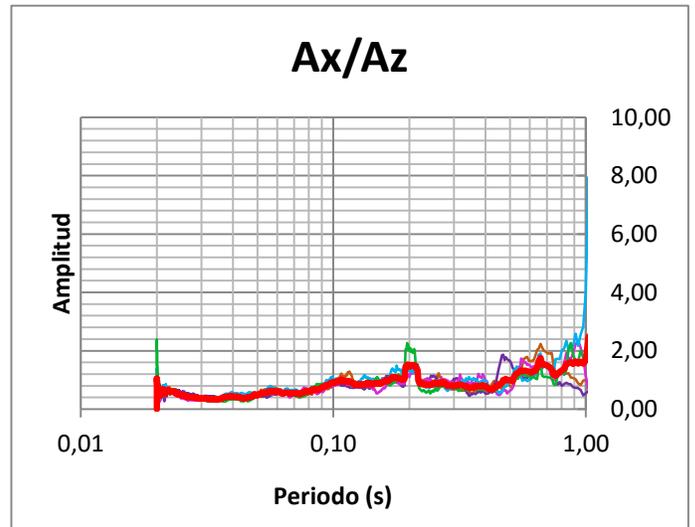
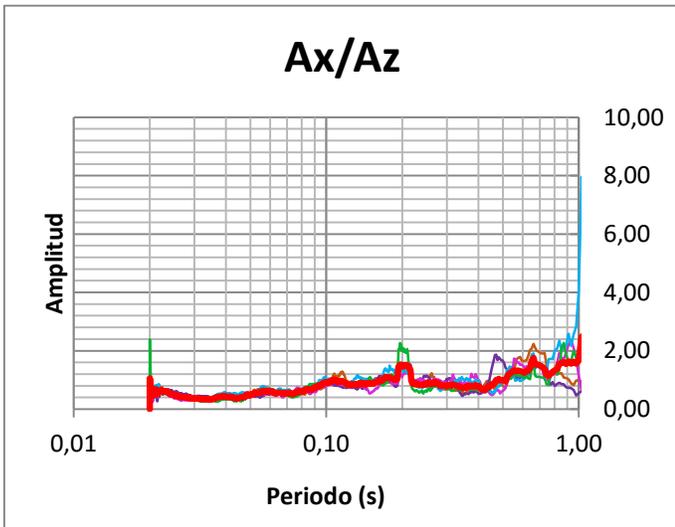
2.47

Ar Ay/z

1.47

Tr (s)

0.66



LG011

Bosque del Rey #6 - Bosque de La Antequera

Ar Ax/z

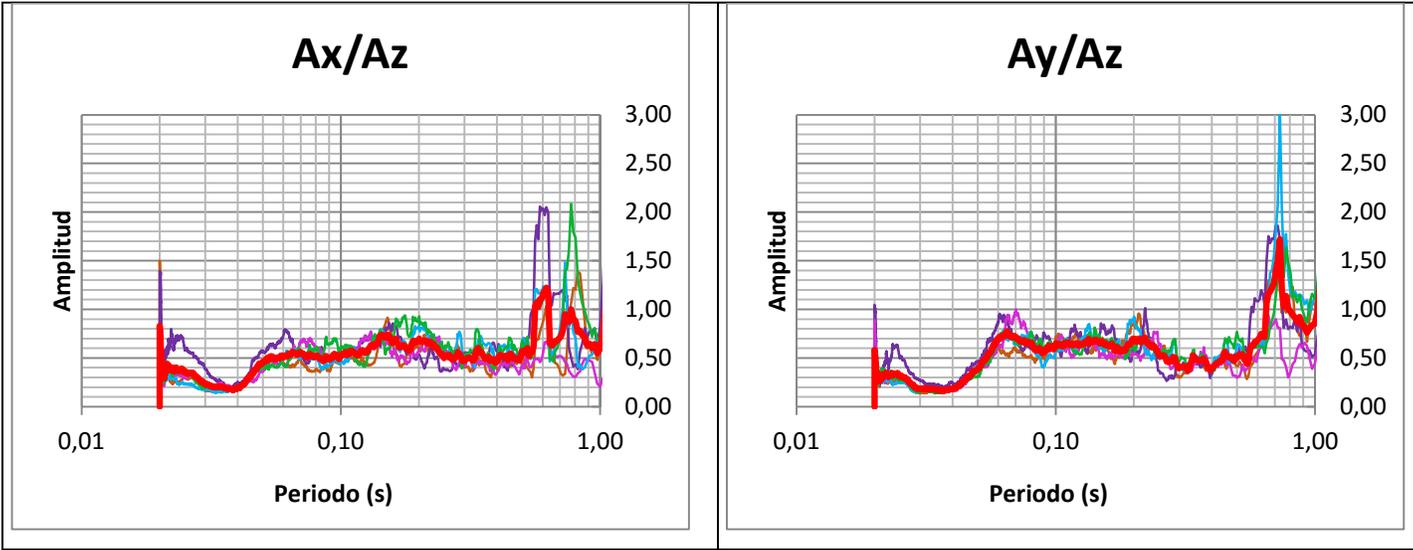
1.52

Ar Ay/z

1.96

Tr (s)

0.66



Camino Arenoso frente al tanque Lázaro
Cárdenas, Aquiles Serdán 101, Emilio Gustavo

LG017

Baz

Ar Ax/z

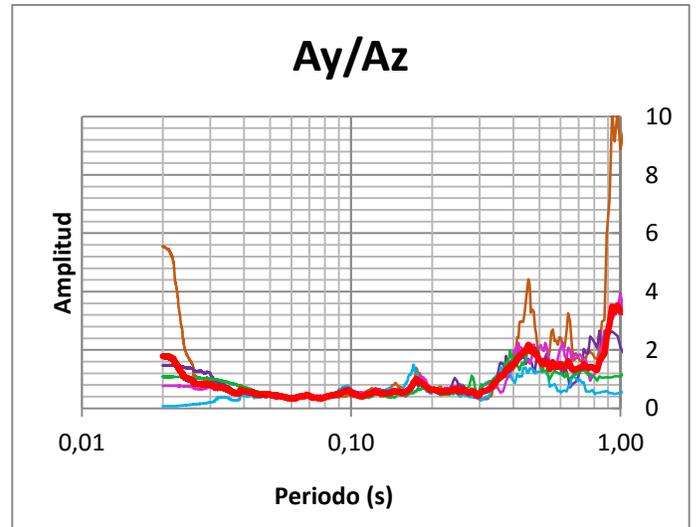
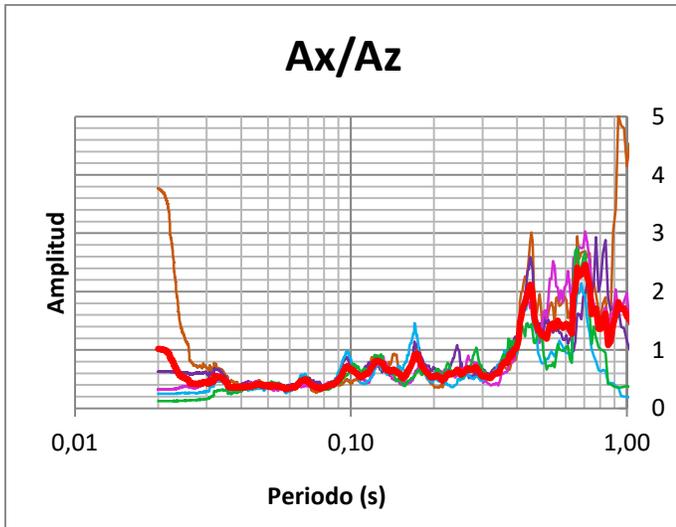
Ar Ay/z

Tr (s)

0.95

1.72

0.72



Ar Ax/z

Ar Ay/z

Tr (s)

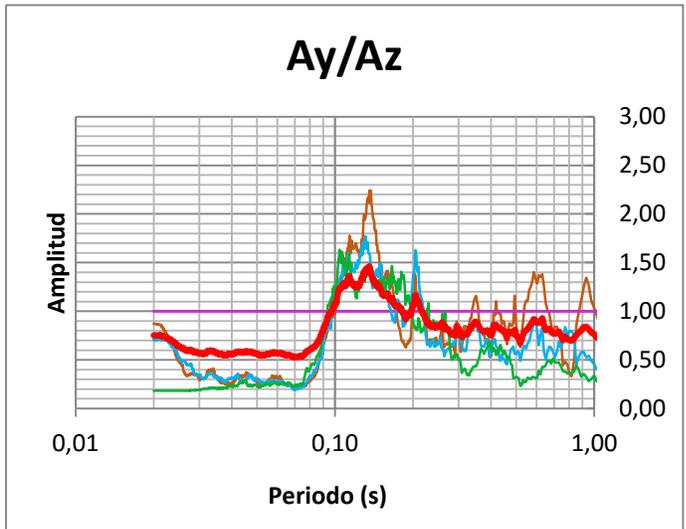
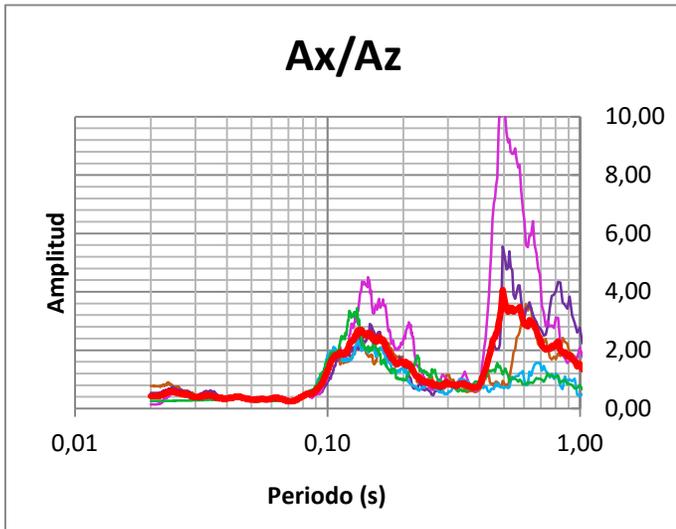
LY003

Río Toluca 13 - San Luis Tlailco

2.11

2.07

0.45



LY009

Río Toluca 13 - San Luis Tlatilco

Ar Ax/z

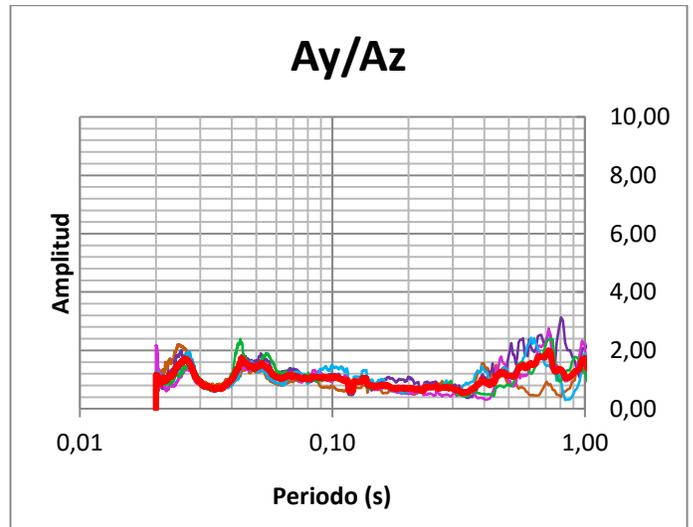
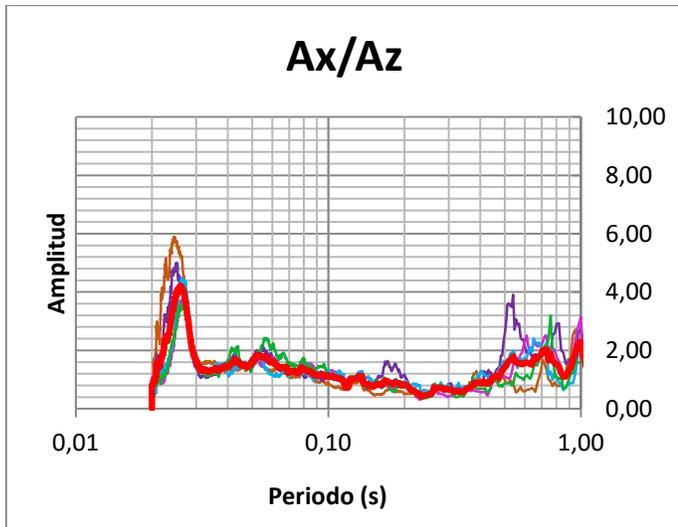
3.83

Ar Ay/z

1.34

Tr (s)

0.51



MB004

Carretera México - Toluca - Naucalpan, 130 a 50
m de la mina La Colorada Km 10

Ar Ax/z

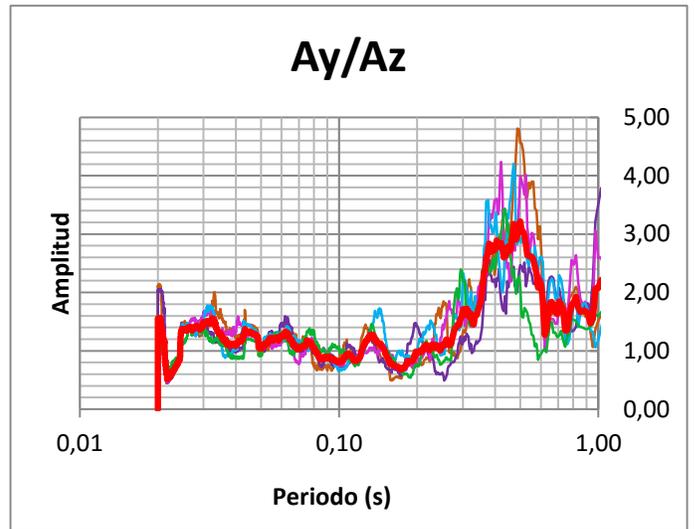
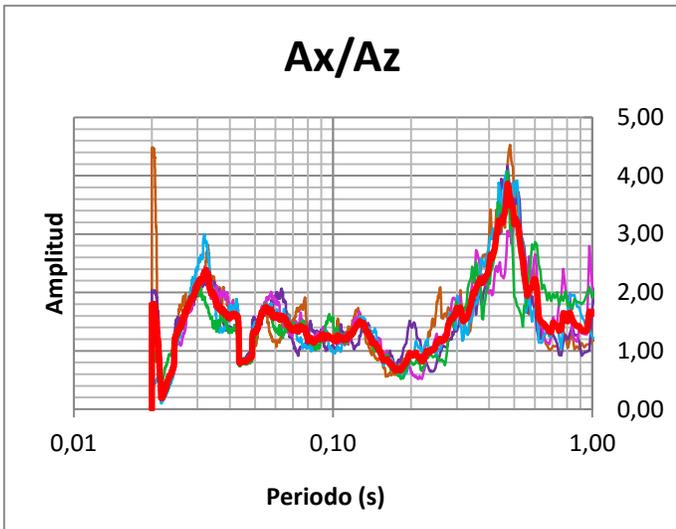
2.03

Ar Ay/z

2

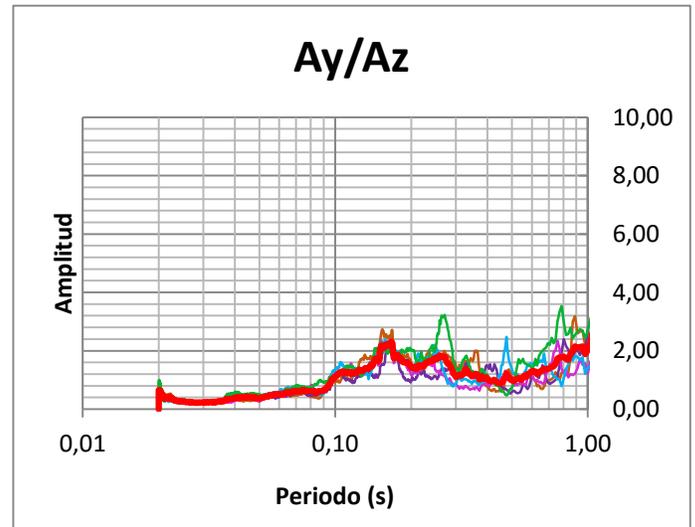
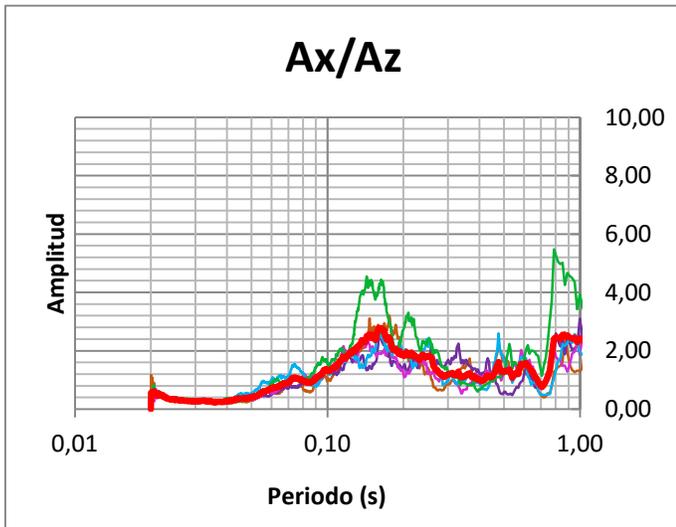
Tr (s)

0.71



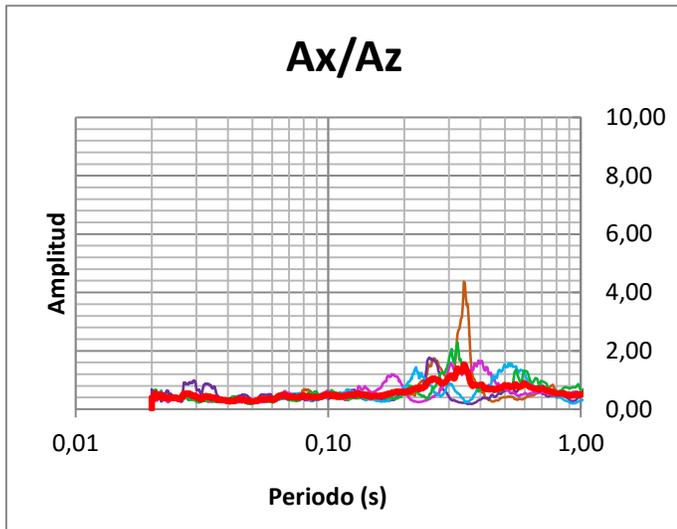
Carretera México - Toluca - Naucalpan, Km 12 al
 MB008 lado de puente peatonal, cerro

Ar Ax/z	Ar Ay/z	Tr (s)
3.79	3.22	0.48



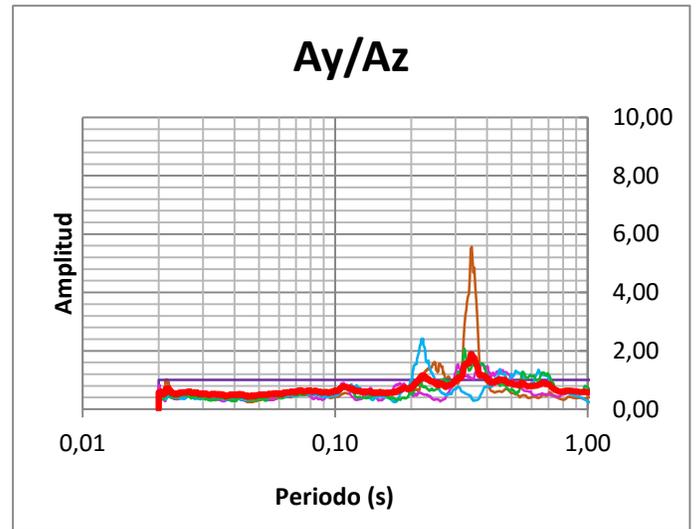
Calzada Legaria 311 Frente a secundaria No.
 NT019 168

Ar Ax/z	Ar Ay/z	Tr (s)
4.13	3.67	0.9



NX001

Km 26



Ar Ax/z

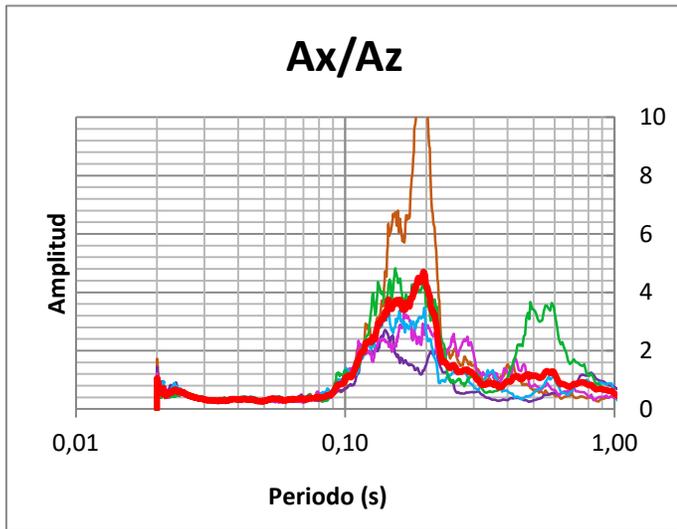
Ar Ay/z

Tr (s)

1.41

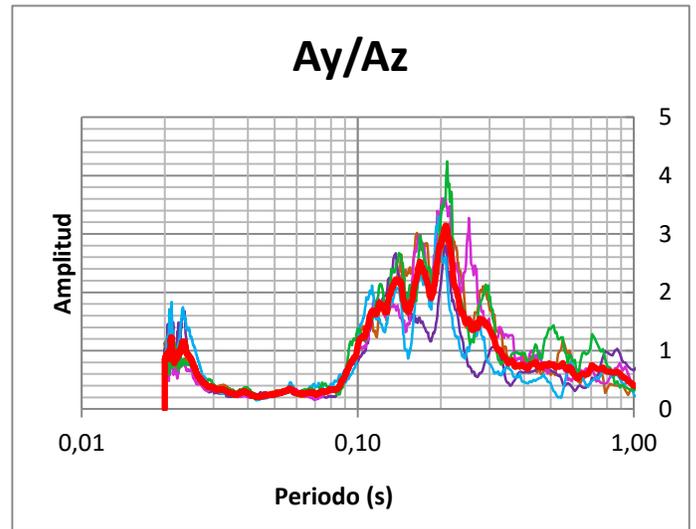
1.77

0.36



NZ019

Av. Camino Real San Mateo



Ar Ax/z

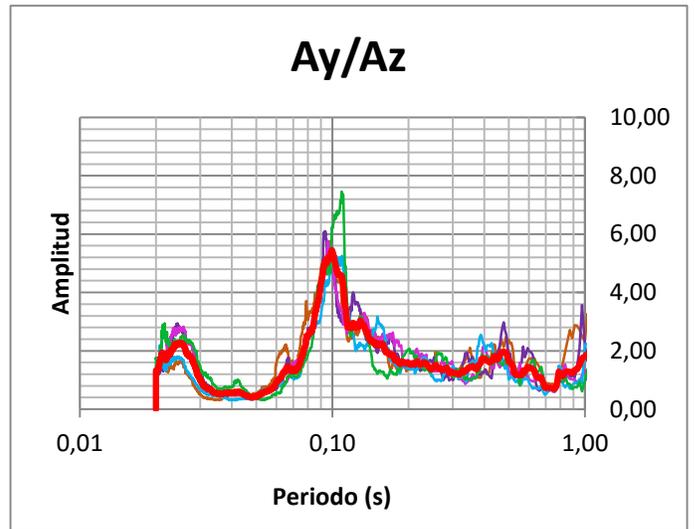
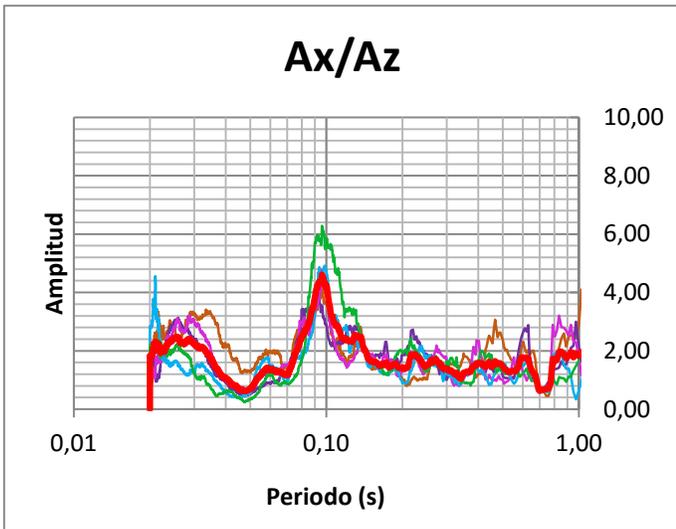
Ar Ay/z

Tr (s)

4.34

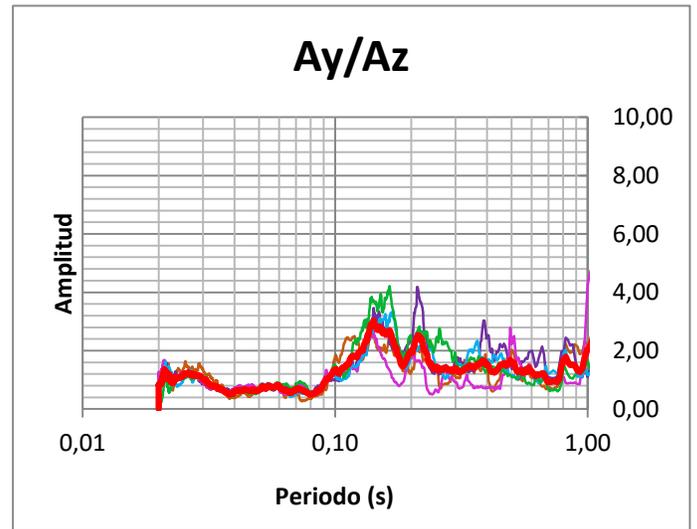
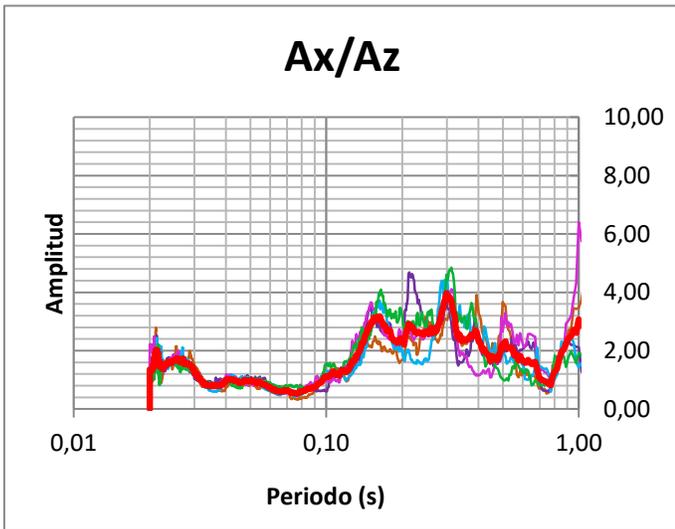
2.84

0.22



NZ031 Carretera Barrio de Tito-Ejido de Santa Maria

<i>Ar Ax/z</i>	<i>Ar Ay/z</i>	<i>Tr (s)</i>
5.18	5.8	0.1



NZ035 Carretera Jiquipilco San Luis Arguacan

<i>Ar Ax/z</i>	<i>Ar Ay/z</i>	<i>Tr (s)</i>
2.95	2.74	0.15