



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTIMACIÓN DEL EFECTO DE SITIO  
Y LA VULNERABILIDAD SÍSMICA  
EN LA CIUDAD DE ACATLÁN, PUEBLA**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

**INGENIERÍA CIVIL - INGENIERÍA SÍSMICA**

**P R E S E N T A :**

**DANIEL VEGA ROCHA**

**TUTOR:**

**M. en C. JAVIER LERMO SAMANIEGO**



2005



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.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Roberto Meli Piralla  
Secretario: Dr. José Alberto Escobar Sánchez  
Vocal: M. en C. Javier Lermo Samaniego  
1<sup>er</sup>. Suplente: Dr. Eduardo Reinoso Angulo  
2<sup>do</sup>. Suplente: Dr. Jaime García Pérez

Lugar donde se realizó la tesis:

Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., Ciudad Universitaria, México, D.F.

**TUTOR DE TESIS:**

M. en C. Javier Lermo Samaniego

---

**FIRMA**

## *Dedicatorias*

*A mi madre,  
por el ejemplo de humildad,  
de amor al prójimo y de gratitud  
que supo sembrar en mi corazón,  
por el apoyo que siempre me ha  
dado a pesar de las circunstancias.*

*A mi abuela,  
por el amor incondicional que  
ha mostrado hacia mis hermanos  
y hacia mí, por el cariño en el que nos  
acogió cuando más lo necesitamos.*

*A mis hermanos,  
por todo lo que vivimos juntos  
durante la infancia, por ayudarnos  
mutuamente y seguir el ejemplo  
que mamá nos ha obsequiado.*

*A Roberto,  
por el amor y el cariño que ha  
brindado a mi familia, por su noble  
y dedicada entrega en la lucha por  
salir adelante, por ser un padre  
para mí a pesar de las adversidades.*

*A Marisol,  
por ser como un ángel en mi vida,  
por el apoyo sincero que supo darnos,  
por su incesante carácter de servicio  
y amor a las personas que le rodean.*

*A Francisco,  
por su compañía, ayuda y  
cooperación en nuestra casa,  
por la sinceridad y honestidad  
que nos ha demostrado.*



## *Agradecimientos*

Sería imposible mencionar en unas cuantas líneas a todas aquellas personas que contribuyeron en la realización de este trabajo. Aun cuando considero que son escasas las palabras para expresar el enorme agradecimiento que siento hacia ellas, me atrevo a nombrarlas a manera de un sincero y sencillo homenaje por el valioso apoyo que me brindaron:

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de realizar en sus aulas mis estudios desde la educación media superior.

Al CONACYT, por brindarme el apoyo económico durante mis estudios de posgrado.

A Javier Lermo Samaniego, por compartir una parte de todo lo que sabe en ingeniería sísmológica, por sus consejos y recomendaciones que reforzaron mi formación académica, por su comprensión cuando más lo necesité.

A mis compañeros Marcos Chavacán Ávila, Yanet Antayhua Vera e Isabel Bernal Esquia, por su intensa colaboración en los trabajos de campo.

A Marco Antonio Macías Castillo, por su valiosa cooperación en la obtención de registros sísmicos, por sus consejos de profesor y amigo.

Al H. Ayuntamiento Constitucional de Acatlán de Osorio, Puebla, y en especial al Arq. Lenin Reyes Martínez y al Ing. Juan Luis López Castillejos, por otorgarnos la información y las facilidades necesarias para realizar la investigación.

Al Servicio Sismológico Nacional, y en especial al Ing. Casiano Jiménez Cruz, por facilitarnos los datos de sismos para completar nuestro catálogo.

Al Ing. Gerardo A. Corona Carlos, por obsequiarnos el Sistema Digital de Daños del sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999.

---

---

# ÍNDICE

## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

|     |                             |   |
|-----|-----------------------------|---|
| 1.1 | Antecedentes.....           | 1 |
| 1.2 | Objetivo y alcances.....    | 4 |
| 1.3 | Desarrollo del trabajo..... | 5 |

## Capítulo 2 GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA

|     |                 |    |
|-----|-----------------|----|
| 2.1 | Geología.....   | 6  |
| 2.2 | Morfología..... | 14 |
| 2.3 | Microzonas..... | 17 |

## Capítulo 3 SISMICIDAD

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.1   | Sismicidad histórica.....                                      | 19 |
| 3.2   | Sismos intraplaca que han afectado a la ciudad de Acatlán..... | 24 |
| 3.2.1 | Temblor del 28 de agosto de 1973 (Mw=7.0, mb=7.3).....         | 25 |
| 3.2.2 | Temblor del 24 de octubre de 1980 (Mw=7.0, mb=7.0).....        | 26 |
| 3.2.3 | Temblor del 15 de junio de 1999 (Mw=7.0, mb=6.3).....          | 29 |

## Capítulo 4 EFECTO DE SITIO

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 4.1   | Introducción.....                    | 39 |
| 4.2   | Obtención de registros.....          | 39 |
| 4.2.1 | Microtremores.....                   | 39 |
| 4.2.2 | Refracción sísmica.....              | 42 |
| 4.3   | Procesamiento de los datos.....      | 45 |
| 4.3.1 | Razón espectral H/V.....             | 45 |
| 4.3.2 | Tiempos de propagación de ondas..... | 52 |

---

---

---



---

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 4.4   | Análisis de la información.....              | 58 |
| 4.4.1 | Perfiles estratigráficos.....                | 58 |
| 4.4.2 | Movimiento en la superficie del terreno..... | 68 |
| 4.5   | Resultados.....                              | 71 |
| 4.5.1 | Periodos fundamentales del terreno.....      | 71 |
| 4.5.2 | Curvas de isoperiodo.....                    | 74 |
| 4.5.3 | Amplificaciones relativas máximas.....       | 76 |
| 4.5.4 | Aceleraciones máximas del terreno.....       | 77 |

**Capítulo 5**  
**VULNERABILIDAD SÍSMICA**

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 5.1   | Introducción.....                        | 78  |
| 5.1.1 | Marco teórico.....                       | 78  |
| 5.2   | Método empírico de categorización.....   | 80  |
| 5.2.1 | Zona de estudio.....                     | 80  |
| 5.2.2 | Censo de edificaciones.....              | 82  |
| 5.2.3 | Base de datos.....                       | 85  |
| 5.2.4 | Tipologías más comunes.....              | 92  |
| 5.3   | Método experimental.....                 | 94  |
| 5.3.1 | Obtención de registros.....              | 95  |
| 5.3.2 | Procesamiento de datos.....              | 97  |
| 5.3.3 | Resultados.....                          | 99  |
| 5.4   | Método analítico.....                    | 100 |
| 5.4.1 | Modelos matemáticos.....                 | 100 |
| 5.4.2 | Periodos y formas modales.....           | 105 |
| 5.4.3 | Análisis dinámico modal paso a paso..... | 109 |
| 5.4.4 | Análisis dinámico modal espectral.....   | 115 |
| 5.5   | Resultados.....                          | 120 |
| 5.5.1 | Respuesta estructural.....               | 120 |
| 5.5.2 | Resonancia dinámica.....                 | 120 |
| 5.5.3 | Clases de vulnerabilidad.....            | 122 |

**Capítulo 6**  
**CONCLUSIONES.....** 124

**ANEXOS.....** 127

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....** 155

---



---

## RESUMEN

El estudio consistió en una estimación del efecto geológico de sitio y la vulnerabilidad sísmica de las construcciones en la ciudad de Acatlán, Puebla, una de las localidades más afectadas por sismos cercanos de gran magnitud. El principal objetivo fue investigar la influencia de la geología local en la aparición de daños estructurales en las viviendas ante este tipo de sismos. Por un lado, el efecto de sitio lo estimé experimentalmente a partir de registros de vibración ambiental que obtuve en varios puntos de la ciudad, de tal manera que después de procesarlos calculé varias funciones que permiten determinar el movimiento del terreno. Por otro, la vulnerabilidad sísmica de las construcciones la estimé a partir de modelos analíticos de las viviendas más comunes, los cuales sometí al movimiento del suelo que calculé como acabo de mencionar; para esto, primero realicé un censo en la ciudad sobre aspectos estructurales de las edificaciones, de tal forma que al resumir sus características en una base digital de datos determiné así las tipologías predominantes. Los resultados indicaron que sí existe una amplificación del movimiento del terreno debido a los suelos arenosos en los que se asienta gran parte de la ciudad, y que sin embargo las viviendas más comunes pueden resistir sin daños severos sismos cercanos de gran magnitud, siempre y cuando satisfagan los requisitos constructivos esenciales para que muestren un buen comportamiento sísmico.

## Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El municipio de Acatlán se localiza al sur del estado de Puebla, cerca de la frontera común con los estados de Oaxaca y Guerrero. De acuerdo con los niveles de bienestar humano calculados por el INEGI (2000), donde el 7 corresponde al máximo y el 1 al mínimo, este municipio tiene un nivel de bienestar de 5 (ver figura 1.1.1). Estos niveles están basados en indicadores como analfabetismo, escolaridad promedio, porcentaje de viviendas con drenaje, agua entubada y electricidad, viviendas con baño, y viviendas con electrodomésticos.

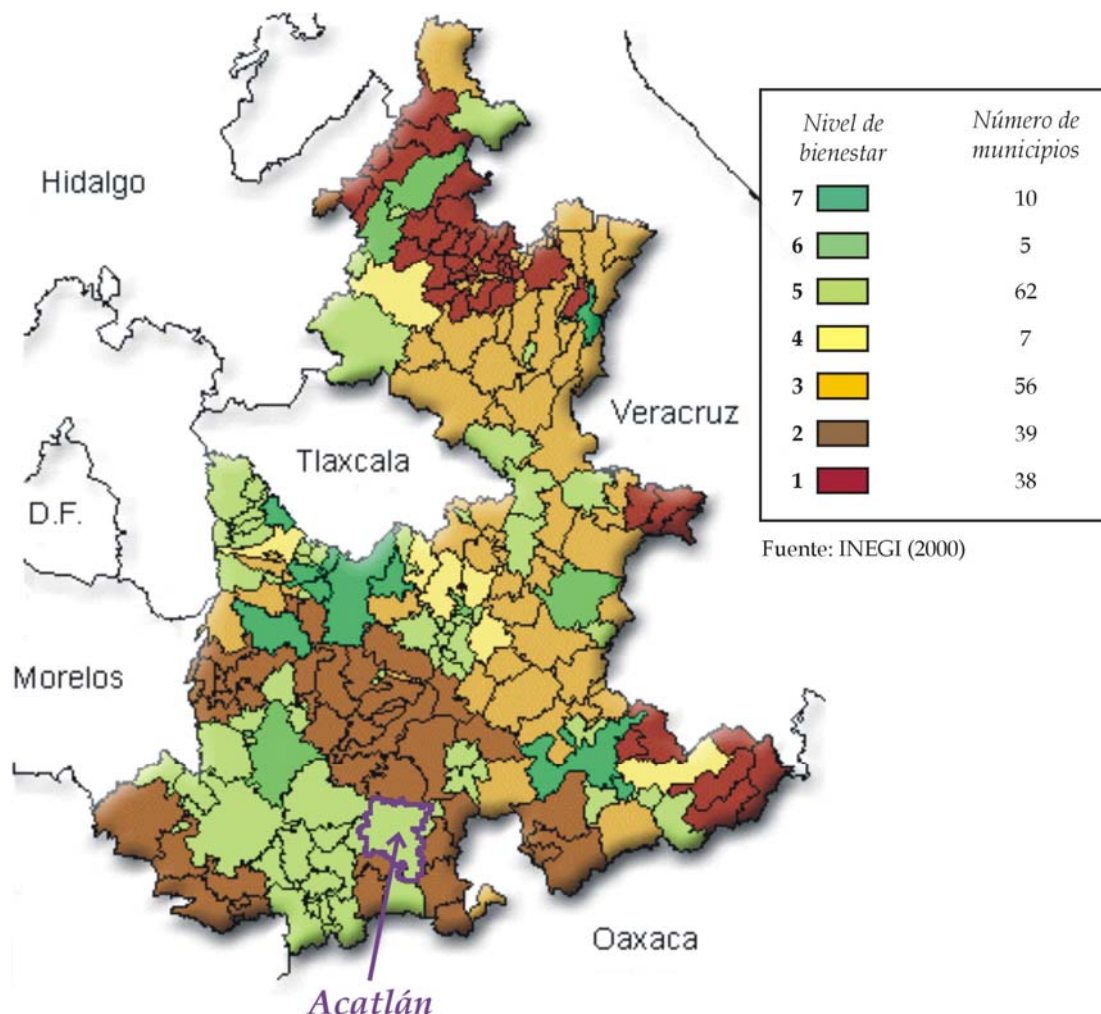
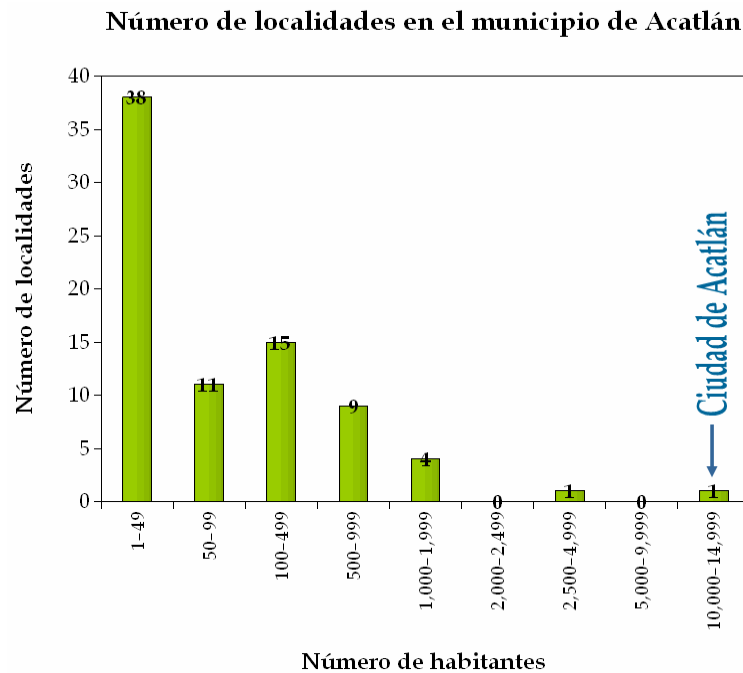
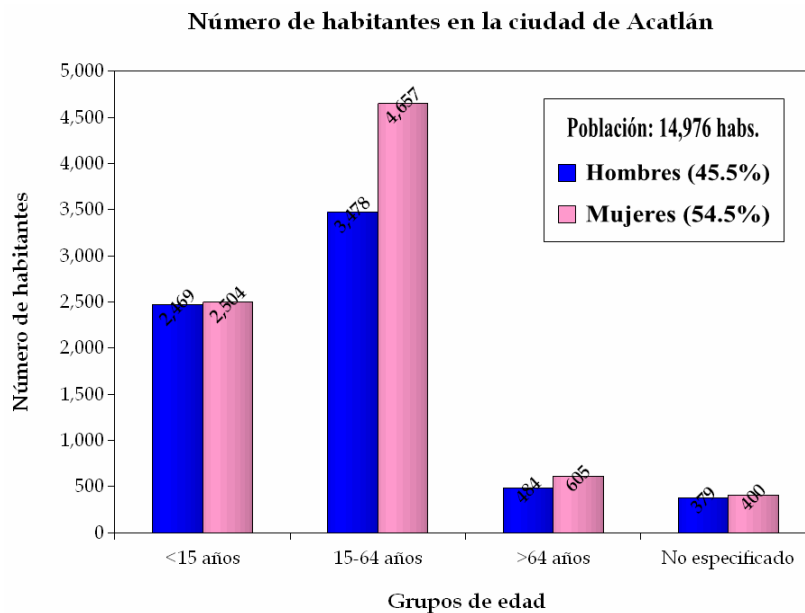


Figura 1.1.1. Ubicación del municipio de Acatlán, Puebla (INEGI, 2000).

En el contexto demográfico, el municipio de Acatlán actualmente ocupa el lugar número 29 en el estado de Puebla en cuanto al número de habitantes, pues cuenta con una población de casi 35 mil habitantes (0.7% de la población estatal) distribuidos en 79 localidades (INEGI, 2000), como se indica en la figura 1.1.2. La cabecera municipal es la localidad más grande y corresponde a la ciudad de Acatlán, la cual cuenta con una población de casi 15 mil habitantes (el 43.1% del total municipal), cuya distribución por sexo y edad (INEGI, 2000) se muestra en la figura 1.1.3.

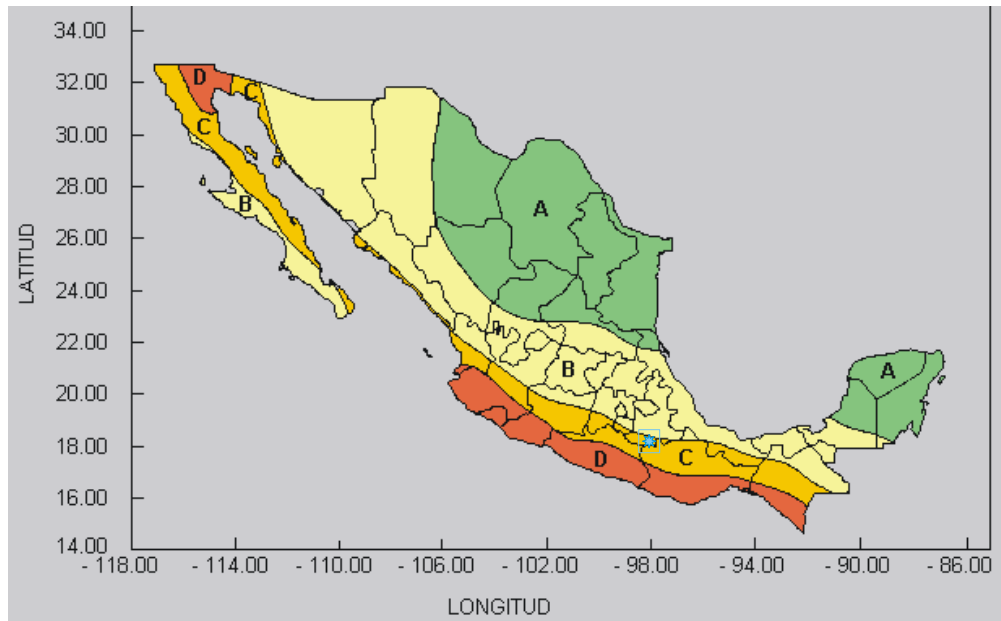


**Figura 1.1.2.** Número y tamaño de localidades en el municipio de Acatlán.



**Figura 1.1.3.** Distribución por sexo y edad de la población en la ciudad de Acatlán.

De acuerdo con el mapa de regionalización sísmica de México (CFE, 1993), esta ciudad pertenece a una zona de sismicidad media (ver figura 1.1.5); sin embargo, es una de las localidades más afectadas por macrosismos de falla normal y profundidad intermedia que se originan en la zona de subducción de la Placa de Cocos bajo la de Norteamérica.



**Figura 1.1.5.** Ubicación de la ciudad de Acatlán en el mapa de regionalización sísmica de México.

El primer macrosismo que afectó al poblado de Acatlán ocurrió el 16 de agosto de 1711 (Figueroa, 1974; Salmorán, 1995). Este evento provocó el derrumbe de varias casas y de la iglesia, la cual constituía el centro de la población. Debido a esto, en enero de 1712 se inició la construcción de un nuevo templo, en el lugar que ocupa actualmente.



**Figura 1.1.6.** Ruinas del primer templo religioso en Acatlán.

En épocas más recientes, desde que Acatlán fue elevada al rango de ciudad en abril de 1883, macrosismos de intraplaca han causado daños en la localidad. Por ejemplo, podemos mencionar el sismo de Serdán del 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0, mb 7.3), el de Huajuapán de León del 24 de octubre de 1980 (Mw 7.0, mb 7.0), y el de Tehuacán del 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3). En estos dos últimos, los daños se concentraron al centro de la ciudad, principalmente en viviendas de mampostería de adobe; sin embargo, las viviendas de adobe construidas fuera del centro no presentaron daños.

Diferentes autores han planteado la posibilidad de un efecto geológico local para explicar dicha concentración de daños. En el sismo del 24 de octubre de 1980, Muriá *et al.* (1980) realizaron un recorrido por diferentes poblados de la región epicentral y reportaron que "... [en Acatlán] se observaron efectos locales producidos probablemente por suelos aluviales, de manera que los daños se concentraron en las zonas con este tipo de suelo". En el sismo del 15 de junio de 1999, Juárez-García *et al.* (1999) e Iglesias-Jiménez *et al.* (1999) observaron que "... en el centro del poblado se concentraron los daños más graves, mientras que en el oeste las construcciones no sufrieron daño alguno" y asumieron que "... [posiblemente] los efectos locales amplificaron el movimiento en la ciudad de Acatlán."

## 1.2 Objetivo y alcances

A raíz de la inquietud que diferentes autores han planteado sobre la presencia de un efecto de sitio en la ciudad de Acatlán, el objetivo del presente trabajo consiste en investigar la influencia de la geología local en el nivel de daños que puede producir un sismo intraplaca como los ya mencionados. De esta manera, el estudio consistió en la estimación de dos aspectos generales: el efecto de sitio y la vulnerabilidad sísmica.

En cuanto al efecto de sitio, se tuvo el interés de conocer la variación de los periodos fundamentales de vibración y las amplificaciones relativas del terreno, así como la estructura del subsuelo con el fin de obtener información sobre sus propiedades dinámicas. Los trabajos realizados fueron básicamente experimentales: vibración ambiental (microtremores) y refracción sísmica. Los resultados consisten en un mapa de curvas de isoperiodo del suelo, las funciones de transferencia lineales (empíricas y teóricas) del movimiento en superficie, y las aceleraciones máximas del terreno en el escenario del temblor de Tehuacán del 15 de junio de 1999.

En cuanto a la vulnerabilidad sísmica, se delimitó una zona de estudio de acuerdo con la distribución de daños ocasionados por el sismo del 15 de junio de 1999. Se realizó un censo sobre datos estructurales de las edificaciones existentes en dicha zona, y a partir de la información recabada se definieron las tipologías estructurales más comunes. En estas últimas, se aplicó un método experimental y otro analítico para estimar la respuesta de las tipologías definidas ante aquel temblor y para el espectro de diseño sísmico correspondiente; en este caso, sólo se consideró el rango de comportamiento lineal. A falta de pruebas de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, estas se estimaron a partir de la información disponible. Los resultados obtenidos consisten en una estadística sobre aspectos estructurales básicos de las edificaciones, la definición de las tipologías estructurales más comunes, así como un análisis de su vulnerabilidad ante estos dos niveles de excitación sísmica.



### 1.3 Desarrollo del trabajo

En el capítulo 2, se muestran los aspectos relevantes sobre la geología y la morfología de la ciudad. Se divide la traza urbana en tres microzonas, en función del tipo de suelo y las altitudes del terreno. El mapa resultante sirve de base para la estimación del efecto de sitio (capítulo 4) y el análisis de vulnerabilidad sísmica (capítulo 5).

En el capítulo 3, se hace una recopilación de los datos de sismos registrados instrumentalmente en el estado de Puebla y sus inmediaciones, a partir de los cuales se muestra la sismicidad histórica en dicha región. Los eventos abarcan la región centro-sur de México y corresponden a los periodos de febrero de 1911 a octubre de 1980, de enero de 1986 a agosto de 1989, y de febrero de 1990 a diciembre de 2002; en total se obtuvieron datos de 1150 eventos. Se exponen también los aspectos más relevantes de los sismos ocurridos el 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0, mb 7.3), el 24 de octubre de 1980 (Mw 7.0, mb 7.0), y el 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3), los cuales son claros ejemplos de macrosismos intraplaca que afectan a la ciudad de Acatlán.

En el capítulo 4, se presenta el estudio realizado para estimar el efecto de sitio en la ciudad de Acatlán. Los procesos de obtención de registros, procesamiento de datos, análisis de la información y obtención de resultados se describen para los trabajos experimentales efectuados en campo: vibración ambiental (microtremores) y refracción sísmica. A partir de las funciones de transferencia empíricas, se determinan los periodos fundamentales de vibración del terreno; con las velocidades de ondas de cortante ( $\beta$ ) del ensaye de refracción, se estiman los espesores de los depósitos arenosos y las profundidades a la roca basal, así como las respectivas funciones de transferencia teóricas. Mediante estas últimas, y considerando como escenario el sismo del 15 de junio de 1999, se estiman las aceleraciones máximas en la superficie del terreno.

En el capítulo 5, se presentan los métodos utilizados para estudiar la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Acatlán: empírico, experimental y analítico. Por un lado, con el método empírico, se determinaron las características estructurales de las edificaciones, tales como el número de niveles, los materiales de construcción y el sistema resistente, entre otros; los datos recabados se analizaron mediante el uso de un sistema de información geográfico. Por otro, con los métodos experimental y analítico, se estimó la respuesta estructural de las tipologías más comunes ante aquel sismo y para el espectro de diseño correspondiente; a partir de mediciones de microtremores en las estructuras seleccionadas, se identificaron los valores de sus frecuencias naturales de vibración. Por último, se definieron y asignaron clases de vulnerabilidad para dichas tipologías con base en los valores de la máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}$ ) del análisis modal espectral.

Finalmente, en el capítulo 6, se exponen las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos en cada uno de los capítulos anteriores.

## Capítulo 2 GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA

### 2.1 Geología

En muchos sentidos, el Complejo Acatlán es una parte única de la geología de América del Norte. Mencionado por exploradores desde principios del siglo pasado (Ordóñez, 1906), sólo fue conocido como una vasta extensión de “esquistos” y filitas localizada en la región Mixteca al sur de México. Diferentes investigadores han determinado la edad geológica de estos materiales, estimando su origen en la era Paleozoica (Salas, 1949) o en la Precámbrica (Ordóñez, 1906; Fries y Rincón-Orta, 1965).

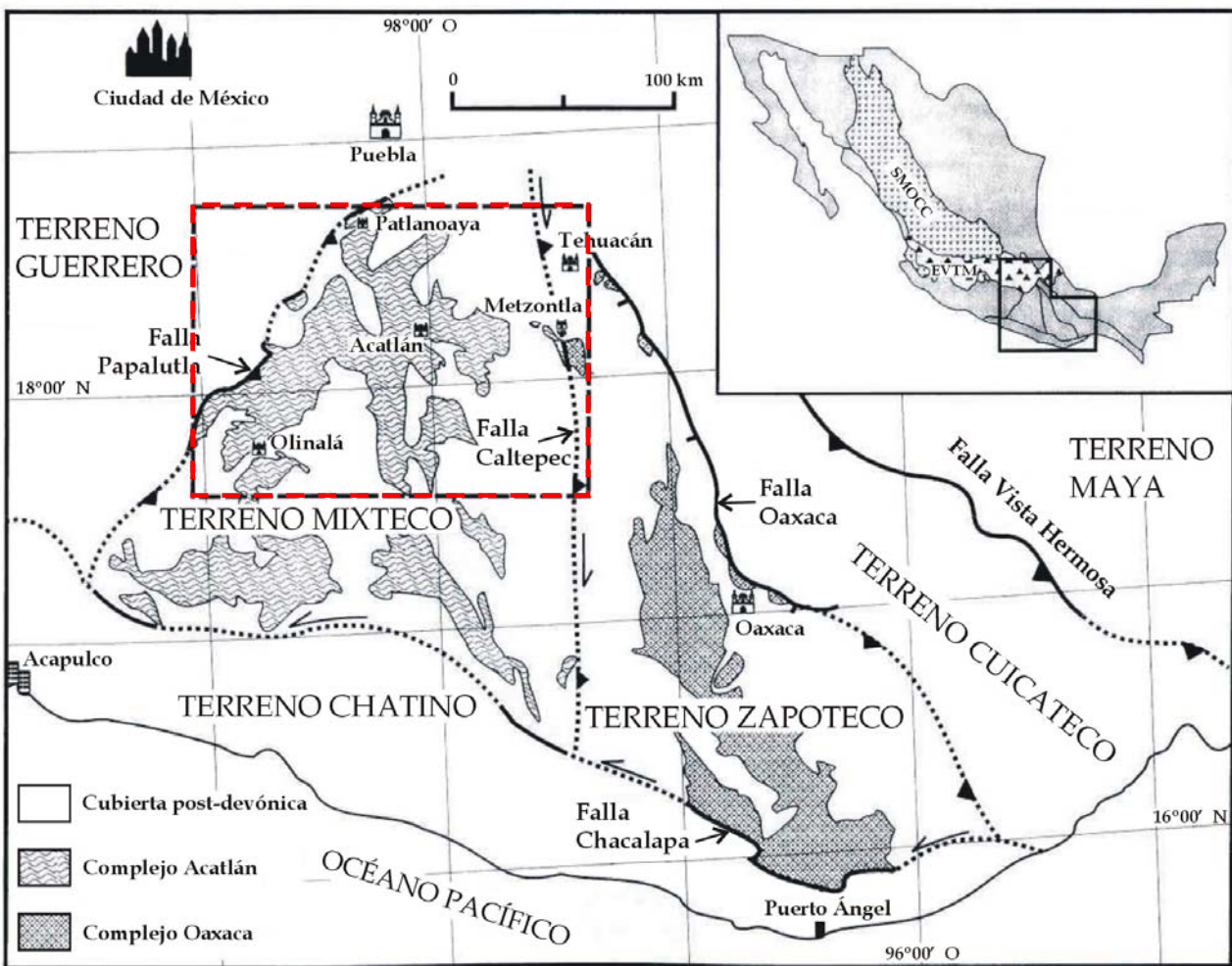
La ciudad de Acatlán pertenece al Complejo Acatlán (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999), el cual es la plataforma geológica del terreno Mixteco (Campa y Coney, 1983). En la figura 2.1.1 se muestra el marco tectónico regional, integrado por el siguiente sistema de fallas:

- Al Este, el límite con el terreno Zapoteco es una falla compleja, con fases de movimiento que se remontan al periodo Devónico (las más antiguas) y al Terciario (las más recientes).
- Al Oeste, el límite no está bien definido. De acuerdo con Campa y Coney (1983), el terreno Mixteco forma el basamento de la plataforma Morelos del periodo Cretácico, y por consiguiente se expande en la zona de contacto con la porción Este del terreno Guerrero. Otra interpretación (Sedlock *et al.*, 1993) considera que la falla Papalutla es probablemente el límite del terreno Mixteco, y considera la plataforma Morelos como una unidad tectonostratigráfica independiente o como una extensión del terreno Guerrero.
- Al Sur, el terreno Mixteco presenta una frontera tectónica mayor que ha sido interpretada como una falla que penetra hacia el Este, del Complejo Acatlán sobre el Complejo Xolapa (Salinas-Prieto, 1984).
- Al Norte, el límite del terreno Mixteco puede estar definido por la prolongación hacia el norte de la falla Papalutla.

Después de formado el terreno Mixteco en el periodo Devónico (hace 400 millones de años), el Complejo Acatlán sirvió como basamento a secuencias estratigráficas que, hasta finales del Cretácico, fueron depositadas en condiciones tectónicas inactivas. La era Cenozoica, sin embargo, ha estado marcada por un abundante vulcanismo continental (del Paleoceno al Mioceno) y por intensas orogénesis y erosiones (desde inicios del Neógeno).

Durante varias décadas, las rocas metamórficas del Complejo Acatlán recibieron nombres como “esquistos de Acatlán” (Salas, 1949) o “formación Acatlán” (Fries *et al.*, 1962), y no se había hecho algún intento por subdividirlo en sus componentes estratigráficos. En este sentido, el primer

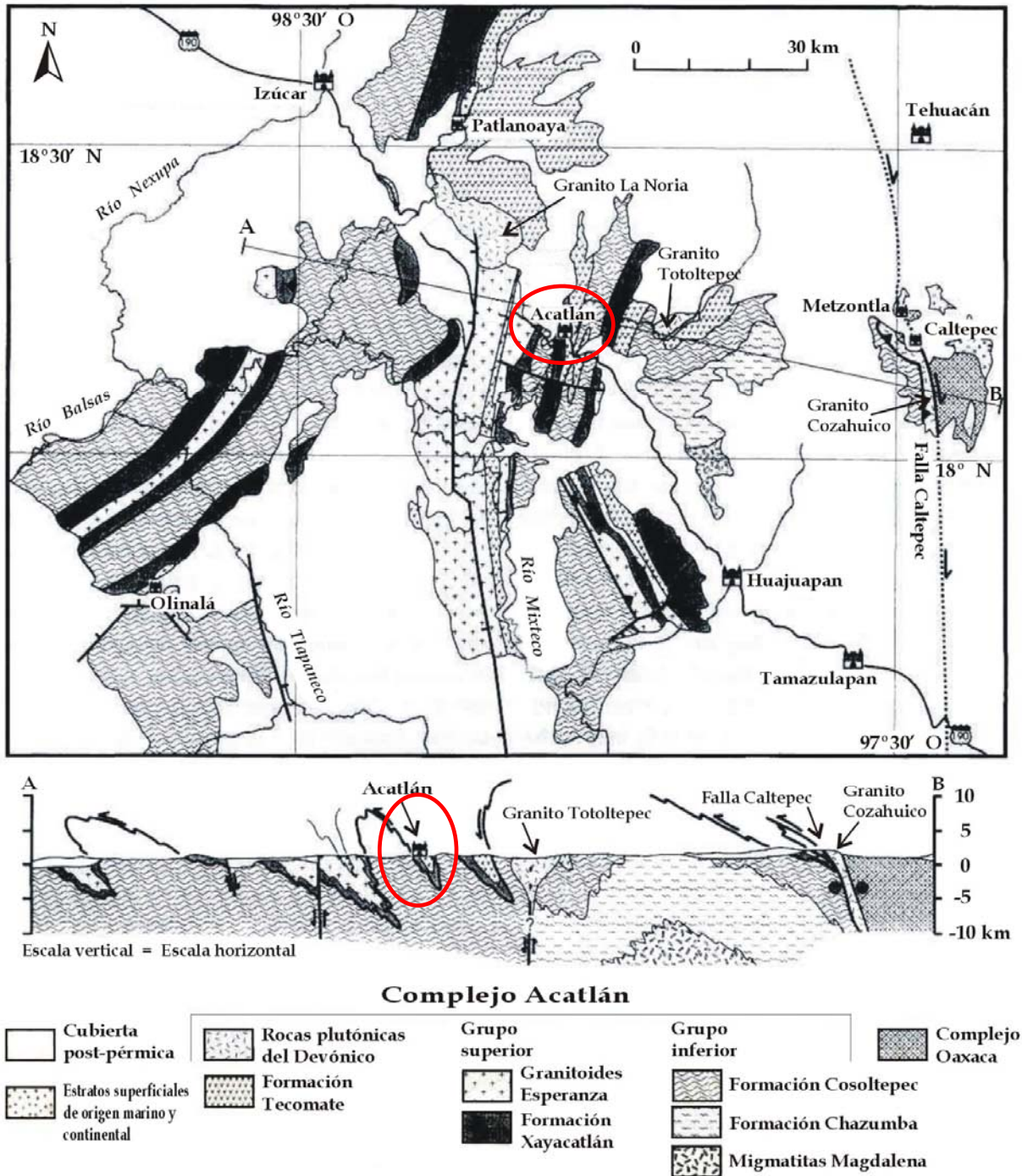
esfuerzo fue realizado por Nicholas Rast, quien visitó México de 1970 a 1971 para dirigir un programa de estudios sobre los complejos metamórficos del sur de México; dicho trabajo, organizado por la Royal Society junto con el Instituto de Geología de la UNAM, abarcó los tres de mayor extensión: el Complejo Acatlán de la era Paleozoica, el Complejo Oaxaca de la era Precámbrica y el Complejo Xolapa de la era Paleozoica. Así, por primera vez, el Complejo Acatlán fue analizado y subdividido estratigráficamente, sus relaciones geológicas generales con otros complejos fueron discutidas, y la naturaleza deformada de sus rocas quedó claramente establecida. Desafortunadamente, los resultados de ese trabajo no fueron publicados oficialmente. Años más tarde, el geólogo Fernando Ortega, quien formó parte del grupo encabezado por Nicholas Rast, retomó la experiencia y los resultados de aquella primera investigación para emprender nuevos estudios sobre el Complejo Acatlán, de manera que aportó diferentes conocimientos al desarrollar sus trabajos en el marco de la tectónica de placas.



**Figura 2.1.1.** Marco tectónico regional del Complejo Acatlán (modificado de Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1999). El recuadro de la izquierda señala la ubicación de la ciudad de Acatlán.

Ortega-Gutiérrez (1978) subdividió el Complejo Acatlán en dos unidades tectónicas principales, separadas por una secuencia volcanosedimentaria ligeramente metamorfoseada conocida como Formación Tecomate. La unidad inferior, integrada por las formaciones Cosoltepec, Chazumba y Migmatitas Magdalena, consiste en un grueso paquete de rocas metasedimentarias.

La unidad superior, integrada por las formaciones Xayacatlán y Granitoides Esperanza, consiste en rocas máficas y ultramáficas intercaladas con rocas metasedimentarias pelíticas y silíceas. Estas dos unidades, tectónicamente superpuestas, fueron cubiertas por la Formación Tecomate. La ciudad de Acatlán, en particular, está situada en una zona perteneciente a las formaciones Cosoltepec y Tecomate, como puede verse en la figura 2.1.2.



**Figura 2.1.2.** Formaciones geológicas del Complejo Acatlán (modificado de Ortega-Gutiérrez, 1993). El círculo indica, tanto en planta como en perfil, la ubicación de la ciudad de Acatlán.

- *Formación Cosoltepec.*

Alrededor del 90% del Complejo Acatlán pertenece a esta unidad. Se trata de una masa monótona pseudoestratificada de cuarcitas y filitas cuarzosas, internamente deformada por una foliación compleja. La zona de Coatlico, en el estado de Guerrero, probablemente representa un fragmento del fondo oceánico que se separó de la placa subducida y se incorporó al Complejo, debido a la presencia de rocas metasedimentarias silíceas libres de carbonatos. La naturaleza esquistosa de los metasedimentos se identifica en zonas de deformación moderada por la presencia de metapsamita y metapelita, en estratos alternados, y por la existencia de exóticos materiales clásticos: bloques masivos de cuarcita (Olinalá, Guerrero), delgadas capas de serpentinita (Coatlico, Guerrero) o rocas manganíferas (Acatlán, Puebla).

La ausencia total de carbonatos en estas litologías, la naturaleza esquistosa de la secuencia, la presencia de materiales clásticos exóticos, así como la identificación de fragmentos del fondo oceánico, son evidencias de que la Formación Cosoltepec fue depositada originalmente cerca o en el borde de una placa oceánica de la era Paleozoica subduciendo a una masa continental de la era Precámbrica.

- *Formación Tecomate.*

Esta unidad sedimentaria constituye el último elemento tectonostratigráfico del Complejo Acatlán formado en la era Paleozoica. Su estructura consiste en rocas clásticas finamente estratificadas, incluyendo horizontes de caliza y conglomerado formado por guijas de materiales graníticos, volcánicos y gnéissicos; en los estratos de caliza se hallan frecuentemente organismos microscópicos fosilizados. El cuerpo principal de la formación está compuesto por arenisca, pizarra, materiales piroclásticos y pequeñas intrusiones riolíticas.

Por otra parte, la carta geológica local (INEGI, 1990) muestra la existencia de las tres litologías siguientes:

- *Esquistos del Paleozoico, P(E).*

Rocas metamórficas que incluyen esquistos, filitas, algunos gneises y remanentes de cuarcita (metasedimentaria y metavolcánica), que en general presentan un metamorfismo de bajo grado y cataclástico. Estas rocas pertenecen a las formaciones Cosoltepec y Tecomate. Los esquistos son de facies esquistos verdes, subfacies de clorita y de biotita, clases pelítica, básica y cuarzo-feldespática. Los gneises se presentan intercalados en afloramientos de regular extensión y son principalmente de moscovita y clorita.

- *Metasedimentario del Paleozoico, P(METASEDIMENTARIO).*

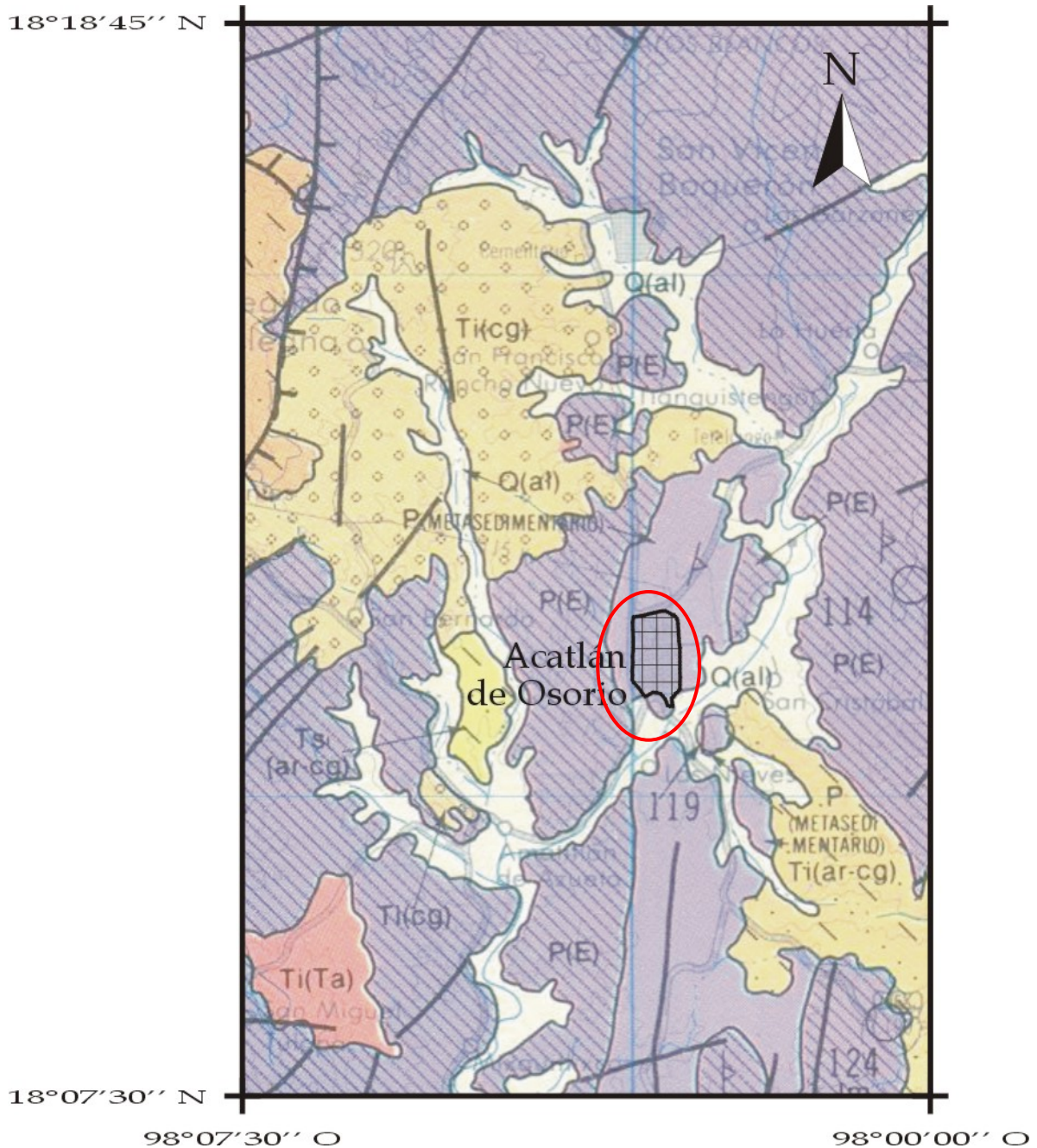
Rocas metamórficas pertenecientes a la Formación Tecomate que incluyen metagrauvascas, meta-arcosas, metapelitas, metaconglomerados y metacalizas. En estas últimas, se han encontrado distintos invertebrados fósiles.

- *Aluvión del Cuaternario, Q(al).*

Suelo aluvial de color oscuro con horizontes de arena y grava.



De acuerdo con esta información, y como puede verse en la figura 2.1.3, la mayor parte de la traza urbana de Acatlán se encuentra en zona de rocas metasedimentarias. El lado oeste de la ciudad incluye una zona de esquistos, el lado sur abarca suelo aluvial producto del río más cercano, y el resto corresponde a rocas metasedimentarias.



**Figura 2.1.3.** Aspectos geológicos de la ciudad de Acatlán y sus alrededores (INEGI, 1990).

Sin embargo, durante los trabajos de campo realizados en el presente estudio, se pudieron apreciar estratigrafías de suelos arenosos y afloramientos de esquistos dentro de la traza urbana, tal como se muestra en las figuras 2.1.4 y 2.1.5.

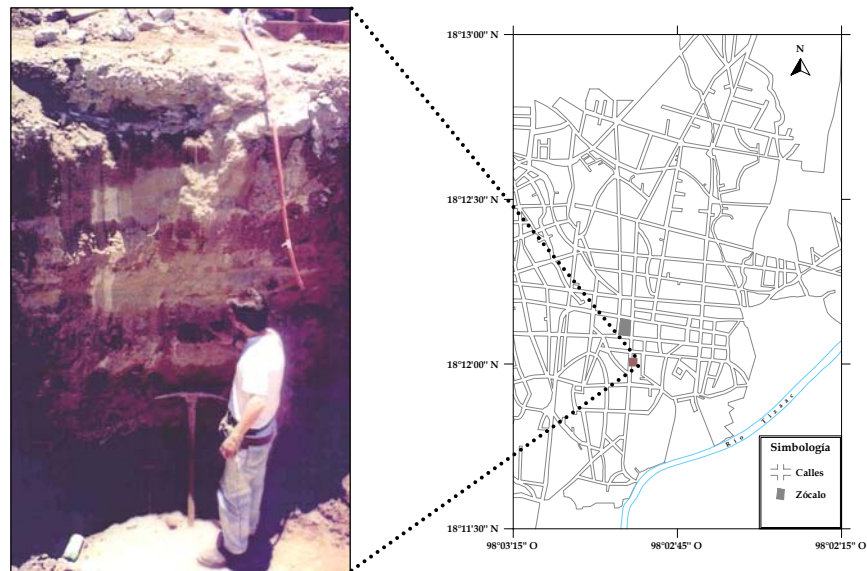


Figura 2.1.4. Estratigrafía de un depósito arenoso en la ciudad de Acatlán.

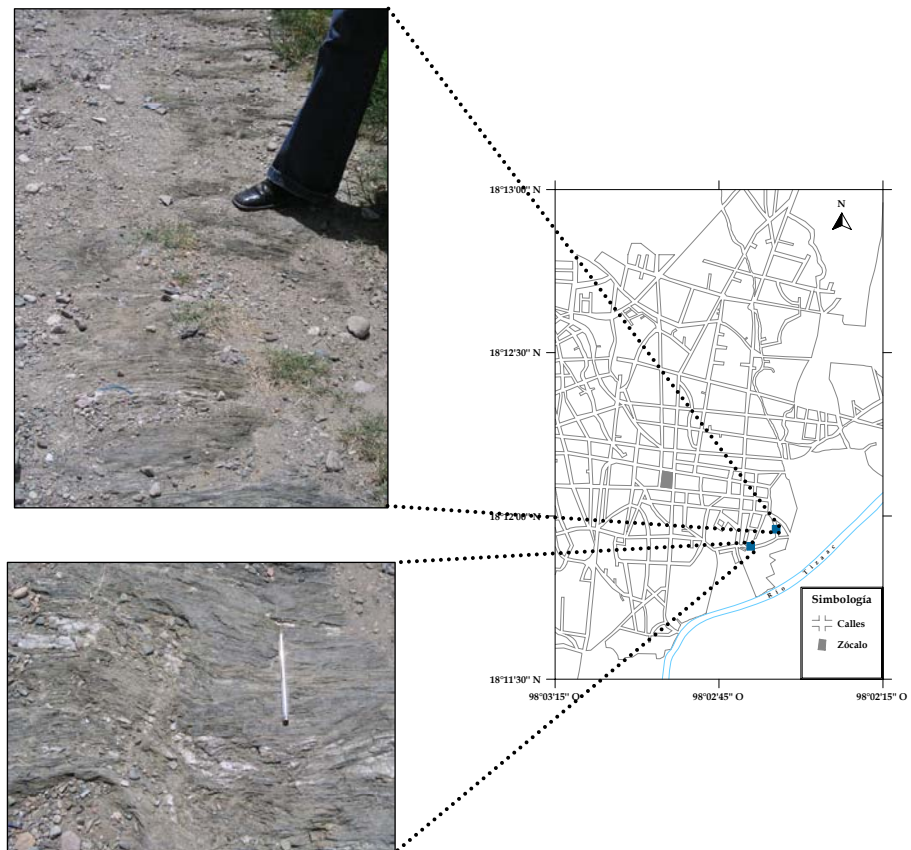
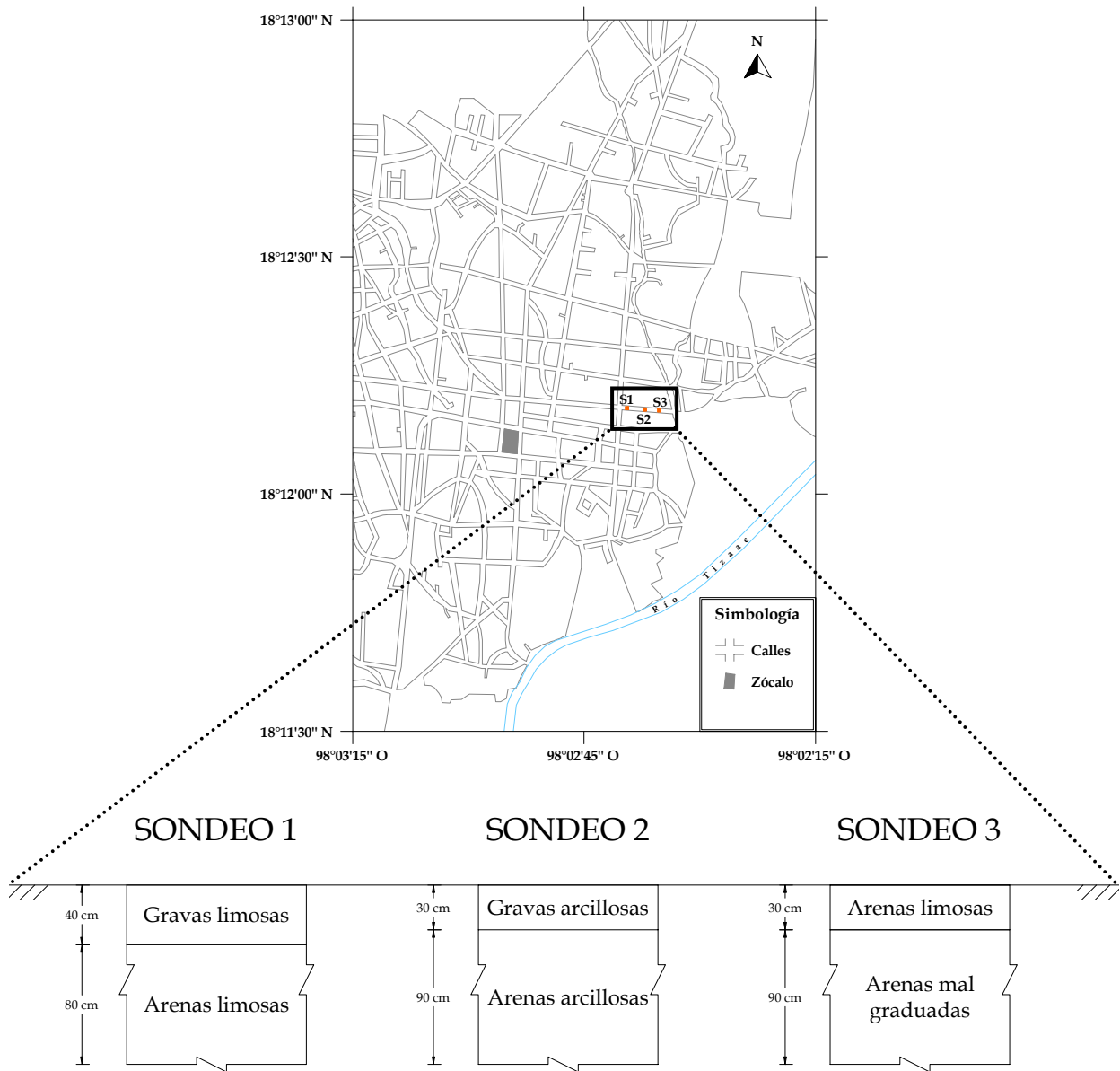


Figura 2.1.5. Afloramientos de esquistos en la ciudad de Acatlán.

De acuerdo con un estudio geotécnico realizado por el laboratorio “Laboratorio y Calidad Total Aplicada” en 2003 (cuyo trabajo de exploración consistió en tres pozos a cielo abierto), se confirma la presencia de estratos de arena en otros puntos de la ciudad, como se muestra en la figura 2.1.6.



**Figura 2.1.6.** Estratigrafía del subsuelo en tres puntos de la ciudad de Acatlán (LABYCTA, 2003).

Por otra parte, dentro de la ciudad existen cauces naturales que dan lugar a corrientes de agua en épocas de lluvia. Estas corrientes transportan fragmentos de roca y gravas, y llevan en suspensión arenas, limos y arcillas. Así, a lo largo de estos cauces se pueden observar suelos de origen aluvial. La figura 2.1.7 muestra la distribución de los arroyos en la ciudad, y la figura 2.1.8 es una toma cercana en un día lluvioso.



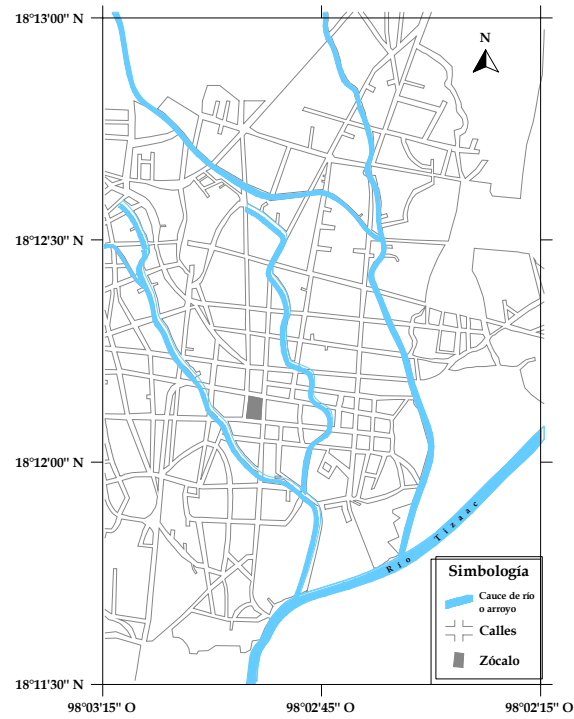


Figura 2.1.7. Cauces naturales de ríos y arroyos en la ciudad de Acatlán.

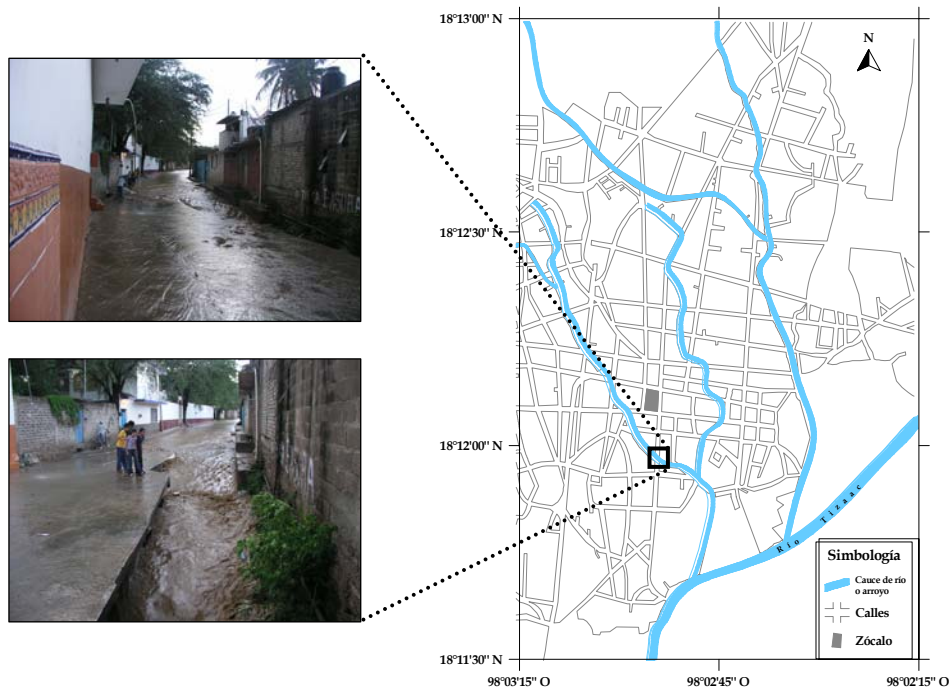
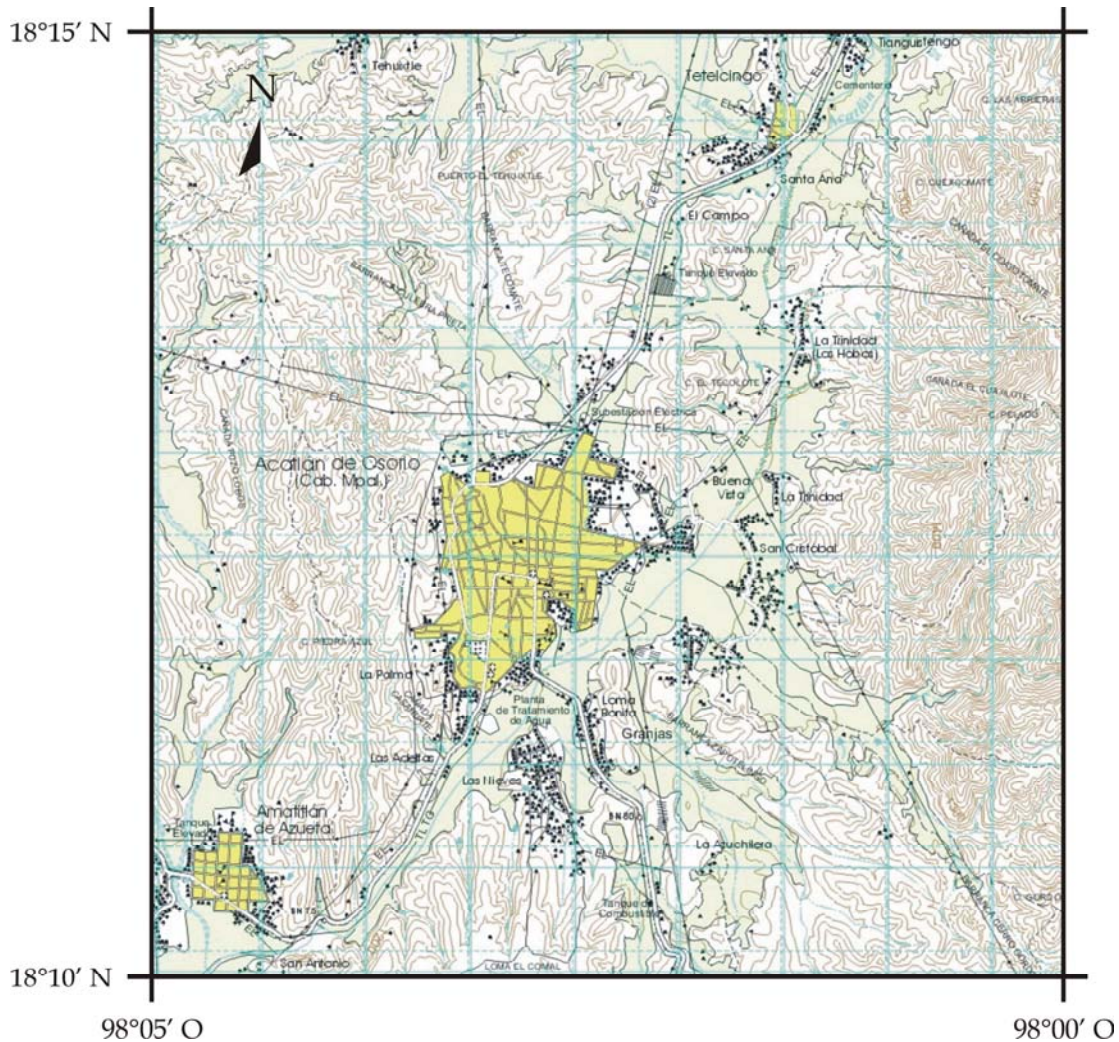


Figura 2.1.8. Toma cercana de un arroyo en época de lluvia.

## 2.2 Morfología.

La ciudad de Acatlán tiene una altitud promedio de 1180 m.s.n.m. aproximadamente, y está rodeada por las formaciones: al este, el cerro “Pelado” con altura máxima de 1400 m.s.n.m.; al oeste, el cerro “Piedra Azul” con elevación máxima de 1300 m.s.n.m., en cuya zona oriental se asienta una considerable parte de la población; al sur, los cerros “El comal” y “Loma bonita”; y al norte los cerros “Ticolote” y “Tehuixtle”, éste último con altura máxima de 1300 m.s.n.m. La carta topográfica local (INEGI, 1988) se muestra en la figura 2.2.1.



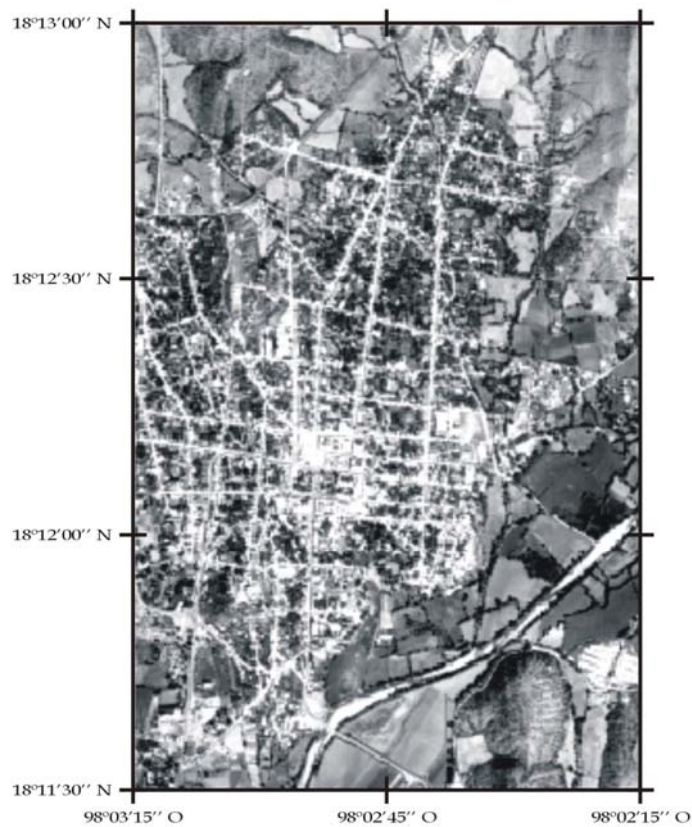
**Figura 2.2.1.** Aspectos geomorfológicos de la ciudad de Acatlán y sus alrededores (INEGI, 1988).

De acuerdo con la cartografía digital del municipio de Acatlán de Osorio (Secretaría de Obras Públicas del Estado de Puebla, 2004), se dispone de la siguiente información: a) fotografías aéreas; b) curvas de nivel a cada metro; y c) distribución de los predios y las construcciones existentes. La figura 2.2.2 muestra una vista aérea del valle, así como la ubicación de la ciudad de Acatlán; la figura 2.2.3 es un acercamiento de la misma.



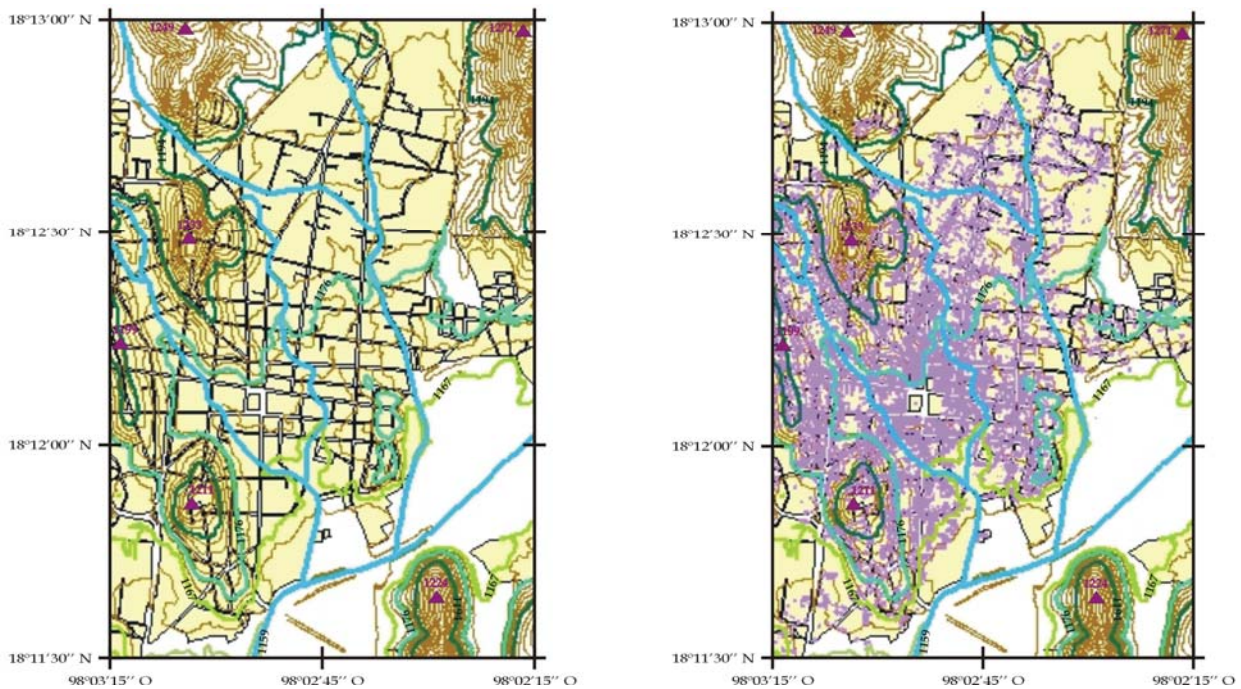


**Figura 2.2.2.** Fotografía aérea de la ciudad de Acatlán (recuadro amarillo) y sus alrededores.



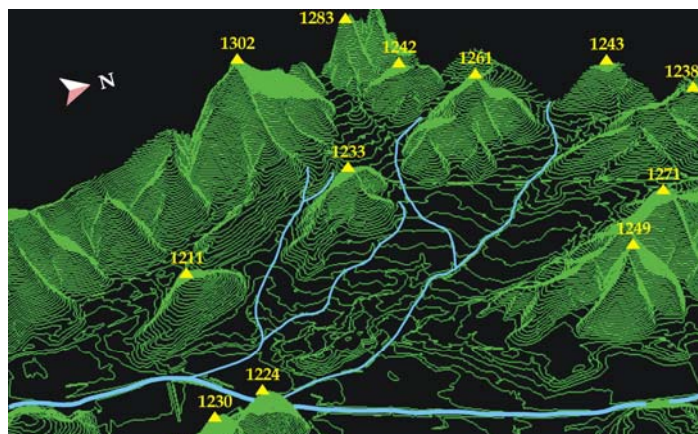
**Figura 2.2.3.** Fotografía aérea de la ciudad de Acatlán.

Las curvas de nivel permiten visualizar la geomorfología local de Acatlán. La figura 2.2.4 muestra las curvas a cada cuatro metros, así como las máximas elevaciones en la localidad. Con base en esta información, y de acuerdo con las observaciones realizadas en campo, podemos distinguir cuatro zonas según su altitud: una zona baja, con valores entre 1159 y 1167 m.s.n.m.; una zona media-baja, con alturas entre 1167 y 1176 m.s.n.m.; una zona media-alta, con altitudes entre 1176 y 1194 m.s.n.m.; y la zona más alta, con elevaciones mayores de 1194 m.s.n.m. Gran parte de la población se localiza en las zonas media-alta y media-baja, entre los 1167 y 1194 m.s.n.m.; en la figura 2.2.4 se muestra también la distribución de las construcciones existentes.



**Figura 2.2.4.** Geomorfología local de la ciudad de Acatlán (izquierda) y distribución de las construcciones existentes (derecha, puntos morados).

La figura 2.2.5 es un modelo gráfico tridimensional de la geomorfología local, construido con las curvas de nivel a cada dos metros. Las altitudes indicadas tienen unidades de m.s.n.m.



**Figura 2.2.5.** Modelo gráfico de la morfología de la ciudad de Acatlán.



### 2.3 Microzonas

A partir de la información geológica, hidrológica y geomorfológica disponible y de acuerdo con las observaciones realizadas en campo, en el mapa de la figura 2.3.1 se ha dividido la ciudad de Acatlán en tres microzonas:

- Microzona I. Abarca las zonas alta y media-alta, donde predominan rocas metamórficas de naturaleza esquistosa.
- Microzona II. Abarca las zonas media-alta y media-baja, y está conformada por depósitos arenosos de origen aluvial.
- Microzona III. Abarca la zona baja, donde predominan suelos aluviales producto del río más cercano y caudaloso (el río Tizaac).

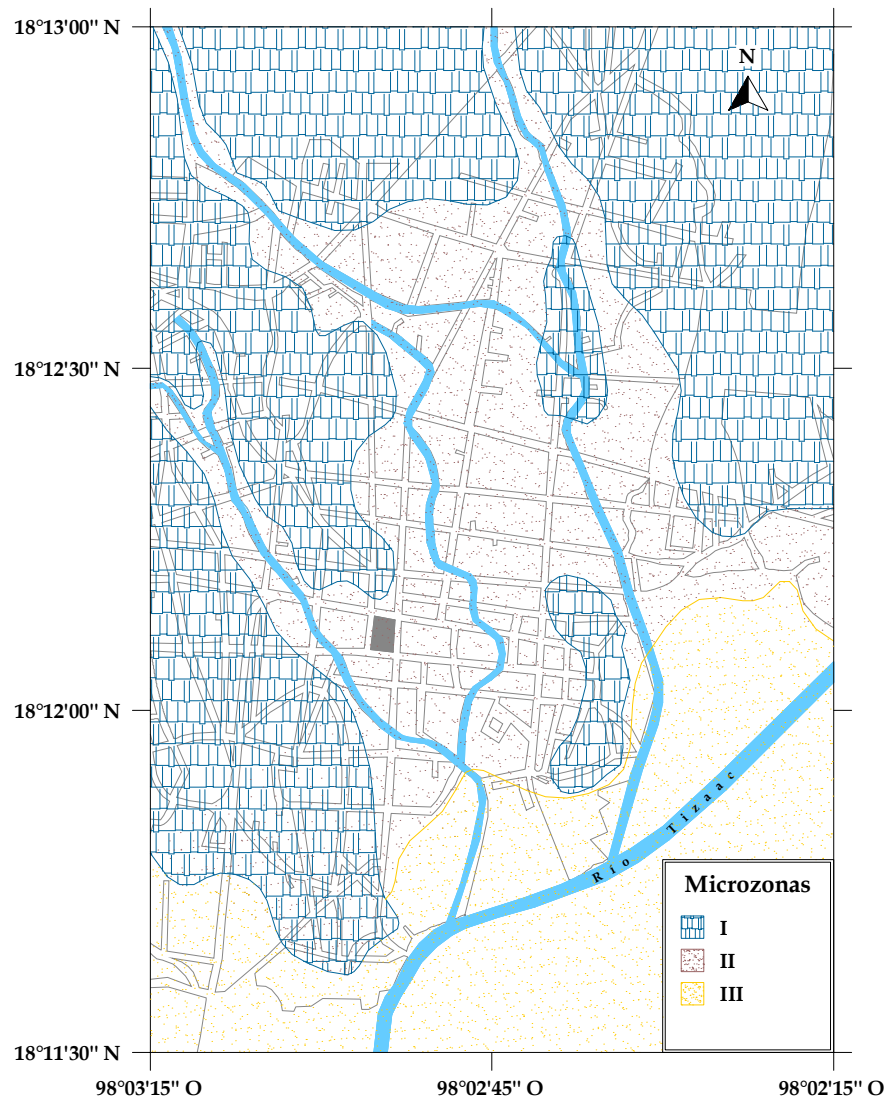
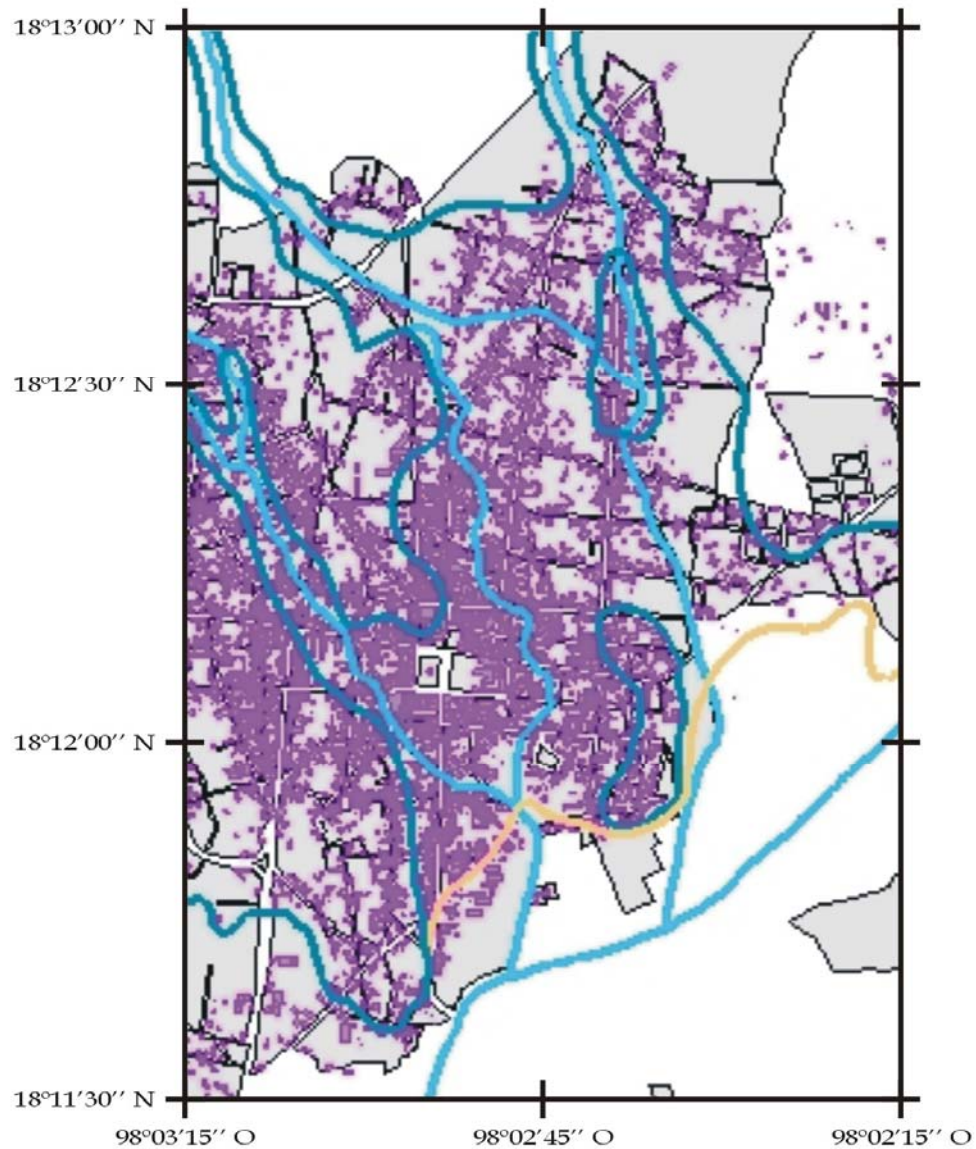


Figura 2.3.1. Microzonas de la ciudad de Acatlán.

En Acatlán existen alrededor de 6350 edificaciones (Secretaría de Obras Públicas del Estado de Puebla, 2004), de las cuales el 97% se ubica en las microzonas I y II, tal como se muestra en la figura 2.3.2.



**Figura 2.3.2.** Distribución de las construcciones existentes en la ciudad de Acatlán.

## Capítulo 3 SISMICIDAD

### 3.1 Sismicidad histórica

El estado de Puebla corresponde a una región de México de la más variada fisonomía, reveladora de antiguos procesos orogénicos que probablemente alcanzaron su máxima actividad durante el Terciario. Actualmente, estos procesos están representados por grandes elevaciones, plegamientos, depresiones, fracturas, etc., que aún siguen desarrollándose y por consiguiente dan lugar a una sismicidad importante, ya sea de origen tectónico, volcánico e incluso de acomodamientos superficiales (Figuroa, 1974). La figura 3.1.1 muestra las principales provincias fisiográficas en esta entidad (INEGI, 2000).

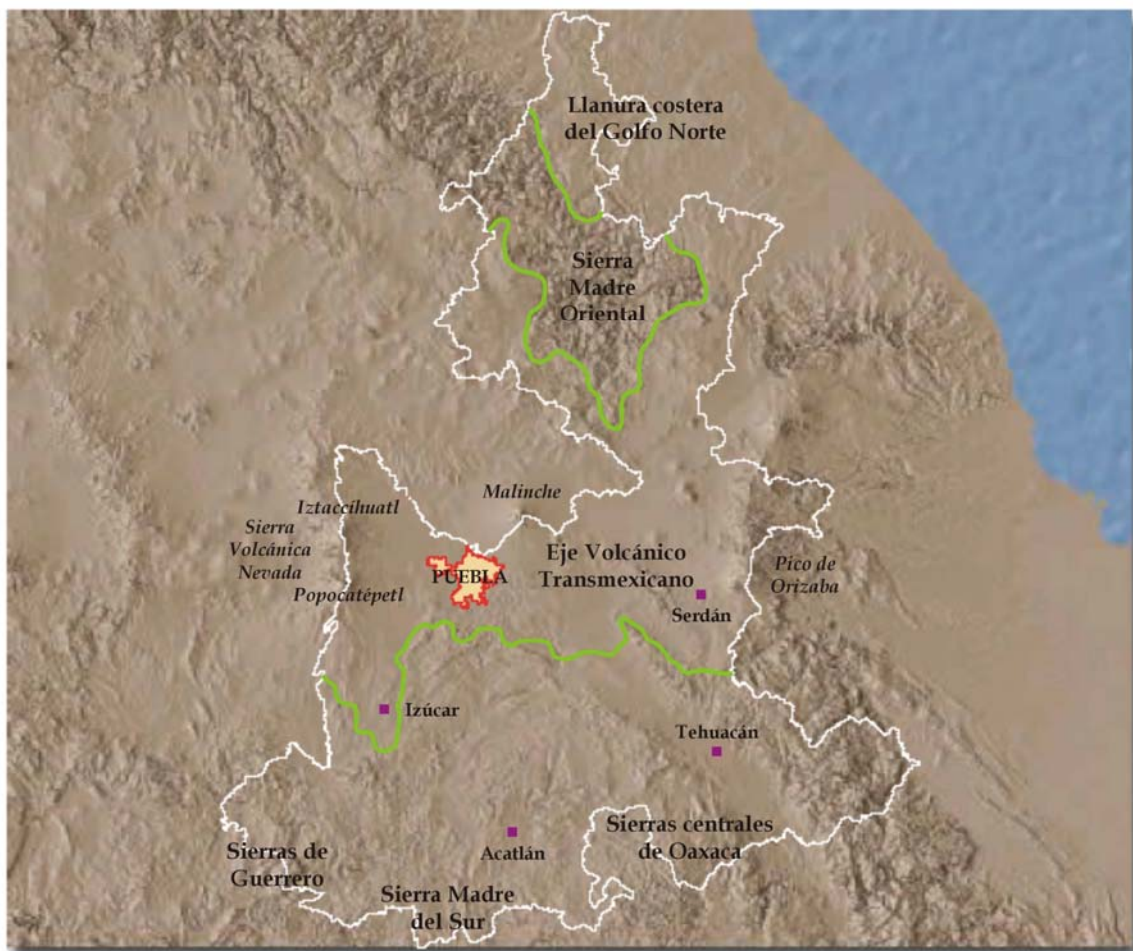


Figura 3.1.1. Fisiografía del estado de Puebla (modificado de INEGI, 2000).

Un primer estudio sobre la actividad sísmica del estado de Puebla y sus alrededores fue realizado por Figueroa (1974). El catálogo correspondiente incluye una lista de macrosismos que afectaron a la entidad desde 1523 hasta octubre de 1974, y otra de sismos localizados instrumentalmente en el estado y en sus vecindades con datos desde febrero de 1911 hasta octubre de 1973; ésta última contiene 125 sismos con magnitudes (Richter) entre 3.2 y 7.8, y con profundidades entre 40 y 100 km. De acuerdo con la distribución espacial de los epicentros correspondientes, la zona de mayor actividad sísmica se encuentra en la parte sur de la entidad (entre los 17.13°N y 18.69°N), la región central (entre los 18.69°N y 19.5°N) presenta una sismicidad moderada, y en la parte norte (entre los 19.5°N y 21°N) los movimientos son escasos.

Posteriormente, Gómez y González-Pomposo (1983) reportaron 104 sismos para el periodo de 1976 a febrero de 1983. Hasta entonces, con la escasa instrumentación sísmica en la región, el catálogo se ampliaba a 229 eventos localizados; después de 1985, con el crecimiento de la red acelerográfica en México, fue posible registrar un mayor número de sismos en lapsos más cortos.

González-Pomposo y Valdés-González (1995) realizaron un estudio de la actividad sísmica en el estado de Puebla y sus inmediaciones, para el periodo de enero de 1986 a agosto de 1989, mediante la operación de la Red Sísmica del Estado de Puebla (RESEP). El catálogo correspondiente reporta 350 eventos localizados, la mayoría con profundidades menores de 50 km; las magnitudes de coda se distribuyen de la siguiente manera: 43% tienen magnitudes entre 2 y 3, 49% entre 3 y 4, 8% entre 4 y 5, y sólo un evento tiene magnitud mayor de 5. El 69% de los sismos se concentran al sur del estado, entre los 17°N y 18.5°N, cerca de la frontera con los estados de Guerrero y Oaxaca; el 26% se localizan en la región central, entre los 18.5°N y 20°N; el resto ocurrieron en la frontera común con los estados de México, Tlaxcala e Hidalgo; al norte no reportaron eventos. Estos autores concluyen que la mayor actividad sísmica se presenta en la parte sur de la entidad, probablemente relacionada con el contacto entre las placas de Cocos y Norteamérica, y que la parte central muestra una actividad sísmica moderada asociada a esfuerzos tectónicos de la corteza.

El Servicio Sismológico Nacional (2005) ha reportado más de 600 sismos localizados en el estado de Puebla y sus alrededores, para el periodo de 1990 a 2002. El 71% tiene magnitudes de coda entre 2 y 4, el 27% entre 4 y 5, y el 2% mayor de 5.

En el presente estudio, se recopilaron los datos de Figueroa (1974), González-Pomposo y Valdés-González (1995), y el Servicio Sismológico Nacional (2005) para integrarlos en un solo catálogo. En total se obtuvieron datos de 1150 sismos, cuyas coordenadas epicentrales van de 15.81° a 20.88° de latitud Norte y de 94.11° a 99.95° de longitud Oeste (ver Anexo 1). Sin embargo, se delimitó una zona de estudio más cercana a los límites estatales y se seleccionó el marco mostrado en la figura 3.1.2, el cual está definido por los paralelos 17.5°N y 21.0°N y los meridianos 96.5°O y 99.5°O. De esta manera, se obtuvieron 565 eventos localizados dentro de dicha área, con profundidades de hasta 148 km y magnitudes distribuidas como se indica en la figura 3.1.3.



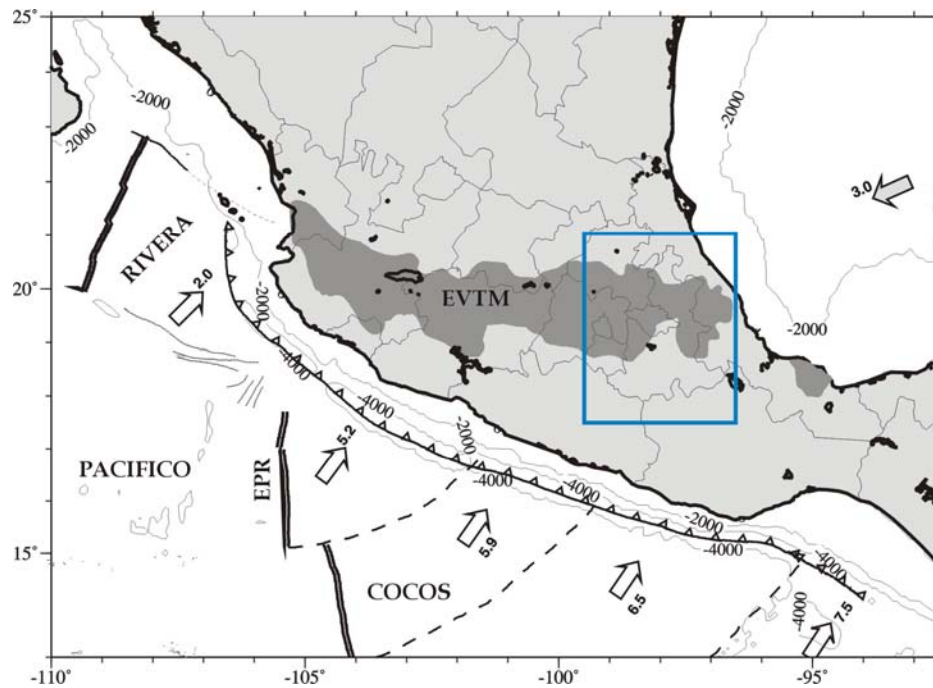


Figura 3.1.2. Marco de referencia para estudiar la actividad sísmica en el estado de Puebla.

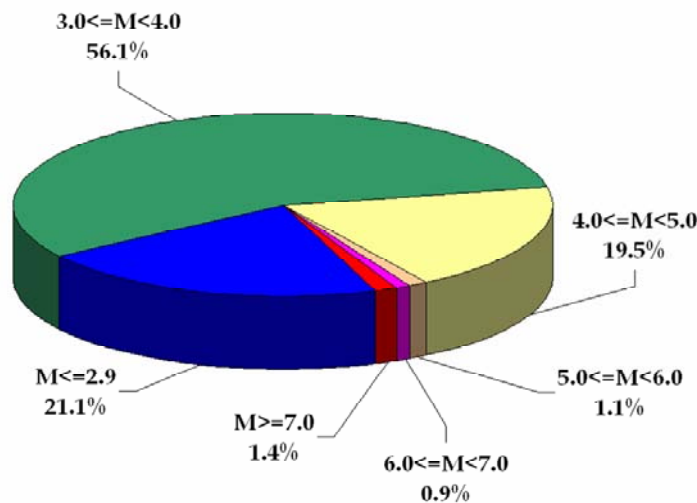


Figura 3.1.3. Distribución de magnitudes de los 565 sismos seleccionados.

La figura 3.1.4 muestra los epicentros de los 565 eventos, la figura 3.1.5 muestra un perfil transversal para los sismos que cuentan con el dato de profundidad hipocentral, y la figura 3.1.6 presenta un modelo gráfico tridimensional sobre la ubicación de los focos. Como podemos ver, la zona de mayor actividad sísmica corresponde al sur del estado, entre los paralelos  $17^{\circ}30'N$  y  $18^{\circ}35'N$ , donde gran parte de los eventos se originaron entre los 25 y 75 km de profundidad para todo el rango de magnitudes observadas. La región central, entre los  $18^{\circ}35'N$  y los  $19^{\circ}50'N$ , presenta una sismicidad moderada, donde la mayoría de los eventos ocurrieron cerca de la superficie y con magnitudes menores a 5. La zona de menor sismicidad se encuentra entre los  $19^{\circ}50'N$  y los  $21^{\circ}N$ , donde se registraron pocos eventos y cuyas magnitudes son menores de 4.

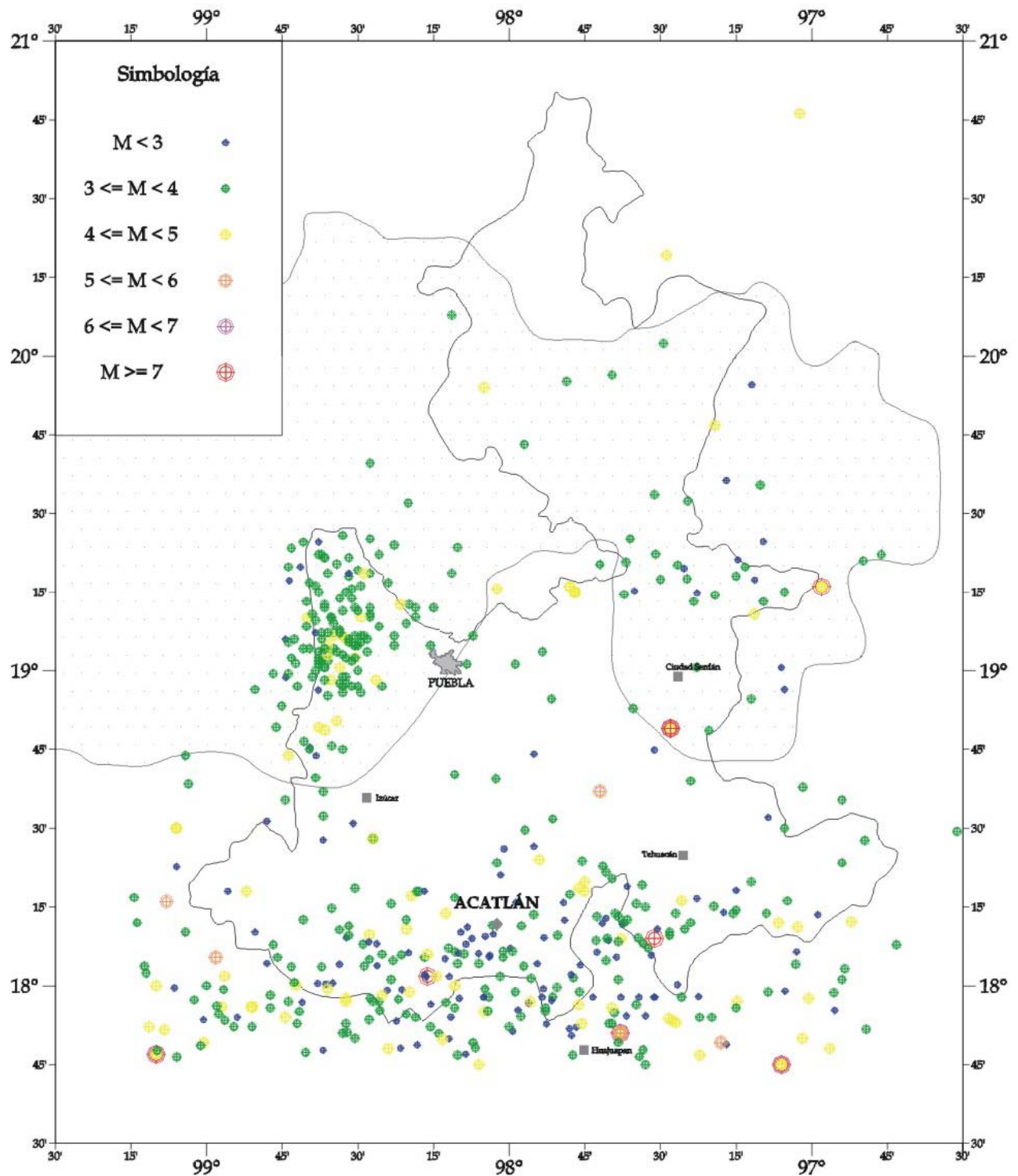
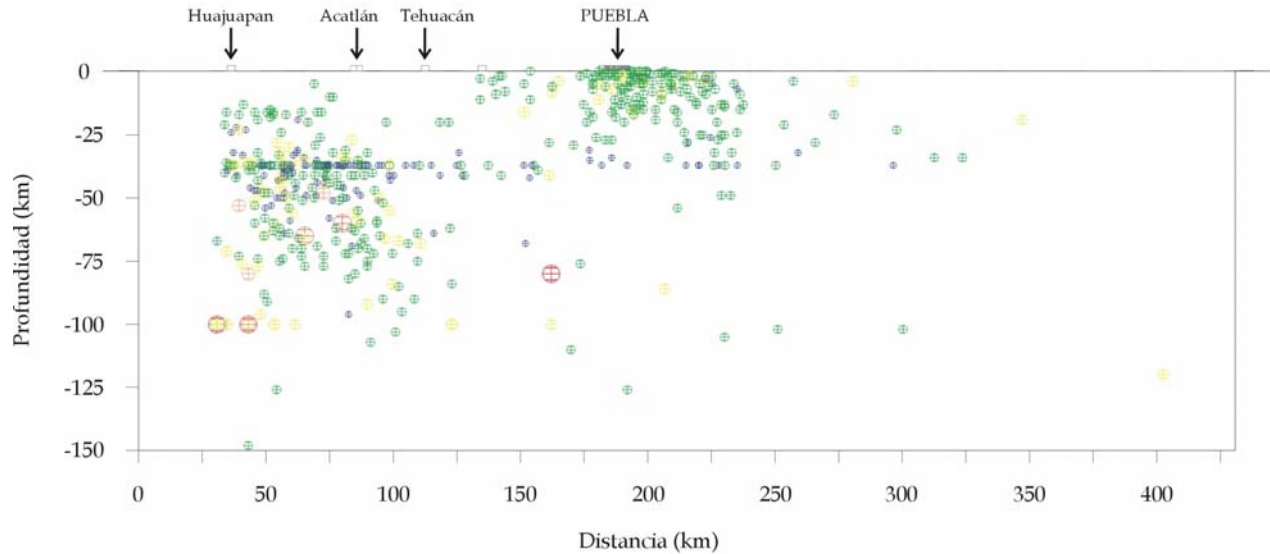
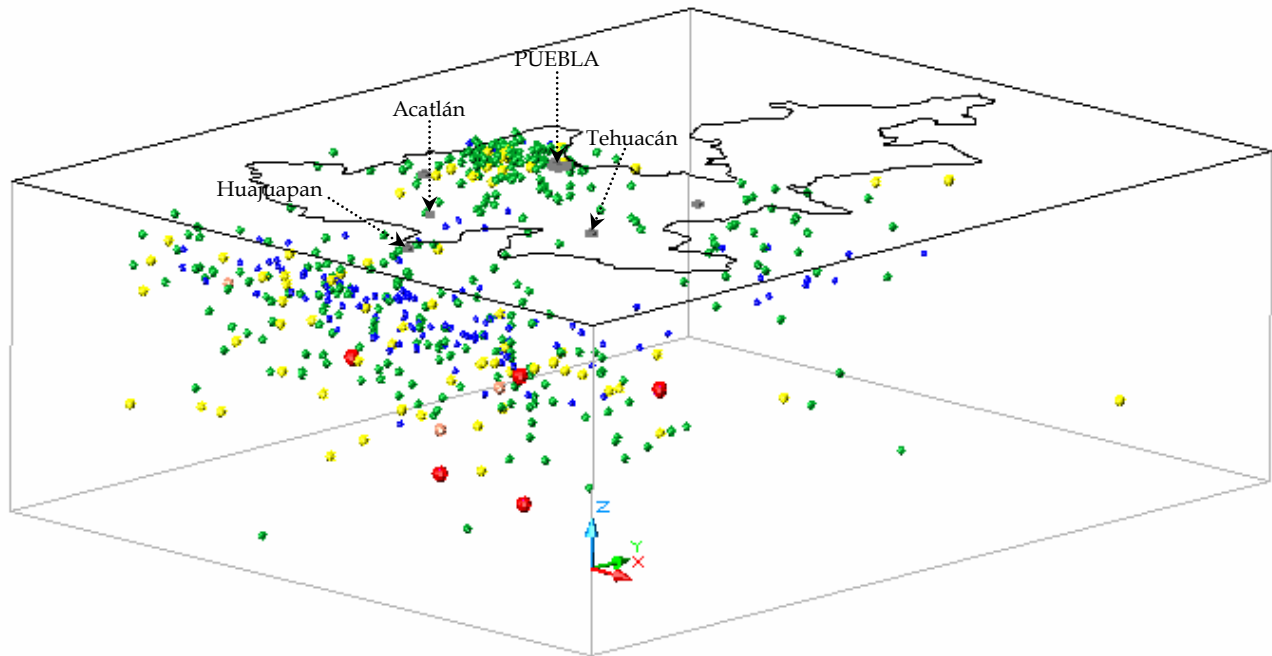


Figura 3.1.4. Sismicidad en el estado de Puebla. Recopilación de los catálogos de Figueroa (1974), González-Pomposo y Valdés-González (1995), y el SSN (2005).



**Figura 3.1.5.** Perfil transversal de la sismicidad en el estado de Puebla. Recopilación de los catálogos de Figueroa (1974), González-Pomposo y Valdés-González (1995), y el SSN (2005).



**Figura 3.1.6.** Modelo tridimensional de la sismicidad en el estado de Puebla. Recopilación de los catálogos de Figueroa (1974), González-Pomposo y Valdés-González (1995), y el SSN (2005).

De acuerdo con estos mapas de sismicidad, podemos identificar tres fuentes sismogénicas principales que afectan a la ciudad de Acatlán:

- **Intraplaca.** Eventos de falla normal y profundidad intermedia que se generan dentro de la Placa de Cocos, en la zona de subducción de esta bajo la de Norteamérica. El origen de estos sismos se debe principalmente a esfuerzos producidos por flexión de la Placa de Cocos,

además de la tensión inducida por el arrastre gravitacional de la misma hacia el manto (Suárez *et al.*, 1990).

- **Cortical.** Eventos que se generan dentro de la Placa de Norteamérica debido a deslizamientos en las fallas geológicas del graben de Puebla. Dichos deslizamientos se deben a las corrientes magmáticas de convección, así como a la flexión inducida por la fricción de la Placa de Cocos cuando llega a gran profundidad (Pardo y Suárez, 1995).
- **Volcánica.** Eventos de poca profundidad que se generan en el Eje Volcánico Transversal de México (EVTM), debido a la actividad de las fallas geológicas y las formaciones volcánicas existentes. La mayoría de estos sismos se concentran en la Sierra Volcánica Nevada y sus inmediaciones.

Otra fuente que podemos considerar es la que genera eventos de foco somero (profundidades de hasta 20 km) cercanos a la costa sur mexicana del Pacífico. El origen de estos sismos se debe principalmente a esfuerzos de compresión producidos en la zona de contacto entre la Placa de Cocos y la de Norteamérica, dando lugar a mecanismos de falla inversa.

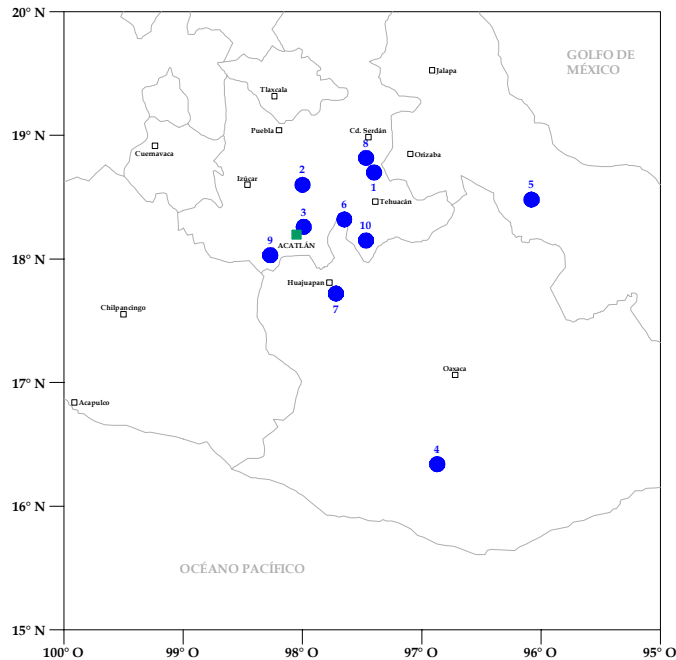
Desde que Acatlán fue ascendida al rango de ciudad en 1880, se ha visto que los macrosismos de intraplaca son los que causan mayores daños a la localidad (Orozco y Berra, 1911; Lumbier, 1928; Figueroa, 1963; Figueroa, 1986; Gutiérrez, 1999). Por esta razón, en el presente estudio haremos referencia principalmente a este tipo de eventos.

### 3.2 Sismos intraplaca que han afectado a la ciudad de Acatlán

Como bien se sabe, los sismos de profundidad intermedia y con mecanismo de falla normal en la zona de subducción de la Placa de Cocos bajo la de Norteamérica causan daños severos a diversas poblaciones de la región centro-sur de México. Desde el siglo antepasado se presentan sismos de este tipo con magnitudes mayores de 6.5 (Singh *et al.*, 1999), la mayoría localizados en el estado de Puebla, tal como se muestra en la tabla 3.2.1 y la figura 3.2.1.

Tabla 3.2.1. Sismos de falla normal y profundidad intermedia (Singh *et al.*, 1999).

| No. | Fecha           | Latitud N (°) | Longitud O (°) | Profundidad (km) | Magnitud |
|-----|-----------------|---------------|----------------|------------------|----------|
| 1   | 03/octubre/1864 | 18.70         | 97.40          | -                | 7.3      |
| 2   | 17/mayo /1879   | 18.60         | 98.00          | -                | 7.0      |
| 3   | 10/febrero/1928 | 18.26         | 97.99          | 84               | 6.5      |
| 4   | 15/enero/1931   | 16.34         | 96.87          | 40               | 7.8      |
| 5   | 26/julio/1937   | 18.48         | 96.08          | 85               | 7.3      |
| 6   | 11/octubre/1945 | 18.32         | 97.65          | 95               | 6.5      |
| 7   | 24/mayo/1959    | 17.72         | 97.72          | 80               | 6.8      |
| 8   | 28/agosto/1973  | 18.82         | 97.47          | 82               | 7.0      |
| 9   | 24/octubre/1980 | 18.03         | 98.27          | 65               | 7.0      |
| 10  | 15/junio/1999   | 18.15         | 97.52          | 60               | 7.0      |



**Figura 3.2.1.** Macrosismos históricos en la región centro-sur de México (Singh *et al.*, 1999).

Los sismos ocurridos el 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0, mb 7.3), el 24 de octubre de 1980 (Mw 7.0, mb 7.0), y el 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3) son ejemplos de los que afectan a la ciudad de Acatlán. A continuación, se da un panorama general de estos eventos.

### 3.2.1 Temblor del 28 de agosto de 1973 (Mw 7.0, mb 7.3)

El 28 de agosto de 1973, a las 03:50:55 hrs. (tiempo local), ocurrió un sismo de magnitud Mw 7.0 (mb 7.3) con epicentro al sureste de la ciudad de Puebla. De acuerdo con estudios realizados por los Institutos de Geofísica e Ingeniería de la UNAM, las coordenadas focales fueron las siguientes: latitud 18.817°N, longitud 97.467°O y profundidad de 80 a 100 km.

Este sismo produjo severos daños en los estados de Puebla, Veracruz y Oaxaca, principalmente. Como efecto más lamentable, se alcanzó una cifra de 500 muertos y 1600 heridos. Los daños materiales fueron importantes en monumentos coloniales, los que quizá por macrosismos anteriores ya presentaban daños no visibles o ligeras reparaciones. También resultaron dañados seriamente edificios nuevos que fueron construidos deficientemente. Los daños más generalizados se presentaron en viviendas ordinarias y económicas, las cuales experimentaron destrucción parcial o total. De acuerdo con el mapa de isosistas (Figuroa, 1974), se observaron intensidades de hasta VIII (Escala Mercalli Modificada) en la zona epicentral, tal como se ilustra en la figura 3.2.1.1.

En la ciudad de Acatlán, en particular, se observó una intensidad de VII (Escala Mercalli Modificada). En esta población, los muros y recubrimientos de muchas viviendas resultaron con agrietamientos importantes. Desafortunadamente, no se cuenta con la distribución espacial ni con mayores informes sobre los daños ocasionados por el sismo en la localidad.

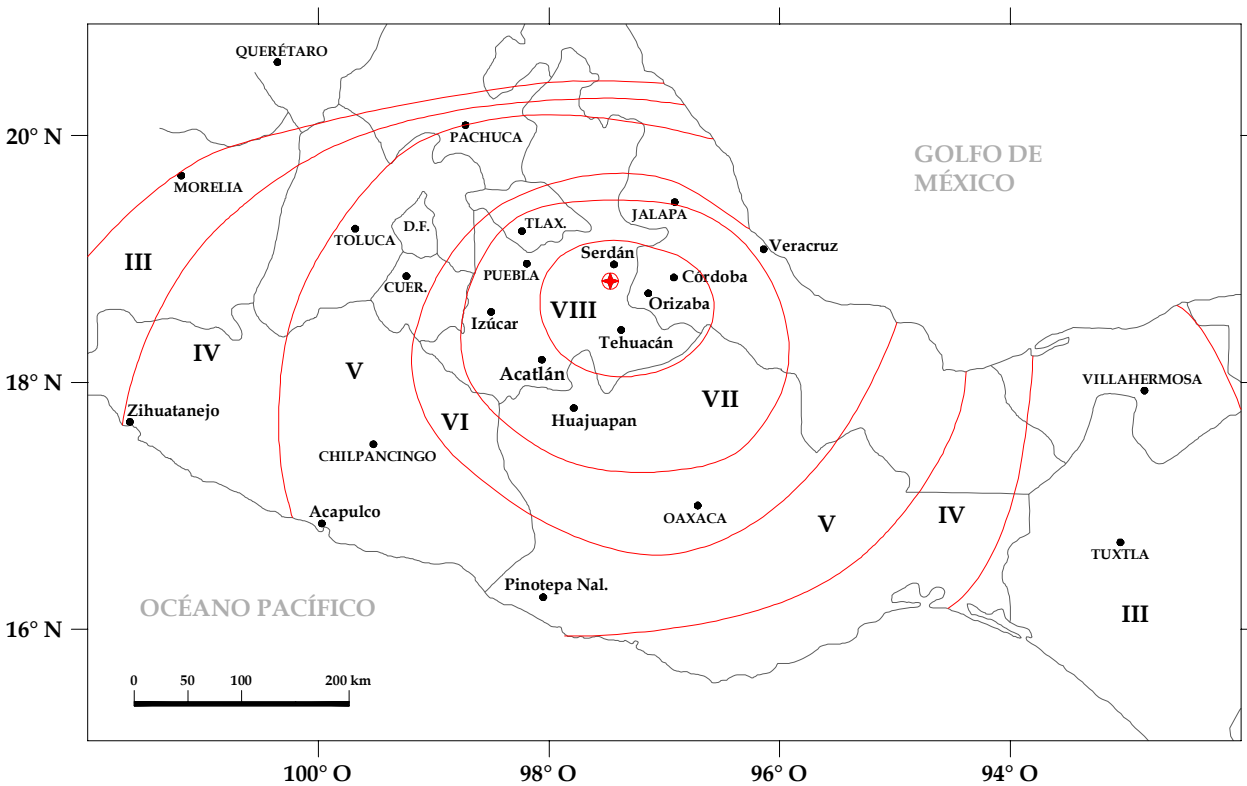


Figura 3.2.1.1. Isosistas del sismo del 28 de agosto de 1973 (Figueroa, 1974).

### 3.2.2 Temblor del 24 de octubre de 1980 ( $M_w$ 7.0, $m_b$ 7.0)

El 24 de octubre de 1980, a las 08:53:31 hrs. (tiempo local), ocurrió un sismo de magnitud  $M_w$  7.0 ( $m_b$  7.0) con epicentro localizado a 57 km al noroeste de la ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca. Diferentes instituciones calcularon las coordenadas focales del sismo, tal como se muestra en la tabla 3.2.2.1. En los nueve días siguientes al evento principal ocurrieron cerca de 900 réplicas, 300 de las cuales pudieron ser localizadas (Yamamoto *et al.*, 1984).

Tabla 3.2.2.1. Coordenadas focales del sismo del 24 de octubre de 1980.

| Institución                   | Latitud N<br>(°) | Longitud O<br>(°) | Profundidad<br>(km) |
|-------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Instituto de Ingeniería, UNAM | 17.98            | 98.32             | 12                  |
| Servicio Sismológico Nacional | 17.25            | 97.98             | 53                  |
| U.S. Geological Survey        | 18.44            | 98.13             | 100                 |
| Jesús Figueroa                | 18.00            | 98.23             | > 33                |

Las poblaciones más afectadas se localizaron en los estados de Puebla, Oaxaca y Guerrero; por ejemplo Tehuiztingo, Acatlán y San Pedro Yeloixtlahuacan en el primero, Huajuapán de León y Santiago Juxtlahuaca en el segundo, y Xochihuehuetlán y Huamuxtlán en el último. También se reportaron daños en otros poblados (Prince *et al.*, 1980), pero la severidad y proporción fueron menores.

En las poblaciones de Puebla y Oaxaca, los daños observados (Muriá *et al.*, 1980) tuvieron las siguientes características:

- Gran parte de los daños se concentró en edificaciones construidas con materiales de baja resistencia, como mampostería de adobe y de piedra con lodo, y principalmente en aquellas afectadas por las lluvias, ya que éstas deterioran dichos materiales y reducen aún más su resistencia. Los daños en estas construcciones fueron desde grietas en uno o varios muros hasta el colapso total; sin embargo, las que contaban con elementos de confinamiento, como dadas y castillos, sólo presentaron grietas en los muros.
- En casas construidas con mampostería de tabique o tabicón, se observaron daños sólo cuando los muros no contaban con elementos de confinamiento.
- Algunas estructuras de concreto reforzado de varios niveles sufrieron daños graves, muchas de ellas con peligro de colapso y otras completamente derrumbadas. En este caso se observaron distintas deficiencias: el uso de concreto pobre y agregados de mala calidad, falta de continuidad en elementos estructurales, presencia de columnas cortas, falta de confinamiento en muros de carga y juntas constructivas defectuosas, principalmente.
- Las escuelas con estructura metálica no mostraron daños severos, y sólo en pocos casos presentaban vidrios rotos.
- La mayoría de las iglesias resultaron afectadas, algunas de ellas con daños severos. Sólo las más nuevas mostraron mejor comportamiento.
- Aunque no fue un fenómeno generalizado, se observaron efectos locales producidos probablemente por suelos aluviales, de manera que los daños se concentraron en las zonas con tal tipo de suelo; un ejemplo de esto fue la ciudad de Acatlán, Puebla.
- Los daños observados se concentraron en edificaciones con materiales de escasa resistencia y pobre calidad, en estructuras con problemas de diseño y/o construcción, así como en torres, naves y cúpulas de iglesias antiguas.

De acuerdo con el mapa de isosistas (Figueroa, 1986), se observaron intensidades de VIII y IX (Escala Mercalli Modificada) en la zona epicentral, tal como se ilustra en la figura 3.2.2.1.

En la ciudad de Acatlán, en particular, la mayoría de las construcciones eran de adobe de un solo nivel, con techos de teja sobre armaduras de madera; la altura de muchas de ellas, mayor de cuatro metros. Algunas edificaciones eran de muros de mampostería confinados con dadas y castillos. Las construcciones de dos niveles eran de tabique o híbridas (adobe en el primero y tabique en el segundo). Sólo tres edificios de dos o tres niveles estaban construidos con marcos de concreto y muros de mampostería (Prince *et al.*, 1980).



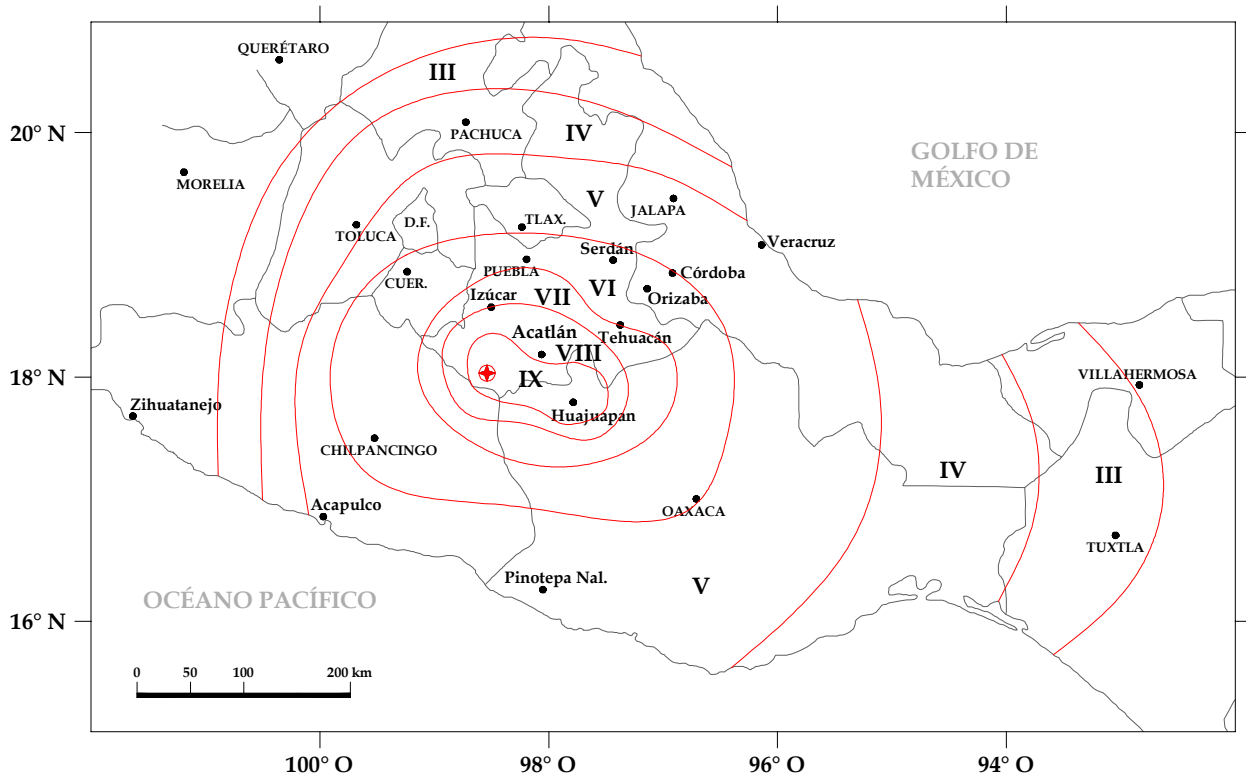


Figura 3.2.2.1. Isosistas del sismo del 24 de octubre de 1980 (Figuroa, 1986).

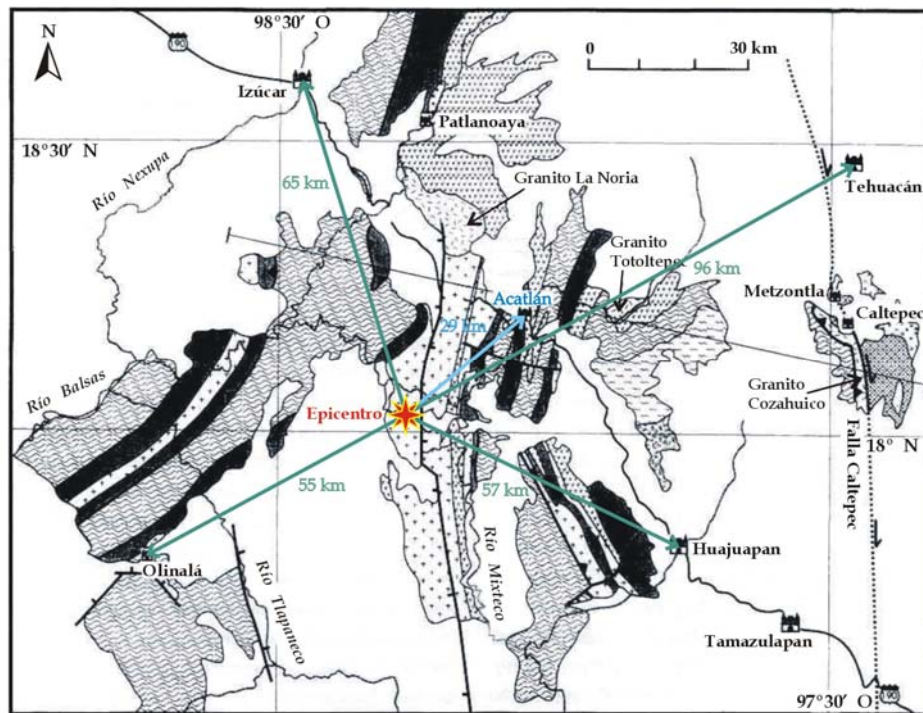


Figura 3.2.2.2. Distancias epicentrales a diferentes sitios, sismo del 24 de octubre de 1980.



Los principales efectos del sismo en la ciudad de Acatlán se observaron en la parte baja de la población (Muriá *et al.*, 1980); en esta zona, la mayoría de las viviendas de adobe presentaron fuertes daños y algunas se derrumbaron parcial o totalmente. En la mayoría de las casas, la fachada no aparentaba grandes daños, pero los muros interiores o adyacentes a otras casas estaban seriamente afectados. Las viviendas construidas con mejores materiales no presentaron daños importantes; sin embargo, hubo construcciones de mampostería confinada que mostraban agrietamientos diagonales en algunos de sus muros.

### 3.2.3 Temblor del 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3)

El 15 de junio de 1999, a las 15:41:06 hrs. (hora local), ocurrió un sismo de magnitud Mw 7.0 (mb 6.3) con epicentro localizado a 35 km al suroeste de la ciudad de Tehuacán, Puebla. Diferentes instituciones calcularon las coordenadas focales del sismo, y obtuvieron los valores indicados en la tabla 3.2.3.1. Las réplicas ocurridas después del evento principal reportadas por el Servicio Sismológico Nacional y por el U.S. Geological Survey tuvieron magnitudes de coda entre 3.5 y 4.5, distribuidas de la siguiente manera: siete durante las 24 horas siguientes, seis durante las dos semanas posteriores, y cuatro más registradas al cabo de un mes.

Tabla 3.2.3.1. Coordenadas focales del sismo del 15 de junio de 1999.

| Institución                   | Latitud N<br>(°) | Longitud O<br>(°) | Profundidad<br>(km) |
|-------------------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Instituto de Ingeniería, UNAM | 18.30            | 97.60             | 40                  |
| Servicio Sismológico Nacional | 18.20            | 97.47             | 60                  |
| U.S. Geological Survey        | 18.41            | 97.34             | 80                  |

Los daños más relevantes se concentraron en hospitales, viviendas, escuelas y monumentos históricos (Alcocer *et al.*, 1999). Aunque los mayores daños se produjeron en el estado de Puebla, también resultaron afectadas algunas partes de los estados de Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Tlaxcala y Morelos. El sismo causó intensidades de hasta VIII (Escala Mercalli Modificada) en una amplia zona entre las ciudades de Huajuapán y Puebla (Iglesias-Jiménez *et al.*, 1999; Juárez-García *et al.*, 1999), tal como se muestra en el mapa de isosistas de la figura 3.2.3.1 (Gutiérrez, 1999).

De acuerdo con el sistema digital de daños ocasionados por este temblor (Corona y Perea, 2000), las ciudades de Puebla, Tehuacán y Acatlán reportaron las máximas intensidades de todo el estado de Puebla, tal como se muestra en la figura 3.2.3.2.

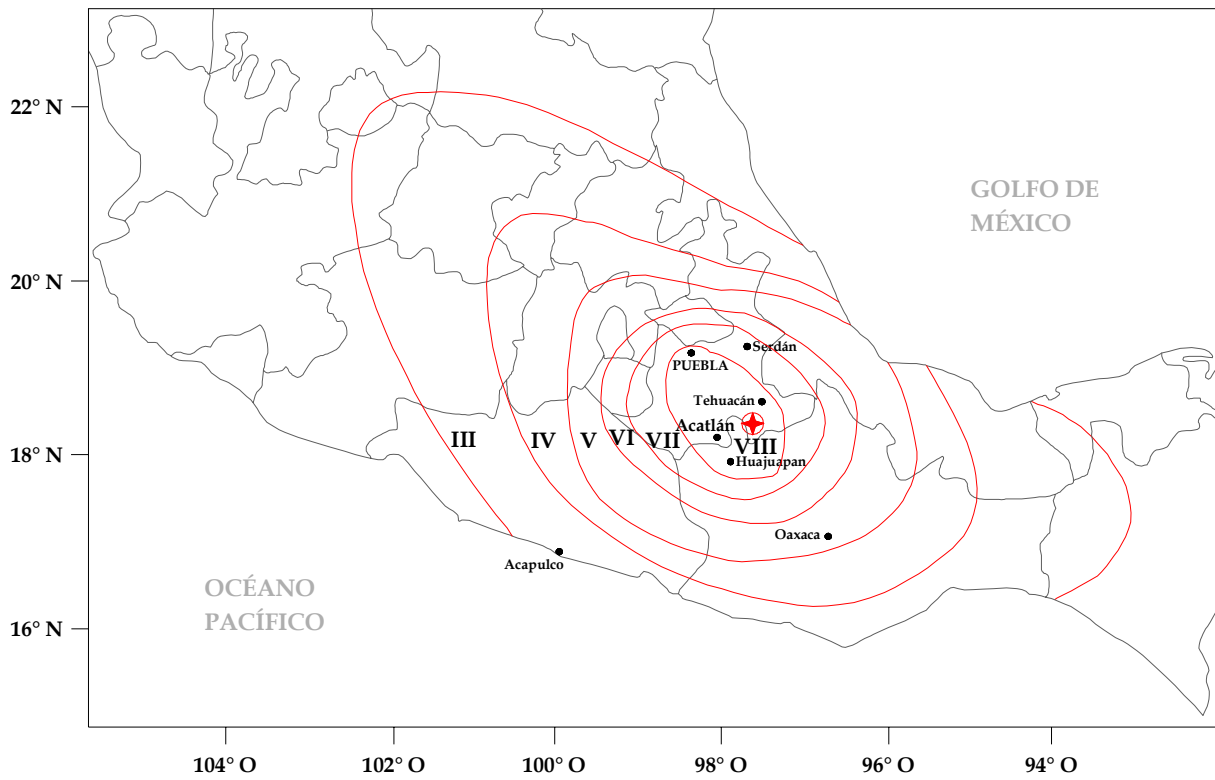


Figura 3.2.3.1. Isosistas del sismo del 15 de junio de 1999 (Gutiérrez, 1999).

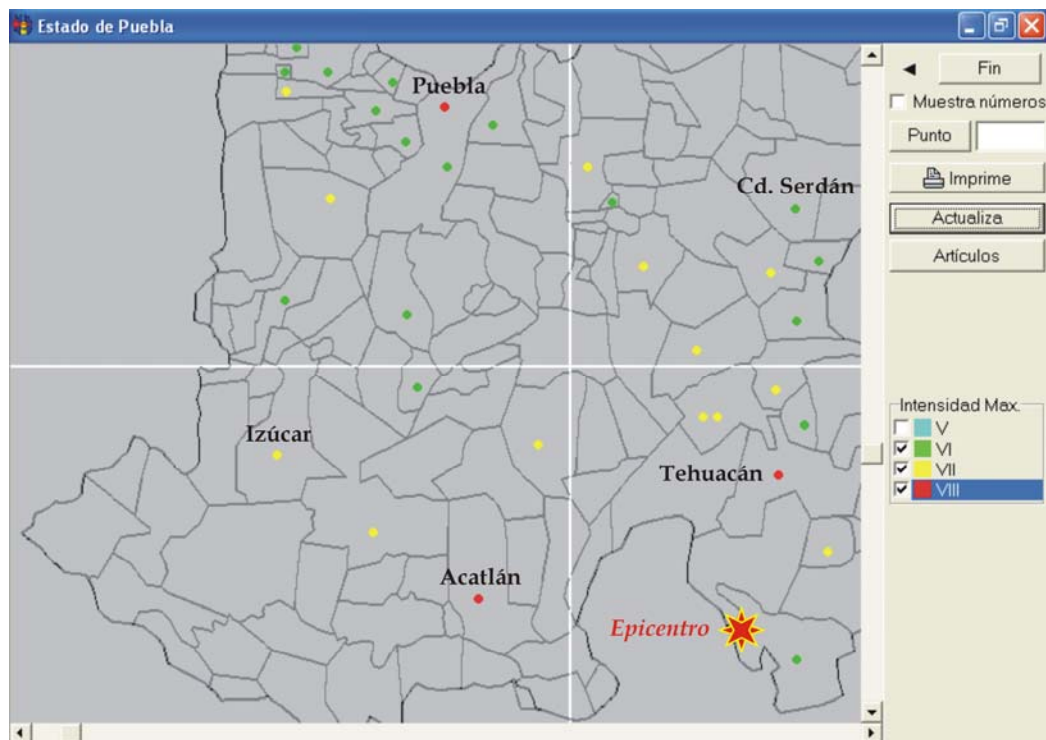


Figura 3.2.3.2. Sistema digital de daños del sismo del 15 de junio de 1999 (Corona y Perea, 2000).

La ciudad de Acatlán es quizá la población donde se presentó la mayor proporción de daños. En el centro del poblado se concentraron los daños más graves, incluso algunas casas se derrumbaron (Gutiérrez, 1999). Sin embargo, en el lado oeste de la ciudad las construcciones no presentaron daños, incluyendo las casas de adobe (Juárez-García *et al.*, 1999). Cabe recordar que durante el sismo de Huajuapán de León, del 24 de octubre de 1980 (Mw 7.0), también se observó esta concentración de daños al centro de la ciudad (Muriá *et al.*, 1980). Diferentes autores suponen que este fenómeno se debe a un efecto de sitio (Gutiérrez, 1999; Iglesias-Jiménez *et al.*, 1999; Juárez-García *et al.*, 1999; Muriá *et al.*, 1980; Prince *et al.*, 1980), del cual se piensa que produjo amplificaciones del movimiento del terreno durante estos eventos.

Aunque no se cuenta con un informe detallado, se dispone al menos de una distribución espacial de los daños (Dirección de Obras Públicas del Municipio de Acatlán, 1999), la cual se muestra en la figura 3.2.3.3. Se sabe que las viviendas marcadas en esta figura presentaron grandes agrietamientos y aberturas en los muros, así como desplome parcial o tal del techo; por esta razón, y para evitar accidentes mayores, el Ejército mexicano derrumbó estas construcciones.

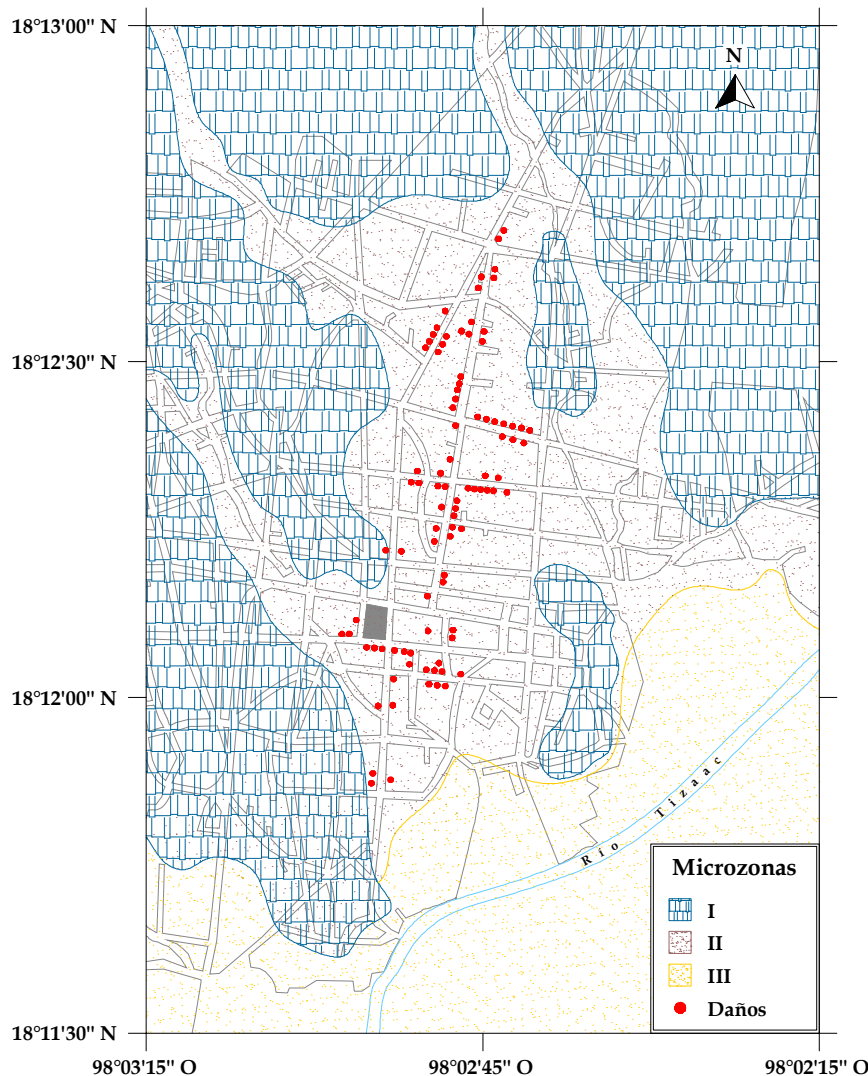
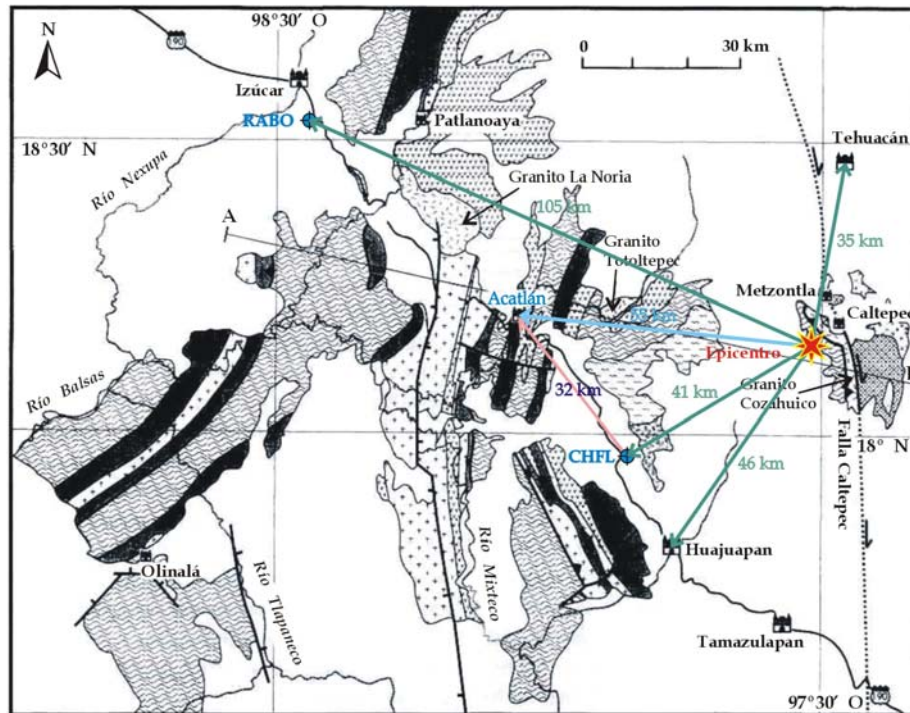


Figura 3.2.3.3. Distribución de daños del sismo del 15 de junio de 1999 en Acatlán.

Por otro lado, diferentes estaciones acelerográficas registraron el movimiento del terreno (Singh *et al.*, 1999). Las más cercanas al epicentro fueron las estaciones CHFL (distancia focal = 73 km) y RABO (distancia focal = 121 km), ambas instaladas en roca por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. De estas, la primera es la más cercana al poblado de Acatlán, el cual se situó a 55 km del epicentro (distancia focal = 81 km), como se ilustra en la figura 3.2.3.4.



**Figura 3.2.3.4.** Distancias epicentrales a diferentes sitios, sismo del 15 de junio de 1999.

En la figura 3.2.3.5 se muestran las componentes horizontales registradas en la estación CHFL. La aceleración máxima en dirección norte-sur fue de  $110 \text{ cm/s}^2$  ( $0.11g$ ), y en la este-oeste de  $104 \text{ cm/s}^2$  ( $0.10g$ ). La figura 3.2.3.6 presenta los espectros de amplitudes de Fourier de las señales; se puede observar que las máximas amplitudes ocurrieron en un intervalo de frecuencias de 0.3 a 11 Hz en dirección norte-sur, y de 0.5 a 13 Hz en dirección este-oeste. La figura 3.2.3.7 muestra los espectros de respuesta de pseudoaceleración, calculados con el método de las ocho constantes (Chopra, 1995), para diferentes niveles de amortiguamiento; se puede observar que, para el 5% del amortiguamiento crítico, las máximas ordenadas correspondieron a un intervalo de periodos estructurales de 0.1 a 0.6 segundos en dirección norte-sur, y de 0.08 a 0.22 segundos en dirección este-oeste.

Resulta interesante comparar el movimiento del terreno registrado en CHFL debido a diferentes eventos. Desde que inició su funcionamiento en abril de 1999, dicha estación registró los siguientes sismos importantes: 15 de junio de 1999 ( $M_w=7.0$ ,  $H\sim 60\text{km}$ , intraplaca), 30 de septiembre de 1999 ( $M_w=7.5$ ,  $H\sim 45\text{km}$ , intraplaca, latitud  $15.95^\circ\text{N}$ , longitud  $97.03^\circ\text{O}$ ) y 8 de octubre de 2001 ( $M_w=6.1$ ,  $H\sim 10\text{km}$ , interplaca, latitud  $16.93^\circ\text{N}$ , longitud  $100.16^\circ\text{O}$ ). Las figuras 3.2.3.5 a 3.2.3.13 muestran las señales, los espectros de Fourier y los espectros de respuesta para estos temblores.

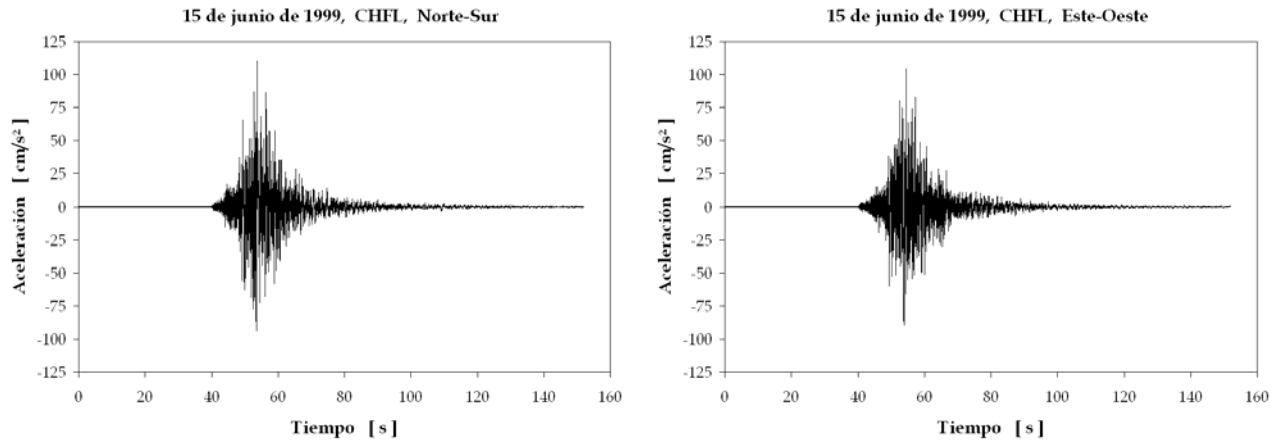


Figura 3.2.3.5. Acelerogramas registrados en CHFL durante el sismo del 15 de junio de 1999.

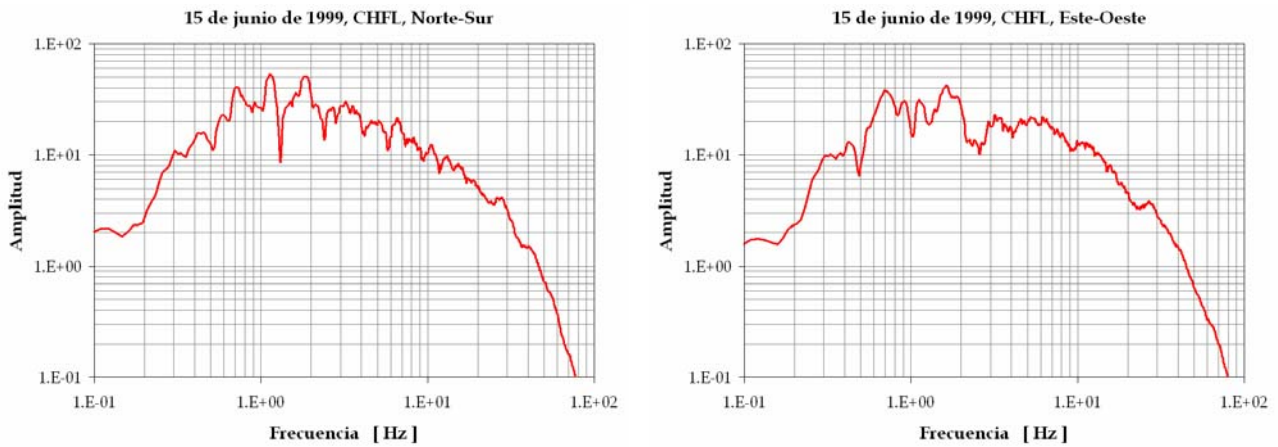


Figura 3.2.3.6. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación CHFL, sismo del 15 de junio de 1999.

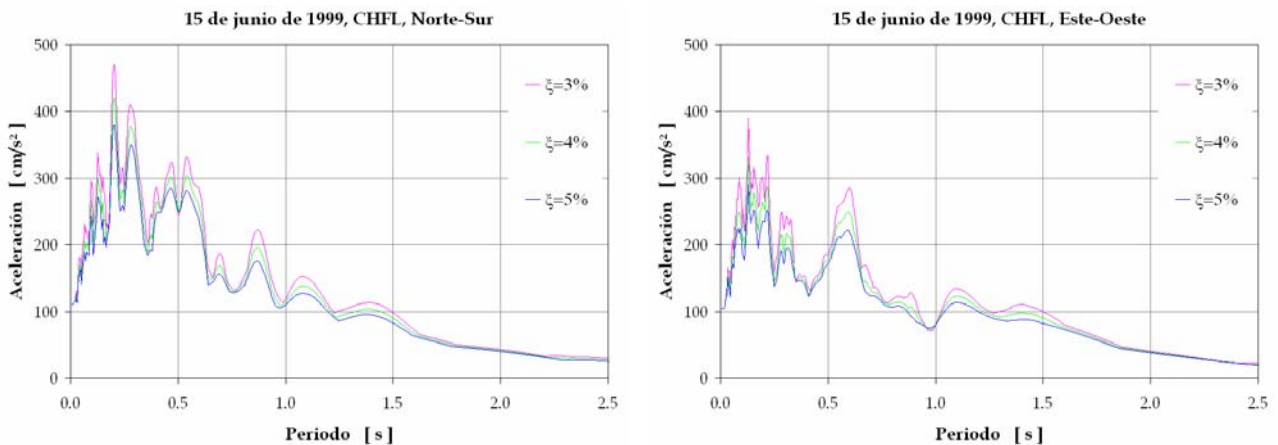


Figura 3.2.3.7. Espectros de respuesta de pseudoaceleración en el sitio de la estación CHFL, sismo del 15 de junio de 1999.

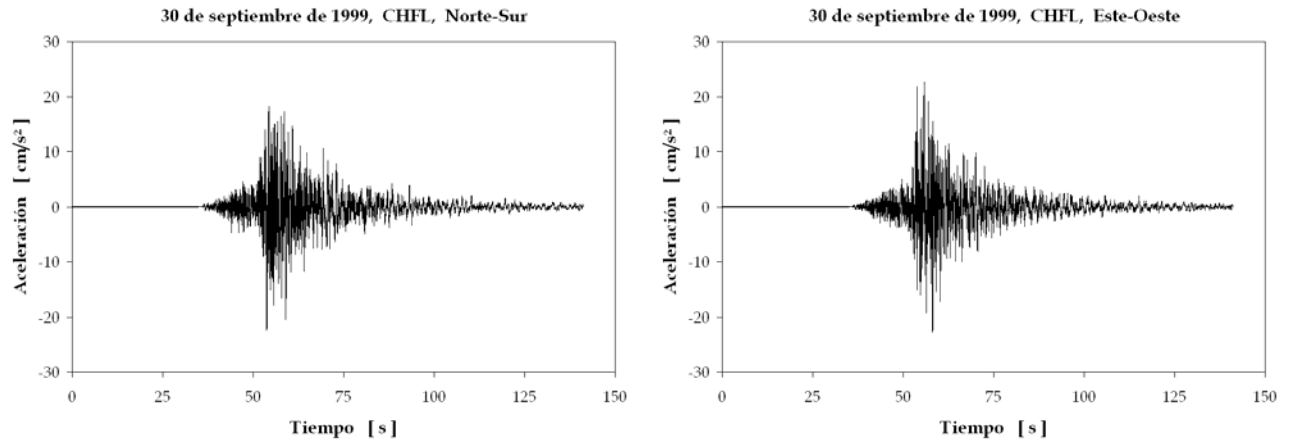


Figura 3.2.3.8. Acelerogramas registrados en CHFL durante el sismo del 30 de septiembre de 1999.

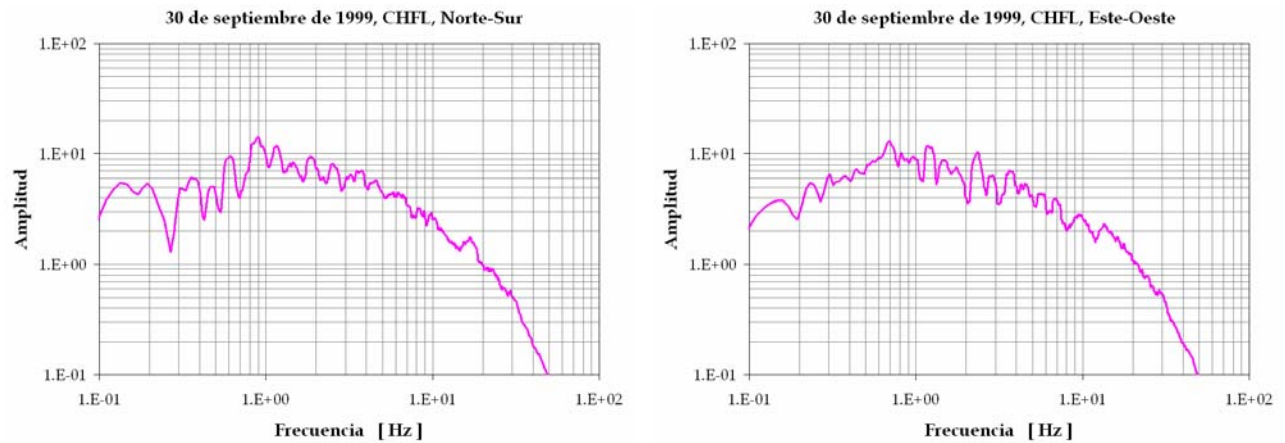


Figura 3.2.3.9. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación CHFL, sismo del 30 de septiembre de 1999.

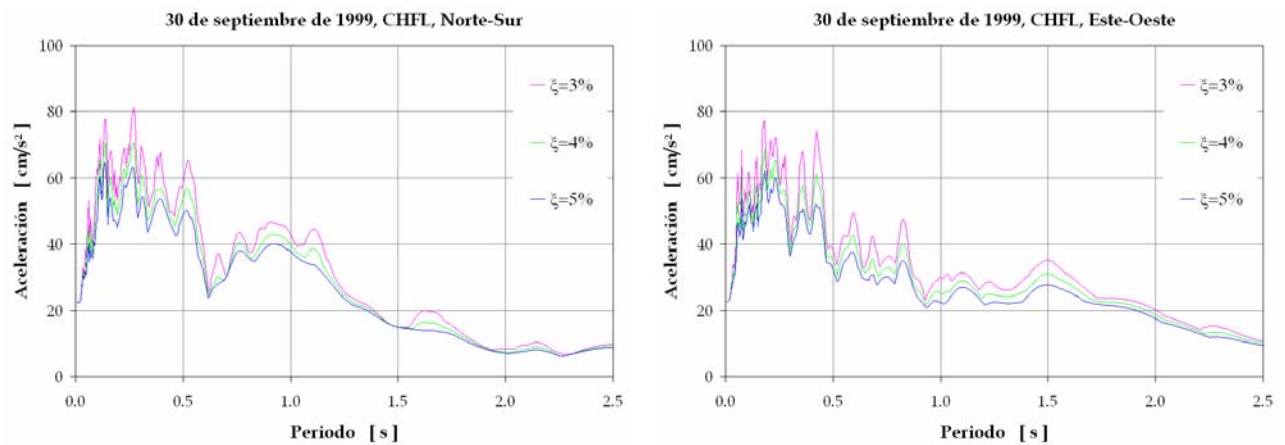


Figura 3.2.3.10. Espectros de respuesta de pseudoaceleración en el sitio de la estación CHFL, sismo del 30 de septiembre de 1999.



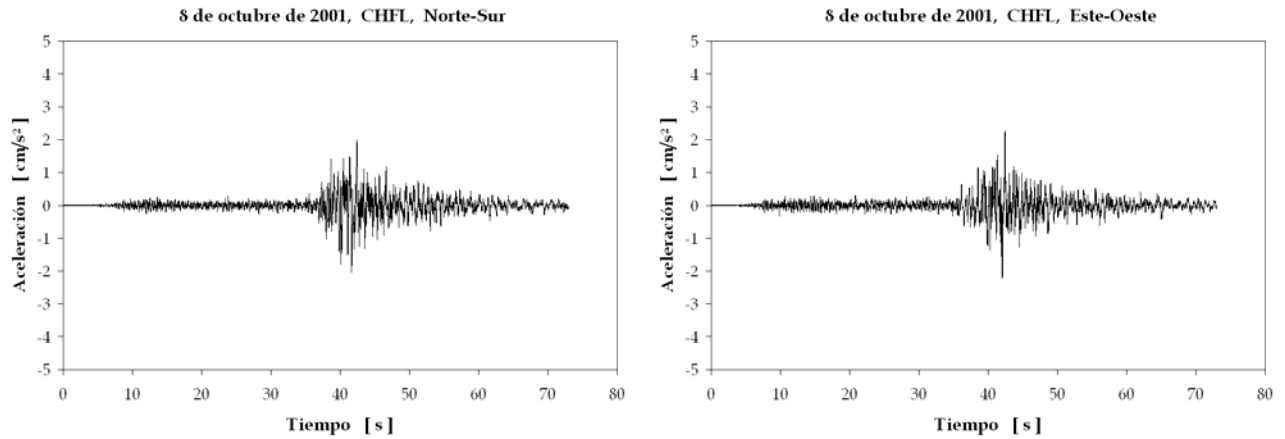


Figura 3.2.3.11. Acelerogramas registrados en la estación CHFL, sismo del 8 de octubre de 2001.

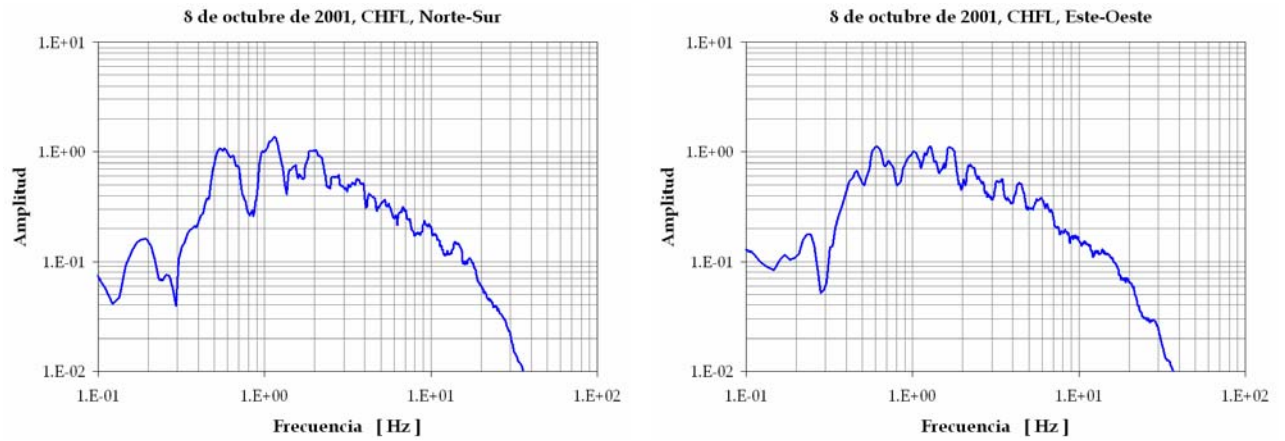


Figura 3.2.3.12. Espectros de Fourier de las señales registradas en la estación CHFL, sismo del 8 de octubre de 2001.

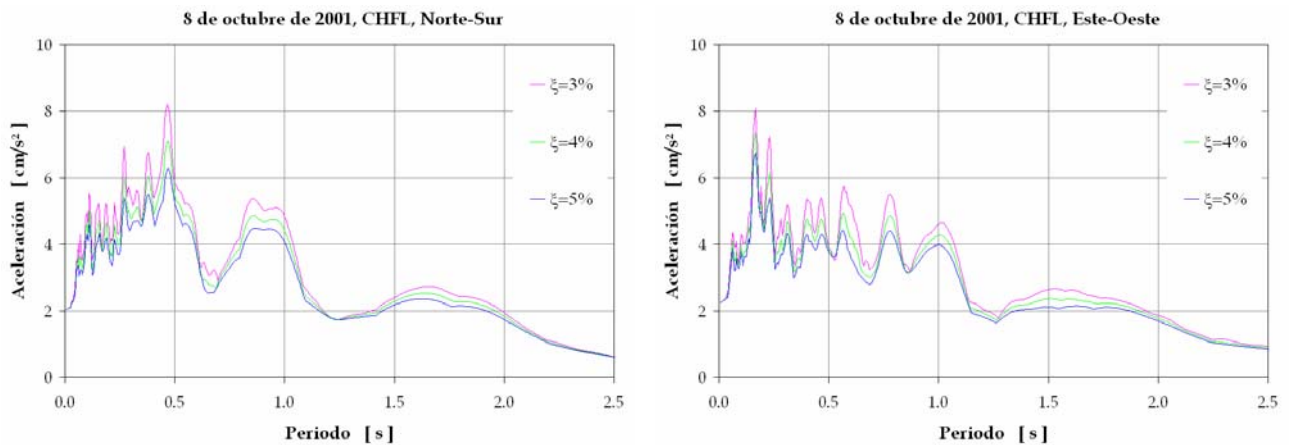
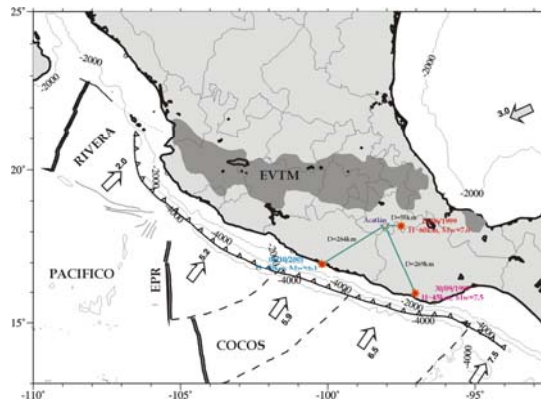


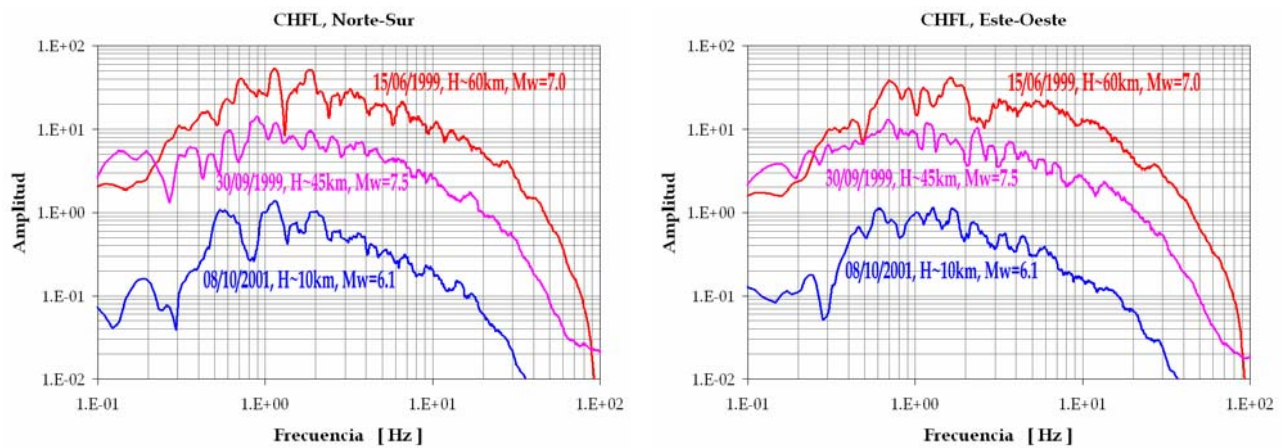
Figura 3.2.3.13. Espectros de respuesta de pseudoaceleración en el sitio de la estación CHFL, sismo del 8 de octubre de 2001.



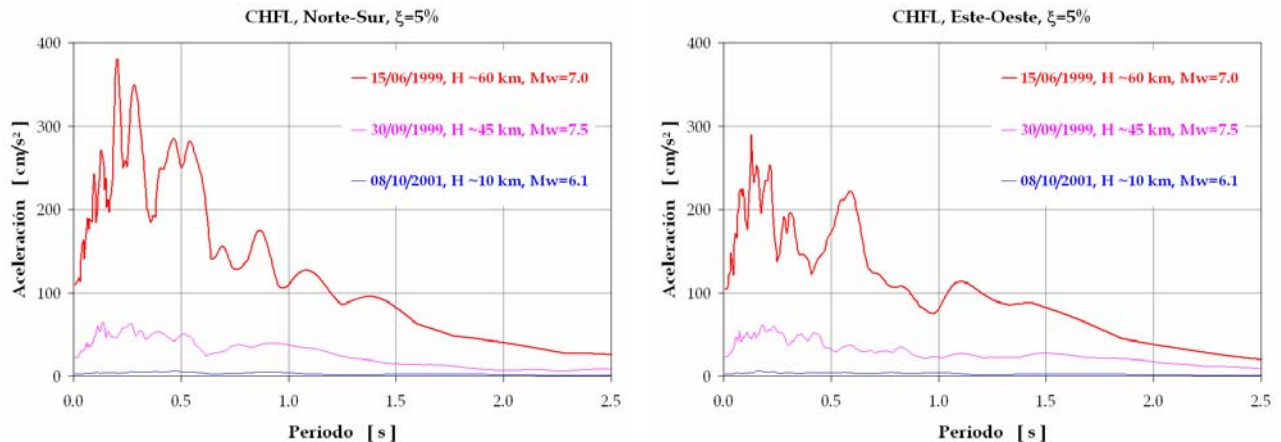
La figura 3.2.3.14 muestra la ubicación de los epicentros, y en las figuras 3.2.3.15 y 3.3.2.3.16 se comparan los espectros de Fourier y los espectros de respuesta de pseudoaceleración respectivos.



**Figura 3.2.3.14.** Epicentros de dos sismos intraplaca (15/06/1999, 30/09/1999) y uno interplaca (08/10/2001) registrados en la estación CHFL.



**Figura 3.2.3.15.** Espectros de Fourier correspondientes a dos sismos intraplaca (15/06/1999, 30/09/1999) y uno interplaca (08/10/2001) registrados en la estación CHFL.



**Figura 3.2.3.16.** Espectros respuesta de pseudoaceleración correspondientes a dos sismos intraplaca (15/06/1999, 30/09/1999) y uno interplaca (08/10/2001) registrados en la estación CHFL.

Ahora bien, en la tabla 3.2.3.2 se estima la aceleración máxima en roca en la ciudad de Acatlán para el sismo del 15 de junio de 1999, el del 30 de septiembre de 1999 y uno supuesto de interplaca con magnitud 7.5, a partir de las leyes de atenuación calculadas por Singh *et al.*, (1999), Singh *et al.*, (2000) y Ordaz *et al.*, (1989), respectivamente. La figura 3.2.3.17 muestra las distancias epicentrales, y la figura 3.2.3.18 las curvas de regresión correspondientes.

De esta comparación se observa que los sismos intraplaca son los que producen mayor nivel de intensidad en la ciudad de Acatlán. A medida que la fuente se halla más próxima a la localidad, la aceleración máxima del terreno resulta mayor. La aceleración pico en roca para el sismo del 15 de junio de 1999 ( $M_w=7.0$ ,  $H\sim 60\text{km}$ ) es del orden de 5 veces de la que corresponde al sismo del 30 de septiembre de 1999 ( $M_w=7.5$ ,  $H\sim 45\text{km}$ ).

Tabla 3.2.3.2. Aceleración máxima en roca en la ciudad de Acatlán para diferentes macrosismos.

| Evento                  | 15/06/1999, $M=7.0$   | 30/09/1999, $M=7.5$   | Subducción, $M=7.5$   |
|-------------------------|---|---|---|
| Ley de atenuación       | $\log Am_{\text{máx}} = 4.51 - 1.18 \log R - 0.0023R$<br>(Singh <i>et al.</i> , 1999) | $\log Am_{\text{máx}} = 4.45 - 1.08 \log R - 0.0017R$<br>(Singh <i>et al.</i> , 2000) | $\log Am_{\text{máx}} = 1.76 + 0.3M - \log R - 0.0031R$<br>(Ordaz <i>et al.</i> , 1989) |
| H (km)                  | $\sim 60$   | $\sim 45$   | $< 10$  |
| D (km)                  | 55  | 269   | 245   |
| R (km)                  | 81.4  | 272.7   | 245.2   |
| $Am_{\text{máx}}$ (gal) | 117   | 23  | 7   |

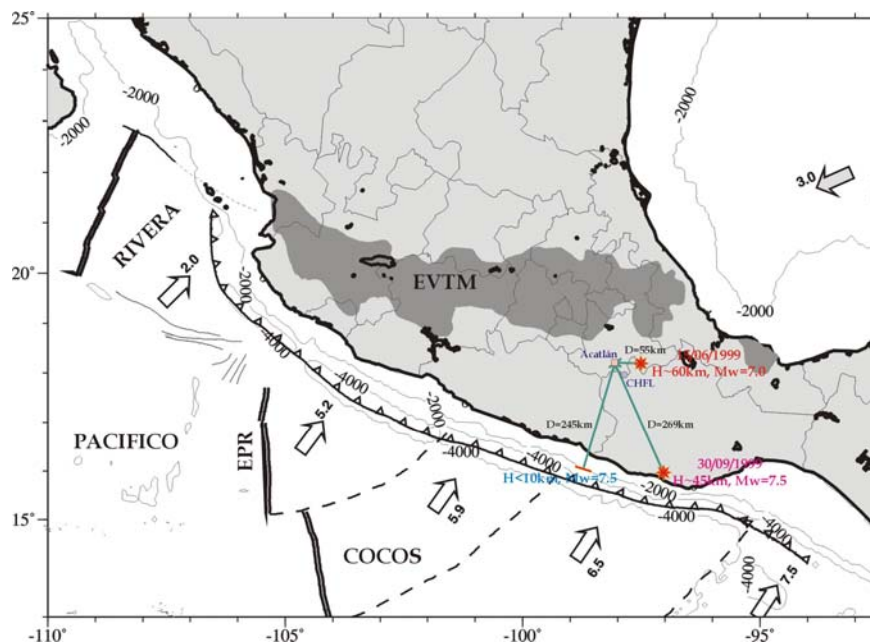
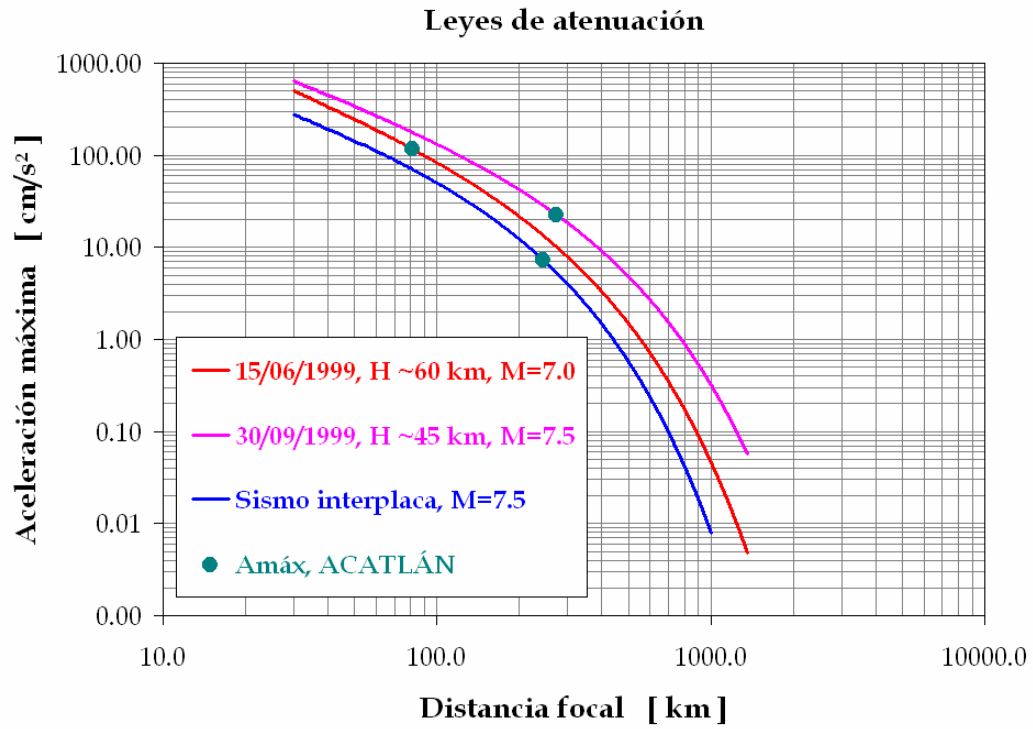


Figura 3.2.3.17. Distancias epicentrales a la ciudad de Acatlán para dos sismos intraplaca (15/06/1999, 30/09/1999) y uno interplaca supuesto con magnitud 7.5.



**Figura 3.2.3.18.** Leyes de atenuación para dos sismos intraplaca (15/06/1999, 30/09/1999) y uno interplaca supuesto con magnitud 7.5 (Singh *et al.*, 2000).

## Capítulo 4 EFECTO DE SITIO

### 4.1 Introducción

En este capítulo, se presenta el estudio realizado para estimar el efecto de sitio en la ciudad de Acatlán. Por un lado, se tuvo el interés de conocer la variación de los periodos fundamentales de vibración y las amplificaciones relativas en las microzonas definidas anteriormente; por otro, se investigó la estructura del subsuelo con el fin de obtener información sobre sus propiedades dinámicas. Los trabajos efectuados fueron básicamente experimentales: vibración ambiental (microtremores) y refracción sísmica. Los procesos de obtención de registros, procesamiento de datos, análisis de la información y obtención de resultados se describen para cada caso.

Con los resultados obtenidos, las aportaciones realizadas en la evaluación del efecto de sitio en la ciudad de Acatlán consisten en un mapa de curvas de isoperiodo del suelo, las funciones de transferencia lineales (empíricas y teóricas) del movimiento en superficie, y las aceleraciones máximas del terreno en el escenario del temblor de Tehuacán del 15 de junio de 1999 ( $M_w=7.0$ ,  $m_b=6.3$ ).

### 4.2 Obtención de registros

#### 4.2.1 *Microtremores*

La superficie terrestre vibra constantemente con movimientos muy pequeños, del orden de micrómetros, conocidos como vibraciones ambientales o microtremores. Estas vibraciones se pueden clasificar, de acuerdo con el tipo fuente que las produce, en naturales (viento, oleaje, vulcanismo, etc.) y artificiales (tránsito vehicular, actividad industrial, tránsito peatonal, etc.).

El uso de microtremores para evaluar el efecto de sitio fue iniciado en Japón en la década de los 50 (Kanai y Tanaka, 1954). No obstante los cuestionamientos que se han hecho sobre su utilidad (Udwadia y Trifunac, 1973; Finn, 1991; Gutiérrez y Singh, 1992; Lachet y Bard, 1994), la obtención de registros de microtremores presenta un gran atractivo para caracterizar la respuesta dinámica de un sitio, tanto por su sencillez de operación y bajo costo como por la rapidez con que permite obtener resultados.

En el presente trabajo se obtuvieron registros de vibración ambiental en 57 sitios. La mayoría de los puntos de medición fueron ubicados en la microzona II, la cual corresponde a la de mayor concentración de daños durante sismos como el de Huajuapán del 24 de octubre de 1980 o el de Tehuacán del 15 de junio de 1999; otros puntos fueron situados en las microzonas I y III. La figura 4.2.1.1 muestra la distribución espacial correspondiente.

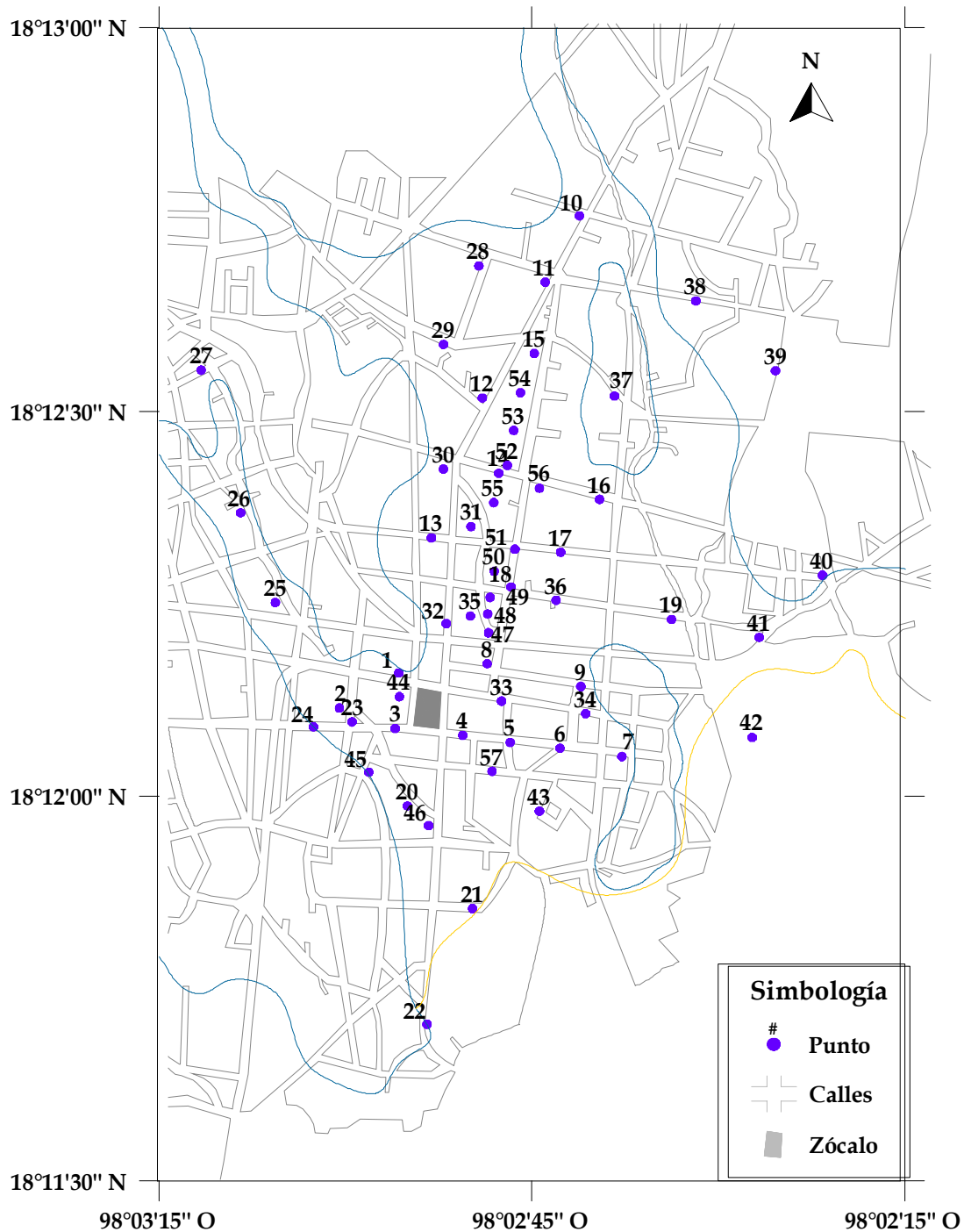


Figura 4.2.1.1. Ubicación de los puntos de registro de vibración ambiental.

El sistema de adquisición de datos consistió en seis sensores: tres sismómetros marca Kinemetrics con periodo natural de 5 segundos, y tres acelerómetros marca Kinemetrics modelo FBA23; estos sensores fueron conectados a un registrador digital marca Kinemetrics modelo Altus, como se ilustra en la figura 4.2.1.2. Las componentes del movimiento (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical) fueron asignadas tal como se indica en la tabla 4.2.1.1.

Tabla 4.2.1.1. Asignación de las componentes del movimiento.

| Tipo de sensor | Canal | Componente   |
|----------------|-------|--------------|
| Acelerómetro   | 1     | Norte - Sur  |
|                | 2     | Vertical     |
|                | 3     | Este - Oeste |
| Sismómetro     | 4     | Norte - Sur  |
|                | 5     | Vertical     |
|                | 6     | Este - Oeste |



**Figura 4.2.1.2.** Sistema de adquisición de datos para el registro de microtremores.

En cada punto de medición se realizaron dos muestreos, cada uno con intervalo de 0.01 segundos y duración aproximada de 90 segundos. Por cada muestreo se obtuvo un registro en cada uno de los seis canales, de manera que por cada componente se obtuvieron dos registros simultáneos: uno de aceleración y otro de velocidad. Los datos se grababan en formato binario, y posteriormente se transferían a una computadora portátil.

Finalmente, los datos así adquiridos fueron copiados a una computadora personal para su análisis, el cual se describirá más adelante.

### 4.2.2 Refracción sísmica

La idea básica de la exploración sísmológica consiste en generar artificialmente ondas sísmicas y medir el tiempo requerido para que éstas viajen desde la fuente hasta una serie de sensores (sismómetros y/o acelerómetros), distribuidos usualmente a lo largo de una línea recta cuyo punto inicial es la propia fuente. El objetivo es el de obtener información acerca de la estratigrafía del subsuelo; si se conocen los tiempos de llegada (tiempos de arribo) hasta los diferentes sensores y las distancias entre ellos, es posible calcular la velocidad de propagación de las ondas y el espesor de los estratos.

Las trayectorias que siguen las ondas corresponden a dos clases principales: 1) precursoras o refractadas, en las cuales la parte principal de la trayectoria es horizontal y se encuentra a lo largo de la interfase de dos estratos; y 2) reflejadas, en las cuales la onda se propaga inicialmente hacia abajo y en algún punto se refleja regresando a la superficie, de tal forma que la trayectoria total es prácticamente vertical. En este caso, sólo nos referiremos a las trayectorias de refracción.

El ensaye más común de refracción en campo es el tiro de perfiles, el cual consiste en hacer un tendido de varios sensores en una línea recta y aplicar varios golpes o explosiones en cada extremo. La distancia cubierta por el tendido debe ser lo suficientemente grande para que la mayor parte de la trayectoria de propagación actúe como una onda precursora en el refractor o refractores que se estén detectando (Sheriff y Geldart, 1991).

En el presente trabajo, se utilizó el método del tiro de perfiles en un sitio localizado al Este de la ciudad, como se muestra en la figura 4.2.2.1. Este lugar fue elegido por tratarse de un terreno amplio y despejado, evitando así limitaciones de espacio para la realización del ensaye.

En el sistema de adquisición de datos se utilizaron los siguientes tipos de sensores: acelerómetros marca Kinematics modelo FBA23, acelerómetros marca Episensor y sismómetros marca Guralp con periodo natural de 30.8 segundos. Los dos primeros fueron conectados a un registrador digital marca Kinematics modelo Altus, y los últimos a un registrador digital marca Reftek. Con estos instrumentos se hizo un tendido lineal, orientando los canales de registro en dirección longitudinal (L), transversal (T) y vertical (V) al mismo. La figura 4.2.2.2 muestra los instrumentos utilizados, así como una vista en planta del arreglo de sensores.

Cada extremo del tendido se consideró como un punto de tiro, de manera que primero se realizó un tiro de ida y después uno de regreso. En cada punto de tiro se aplicaron series de golpes con martillo, cada una con duración aproximada de 65 segundos. Los impactos fueron producidos en dirección perpendicular al tendido por medio de una tabla previamente sujeta al suelo, con el propósito de generar ondas SH principalmente. En cada punto de observación se registraron las señales correspondientes a cada serie, con un intervalo de muestreo de 0.004 segundos. Al final del experimento, los datos adquiridos en formato binario se transfirieron a una computadora portátil para su análisis. La figura 4.2.2.3 muestra un esquema de los tiros de refracción y las series de golpes, y la figura 4.2.2.4 dos tomas durante el ensaye.



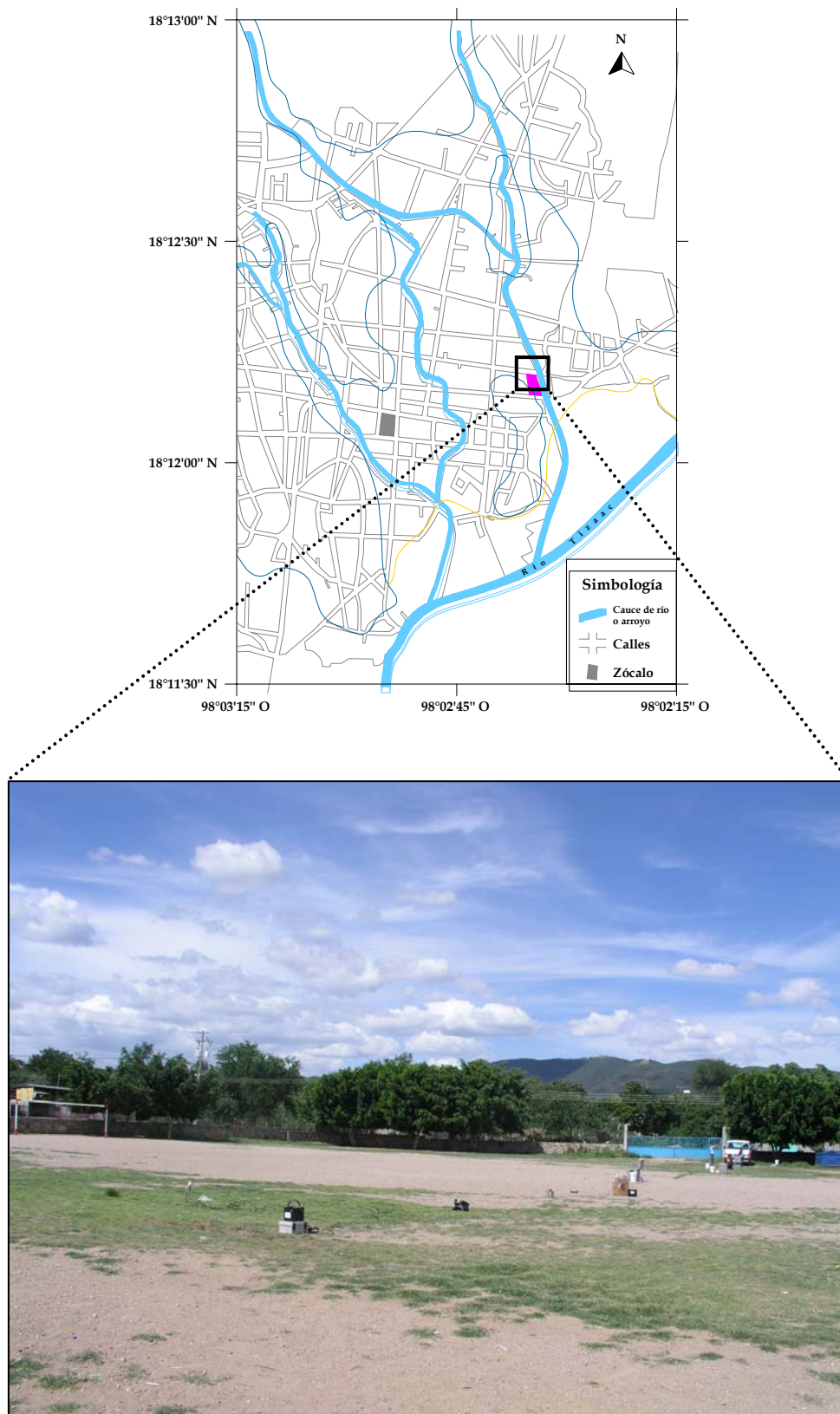


Figura 4.2.2.1. Vista y ubicación del predio donde se realizó el ensaye de refracción sísmica.

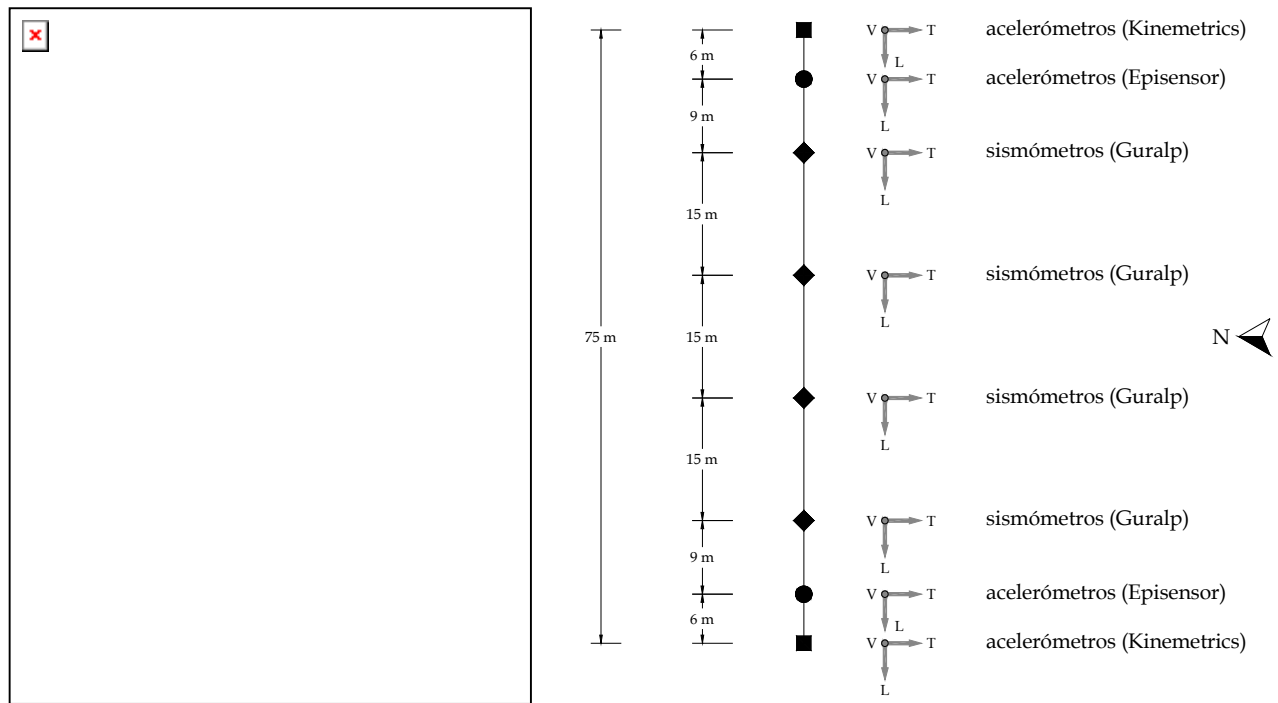


Figura 4.2.2.2. Sistema de adquisición de datos para el ensaye de refracción sísmica.

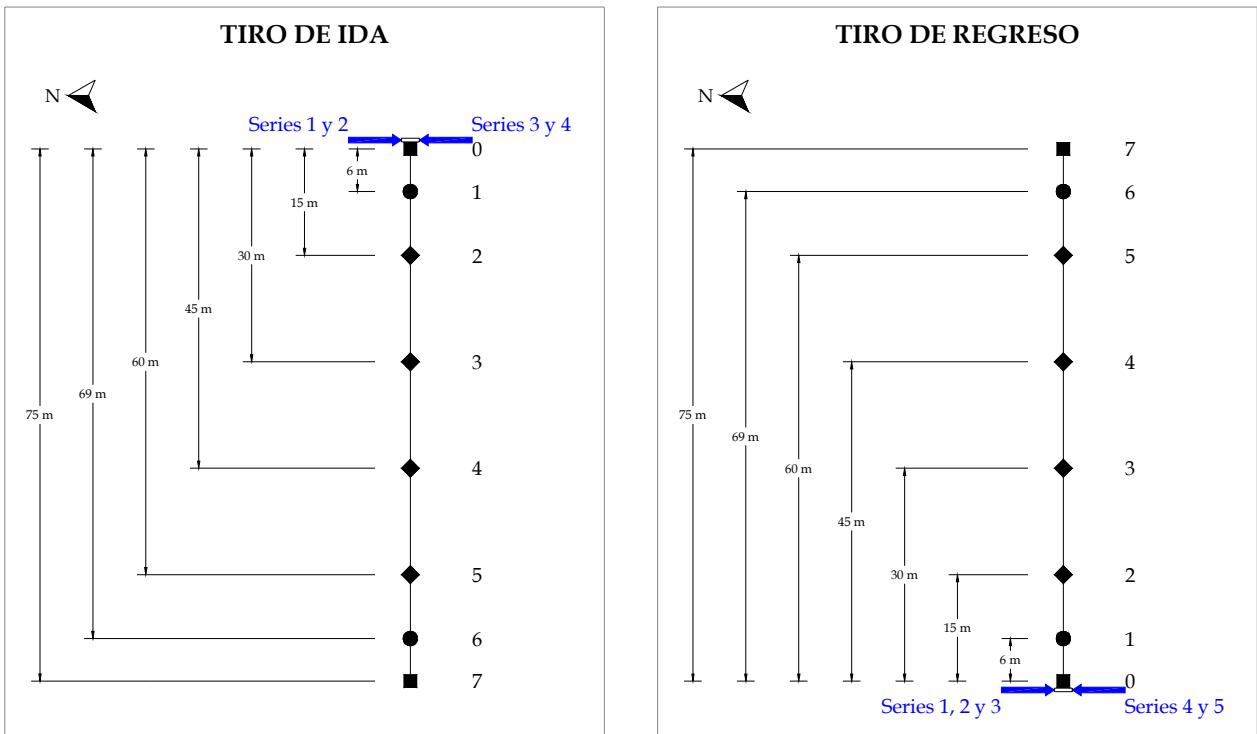


Figura 4.2.2.3. Esquema de los tiros de refracción y las series de golpes.



**Figura 4.2.2.4.** Izquierda, vista de la tabla sujeta al suelo, antes de dar los golpes. Derecha, toma durante la aplicación de los impactos en el tiro de ida; al fondo se observa el tendido lineal.

### 4.3 Procesamiento de los datos

#### 4.3.1 Razón espectral H/V

La razón espectral de las componentes horizontales entre la vertical para un mismo registro fue introducida por Nakamura (1989) en el contexto del análisis de microtemores. Se le conoce también como técnica de Nakamura, técnica H/V o simplemente REHV, y puede aplicarse incluso a registros de movimientos sísmicos fuertes o débiles (Lermo y Chávez-García, 1993). Para calcular este cociente no se requiere una estación adicional de referencia; a partir del registro obtenido en una misma estación, el numerador corresponde a las amplitudes del espectro de Fourier de la componente horizontal (generalmente, la Norte-Sur y la Este-Oeste) y el denominador corresponde a las amplitudes del espectro de Fourier de la componente vertical.

La técnica REHV aplicada a registros de microtemores ofrece una buena estimación de la frecuencia natural de vibración del terreno, pero subestima los valores de amplificación relativa esperados para un sismo (Lermo *et al.*, 1987; Lermo y Chávez-García, 1994; Bard *et al.*, 1997; Riquer *et al.*, 2003). Además, sólo permite obtener el periodo asociado al primer modo de vibrar de la estratigrafía del sitio, pero no define los periodos para modos superiores (Riquer *et al.*, 2003).

En el presente estudio, se aplicó la razón espectral H/V a los registros de microtemores obtenidos. Para cada punto de medición, el procesamiento de los datos consistió en lo siguiente:

- *Convertir los datos de formato binario a formato ASCII.*

Se utilizó el programa KW2ASC.EXE. Un archivo de entrada (\*.EVT) contiene los datos correspondientes a un evento registrado en los seis canales. Al ejecutar el programa, este los convierte y al final despliega seis archivos de salida en formato ASCII.

- *Visualizar las señales, calcular espectros de Fourier y funciones de transferencia.*

Se visualizaron las señales para identificar aquellos segmentos de los registros que no estuviesen contaminados por eventos transitorios de corta duración, los cuales afectan la

estacionariedad de las señales y son causados principalmente por vehículos y peatones en la proximidad de los instrumentos. Se seleccionó la misma ventana en cada terna de registros correspondientes al mismo muestreo, y se calcularon los espectros de Fourier respectivos. Se aplicó la técnica de Nakamura para calcular la función de transferencia empírica (FTE) en cada componente horizontal (Norte-Sur y Este-Oeste) para la ventana seleccionada. En las figuras 4.3.1.1 a 4.3.1.5 se ilustra este paso para los registros del punto 23.

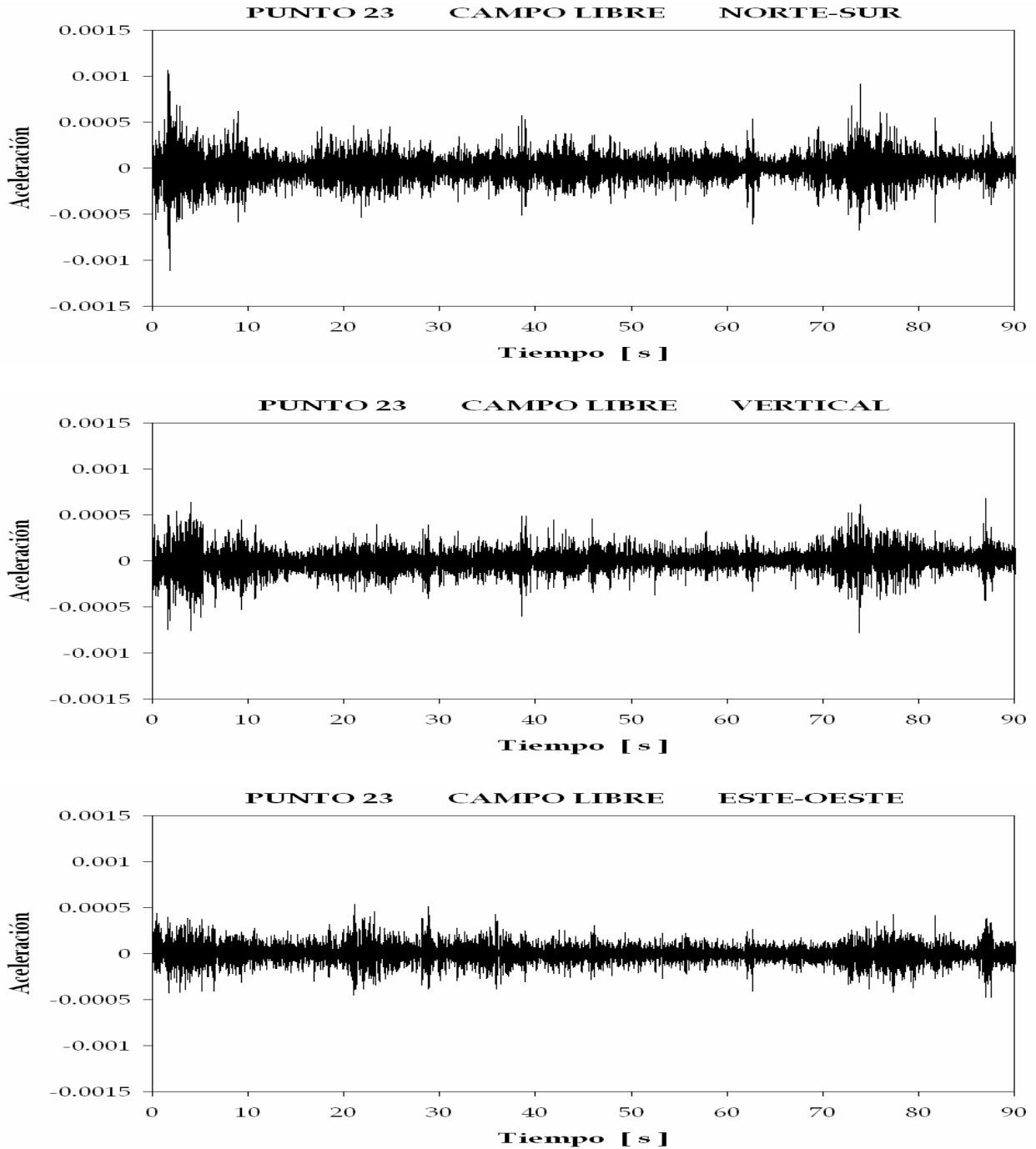


Figura 4.3.1.1. Visualización de los tres registros de aceleración del primer muestreo en el punto 23.

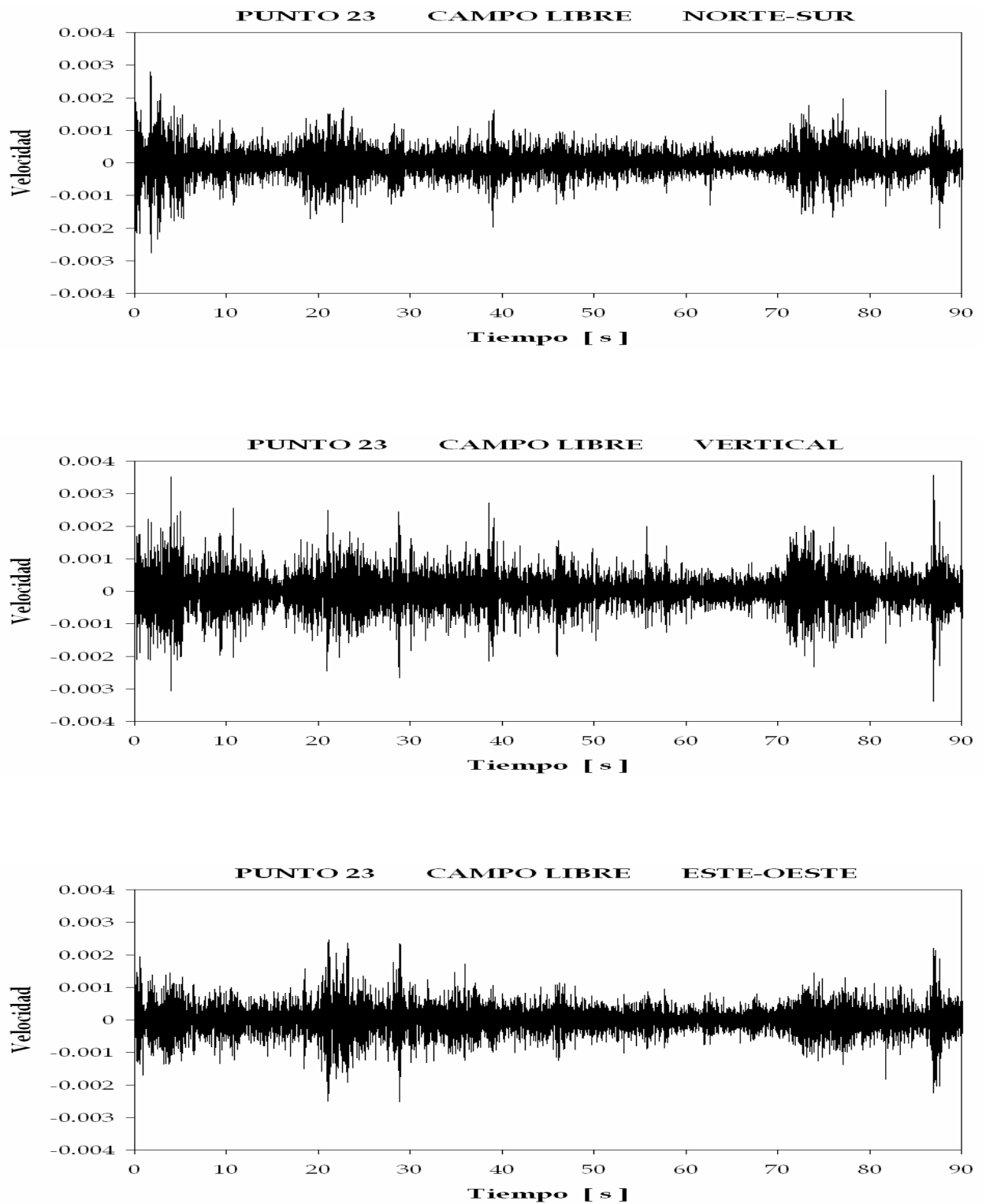


Figura 4.3.1.2. Visualización de los tres registros de velocidad del primer muestreo en el punto 23.

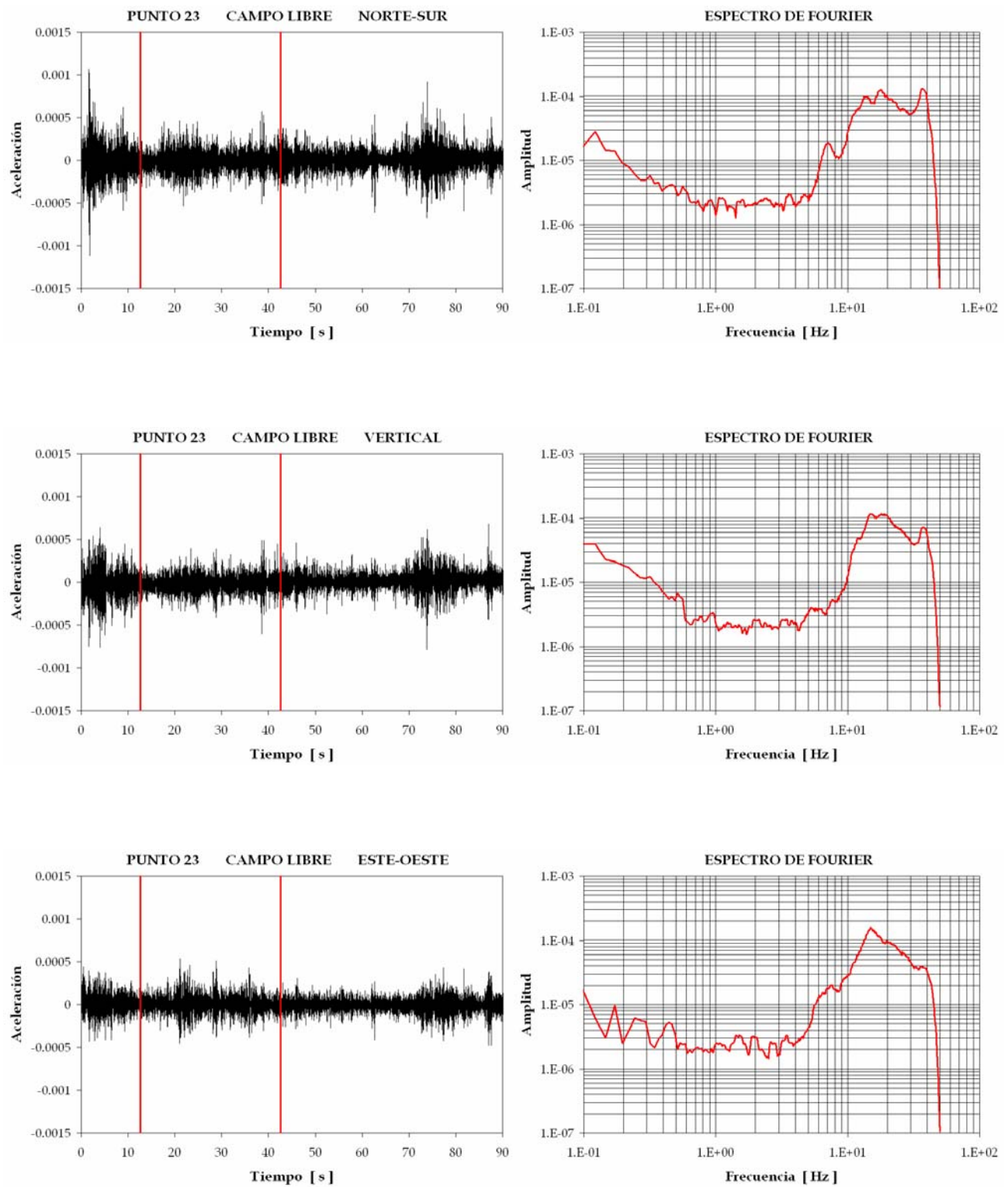


Figura 4.3.1.3. Espectros de Fourier (derecha) para una ventana seleccionada (izquierda) en los tres registros de aceleración del primer muestreo en el punto 23.



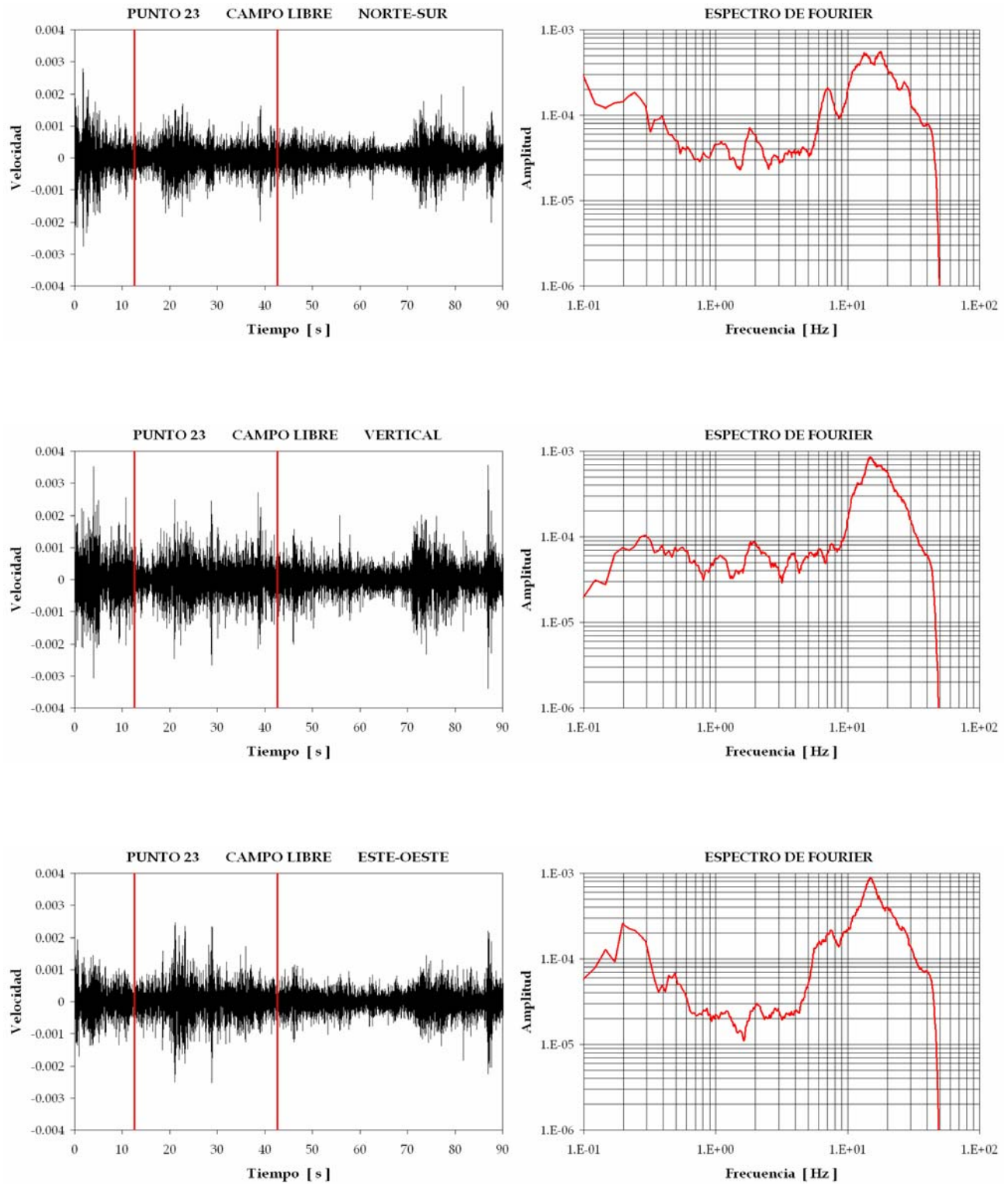
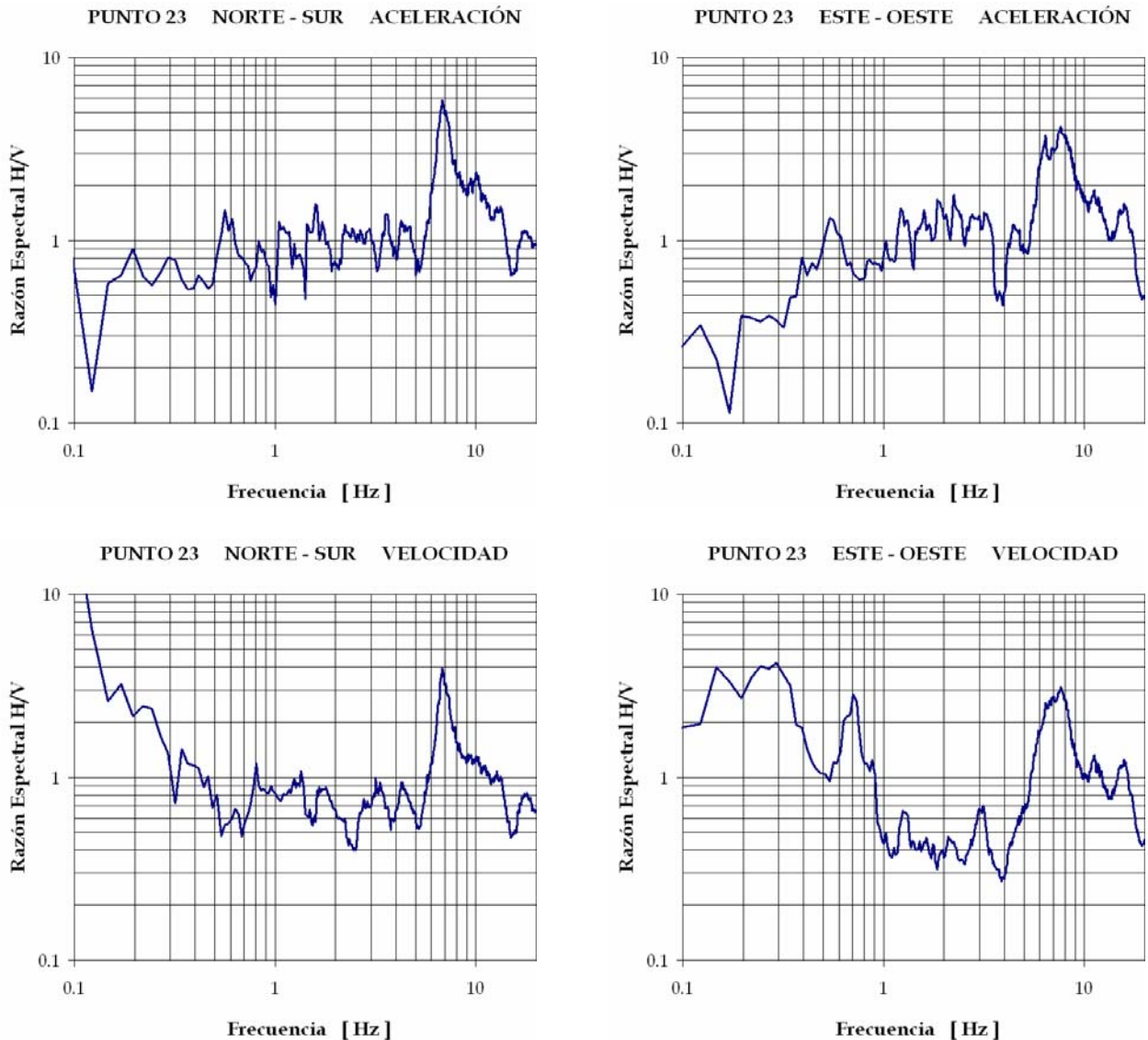


Figura 4.3.1.4. Espectros de Fourier (derecha) para una ventana seleccionada (izquierda) en los tres registros de velocidad del primer muestreo en el punto 23.



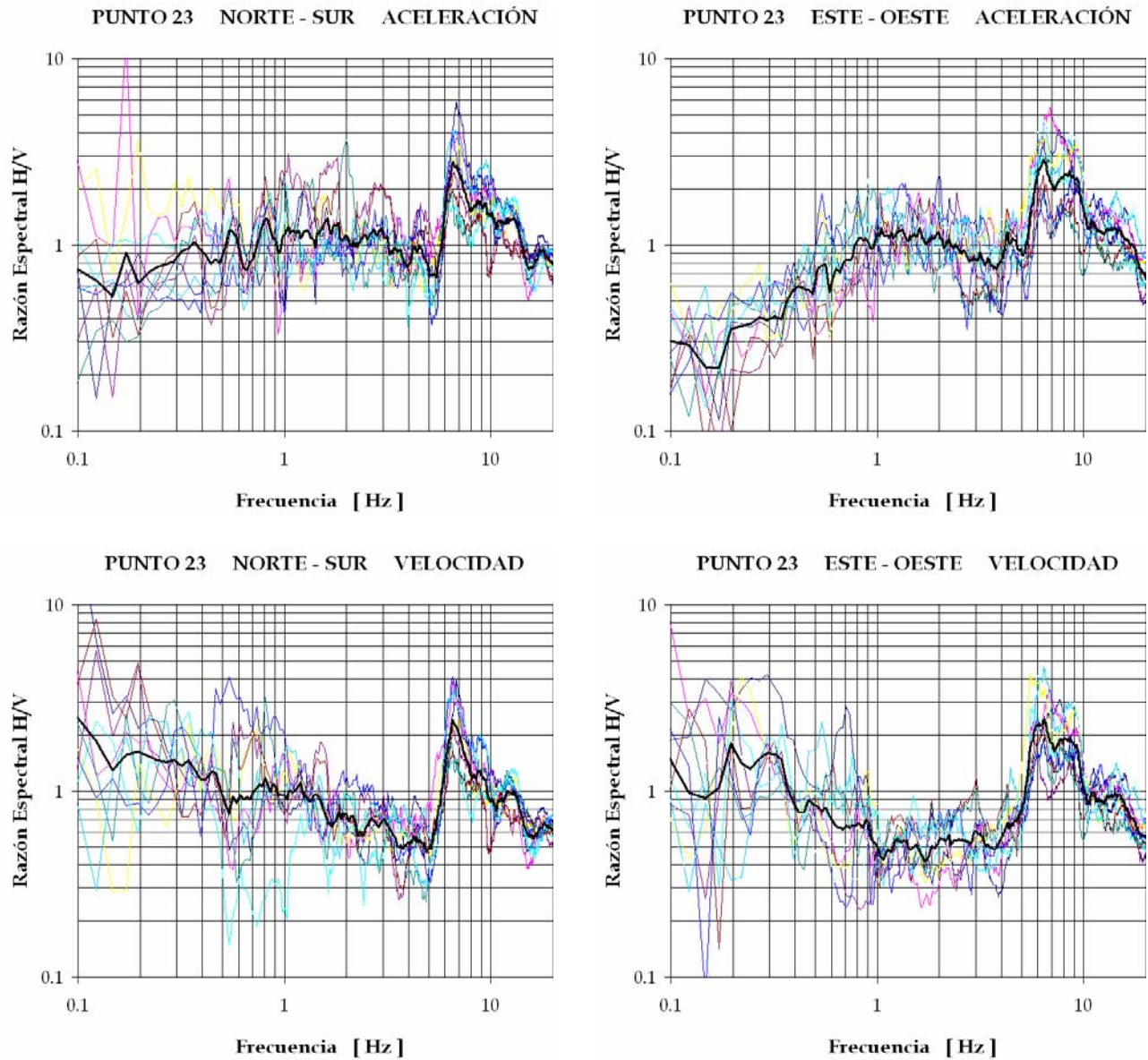


**Figura 4.3.1.5.** Funciones de transferencia empíricas en el punto 23 para la ventana seleccionada e indicada en las dos figuras anteriores.

Con la finalidad de obtener una mejor estimación de la frecuencia natural de vibración del terreno, se seleccionaron otras ventanas adicionales en cada terna de registros. Así, contamos con varias FTE para cada componente horizontal, tanto en aceleración como en velocidad.

- *Calcular promedios espectrales de las funciones de transferencia calculadas.*

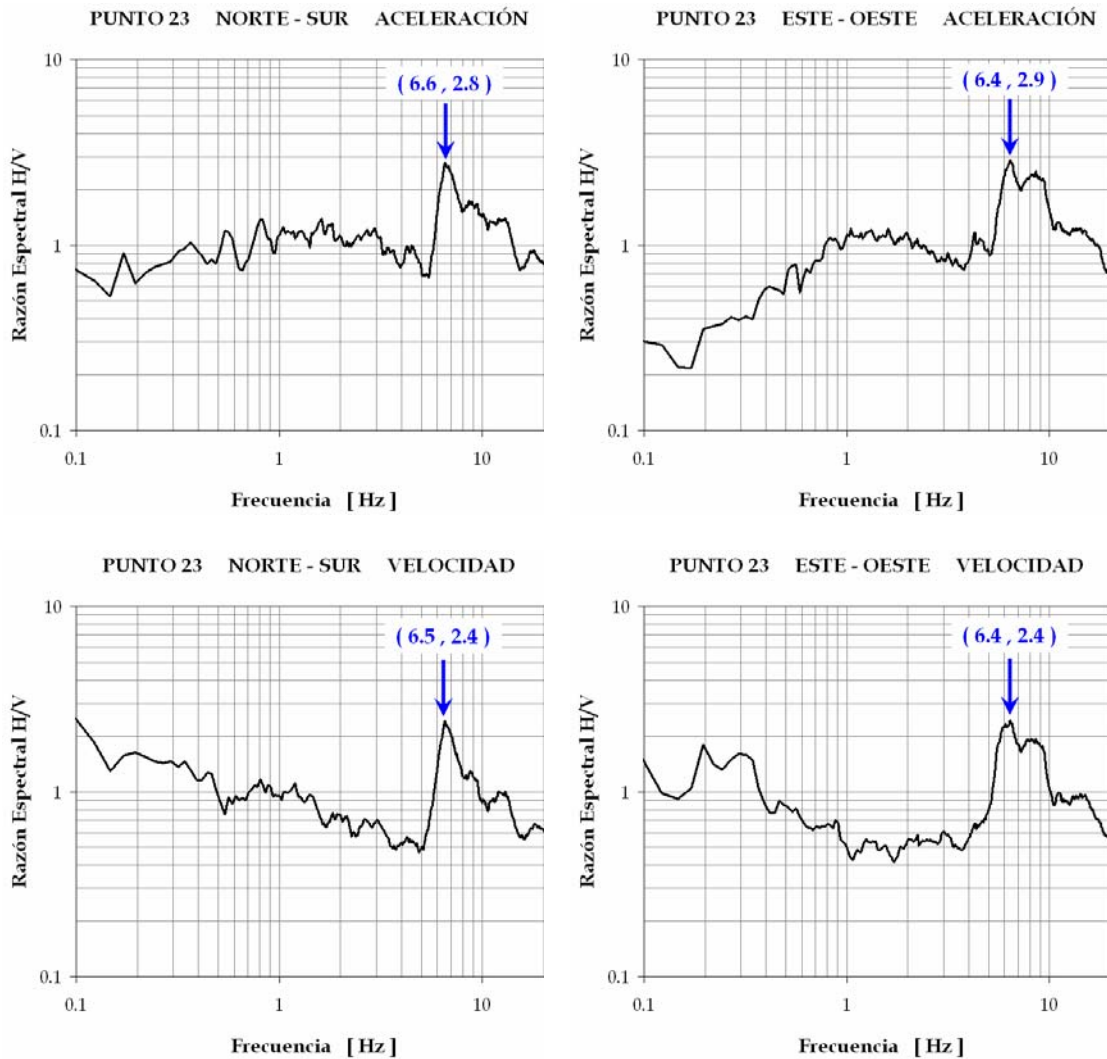
Después de obtener las FTE en cada componente, se calculó su respectivo promedio espectral. De esta forma, se obtuvieron los siguientes promedios espectrales: Norte-Sur de aceleración, Este-Oeste de aceleración, Norte-Sur de velocidad y Este-Oeste de velocidad. Por ejemplo, la figura 4.3.1.6 muestra los correspondientes al punto 23. En el Anexo 2 se presentan las FTE y sus promedios para los demás puntos de medición.



**Figura 4.3.1.6.** Funciones de transferencia empíricas en el punto 23. Las líneas gruesas son los promedios espectrales.

- *Determinar el periodo dominante y su correspondiente amplificación relativa.*

Para cada FTE promedio se identificó la frecuencia dominante y se obtuvo su amplificación relativa. Finalmente, se calculó el valor promedio del periodo dominante ( $T_0$ ) y de la amplificación relativa máxima ( $Ar_{m\acute{a}x}$ ) correspondiente. De acuerdo con la figura 4.3.1.7, en el punto 23 se tiene una frecuencia dominante promedio de 6.5 Hz ( $T_0=0.15$  segundos) y una amplificación relativa máxima de 2.6 veces. Los resultados para los demás puntos se muestran más adelante, en el inciso de resultados.



**Figura 4.3.1.7.** Valores de la frecuencia dominante y la amplificación relativa máxima en las FTE promedio del punto 23.

### 4.3.2 Tiempos de propagación de ondas

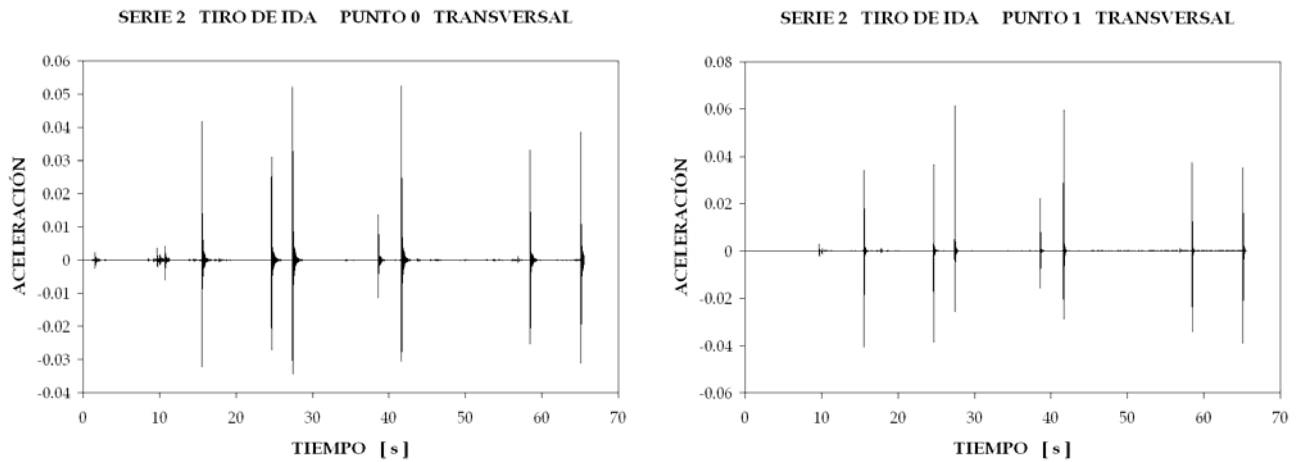
A partir de los registros obtenidos con el ensaye de refracción sísmica, se calcularon los tiempos requeridos por las ondas generadas artificialmente para viajar de la fuente a cada punto de observación. En una visualización previa de las señales se observó que, al aplicar los impactos perpendicularmente al tendido lineal de sensores, la energía suministrada produjo mayores amplitudes del movimiento del terreno en tal dirección. De esta manera, se procesaron los registros de la componente transversal (T) en cada punto del arreglo.

Para el tiro de ida, el procesamiento de los datos consistió en lo siguiente:

- *Convertir los datos de formato binario a formato ASCII.*

- Visualizar las señales.

Para cada serie, la visualización de las señales permitió contar el número de golpes registrados en los puntos de observación del tendido. Por ejemplo, en la figura 4.3.2.1 se muestran las señales de los siete golpes registrados en los puntos 0 y 1, correspondientes a la serie número 2.



**Figura 4.3.2.1.** Señales registradas en la componente transversal del punto 0 (izquierda) y del punto 1 (derecha), correspondientes a la serie número 2 del tiro de ida.

- Determinar el tiempo de arribo de las ondas.

Para cada señal, se hizo un acercamiento en cada golpe con el fin de identificar el instante de arribo de las ondas. Para un mismo golpe aplicado en la fuente y registrado en los puntos de observación, el instante correspondiente al punto 0 (el más cercano a la fuente) se tomó como el tiempo de referencia en los demás puntos. De esta manera, con los datos de una misma serie, el tiempo de propagación de las ondas queda expresado de la siguiente manera:

$$(\Delta t)_{i,j} = t_{i,j} - t_{0,j} \quad \dots (1)$$

Donde  $(\Delta t)_{i,j}$  es el tiempo requerido por las ondas para viajar del punto 0 al punto  $i$ , dado el  $j$ -ésimo golpe;  $t_{i,j}$  es el instante registrado en el punto  $i$ , dado el  $j$ -ésimo golpe;  $t_{0,j}$  es el instante registrado en el punto 0, dado el  $j$ -ésimo golpe. Por ejemplo, las figuras 4.3.2.2 y 4.3.2.3 muestran el instante de arribo en el punto 0 y en el punto 1, respectivamente, para el primer golpe de la serie 2; en este caso, el tiempo requerido por las ondas para viajar del punto 0 al punto 1 es  $(\Delta t)_{1,1} = 15.544 - 15.520 = 0.024$  segundos.

- Calcular valores promedio de los tiempos de arribo.

Los valores  $(\Delta t)_{i,j}$  se anotaron en una tabla, y por cada serie se obtuvieron los promedios correspondientes. En la tabla 4.3.2.1, por ejemplo, aparecen los tiempos de propagación promedio para la serie número 2; la celda sombreada indica el valor  $(\Delta t)_{1,1}$  anterior. En la tabla 4.3.2.2 se muestran los promedios calculados en las cuatro series del tiro, así como los promedios globales.

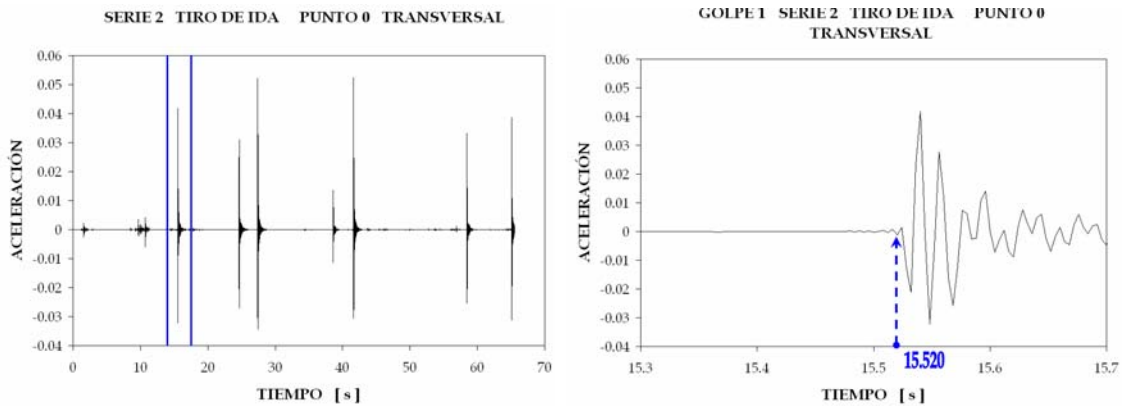


Figura 4.3.2.2. Tiempo de arribo de las ondas en la componente transversal del punto 0, considerando el primer golpe de la serie 2 en el tiro de ida.

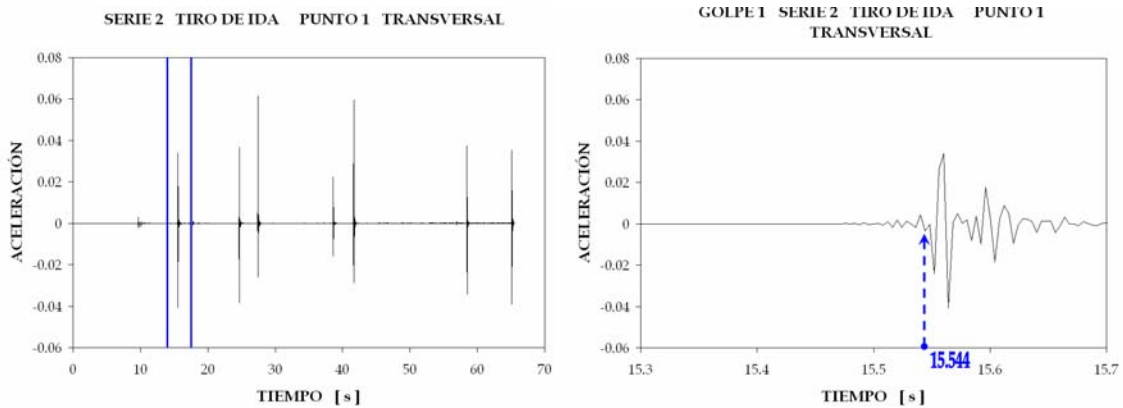


Figura 4.3.2.3. Tiempo de arribo de las ondas en la componente transversal del punto 1, considerando el primer golpe de la serie 2 en el tiro de ida.

Tabla 4.3.2.1. Tiempos de propagación de ondas, serie 2, tiro de ida.

| Punto | d<br>(m) | Tiempo de propagación de ondas<br>(s) |         |         |         |         |         |         |          |
|-------|----------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
|       |          | Golpe 1                               | Golpe 2 | Golpe 3 | Golpe 4 | Golpe 5 | Golpe 6 | Golpe 7 | Promedio |
|       |          | 0                                     | 0       | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000   | 0.000    |
| 1     | 6        | 0.024                                 | 0.024   | 0.028   | 0.024   | 0.024   | 0.024   | 0.024   | 0.0246   |
| 2     | 15       | 0.053                                 | 0.053   | 0.047   | 0.053   | 0.053   | 0.041   | 0.041   | 0.0487   |
| 3     | 30       | -                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -        |
| 4     | 45       | 0.194                                 | 0.194   | 0.178   | 0.192   | 0.192   | 0.178   | 0.178   | 0.1866   |
| 5     | 60       | 0.222                                 | 0.220   | 0.224   | 0.210   | 0.220   | 0.226   | 0.226   | 0.2211   |
| 6     | 69       | 0.244                                 | 0.240   | 0.244   | 0.244   | 0.244   | 0.244   | 0.244   | 0.2434   |
| 7     | 75       | 0.292                                 | 0.292   | 0.292   | 0.292   | 0.288   | 0.288   | 0.292   | 0.2909   |



Tabla 4.3.2.2. Tiempos de propagación de ondas, series 1 a 4, tiro de ida.

| Punto | d     | Tiempo de propagación de ondas |         |         |         |          |
|-------|-------|--------------------------------|---------|---------|---------|----------|
|       |       | ( s )                          |         |         |         |          |
|       | ( m ) | Serie 1                        | Serie 2 | Serie 3 | Serie 4 | Promedio |
| 0     | 0     | 0.0000                         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000   |
| 1     | 6     | 0.0238                         | 0.0246  | 0.0248  | 0.0265  | 0.0249   |
| 2     | 15    | 0.0496                         | 0.0487  | 0.0456  | 0.0462  | 0.0475   |
| 3     | 30    | -                              | -       | -       | -       | -        |
| 4     | 45    | 0.1928                         | 0.1866  | 0.1936  | 0.1935  | 0.1916   |
| 5     | 60    | 0.2171                         | 0.2211  | 0.2236  | 0.2233  | 0.2213   |
| 6     | 69    | 0.2438                         | 0.2434  | 0.2448  | 0.2450  | 0.2443   |
| 7     | 75    | 0.2911                         | 0.2909  | 0.2920  | 0.2915  | 0.2914   |

- Graficar el perfil de refracción.

Con los datos de la tabla anterior, se graficó el perfil de refracción correspondiente. La figura 4.3.2.4 muestra los tiempos de propagación determinados con todos los golpes registrados, así como los promedios globales calculados; la figura 4.3.2.5 presenta el perfil de refracción propuesto.

**TIRO DE IDA**

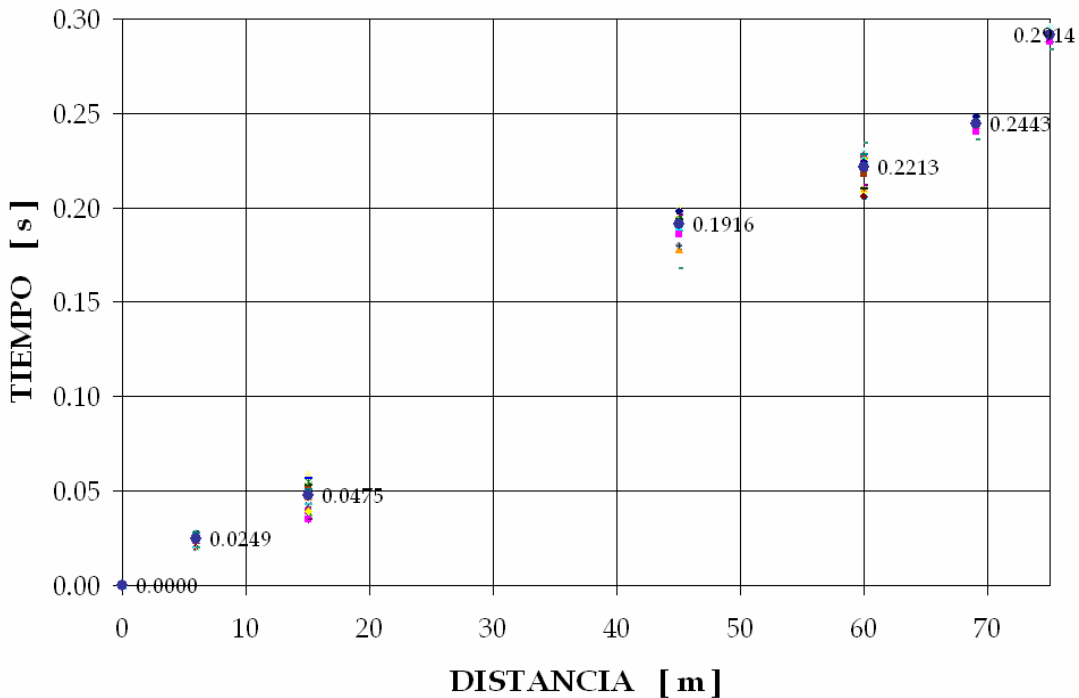


Figura 4.3.2.4. Tiempos de propagación de ondas; los círculos más grandes son los promedios globales.

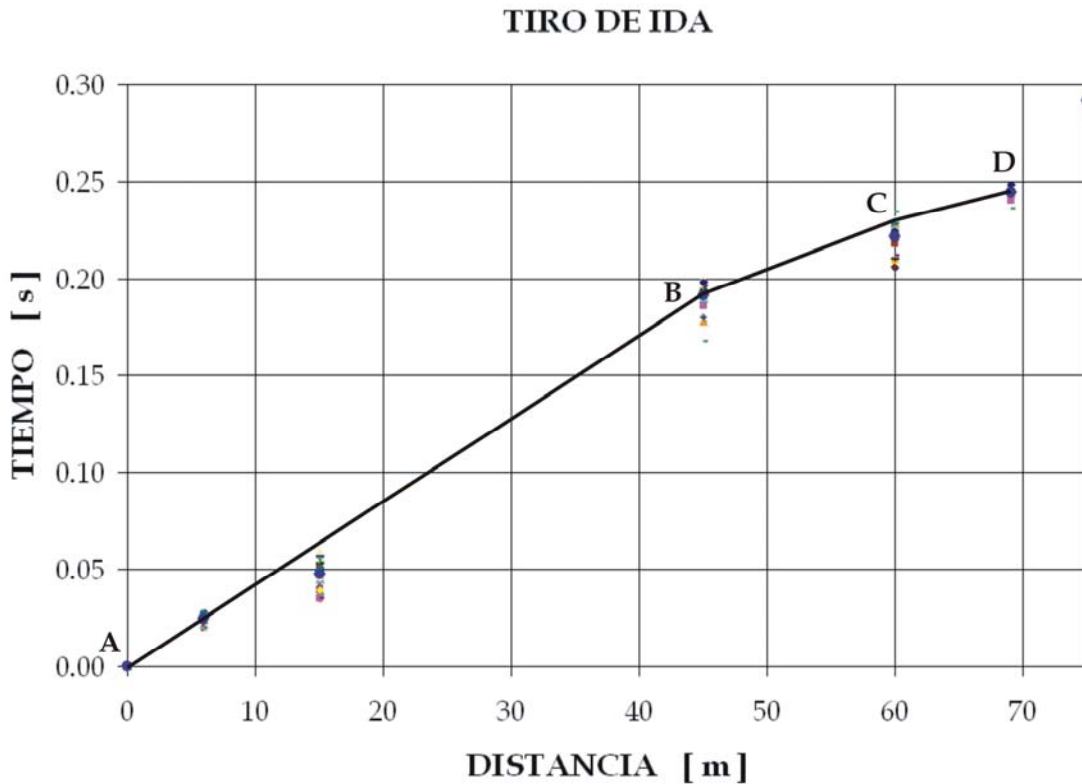


Figura 4.3.2.5. Perfil de refracción propuesto para el tiro de ida.

Para el tiro de regreso, el procesamiento de los datos fue el mismo. En la tabla 4.3.2.3 aparecen los promedios calculados en las cinco series del tiro, así como sus promedios globales. La figura 4.3.2.6 muestra los tiempos de propagación determinados con todos los golpes registrados, así como los promedios globales calculados; la figura 4.3.2.7 presenta el perfil de refracción propuesto.

Tabla 4.3.2.3. Tiempos de propagación de ondas, series 1 a 5, tiro de regreso.

| Punto | d<br>( m ) | Tiempo de propagación de ondas<br>( s ) |         |         |         |         |          |
|-------|------------|---|---------|---------|---------|---------|----------|
|       |            | Serie 1                                 | Serie 2 | Serie 3 | Serie 4 | Serie 5 | Promedio |
|       |            | 0                                       | 0       | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000   |
| 1     | 6          | 0.0400                                  | 0.0400  | 0.0400  | 0.0400  | 0.0404  | 0.0401   |
| 2     | 15         | 0.0882                                  | 0.0798  | 0.0850  | 0.0816  | 0.0832  | 0.0835   |
| 3     | 30         | 0.1322                                  | 0.1345  | 0.1331  | 0.1326  | 0.1331  | 0.1331   |
| 4     | 45         | -                                       | -       | -       | -       | -       | -        |
| 5     | 60         | 0.2352                                  | 0.2410  | 0.2350  | 0.2323  | 0.2382  | 0.2363   |
| 6     | 69         | 0.2520                                  | 0.2520  | 0.2514  | 0.2514  | 0.2511  | 0.2516   |
| 7     | 75         | 0.2912                                  | 0.2910  | 0.2920  | 0.2909  | 0.2916  | 0.2913   |

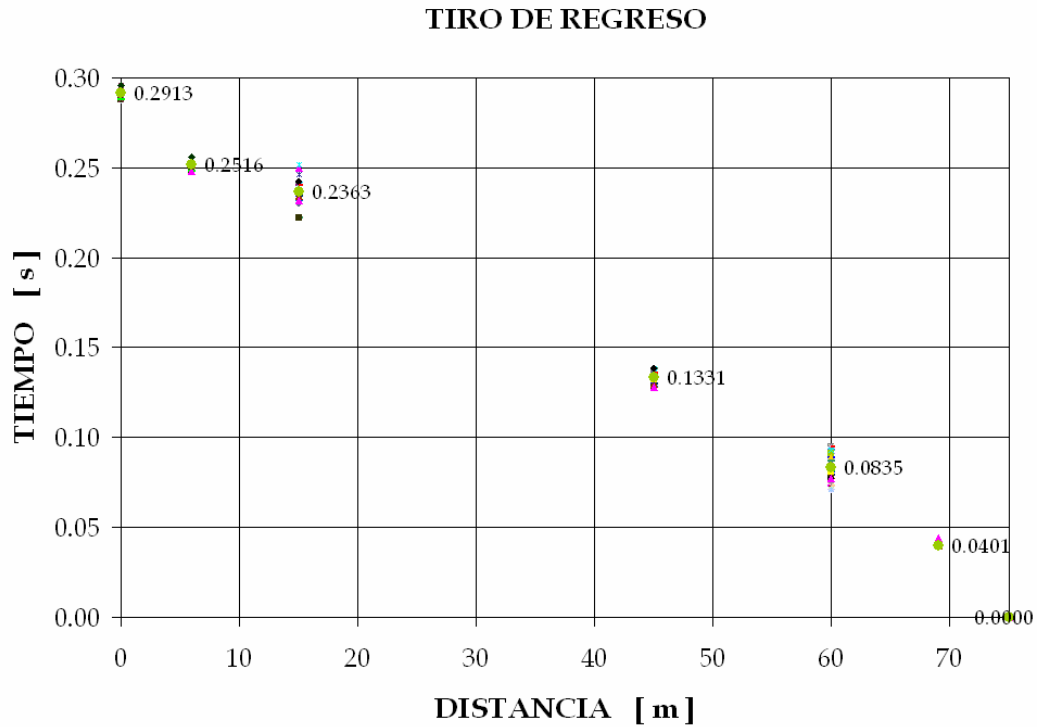


Figura 4.3.2.6. Tiempos de propagación de ondas; los círculos más grandes son los promedios globales.

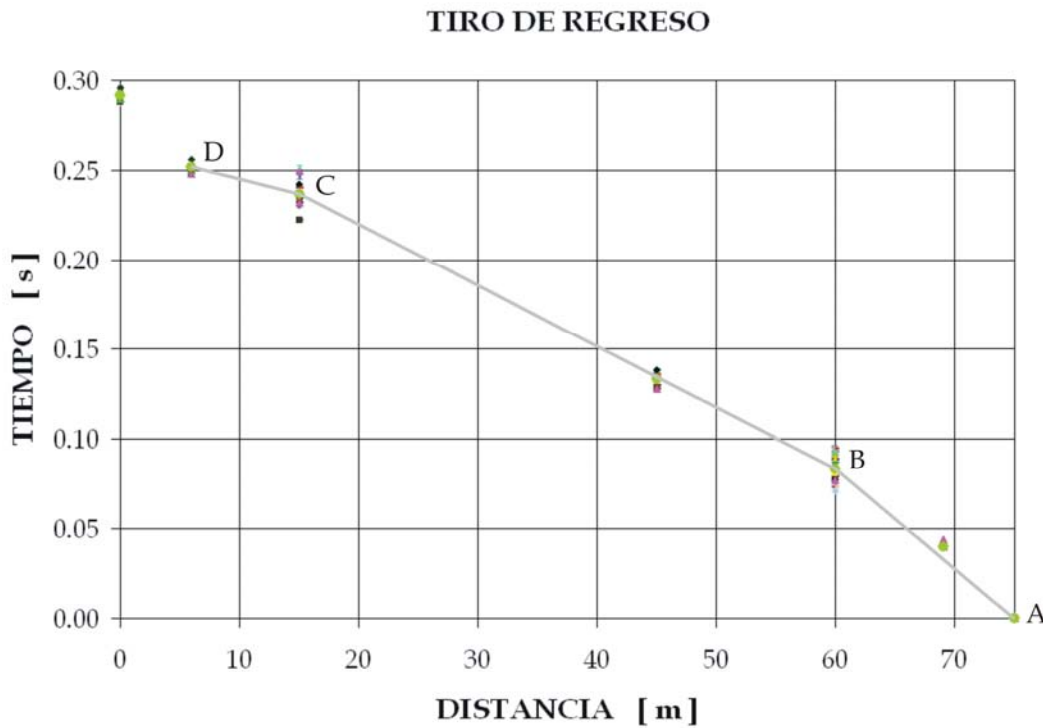
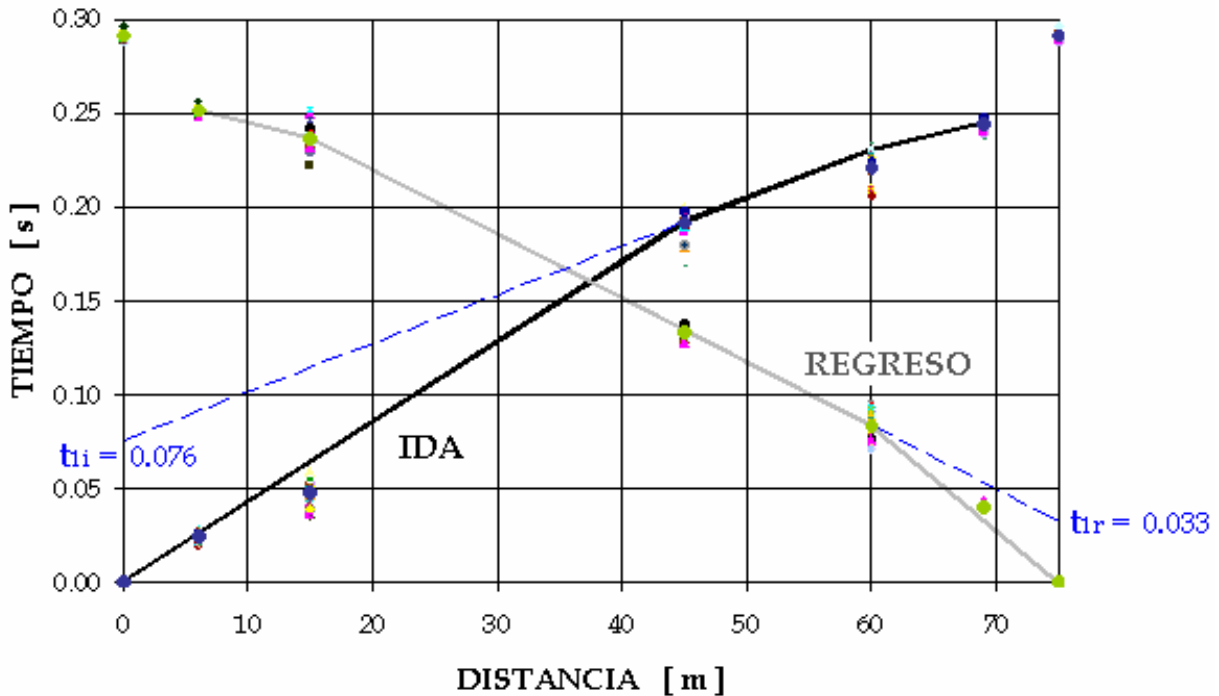


Figura 4.3.2.7. Perfil de refracción propuesto para el tiro de ida.

La figura 4.3.2.8 muestra los perfiles de ambos tiros, así como sus proyecciones e intercepciones con el eje del tiempo.



**Figura 4.3.2.8.** Perfiles de refracción obtenidos. Línea continua oscura, tiro de ida; línea continua clara, tiro de regreso; líneas discontinuas, prolongaciones al eje del tiempo.

#### 4.4 Análisis de la información

En esta parte se presenta el cálculo de la respuesta de sitio, utilizando la información obtenida del procesamiento de los datos. Se define un perfil estratigráfico en el sitio del ensaye de refracción, y posteriormente en los puntos de medición de microtremores. Considerando el sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3), se estima el movimiento en superficie para dichos puntos.

##### 4.4.1 Perfiles estratigráficos

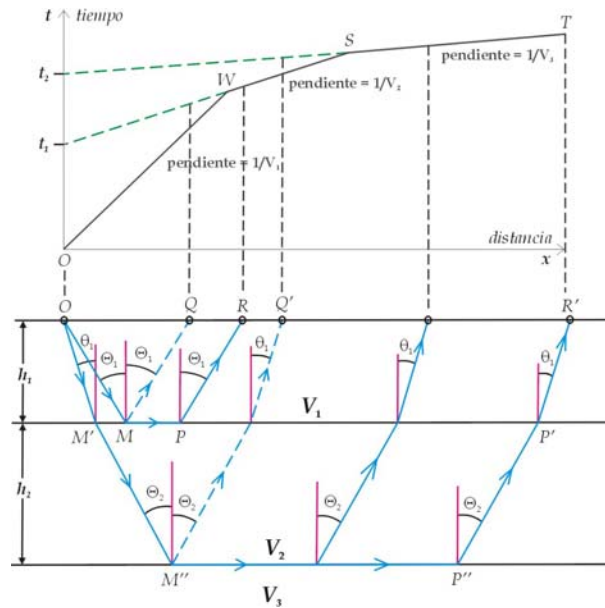
Para definir el perfil estratigráfico en el sitio del ensaye de refracción, se determinaron las siguientes propiedades: velocidad de propagación de ondas de cortante ( $\beta$ ), densidad ( $\rho$ ), amortiguamiento ( $\xi$ ) y espesor ( $h$ ) de los estratos. Para fines prácticos, se supondrán válidas las siguientes consideraciones: a) el subsuelo está conformado por una serie de estratos cuyas interfases son horizontales; b) la velocidad de propagación de las ondas es constante dentro de un mismo estrato; y c) la velocidad de propagación de las ondas aumenta con la profundidad.

- *Velocidades de ondas de corte y espesores de los estratos.*

A partir de los perfiles de refracción sísmica, es posible determinar la geometría de las trayectorias de las ondas precursoras generadas artificialmente. En la literatura se pueden hallar

expresiones que relacionan el tiempo de propagación con la distancia, las profundidades de las interfases y las velocidades. Por ejemplo, Sheriff y Geldart (1991) presentan el caso de un refractor horizontal y el de varios refractores horizontales; este último se expone brevemente a continuación.

Considérese el esquema de la figura 4.4.1.1, donde se muestran tres estratos de velocidad  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ . Para un detector ubicado en el punto R, la trayectoria de la onda refractada es OMPR,  $\Theta_1$  es el ángulo crítico, y WS es la curva tiempo-distancia correspondiente.



**Figura 4.4.1.1.** Trayectorias y curvas de tiempo de propagación para el caso de dos refractores horizontales (modificado de Sheriff y Geldart, 1991).

Las trayectorias como  $OM'M''P''P'R'$  se fijan por la ley de Snell para relacionar las velocidades de propagación con los ángulos de refracción:

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{V_1} = \frac{\text{sen } \theta_2}{V_2} = \frac{1}{V_3} \quad \dots (2)$$

La curva tiempo-distancia  $ST$  queda expresada de la siguiente forma:

$$t = \frac{x}{V_3} + \frac{2 h_2 \cos \theta_2}{V_2} + \frac{2 h_1 \cos \theta_1}{V_1} \quad \dots (3)$$

$$t = \frac{x}{V_3} + t_2 \quad \dots (4)$$

Se puede observar que la curva tiempo-distancia es una línea recta cuya pendiente es el recíproco de la velocidad justo abajo del horizonte refractante, y que su intercepción al eje del tiempo es la suma de los términos de la forma  $(2 h_i \cos \theta_i / V_i)$ , contribuyendo con un término cada estrato por encima del horizonte refractante. De esta manera, para un número  $N$  de estratos las ecuaciones (2) y (4) se pueden generalizar:



$$\theta_i = \text{ang sen } \frac{V_i}{V_N} \dots (5)$$

$$t = \frac{x}{V_N} + \sum_{i=1}^N \frac{2 h_i \cos \theta_i}{V_i} \dots (6)$$

Finalmente, los espesores de los estratos se pueden despejar de la expresión (6) y resulta:

$$h_j = \frac{V_j}{2 \cos \theta_j} \left( t_j - \sum_{i=1}^{j-1} \frac{2 h_i \cos \theta_i}{V_i} \right) \dots (7)$$

Así, podemos calcular las velocidades a partir de las pendientes de las curvas tiempo-distancia, y las profundidades a partir de las intercepciones de sus proyecciones al eje del tiempo. Aplicando las ecuaciones (5), (6) y (7) a los perfiles de refracción de la figura 4.3.2.8, los cálculos se muestran en la figura 4.4.1.2 y los perfiles de velocidades en la tabla 4.4.1.1. Con los valores promedio de las velocidades y el valor mínimo del espesor calculado, el perfil propuesto se muestra en la tabla 4.4.1.2.

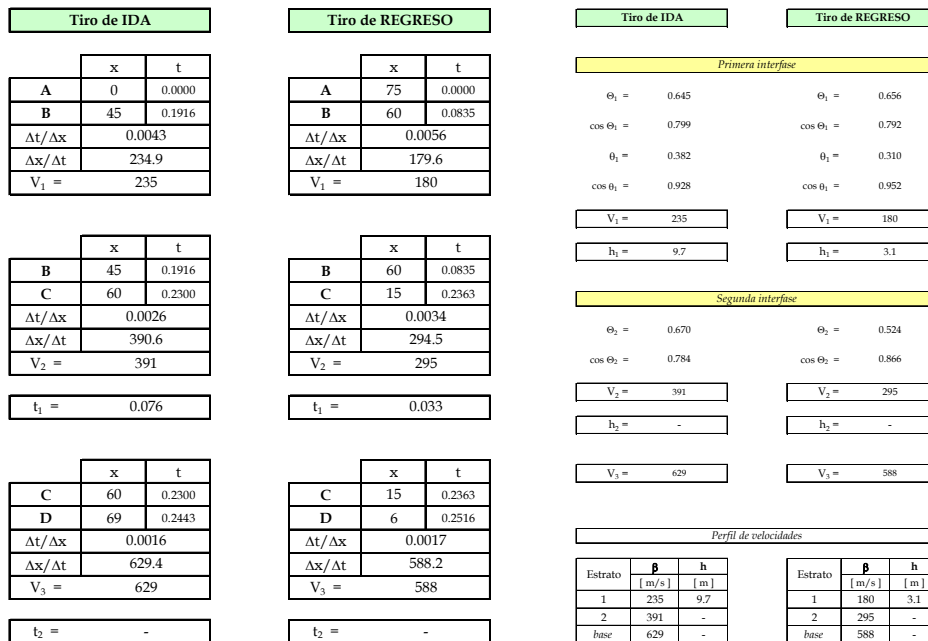


Figura 4.4.1.2. Cálculo de los perfiles de velocidades.

Tabla 4.4.1.1. Perfiles de velocidades obtenidos del ensayo de refracción sísmica.

| Estrato | Tiro de IDA |       | Tiro de REGRESO |       |
|---------|-------------|-------|-----------------|-------|
|         | h           | β     | h               | β     |
|         | (m)         | (m/s) | (m)             | (m/s) |
| 1       | 9.7         | 235   | 3.1             | 180   |
| 2       | -           | 391   | -               | 295   |
| base    | -           | 629   | -               | 588   |

Tabla 4.4.1.2. Perfil de velocidades.

| Estrato | h     | $\beta$ |
|---------|-------|---------|
|         | ( m ) | ( m/s ) |
| 1       | 3.1   | 208     |
| 2       | -     | 343     |
| base    | -     | 609     |

Las ondas S producen distorsión angular y llevan consigo la parte más importante de la energía liberada en la fuente sísmica. El comportamiento del suelo y sus propiedades mecánicas dependen en gran medida del nivel de deformación angular ( $\gamma_c$ ) al que se ve sometido (Seed e Idriss, 1970; Hardin y Drnevich, 1972; Ohsaki e Iwasaki, 1973). La evidencia experimental ha demostrado que las principales propiedades dinámicas de los suelos, como la velocidad de ondas de cortante ( $\beta$ ), el módulo de rigidez al esfuerzo cortante (G), el módulo equivalente de Young (E), o el amortiguamiento ( $\xi$ ), son función de la deformación angular.

Respecto al comportamiento no lineal del suelo, se sabe que la velocidad de ondas de corte disminuye y el amortiguamiento se incrementa con el nivel de deformación angular alcanzado (Seed e Idriss, 1970; Hardin y Drnevich, 1972). Los sismos pueden inducir deformaciones en el rango de  $1 \times 10^{-3}\%$  a  $5 \times 10^{-1}\%$ , como se ilustra en el esquema comparativo de la figura 4.4.1.3, y en algunos casos éstas pueden superar el 1% (Díaz-Rodríguez, 2000).

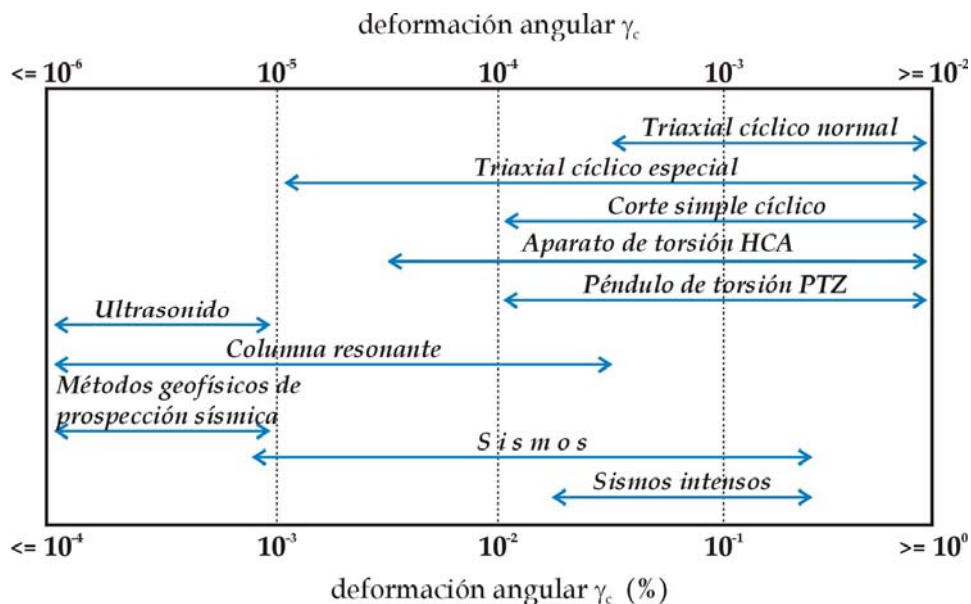


Figura 4.4.1.3. Comparación de los rangos de deformación posibles con diferentes equipos y el que pueden inducir los sismos (modificado de Díaz-Rodríguez, 2000).

Una manera práctica de tomar en cuenta el comportamiento no lineal del suelo consiste en obtener la velocidad de ondas de corte para niveles bajos de deformación angular ( $\gamma_c \leq 1 \times 10^{-3}\%$ ), como en los métodos geofísicos de prospección sísmica, y multiplicarla por un factor de comportamiento no lineal a fin de reducirla al valor que se tendría ante el sismo de diseño; por ejemplo, Trueba (1991) propone la siguiente expresión para calcular dicho factor:

$$FR_{\beta} = \sqrt{\frac{1}{1 + \psi(1 + r_1 e^{-\psi r_2})}} \quad \dots (8)$$

Tabla 4.4.1.3. Coeficientes para el cálculo de  $FR_{\beta}$  (Trueba, 1991).

| Coeficiente | Tipo de suelo      |  |  |
|-------------|--------------------|--|--|
|             | Arenas y gravas    | Arcillas de baja y mediana plasticidad | Arcillas de alta plasticidad (IP>100%) |
|             | Limos no plásticos | Limos plásticos                        | Limos muy plásticos                    |
| $r_1$       | - 0.5              | 1.0                                    | 1.0                                    |
| $r_2$       | 0.16               | 1.25                                   | 1.25                                   |
| $\psi$      | $4a_0$             | $2a_0$                                 | $0.75a_0$                              |

Nota:  $a_0$  es la aceleración pico en terreno firme, expresada como fracción de la gravedad.

En el presente estudio, se aplicó la ecuación (8) para estimar un factor de comportamiento no lineal del suelo en la ciudad de Acatlán. El valor de  $a_0$  se estimó con la ley de atenuación calculada por Singh *et al.* (1999) para el sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3). Como se vio en el capítulo 3, en la formación rocosa de Acatlán se estimó una aceleración pico de 117 cm/s<sup>2</sup>, y por lo tanto  $a_0=0.119$ . Como se vio en el capítulo 2, los suelos de la ciudad están formados principalmente por arenas y gravas; por lo tanto, de la tabla 4.4.1.3 tenemos que  $\psi=0.477$ ,  $r_1=-0.5$ ,  $r_2=0.16$ , y  $FR_{\beta}=0.892$ . Aplicando este factor a los estratos 1 y 2 del perfil promedio mostrado en la tabla 4.4.1.2, tenemos lo siguiente:

Tabla 4.4.1.4. Perfil de velocidades, valores reducidos por  $FR_{\beta}$ .

| Estrato | h     | $\beta$    |
|---------|-------|------------|
|         | ( m ) | ( m/s )    |
| 1       | 3.1   | <b>185</b> |
| 2       | -     | <b>306</b> |
| base    | -     | 609        |

▪ *Densidad.*

La densidad ( $\rho$ ) se calcula mediante el peso volumétrico ( $\gamma=\rho g$ , donde  $g$  es la aceleración de la gravedad). En el presente trabajo, se retomaron los resultados de un estudio realizado por un laboratorio de geotecnia (LAByCTA, 2003). Dicho estudio consistió en tres pozos a cielo abierto ubicados en una calle adyacente al predio donde realizamos el ensaye de refracción sísmica; aunque la profundidad de los sondeos fue de 1.2 metros, sus resultados sirvieron para una mejor estimación del peso volumétrico de los suelos arenosos en el sitio. En cuanto a la roca basal,  $\gamma$  se tomó de valores típicos publicados en la literatura (Bollinger, 1980). La tabla 4.4.1.5 muestra la densidad para cada estrato del perfil.

Tabla 4.4.1.5. Densidad de los estratos.

| Estrato | $\rho$               |
|---------|----------------------|
|         | ( t/m <sup>3</sup> ) |
| 1       | 1.6                  |
| 2       | 1.9                  |
| base    | 2.3                  |

▪ *Amortiguamiento.*

El amortiguamiento ( $\xi$ ) se asocia físicamente con un proceso de disipación de energía. En laboratorio, puede determinarse por medio de métodos como el ensaye de columna resonante, péndulo de torsión, triaxial cíclico y torsión cíclica; en campo, son útiles los ensayos de resonancia horizontal y vertical (Díaz-Rodríguez, 2000). Con el fin de hacer estimaciones, diferentes autores han propuesto relaciones empíricas. Por ejemplo, Seed e Idriss (1970) sugieren el uso de las curvas mostradas en la figura 4.4.1.4 para estimar el amortiguamiento en arenas; Avilés y Trueba (1991) proponen, para condiciones no drenadas, los rangos de amortiguamiento de la tabla 4.4.1.6.

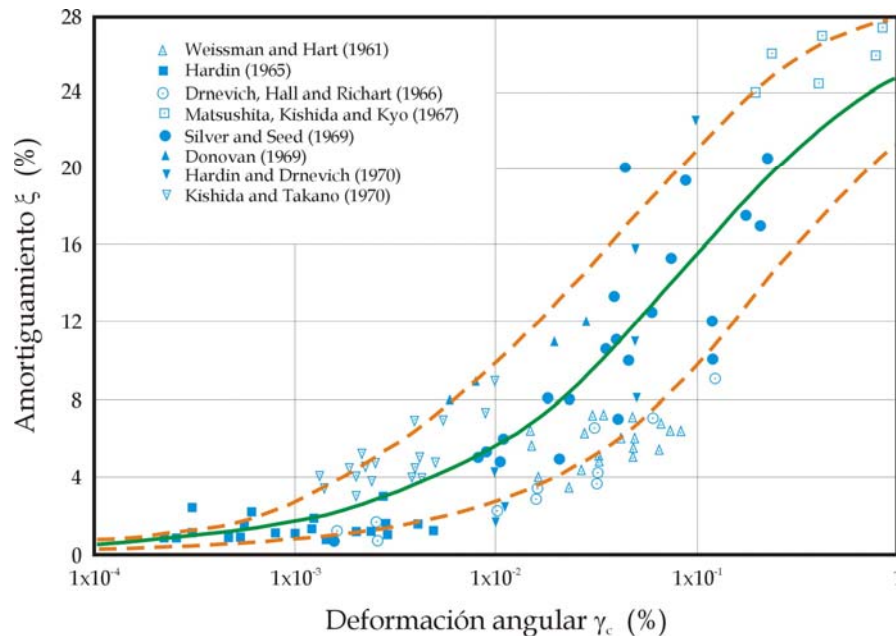


Figura 4.4.1.4. Amortiguamiento en arenas (Seed e Idriss, 1970).

Tabla 4.4.1.6. Valores de  $\xi$  según la naturaleza del suelo (Avilés y Trueba, 1991).

| Tipo de suelo                          |                 | Amortiguamiento          |
|--|-----------------|--------------------------|
| Suelos granulares y limos no plásticos | Seco            | $1\% \leq \xi \leq 5\%$  |
|  | Saturado        | $3\% \leq \xi \leq 10\%$ |
| Arcillas y limos no plásticos          | $IP \leq 100\%$ | $2\% \leq \xi \leq 12\%$ |
|  | $IP > 100\%$    | $2\% \leq \xi \leq 6\%$  |

En el presente trabajo, se consideró el rango de  $2 \times 10^{-2}\%$  a  $8 \times 10^{-2}\%$  como uno de los posibles intervalos de deformaciones angulares que puede ser producido por un macrosismo de intraplaca. De acuerdo con las figuras 4.4.1.3 y 4.4.1.4, en dicho intervalo se pueden presentar valores mínimos del amortiguamiento en arenas entre 2% y 8% del crítico. Con estas suposiciones, en la tabla 4.4.1.7 se proponen los amortiguamientos de los estratos de suelo; para la roca basal,  $\xi$  se tomó de valores típicos publicados en la literatura (Bollinger, 1980).

Tabla 4.4.1.7. Amortiguamiento de los estratos.

| Estrato | $\xi$ |
|---------|-------|
|         | (1)   |
| 1       | 0.02  |
| 2       | 0.02  |
| base    | 0.01  |

Retomando los valores de velocidad de ondas de corte, espesor, densidad y amortiguamiento, el perfil estratigráfico preliminar se muestra en la tabla 4.4.1.8. Con el fin de no subestimar la respuesta del sitio durante un sismo, la velocidad de propagación de ondas en la roca basal se aproximó al valor que comúnmente se utiliza para considerarla como base rígida.

Tabla 4.4.1.8. Perfil estratigráfico preliminar en el sitio del ensaye de refracción.

| Estrato | h   | $\beta$    | $\rho$              | $\xi$ |
|---------|-----|------------|---------------------|-------|
|         | (m) | (m/s)      | (t/m <sup>3</sup> ) | (1)   |
| 1       | 3.1 | 185        | 1.6                 | 0.02  |
| 2       | -   | 306        | 1.9                 | 0.02  |
| base    | -   | <b>700</b> | 2.3                 | 0.01  |

El espesor del segundo estrato se calculó a partir de funciones de transferencia empíricas (FTE). Estas últimas se obtuvieron mediante registros de microtemores en el sitio del ensaye, con la metodología descrita en el inciso 3 de este capítulo, y se muestran en la figura 4.4.1.5.

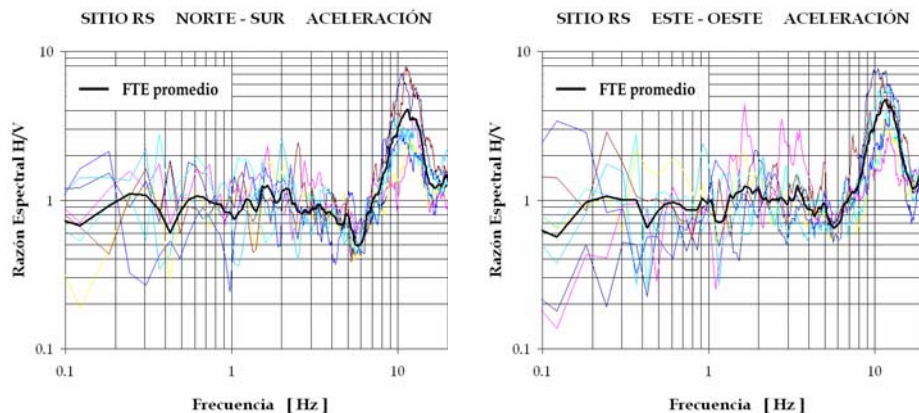


Figura 4.4.1.5. FTE calculadas en el sitio del ensaye de refracción (sitio RS).



De estas gráficas, se obtuvieron valores promedio de  $T_0=0.09$  s (11.5 Hz) y  $Ar_{\text{máx}}=4.4$  veces. En el marco de la teoría unidimensional de propagación de ondas (Thomson, 1950; Haskell, 1953), la relación entre  $T_0$ , las velocidades de propagación de ondas de corte ( $\beta_i$ ) y los espesores ( $h_i$ ) en un medio estratificado con N capas horizontales, está dada por:

$$T_0 = 4 \sum_{i=1}^N \frac{h_i}{\beta_i} \quad \dots (9)$$

En nuestro caso, para  $N=2$ , tenemos:

$$T_0 = 4 \sum_{i=1}^2 \frac{h_i}{\beta_i} = 4 \left( \frac{h_1}{\beta_1} + \frac{h_2}{\beta_2} \right) \quad \dots (10)$$

Conocido  $h_1$ , se puede calcular  $h_2$  al despejar de la ecuación anterior:

$$h_2 = \beta_2 \left( \frac{T_0}{4} - \frac{h_1}{\beta_1} \right) \quad \dots (11)$$

De esta forma, si  $T_0=0.09$  s,  $\beta_1=185$  m/s,  $\beta_2=306$  m/s y  $h_1=3.1$  m, al aplicar la ecuación (11) se tiene  $h_2=1.8$  m. El perfil resultante se muestra en la tabla 4.4.1.9 y en la figura 4.4.1.6.

Tabla 4.4.1.9. Perfil estratigráfico en el sitio del ensaye de refracción.

| Estrato | h   | $\beta$ | $\rho$              | $\xi$ |
|---------|-----|---------|---------------------|-------|
|         | (m) | (m/s)   | (t/m <sup>3</sup> ) | (1)   |
| 1       | 3.1 | 185     | 1.6                 | 0.02  |
| 2       | 1.8 | 306     | 1.9                 | 0.02  |
| base    | -   | 700     | 2.3                 | 0.01  |

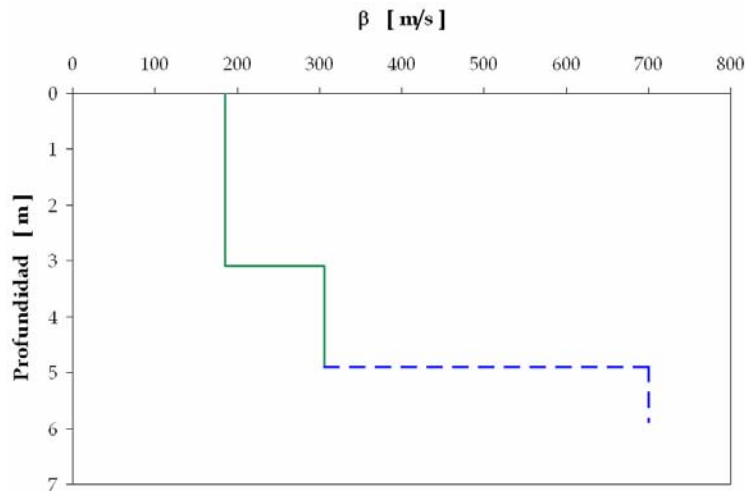
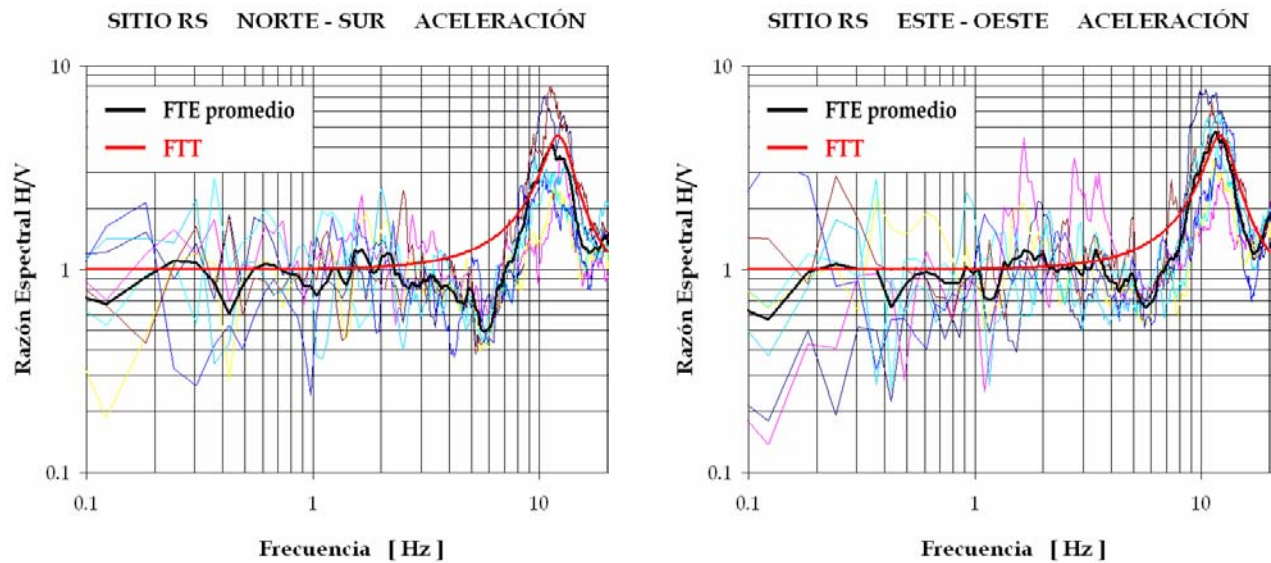


Figura 4.4.1.6. Perfil de velocidades en el sitio del ensaye de refracción.

Aplicando la teoría de propagación unidimensional de ondas (Thomson, 1950; Haskell, 1953) y utilizando el método de Haskell (1962), se calculó la FTT para la columna de suelo definida en la tabla 4.4.1.9. Este método permite calcular la función de transferencia en la superficie de un medio estratificado, dadas las características de los estratos (espesor, velocidad de propagación de ondas, densidad y amortiguamiento), el tipo de ondas incidentes (P o S), el ángulo de incidencia ( $\gamma$ ) y el ángulo de polarización ( $\theta$ ) de las mismas. En el presente estudio, se consideró el caso de incidencia vertical ( $\gamma=0$ ) de ondas S polarizadas horizontalmente ( $\theta=0$ , ondas SH). La figura 4.4.1.7 muestra la FTT resultante.



**Figura 4.4.1.7.** Funciones de transferencia en el sitio del ensaye de refracción. Líneas delgadas, FTE; líneas gruesas negras, FTE promedio; línea gruesa roja, FTT.

Ahora bien, definiremos los perfiles estratigráficos para otros puntos de la ciudad donde obtuvimos registros de microtemores. De acuerdo con los trabajos y observaciones en campo, y ante la falta de estudios geotécnicos en dichos puntos, se hicieron las siguientes suposiciones: a) los depósitos de suelo tienen el mismo origen y proceso de formación; b) en cada punto la estratigrafía del subsuelo consta de dos capas, las cuales sobreyacen a la formación rocosa basal; c) los espesores de los estratos varían de un punto a otro, pero pueden estimarse a partir de las FTE; y d) los valores de  $\beta$ ,  $\rho$  y  $\xi$  son los determinados para el caso anterior.

Por ejemplo, en el punto 23 se obtuvo  $T_0=0.15$  s (6.5 Hz) y  $A_{r_{m\acute{a}x}}=2.6$  veces de las FTE. Retomando las velocidades del caso anterior,  $\beta_1=185$  m/s y  $\beta_2=306$  m/s, se propuso  $h_1=6.5$  m, de manera que al aplicar la ecuación (11) se tiene  $h_2=1.1$  m; el perfil estratigráfico así estimado se muestra en la tabla 4.4.1.10 y en la figura 4.4.1.8. Para incidencia vertical de ondas S polarizadas horizontalmente (ondas SH), se calculó la función de transferencia teórica con el método de Haskell (1962). En la figura 4.4.1.9 se observa que el valor teórico de  $A_{r_{m\acute{a}x}}$  es mayor que el correspondiente valor empírico promedio; cabe recordar que la técnica H/V aplicada a microtemores ofrece una buena estimación del periodo dominante, pero subestima los valores de amplificación relativa esperados para un sismo (Lermo *et al.*, 1987; Lermo y Chávez-García, 1994; Bard *et al.*, 1997; Riquer *et al.*, 2003); por esta razón, la función de transferencia teórica se calculó como una envolvente de las funciones de transferencia empíricas.

Tabla 4.4.1.10. Perfil estratigráfico estimado en el punto 23.

| Estrato | h     | $\beta$ | $\rho$               | $\xi$ |
|---------|-------|---------|----------------------|-------|
|         | ( m ) | ( m/s ) | ( t/m <sup>3</sup> ) | ( 1 ) |
| 1       | 6.5   | 185     | 1.6                  | 0.02  |
| 2       | 1.1   | 306     | 1.9                  | 0.02  |
| base    | -     | 700     | 2.3                  | 0.01  |

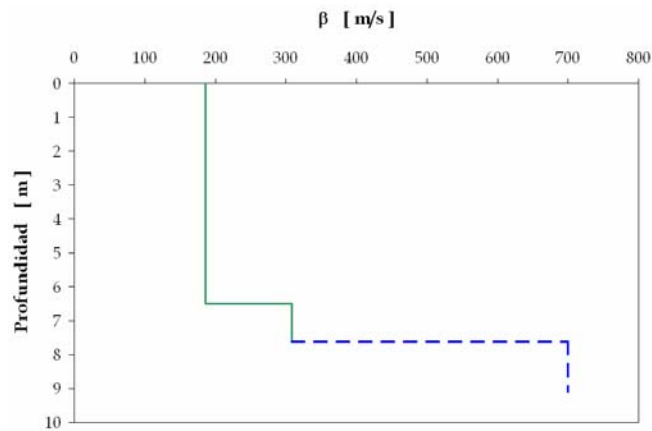


Figura 4.4.1.8. Perfil de velocidades en el punto 23.

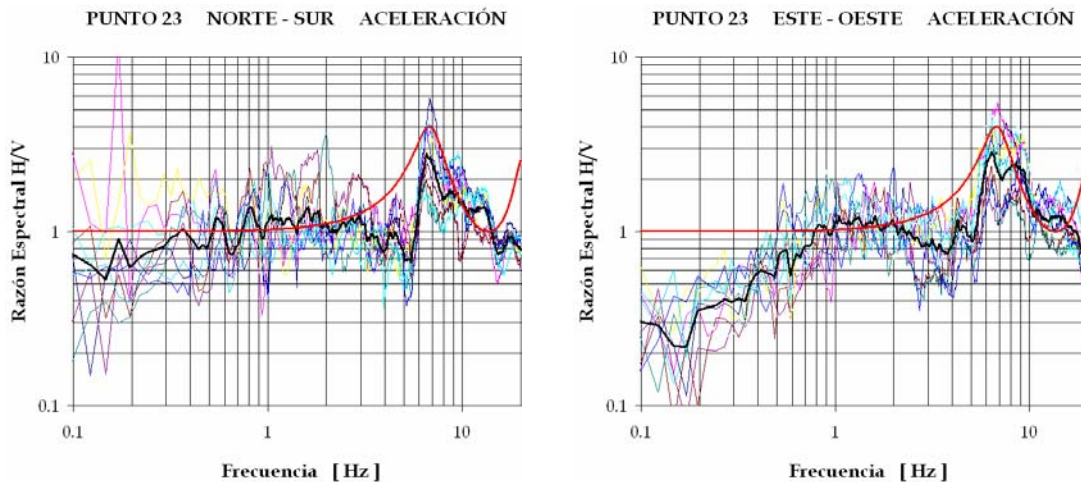


Figura 4.4.1.9. Funciones de transferencia en el punto 23. Líneas delgadas, FTE; líneas gruesas negras, FTE promedio; línea gruesa roja, FTT.

El procedimiento descrito en el párrafo anterior fue aplicado en otros puntos, y los resultados pueden verse en el Anexo 3. De acuerdo con los perfiles de velocidades, se observa que el espesor del primer estrato es bastante mayor que el espesor del segundo estrato, en la mayoría de los casos. Como se vio en el capítulo 2, la ciudad de Acatlán se encuentra sobre una cuenca cuyo basamento metamórfico (el Complejo Acatlán) data de la era Paleozoica (hace unos 400 millones de años), sobre el cual descansa una secuencia sedimentaria marina detrítica y carbonatada de la era Mesozoica (hace unos 240 millones de años); a finales de esta era, las rocas sedimentarias fueron

elevadas, plegadas y fracturadas. Posteriormente, mediante un proceso de intemperismo físico y químico, se formaron los suelos aluviales en la era Cenozoica (hace unos 2 millones de años).

De esta manera, suponemos que la velocidad calculada para la roca basal ( $\beta \approx 700$  m/s) corresponde a una capa de roca metamórfica intemperizada, la velocidad del segundo estrato ( $\beta \approx 300$  m/s) es del material residual y fragmentado de la misma roca, y la velocidad del primer estrato ( $\beta \approx 180$  m/s) es de un depósito de suelo arenoso.

#### 4.4.2 Movimiento en la superficie del terreno

Un problema común en ingeniería sísmica es la predicción de las amplitudes de señales en el tiempo, tales como las aceleraciones del terreno en el sitio de interés. Los principales factores que intervienen en el cálculo de dichas señales, debido a la ocurrencia de un sismo, son el mecanismo de generación de la ruptura, la trayectoria de las ondas irradiadas por la fuente y las características de la formación geológica local en el sitio.

Las ondas sísmicas tendrán una distribución en el espacio y el tiempo que dependerá del mecanismo de ruptura y del cambio en el estado de esfuerzos que esta origina. En su trayecto, las ondas se atenúan por diferentes efectos como la dispersión geométrica, la fricción interna que se desarrolla en los materiales y la presencia de irregularidades en el medio de propagación, entre otros. La manera de describir el campo irradiado por la fuente y los efectos del trayecto quedan fuera del alcance del presente estudio. Por ahora, bastará suponer que se conoce la señal correspondiente a las aceleraciones de las partículas de las ondas incidentes en el sitio.

Considérese el esquema de la figura 4.4.2.1, donde se ilustra una onda S que incide en un sitio (el origen de coordenadas) con un ángulo de polarización ( $\theta$ ) y un ángulo de incidencia ( $\gamma$ ).

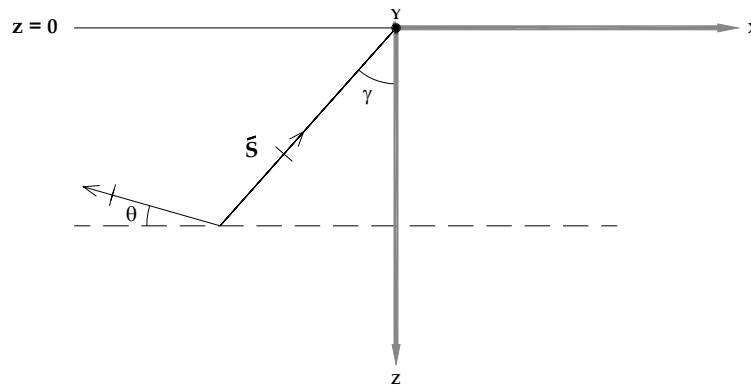


Figura 4.4.2.1. Esquema de incidencia y polarización de una onda S.

Si por el momento se acepta que se trata de un movimiento armónico con amplitud  $S$ , entonces el campo de desplazamientos asociado a la onda incidente se puede expresar como:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = S \begin{Bmatrix} -\text{sen}\theta \cos\gamma \\ \cos\theta \\ -\text{sen}\theta \text{sen}\gamma \end{Bmatrix} e^{i\omega \left( t - \frac{x\text{sen}\gamma - z\cos\gamma}{\beta} \right)} \quad \dots (12)$$

donde

- u: desplazamiento en la dirección X.
- v: desplazamiento en la dirección Y.
- w: desplazamiento en la dirección Z.
- i: variable compleja.
- $\omega$ : frecuencia.
- t: tiempo.
- $\beta$ : velocidad de propagación de ondas S en el medio.

Cuando el plano  $Z=0$  sea una superficie libre y se tenga el caso de ondas SH, el movimiento en el origen de coordenadas está dado por:

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 2 \beta e^{i\omega t} \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \dots (13)$$

donde el factor 2 proviene de la adición de las ondas incidente y reflejada, y se le denomina factor de superficie libre. Dicho factor variará para el caso de ondas SV, en las que  $u \neq 0$ ,  $v=0$  y  $w \neq 0$ . La solución completa puede consultarse en textos como el de Aki y Richards (1980).

Ahora bien, si en vez de superficie libre existe una formación geológica estratificada y bidimensional, es necesario contar con la función de transferencia que permita pasar del movimiento incidente al movimiento en la superficie. Así, para el caso de ondas SH se tendría que el movimiento en la superficie está dado por:

$$v = H(\omega) \beta e^{i\omega t} \quad \dots (14)$$

donde  $H(\omega)$  es la función de transferencia, que depende del ángulo de incidencia, de las propiedades mecánicas de los materiales y de la geometría de la formación geológica.

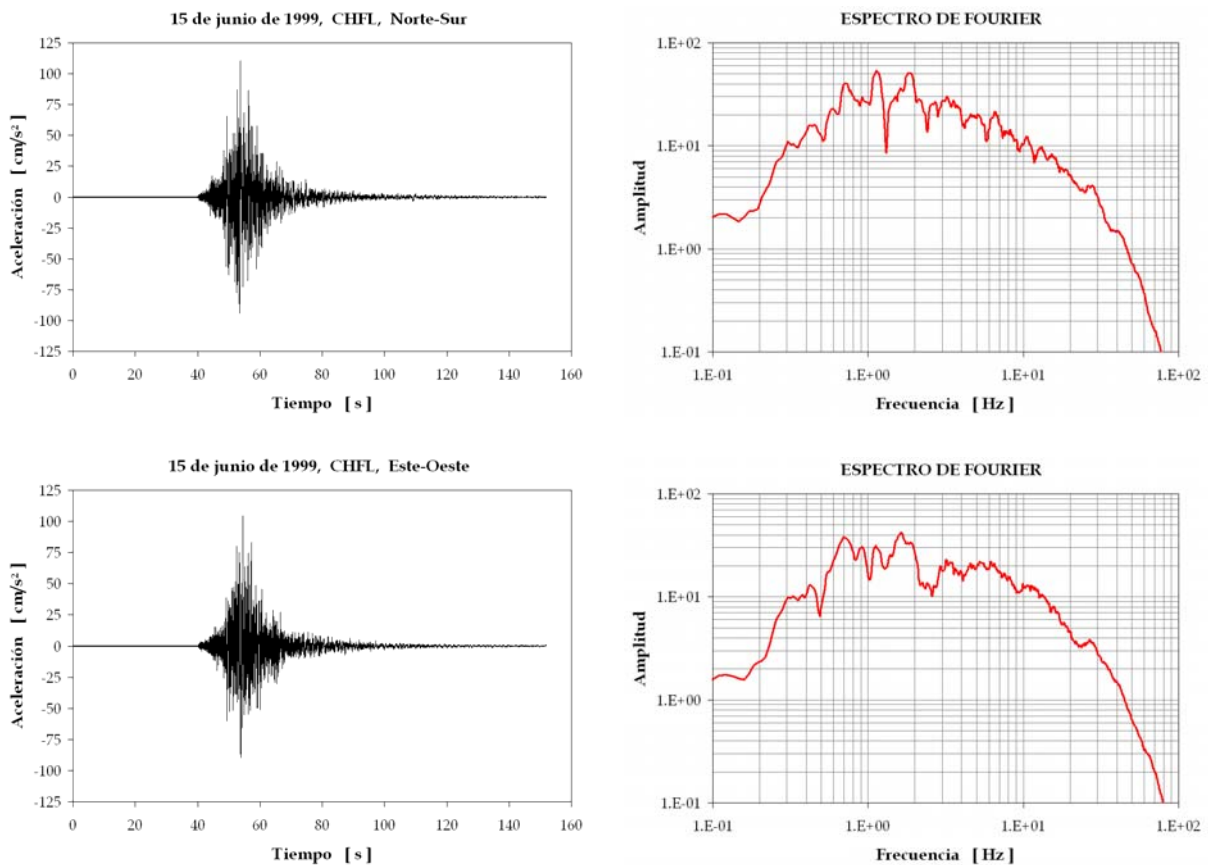
En general, si se considera  $S(\omega)$  como una función compleja con dominio en la frecuencia, se puede calcular la función de desplazamientos en superficie con dominio en el tiempo mediante el uso de la transformada de Fourier, de la siguiente manera:

$$v(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) \beta e^{i\omega t} d\omega \quad \dots (15)$$

Para calcular las aceleraciones del terreno en superficie, en lugar de  $S(\omega)$  se considera la función  $A(\omega)$  que es la transformada de Fourier de las aceleraciones para el campo incidente, y por lo tanto:

$$a(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) A(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad \dots (16)$$

En el presente trabajo, se estimaron las aceleraciones del terreno en la microzona II de la ciudad de Acatlán producidas por el sismo del 15 de junio de 1999. Las funciones de transferencia se calcularon en distintos puntos, tal como se explicó en el inciso anterior. El espectro de Fourier se supuso igual al de la señal registrada en roca en la estación CHFL durante dicho evento, dadas las siguientes consideraciones: a) la distancia focal a CHFL ( $R=73$  km) es prácticamente la misma que a la ciudad de Acatlán ( $R=81$  km); b) en ambos sitios, la dirección de propagación tuvo su mayor componente en la dirección oeste-este ( $S60^{\circ}O$  para CHFL,  $N84^{\circ}O$  para Acatlán); y c) la estación CHFL se sitúa sobre rocas de la misma naturaleza que las de la microzona I de la ciudad de Acatlán. En la figura 4.4.2.2 se muestran las componentes norte-sur y este-oeste del movimiento registrado en CHFL y los espectros de Fourier respectivos.



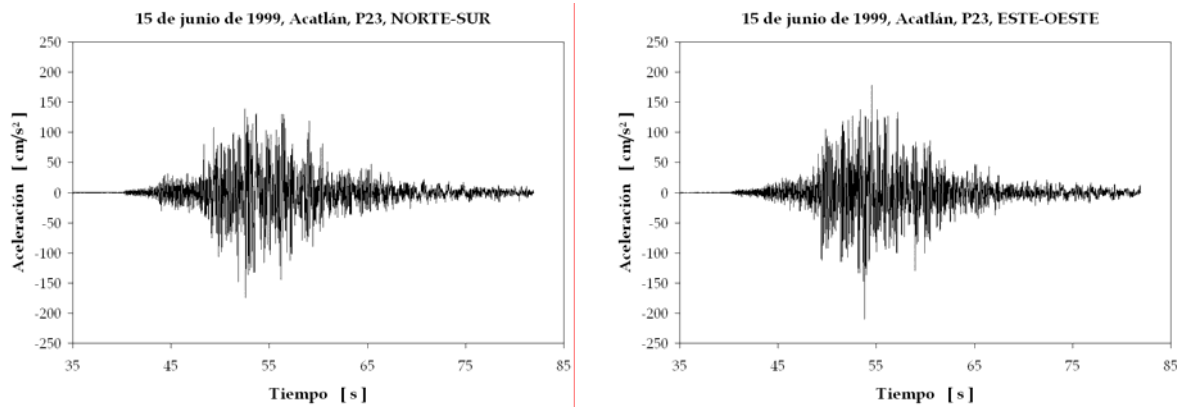
**Figura 4.4.2.2.** Acelerogramas (izquierda) y espectros de Fourier (derecha) del movimiento del terreno (roca) registrado en la estación CHFL, sismo del 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3).

Con ayuda del programa DegtraA4 (Ordaz y Montoya, 2003), se resolvió la ecuación (16) por medio de una convolución entre la historia de aceleración en la formación rocosa (campo incidente) y la función de transferencia teórica en cada sitio. De esta forma, se obtuvieron historias de aceleración correspondientes al movimiento en superficie durante aquel temblor. Con la aplicación del método de las ocho constantes (Chopra, 1995), se calcularon además los respectivos espectros de respuesta de pseudoaceleración para 5%, 4% y 3% del amortiguamiento crítico.

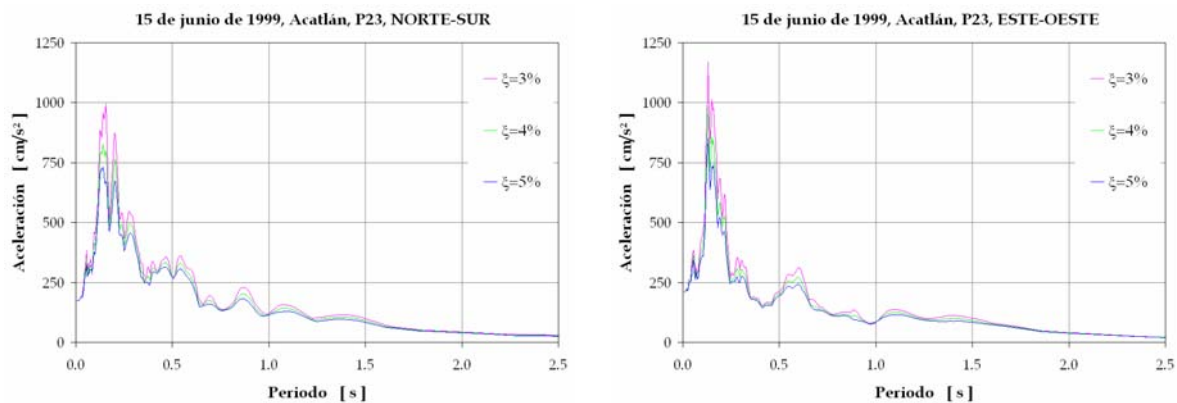
Por ejemplo, en las figuras 4.4.2.3 y 4.4.2.4 se muestran los acelerogramas y espectros de respuesta calculados para el punto 23; en este caso, la aceleración pico del terreno en dirección



norte-sur resultó de 174 cm/s<sup>2</sup> y de 210 cm/s<sup>2</sup> en dirección este-oeste. En el Anexo 4 se presentan los resultados para los demás puntos.



**Figura 4.4.2.3.** Movimiento en la superficie del terreno (suelo aluvial) calculado en un punto de la microzona II de la ciudad de Acatlán, sismo del 15 de junio de 1999.



**Figura 4.4.2.4.** Espectros de respuesta de seudoaceleración (suelo aluvial) calculados en un punto de la microzona II de la ciudad de Acatlán, sismo del 15 de junio de 1999.

## 4.5 Resultados

### 4.5.1 Periodos fundamentales del terreno

De acuerdo con los resultados de vibración ambiental, en la microzona I el valor mínimo de  $T_0$  fue de 0.03 segundos (punto 27), el máximo de 0.09 segundos (punto 38) y la media de 0.07 segundos. El valor mínimo de  $Ar_{\text{máx}}$  fue de 1.0 veces (punto 40), el máximo de 2.3 veces (punto 27) y la media de 1.5 veces. Particularmente, en el punto 27 se observan amplitudes de 2 a 3 veces en un rango de frecuencias de 20 a 40 Hz (0.025 a 0.05 segundos); sin embargo, en el rango de interés (0.1 a 20 Hz) las amplitudes son cercanas a la unidad.

En la microzona II, el valor mínimo de  $T_0$  fue de 0.08 segundos (puntos 9, 26 y 28), el máximo de 0.26 segundos (punto 41) y la media de 0.16 segundos. El valor mínimo de  $Ar_{\text{máx}}$  fue de 1.0 veces

(punto 34), el máximo de 5.1 veces (punto 36) y la media de 2.8 veces. En la microzona III, el único sitio de medición (punto 42) no muestra un efecto de amplificación.

La tabla 4.5.1.1 muestra los valores de  $T_0$  y  $Ar_{m\acute{a}x}$  en los puntos de medición. La figura 4.5.1.1 presenta la distribución espacial de los periodos fundamentales del suelo en la ciudad de Acatlán.

Tabla 4.5.1.1. Valores de  $T_0$  y  $Ar_{m\acute{a}x}$  en los puntos de registro de vibración ambiental.

| Punto | $T_0$<br>(s) | $Ar_{m\acute{a}x}$<br>(veces) | Punto | $T_0$<br>(s) | $Ar_{m\acute{a}x}$<br>(veces) | Punto | $T_0$<br>(s) | $Ar_{m\acute{a}x}$<br>(veces) |
|-------|--------------|-------------------------------|-------|--------------|-------------------------------|-------|--------------|-------------------------------|
| 1     | 0.11         | 3.0                           | 23    | 0.15         | 2.6                           | 45    | -            | -                             |
| 2     | 0.14         | 5.0                           | 24    | 0.08         | 1.2                           | 46    | 0.22         | 2.2                           |
| 3     | -            | -                             | 25    | 0.10         | 2.3                           | 47    | 0.22         | 1.2                           |
| 4     | 0.15         | 3.0                           | 26    | 0.08         | 2.4                           | 48    | 0.21         | 3.0                           |
| 5     | 0.18         | 3.0                           | 27    | 0.03         | 2.3                           | 49    | 0.21         | 2.3                           |
| 6     | 0.13         | 4.0                           | 28    | 0.08         | 4.0                           | 50    | 0.19         | 1.8                           |
| 7     | 0.16         | 2.0                           | 29    | 0.13         | 3.5                           | 51    | 0.17         | 3.4                           |
| 8     | 0.18         | 2.0                           | 30    | -            | -                             | 52    | 0.19         | 2.5                           |
| 9     | 0.08         | 2.0                           | 31    | 0.16         | 2.8                           | 53    | 0.19         | 2.4                           |
| 10    | 0.09         | 2.0                           | 32    | -            | -                             | 54    | 0.20         | 2.4                           |
| 11    | 0.12         | 2.0                           | 33    | 0.20         | 1.7                           | 55    | 0.17         | 4.6                           |
| 12    | 0.18         | 4.0                           | 34    | 0.09         | 1.0                           | 56    | 0.18         | 2.8                           |
| 13    | 0.11         | 3.0                           | 35    | 0.14         | 2.0                           | 57    | 0.23         | 5.0                           |
| 14    | 0.18         | 2.0                           | 36    | 0.11         | 5.1                           |       |              |                               |
| 15    | 0.16         | 3.0                           | 37    | -            | -                             |       |              |                               |
| 16    | 0.10         | 2.0                           | 38    | 0.09         | 1.2                           |       |              |                               |
| 17    | 0.17         | 5.0                           | 39    | -            | -                             |       |              |                               |
| 18    | 0.19         | 5.0                           | 40    | 0.07         | 1.0                           |       |              |                               |
| 19    | 0.10         | 3.0                           | 41    | 0.26         | 2.7                           |       |              |                               |
| 20    | 0.15         | 2.0                           | 42    | -            | -                             |       |              |                               |
| 21    | 0.23         | 3.0                           | 43    | 0.18         | 1.5                           |       |              |                               |
| 22    | -            | -                             | 44    | 0.12         | 2.3                           |       |              |                               |

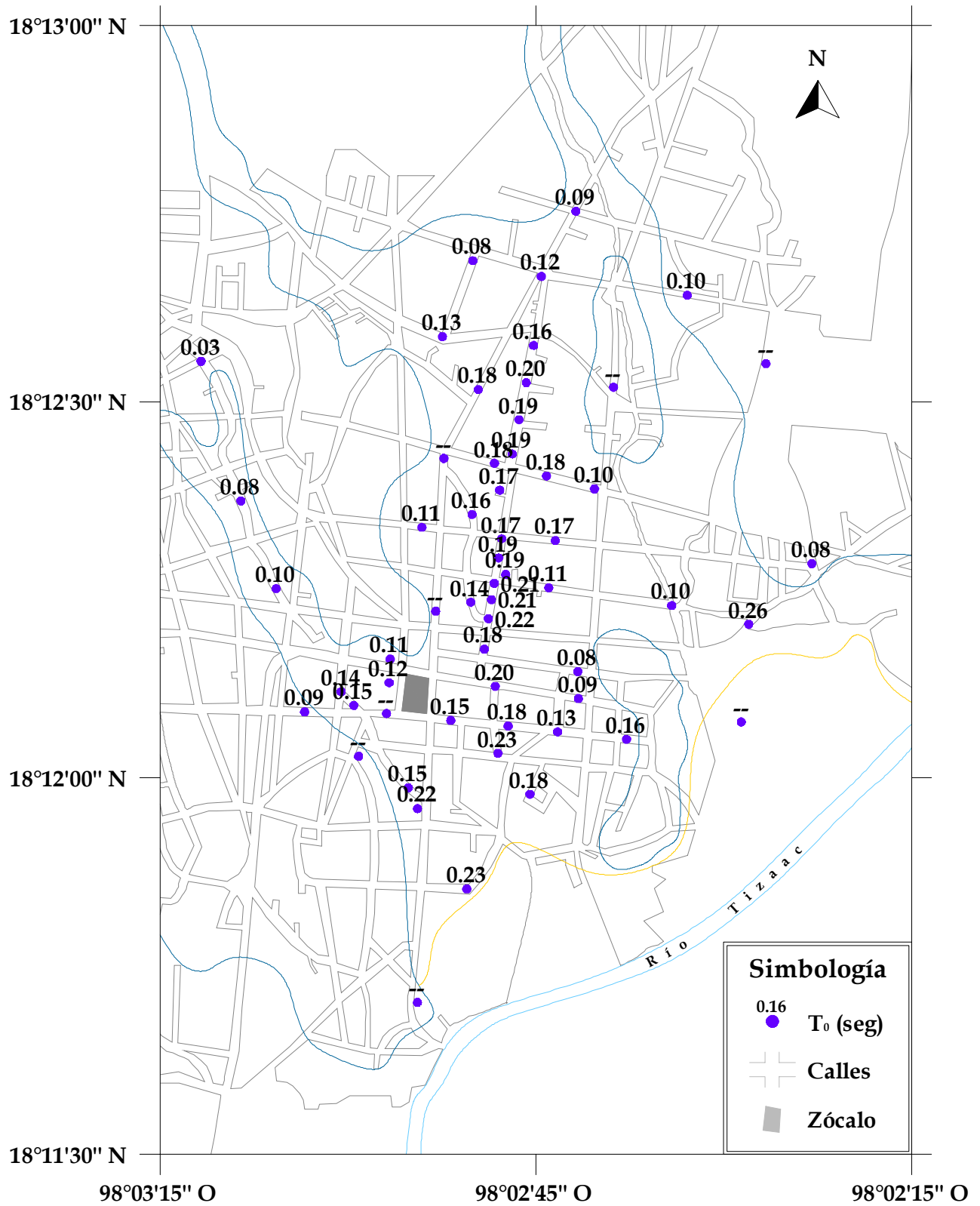


Figura 4.5.1.1. Periodos fundamentales del terreno en la ciudad de Acatlán.

En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcción del Municipio de Puebla (NTCDS-RCMP, 2003), se definen los tipos de terreno en función de parámetros como el periodo fundamental del suelo ( $T_0$ ), la velocidad de ondas de cortante ( $\beta$ ), el número de golpes de la prueba de penetración estándar (N) y la resistencia al corte no drenada (S) de los materiales en el sitio estudiado. Esta clasificación define tres tipos de terreno: firme (tipo I), intermedio (tipo II) y blando (tipo III), tal como se indica en las tablas 4.5.1.2 y 4.5.1.3. Con base en los valores de  $T_0$  mostrados en la tabla 4.5.1.1 y con los de  $\beta$  de la tabla 4.4.1.10, y de acuerdo con la clasificación de las NTCDS-RCMP (2003), el terreno en la microzona I corresponde al tipo I (firme) y el de la microzona II al tipo II (intermedio).

Tabla 4.5.1.2. Clasificación de los terrenos de cimentación (NTCDS-RCMP, 2003).

| Tipo de terreno | $T_0$ (s) , $\beta$ (m/s)  | Suelos granulares   | Suelos cohesivos      |
|-----------------|--|---------------------|-----------------------|
|                 |  | N (1)               | S (t/m <sup>2</sup> ) |
| I               | $T_0 < 0.4$ y $\beta > 350$  | $N > 40$            | $S > 10$              |
| II              | $T_0 < 0.4$ y $\beta \leq 350$<br>o bien<br>$0.4 \leq T_0 \leq 1.0$ y $\beta \geq 150$ | $15 \leq N \leq 40$ | $2.5 \leq S \leq 10$  |
| III             | $T_0 > 1.0$<br>o bien<br>$0.4 \leq T_0 \leq 1.0$ y $\beta < 150$                       | $N < 15$            | $S < 2.5$             |

Tabla 4.5.1.3. Descripción de los tipos de terreno de cimentación (NTCDS-RCMP, 2003).

| Tipo de terreno | Descripción   |
|-----------------|---|
| I               | Roca, limos y arcillas de consistencia de dura a muy firme, materiales granulares de alta compacidad.                                     |
| II              | Limos y arcillas de consistencia de blanda a dura, depósitos arenosos de compacidad media, o bien capas intercaladas de estos materiales. |
| III             | Limos y arcillas de consistencia muy blanda, depósitos arenosos de baja compacidad.   |

#### 4.5.2 Curvas de isoperiodo

Con los valores de  $T_0$  se construyeron, mediante interpolación lineal, las curvas de isoperiodo entre 0.10 y 0.24 segundos (con incrementos de 0.02 segundos) para la microzona II. El mapa respectivo se muestra en la figura 4.5.2.1.

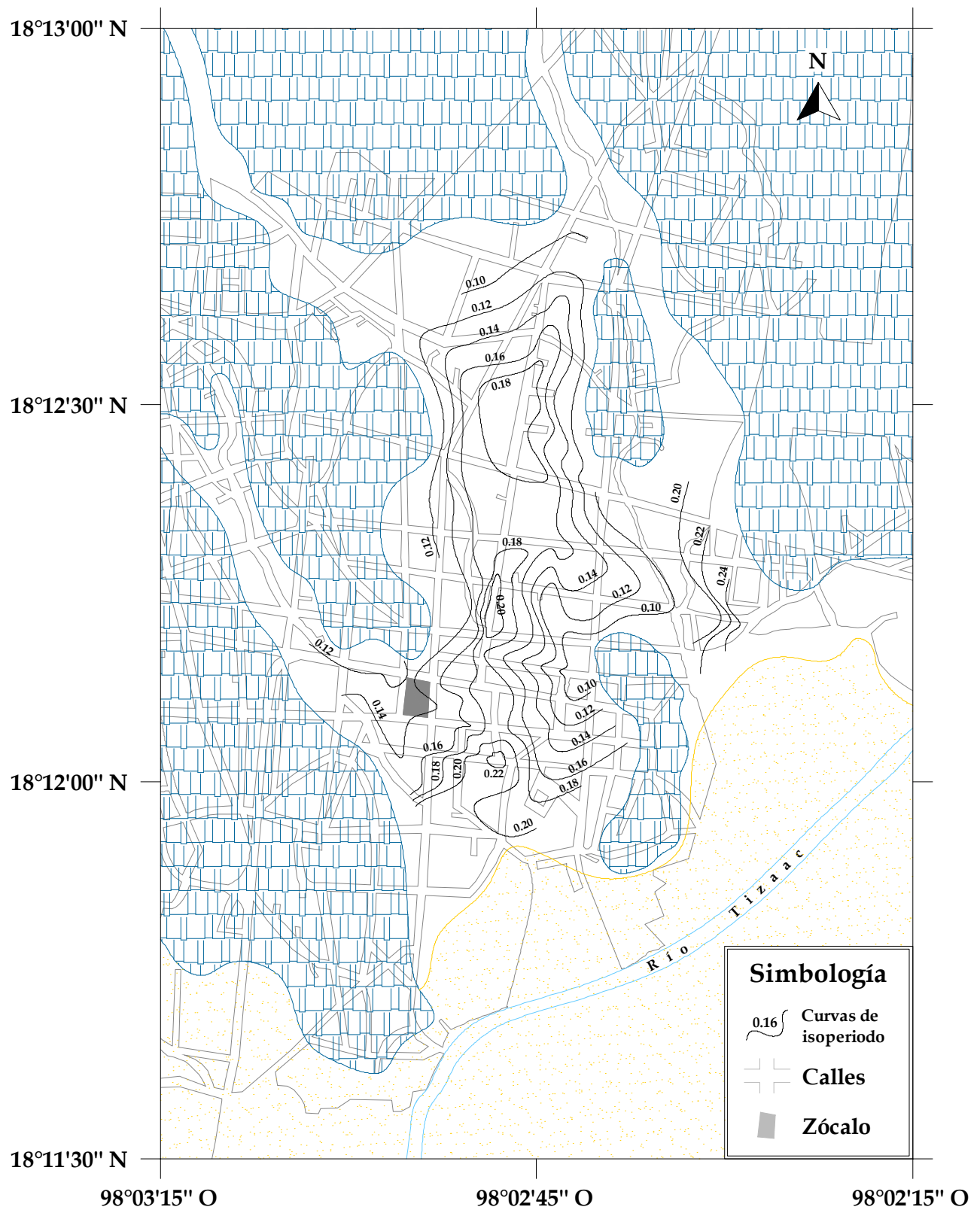


Figura 4.5.2.1. Mapa de isoperiodos en la ciudad de Acatlán.

### 4.5.3 Amplificaciones relativas máximas

Aun cuando la técnica H/V aplicada a microtremores subestima los valores de amplificación relativa esperados para un sismo (Lermo *et al.*, 1987; Lermo y Chávez-García, 1994; Bard *et al.*, 1997; Riquer *et al.*, 2003), esta información permite identificar los sitios donde pueden ocurrir amplificaciones importantes del movimiento del terreno. La figura 4.5.3.1 muestra la distribución espacial de las amplificaciones relativas máximas en la ciudad de Acatlán, correspondientes a los periodos fundamentales del suelo de la figura 4.5.1.1.

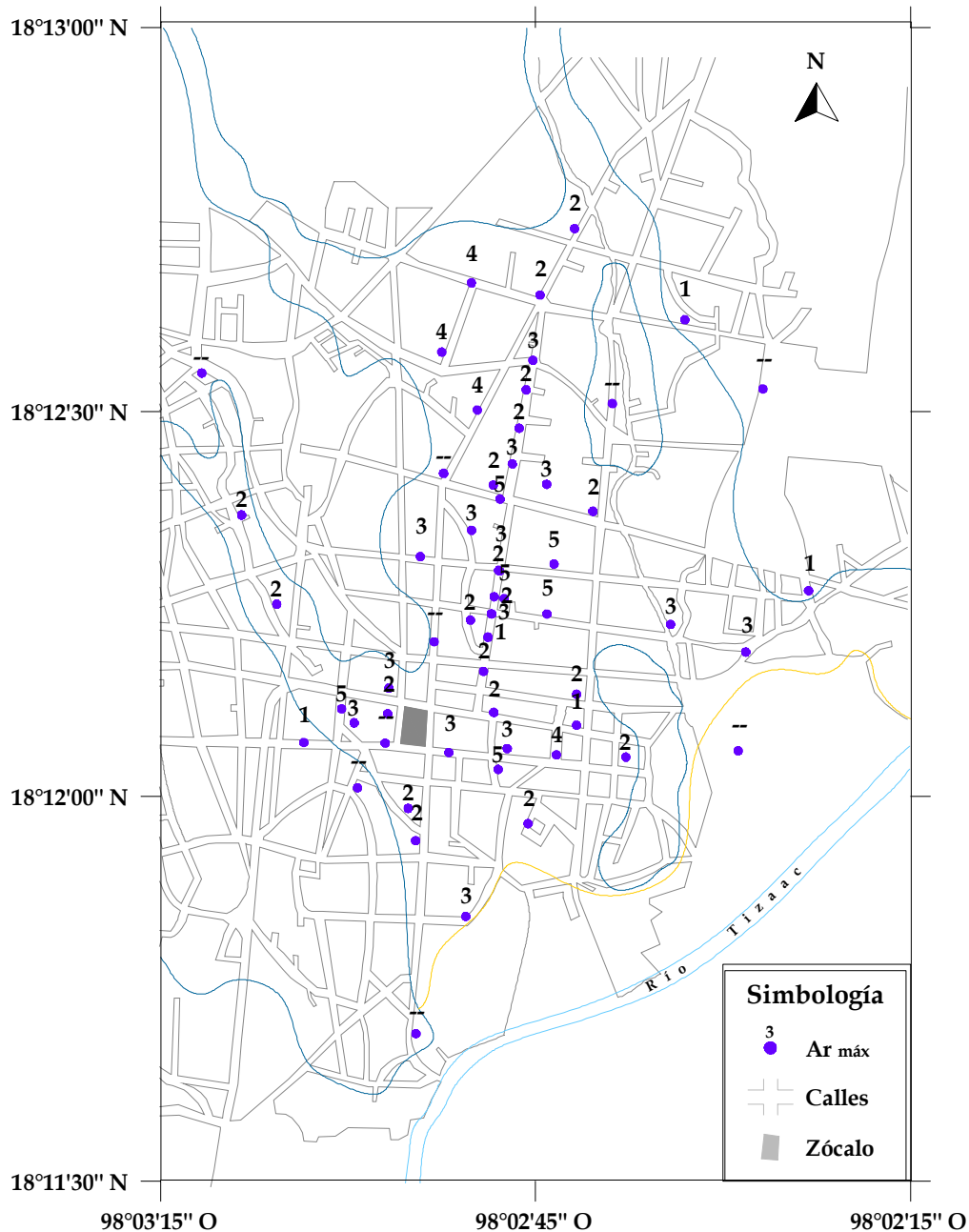
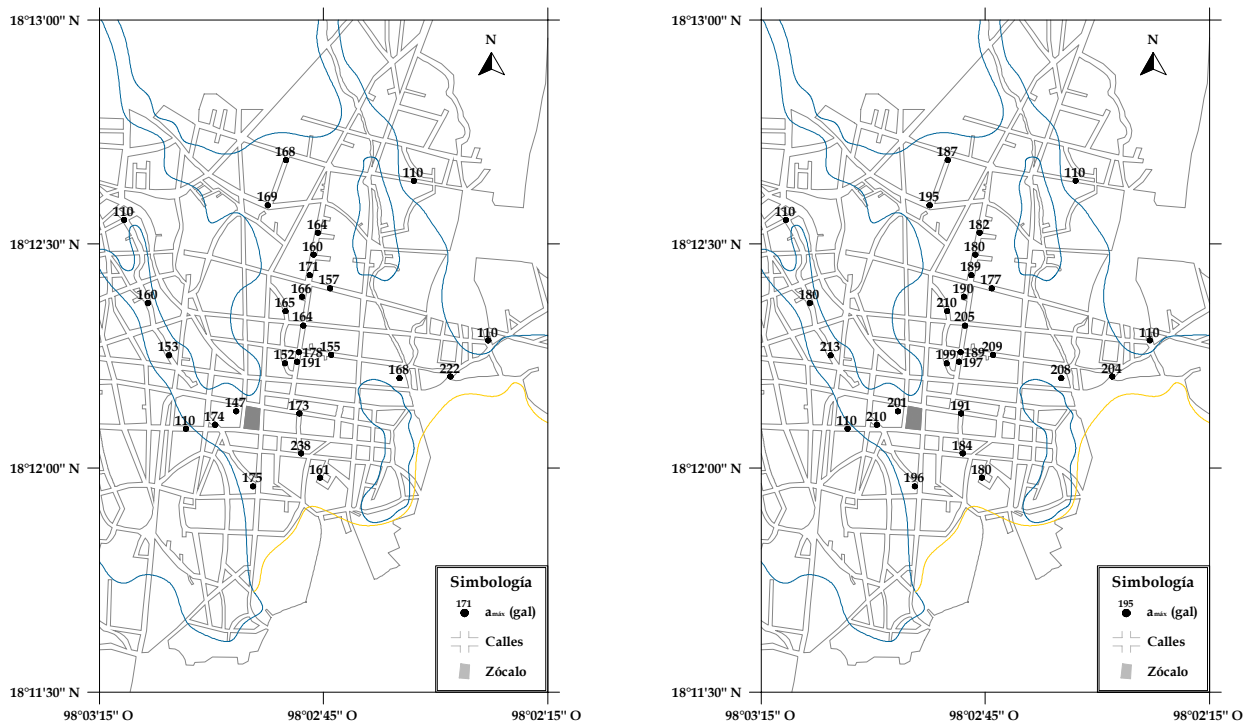


Figura 4.5.3.1. Amplificaciones relativas máximas en la ciudad de Acatlán.



#### 4.5.4 Aceleraciones máximas del terreno

Para el sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999 (Mw 7.0, mb 6.3), las aceleraciones pico del terreno en la microzona II se estimaron en las direcciones norte-sur y este-oeste. En la dirección norte-sur, se obtuvo un valor mínimo de 147 gal, un máximo de 238 gal y una media de 171 gal. En la dirección este-oeste, se obtuvo un valor mínimo de 177 gal, un máximo de 213 gal y una media de 195 gal. En general, las máximas aceleraciones resultaron en la dirección este-oeste. La figura 4.5.4.1 muestra la distribución de las aceleraciones calculadas.



**Figura 4.5.4.1.** Aceleraciones pico del terreno en la ciudad de Acatlán durante el sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999, dirección norte-sur (izquierda) y este-oeste (derecha).

## Capítulo 5

# VULNERABILIDAD SÍSMICA

### 5.1 Introducción

En este capítulo, se presentan los métodos utilizados para estudiar la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Acatlán: empírico, experimental y analítico. Por un lado, se determinaron características estructurales de las edificaciones, tales como el número de niveles, los materiales de construcción y el sistema resistente, entre otros; los datos recabados se analizaron mediante el uso de un sistema de información geográfico. Por otro, se estimó la respuesta estructural de las tipologías más comunes ante un sismo específico (15 de junio de 1999,  $M_w=7.0$ ,  $m_b=6.3$ ) y para el espectro de diseño correspondiente. A partir de mediciones de microtemores en las estructuras seleccionadas, se identificaron los valores de sus frecuencias naturales de vibración.

Con los resultados obtenidos, las aportaciones realizadas en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en la ciudad de Acatlán consisten en una estadística sobre aspectos estructurales básicos de las edificaciones, la definición de las tipologías estructurales más comunes, y un análisis de su vulnerabilidad ante estos dos niveles de sollicitación sísmica.

#### 5.1.1 Marco teórico

La vulnerabilidad sísmica es una propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su propio comportamiento ante la ocurrencia de un sismo y descrito a través de una ley causa-efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño (Sandi, 1986). El concepto de vulnerabilidad puede utilizarse no sólo para describir aspectos estructurales, sino también aspectos no estructurales, funcionales y operativos, entre otros.

Para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, es necesario realizar estudios que permitan conocer la susceptibilidad de las construcciones a presentar cierto nivel de daño ante un movimiento sísmico determinado. Estos estudios, generalmente se basan en la comparación de la capacidad resistente de la estructura con la demanda sísmica. La demanda es una representación de la acción sísmica, mientras que la capacidad es una representación del comportamiento esperado en la estructura para resistir dicha demanda (Safina, 2003). De esta manera, la capacidad se relaciona con el nivel de daño esperado y, por lo tanto, la acción sísmica y el daño sísmico constituyen los elementos fundamentales para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica.

Existe una variedad de métodos y técnicas propuestas por diferentes autores para evaluar la vulnerabilidad sísmica de diferentes tipos de estructuras (Caicedo *et al.*, 1994). De acuerdo con la información disponible para realizar el estudio de vulnerabilidad, las metodologías se pueden clasificar de la siguiente manera (Dolce, 1994):

- *Métodos empíricos.* Se caracterizan por un alto grado de subjetividad. Están basados en la experiencia sobre el comportamiento de ciertos tipos de edificaciones durante sismos pasados. Se utilizan cuando se dispone de información limitada, cuando se adopta un resultado menos ambicioso y para evaluaciones preliminares. Constituyen enfoques menos exigentes y más económicos de implementar. Estos métodos incluyen tanto los de categorización como los de inspección y puntaje.
- Métodos de categorización. Clasifican las edificaciones según su tipología en clases de vulnerabilidad, retomando la experiencia observada sobre el desempeño sísmico que construcciones similares han mostrado en grandes terremotos. El resultado es bastante subjetivo, por lo que son utilizados para evaluaciones preliminares. Un ejemplo de esta metodología es la clasificación propuesta en la Escala Macrosísmica Europea (Grünthal, 1998), la cual define seis clases de vulnerabilidad que van de la A (la de mayor vulnerabilidad) a la F (la de menor vulnerabilidad), en función de los materiales de construcción y el nivel de diseño sísmico, como se muestra en las tablas 5.1.1.1 y 5.1.1.2.

Tabla 5.1.1.1. Clases de vulnerabilidad en la Escala Macrosísmica Europea (Grünthal, 1998).

| Clase       | A        | B    | C     | D    | E        | F         |
|-------------|----------|------|-------|------|----------|-----------|
| Descripción | Muy alta | Alta | Media | Baja | Muy baja | Casi nula |

Tabla 5.1.1.2. Asignación de clases de vulnerabilidad a diferentes tipos de estructuras, según la Escala Macrosísmica Europea (Grünthal, 1998).

| Material           | Tipo de estructura                                     | Clase de vulnerabilidad |   |   |   |   |   |
|--------------------|--|-------------------------|---|---|---|---|---|
|                    |  | A                       | B | C | D | E | F |
| Mampostería        | Piedra natural sin labrar                              |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Adobe  |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Piedra natural labrada                                 |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Sillería   |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Ladrillo no reforzado con bloque de concreto reforzado |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Ladrillo no reforzado con losa de concreto reforzado   |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Ladrillo reforzado/confinado                           |                         |   |   |   |   |   |
| Concreto reforzado | Marco sin diseño antisísmico                           |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Marco con moderado nivel de diseño antisísmico         |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Marco con alto nivel de diseño antisísmico             |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Muros sin diseño antisísmico                           |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Muros con moderado nivel de diseño antisísmico         |                         |   |   |   |   |   |
|                    | Muros con alto nivel de diseño antisísmico             |                         |   |   |   |   |   |

|        |                      |                    |             |                  |  |  |  |
|--------|----------------------|--------------------|-------------|------------------|--|--|--|
| Metal  | Estructura metálica  |                    |             |                  |  |  |  |
| Madera | Estructura de madera |                    |             |                  |  |  |  |
|        |                      | : la más probable. | : probable. | : poco probable. |  |  |  |

- Métodos de inspección y puntaje. Permiten identificar y caracterizar las deficiencias estructurales de una edificación, asignando valores numéricos a manera de puntos a cada elemento estructural. Estos valores, ponderados en función de la importancia relativa del elemento respecto a la estructura, conducen a la determinación de un índice de vulnerabilidad. Un ejemplo de esta metodología es la propuesta del Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT, 1990).
- *Métodos analíticos o teóricos.* Evalúan la respuesta de las estructuras utilizando como base modelos analíticos que representan las propiedades geométricas y mecánicas de las estructuras reales. Constituyen un enfoque muy completo, exigente y costoso.
- *Métodos experimentales.* Recurren a ensayos dinámicos para determinar propiedades de la estructura y/o sus elementos. Generalmente constituyen estudios “in situ”, orientados a determinar parámetros dinámicos de la estructura.

La aplicación exhaustiva de todas estas metodologías a una misma edificación puede originar discrepancias en los resultados, incluso conducir a conclusiones erradas. En este sentido, se recomienda combinar los métodos analíticos y empíricos con algún método o técnica experimental que permita incrementar la confiabilidad del estudio de vulnerabilidad (Sandi, 1986; Caicedo *et al.*, 1994).

## 5.2 Método empírico de categorización

En el presente trabajo, el método empírico de categorización se utilizó para tener una idea general de las características estructurales de las edificaciones; para esto, fue necesario recopilar información en campo sobre aspectos básicos como el número de niveles, materiales de construcción empleados, sistema resistente, sistema de piso, tipo de cimentación, nivel de deterioro y nivel de agrietamiento, principalmente. Los datos recabados fueron analizados mediante el uso de un sistema de información geográfico (ArcGIS by ESRI, 2001). De esta manera, se identificaron las tipologías estructurales más comunes con el fin de aplicar en ellas los métodos experimental y analítico.

### 5.2.1 Zona de estudio

De acuerdo con la información catastral correspondiente a la ciudad de Acatlán (Secretaría de Obras Públicas del Estado de Puebla, 2004), se cuenta con la distribución espacial de las construcciones existentes, tal como se mostró en el primer capítulo.

Con base en la distribución de daños ocasionados por el sismo del 15 de junio de 1999 (Dirección de Obras Públicas del Municipio de Acatlán, 1999), se delimitó una zona de estudio que abarcara principalmente los predios donde se concentraron los daños cuando ocurrió dicho temblor. La figura 5.2.1.1 muestra el área de estudio seleccionada.

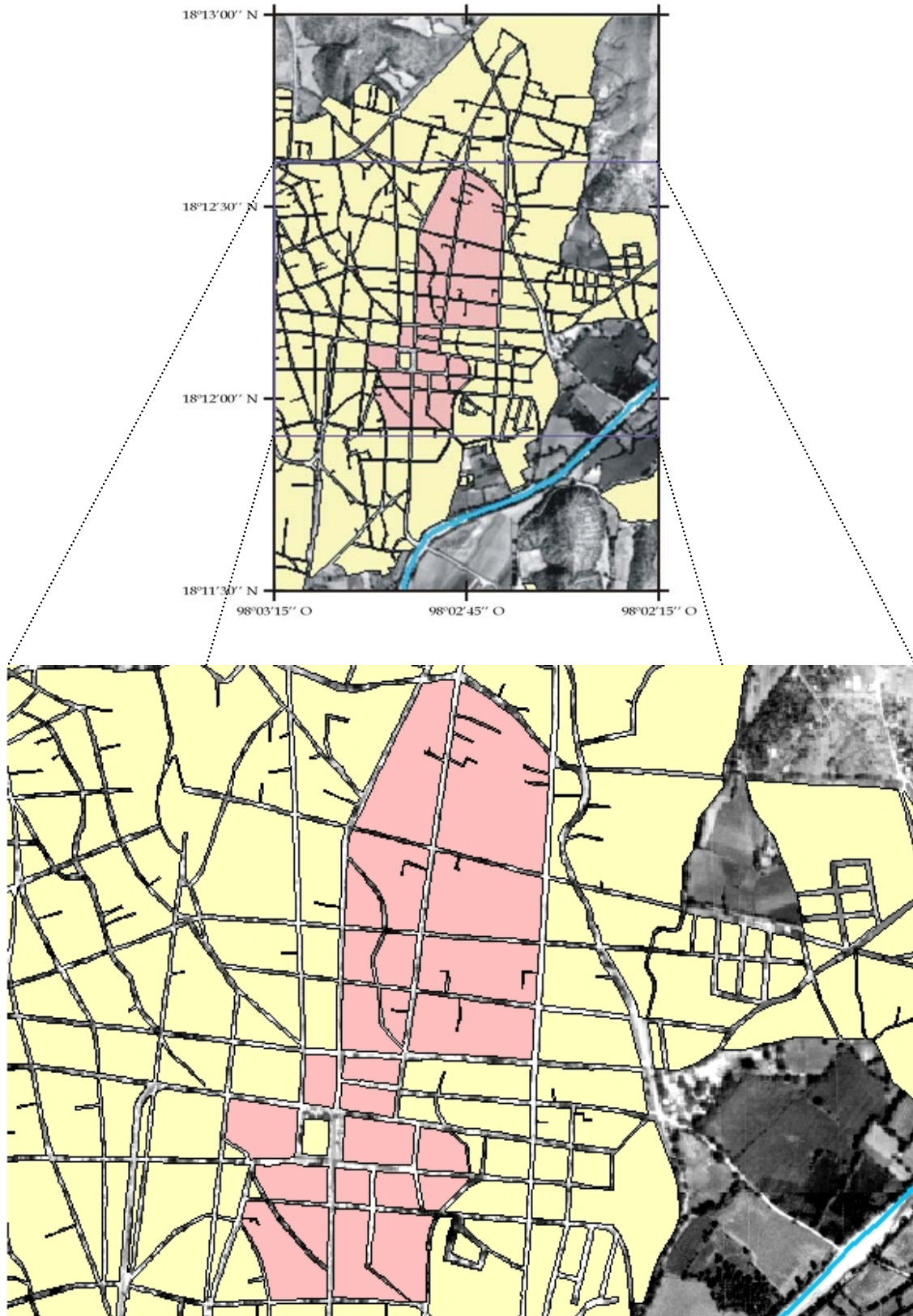


Figura 5.2.1.1. Zona de estudio para el análisis de vulnerabilidad sísmica.

### 5.2.2 Censo de edificaciones

Debido a que la información catastral disponible sólo nos ofrece un par de datos de interés (el número de niveles y el área construida), fue necesario llevar a cabo un censo que abarcara otros aspectos estructurales de las edificaciones. Para realizar el censo, se diseñó previamente un formato que permitiera recabar la mayor información posible de manera clara, sencilla y rápida. Los aspectos incluidos en dicho formato se enlistan a continuación, y en la figura 5.2.2.1 se muestra el esquema de impresión correspondiente. En total, se hizo un levantamiento de 438 edificaciones, cuya distribución se muestra en la figura 5.2.2.2.

#### 1. Ubicación

- Calle
- Número
- Posición en la manzana

#### 2. Datos estructurales

- *Número de niveles*
- *Uso por nivel*
  - ▲ Habitacional (unifamiliar, multifamiliar)
  - ▲ Oficinas (administración pública, administración privada, bancos)
  - ▲ Comercio (almacenamiento y abasto, tiendas de productos básicos, tiendas de especialidades, tiendas de autoservicio, tiendas departamentales, centros comerciales, mercados, venta de materiales y vehículos, tiendas de servicios)
  - ▲ Salud (Hospitales, clínicas y centros de salud, asistencia social, asistencia animal)
  - ▲ Educación y cultura (educación elemental, educación media, educación superior, institutos científicos, instalaciones para exhibiciones, centros de información, instalaciones religiosas, sitios históricos)
  - ▲ Recreación (alimentos y bebidas, entretenimiento, recreación social, deportes y recreación)
  - ▲ Alojamiento (hoteles, moteles, casas de huéspedes y albergues)
  - ▲ Seguridad (defensa, policía, bomberos, reclusorios y reformatorios, emergencias)
  - ▲ Servicios funerarios (cementeros, mausoleos y crematorios, agencias funerarias)
  - ▲ Comunicaciones y transportes (estaciones y terminales, estacionamientos, comunicaciones)
  - ▲ Industria (pesada, mediana, ligera)
  - ▲ Infraestructura (plantas, estaciones y subestaciones, torres, antenas, mástiles y chimeneas, cárcamos y bombas)
  - ▲ Agrícola, pecuario y forestal (establos, caballerizas, granjas)
- *Materiales de construcción*
  - ▲ Madera
  - ▲ Mampostería
    - ✦ Adobe
    - ✦ Piedra natural labrada
    - ✦ Ladrillo, tabique, tabicón o bloque de arcilla
    - ✦ Ladrillo, tabique, tabicón o bloque de concreto



- ▲ Concreto
  - ✦ Prefabricado
  - ✦ Reforzado
- ▲ Acero
- ▲ Otro
- *Sistema estructural*
  - ▲ Marcos (vigas y columnas)
  - ▲ Muros de mampostería
    - ✦ Diafragma (rodeados por un marco)
    - ✦ Confinados (reforzados con castillos y dalas)
    - ✦ Reforzados interiormente (reforzados con mallas o barras corrugadas de acero, horizontales y verticales, colocadas en los huecos de las piezas)
    - ✦ No reforzados
  - ▲ Marcos y muros
  - ▲ Otra
- *Sistema de piso*
  - ▲ Armadura de madera y tejas de arcilla
  - ▲ Vigas de madera y relleno de tierra
  - ▲ Armadura o vigas y lámina de:
    - ✦ Cartón
    - ✦ Asbesto
    - ✦ Metal
  - ▲ Losa prefabricada
    - ✦ Vigueta y bovedilla
    - ✦ Acanalada
  - ▲ Losa maciza de concreto reforzado
  - ▲ Otro
- *Cimentación*
  - ▲ Zapatas aisladas
    - ✦ Mampostería
    - ✦ Concreto
  - ▲ Zapatas corridas
    - ✦ Mampostería
    - ✦ Concreto
  - ▲ Losa
  - ▲ Cajón
  - ▲ Otra
- *Problemas visibles*
  - ▲ Grietas
  - ▲ Hundimientos
  - ▲ Desplomes
  - ▲ Deterioro de los materiales
  - ▲ Regularidad en planta
  - ▲ Regularidad en elevación
  - ▲ Otro

| 1. UBICACIÓN  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
|---|--------------------------|--------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------|---|---------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|----------------|--------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|--|----------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------|--|
| Calle y número :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Posición en la manzana :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| 2. DATOS ESTRUCTURALES  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Número de niveles :   |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| 2.1. USO POR NIVEL  | 2.4. SISTEMA DE PISO     |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Habitacional</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Oficinas</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Comercio</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Salud</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Educación y cultura</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Recreación</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Alojamiento</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Seguridad</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Servicios funerarios</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Comunicaciones y transportes</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Industria</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Infraestructura</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Agrícola, pecuario y forestal</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Otro :</td><td style="border-bottom: 1px solid black;"></td></tr> </table> | Habitacional             | <input type="checkbox"/> | Oficinas       | <input type="checkbox"/> | Comercio          | <input type="checkbox"/> | Salud                 | <input type="checkbox"/> | Educación y cultura         | <input type="checkbox"/> | Recreación                   | <input type="checkbox"/> | Alojamiento             | <input type="checkbox"/> | Seguridad              | <input type="checkbox"/> | Servicios funerarios | <input type="checkbox"/> | Comunicaciones y transportes   | <input type="checkbox"/> | Industria                | <input type="checkbox"/> | Infraestructura   | <input type="checkbox"/> | Agrícola, pecuario y forestal | <input type="checkbox"/>    | Otro :                   |                       | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Armadura de madera y tejas de arcilla</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Vigas de madera y relleno de tierra</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Armadura o vigas y lámina</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Cartón</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Asbesto</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Metal</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Losa prefabricada</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Vigueta y bovedilla</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Acanalada</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Losa de concreto reforzado</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Otro :</td><td style="border-bottom: 1px solid black;"></td></tr> </table> | Armadura de madera y tejas de arcilla | <input type="checkbox"/> | Vigas de madera y relleno de tierra | <input type="checkbox"/> | Armadura o vigas y lámina |                          | <i>Cartón</i> | <input type="checkbox"/> | <i>Asbesto</i> | <input type="checkbox"/> | <i>Metal</i> | <input type="checkbox"/> | Losa prefabricada |  | <i>Vigueta y bovedilla</i> | <input type="checkbox"/> | <i>Acanalada</i> | <input type="checkbox"/> | Losa de concreto reforzado | <input type="checkbox"/> | Otro : |  |
| Habitacional  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Oficinas  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Comercio  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Salud   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Educación y cultura   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Recreación  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Alojamiento   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Seguridad   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Servicios funerarios  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Comunicaciones y transportes  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Industria   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Infraestructura   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Agrícola, pecuario y forestal   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Otro :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Armadura de madera y tejas de arcilla   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Vigas de madera y relleno de tierra   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Armadura o vigas y lámina   |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Cartón</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Asbesto</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Metal</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Losa prefabricada   |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Vigueta y bovedilla</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Acanalada</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Losa de concreto reforzado  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Otro :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| 2.2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN   | 2.5. CIMENTACIÓN         |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Madera</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Mampostería</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Adobe</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Piedra natural</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Ladrillos de arcilla</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Ladrillos de concreto</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Concreto</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Prefabricado</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Reforzado</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Acero</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Otro :</td><td style="border-bottom: 1px solid black;"></td></tr> </table>   | Madera                   | <input type="checkbox"/> | Mampostería    |                          | <i>Adobe</i>      | <input type="checkbox"/> | <i>Piedra natural</i> | <input type="checkbox"/> | <i>Ladrillos de arcilla</i> | <input type="checkbox"/> | <i>Ladrillos de concreto</i> | <input type="checkbox"/> | Concreto                |                          | <i>Prefabricado</i>    | <input type="checkbox"/> | <i>Reforzado</i>     | <input type="checkbox"/> | Acero  | <input type="checkbox"/> | Otro :                   |                          | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Zapatas aisladas</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Mampostería</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Concreto</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Zapatas corridas</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Mampostería</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Concreto</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Losa</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Cajón</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Otra :</td><td style="border-bottom: 1px solid black;"></td></tr> </table> | Zapatas aisladas         |                               | <i>Mampostería</i>          | <input type="checkbox"/> | <i>Concreto</i>       | <input type="checkbox"/>  | Zapatas corridas                      |                          | <i>Mampostería</i>                  | <input type="checkbox"/> | <i>Concreto</i>           | <input type="checkbox"/> | Losa          | <input type="checkbox"/> | Cajón          | <input type="checkbox"/> | Otra :       |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Madera  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Mampostería   |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Adobe</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Piedra natural</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Ladrillos de arcilla</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Ladrillos de concreto</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Concreto  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Prefabricado</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Reforzado</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Acero   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Otro :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Zapatas aisladas  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Mampostería</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Concreto</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Zapatas corridas  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Mampostería</i>  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Concreto</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Losa  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Cajón   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Otra :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| 2.3. SISTEMA ESTRUCTURAL  | 2.6. PROBLEMAS VISIBLES  |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Marcos</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Muros de carga</td><td></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Diaphragma</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Confinados</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Reforzados</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td style="padding-left: 20px;"><i>Sin refuerzo</i></td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Marcos y muros de carga</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Marcos contraventeados</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Otra :</td><td style="border-bottom: 1px solid black;"></td></tr> </table>   | Marcos                   | <input type="checkbox"/> | Muros de carga |                          | <i>Diaphragma</i> | <input type="checkbox"/> | <i>Confinados</i>     | <input type="checkbox"/> | <i>Reforzados</i>           | <input type="checkbox"/> | <i>Sin refuerzo</i>          | <input type="checkbox"/> | Marcos y muros de carga | <input type="checkbox"/> | Marcos contraventeados | <input type="checkbox"/> | Otra :               |                          | <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Grietas</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Hundimientos</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Desplomes</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Deterioro de los materiales</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Regularidad en planta</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Regularidad en elevación</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Otro :</td><td style="border-bottom: 1px solid black;"></td></tr> </table> | Grietas                  | <input type="checkbox"/> | Hundimientos             | <input type="checkbox"/>  | Desplomes                | <input type="checkbox"/>      | Deterioro de los materiales | <input type="checkbox"/> | Regularidad en planta | <input type="checkbox"/>  | Regularidad en elevación              | <input type="checkbox"/> | Otro :                              |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Marcos  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Muros de carga  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Diaphragma</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Confinados</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Reforzados</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| <i>Sin refuerzo</i>   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Marcos y muros de carga   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Marcos contraventeados  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Otra :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Grietas   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Hundimientos  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Desplomes   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Deterioro de los materiales   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Regularidad en planta   | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Regularidad en elevación  | <input type="checkbox"/> |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |
| Otro :  |                          |                          |                |                          |                   |                          |                       |                          |                             |                          |                              |                          |                         |                          |                        |                          |                      |                          |  |                          |                          |                          |   |                          |                               |                             |                          |                       |   |                                       |                          |                                     |                          |                           |                          |               |                          |                |                          |              |                          |                   |  |                            |                          |                  |                          |                            |                          |        |  |

Figura 5.2.2.1. Formato utilizado en el levantamiento de datos.

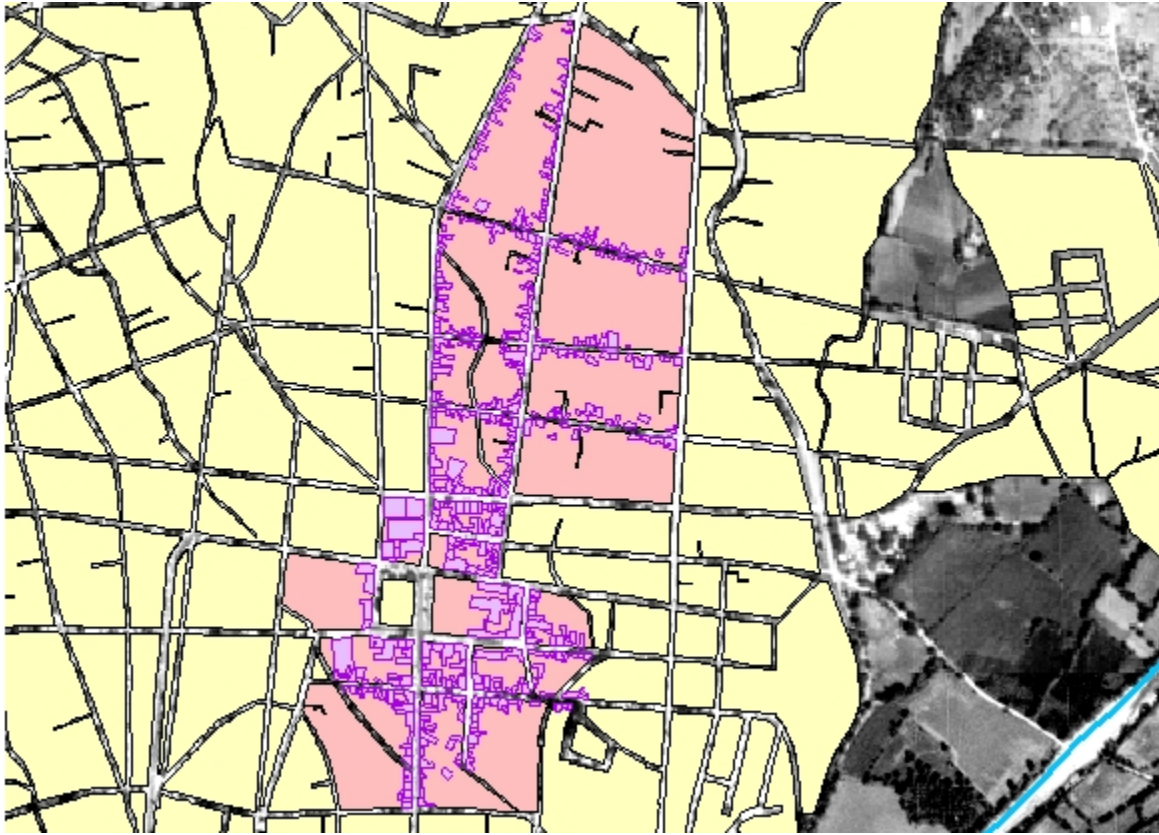


Figura 5.2.2.2. Distribución de las construcciones censadas en el área de estudio.

### 5.2.3 Base de datos

Los datos recabados fueron analizados mediante un sistema de información geográfico (ArcGIS by ESRI, 2001), con el fin de agruparlos, resumirlos y graficarlos más fácilmente. Con el uso del software correspondiente, los 438 formatos recopilados fueron capturados electrónicamente en una base de datos, de manera que el programa permite desplegar la información requerida seleccionando los campos de interés. Así, las características generales de las edificaciones censadas se presentan a continuación.

Tabla 5.2.3.1. Número de niveles.

| Número de niveles | Número de estructuras |
|-------------------|-----------------------|
| 1                 | 280                   |
| 2                 | 141                   |
| 3                 | 14                    |
| 4                 | 3                     |
| <i>Total</i>      | 438                   |

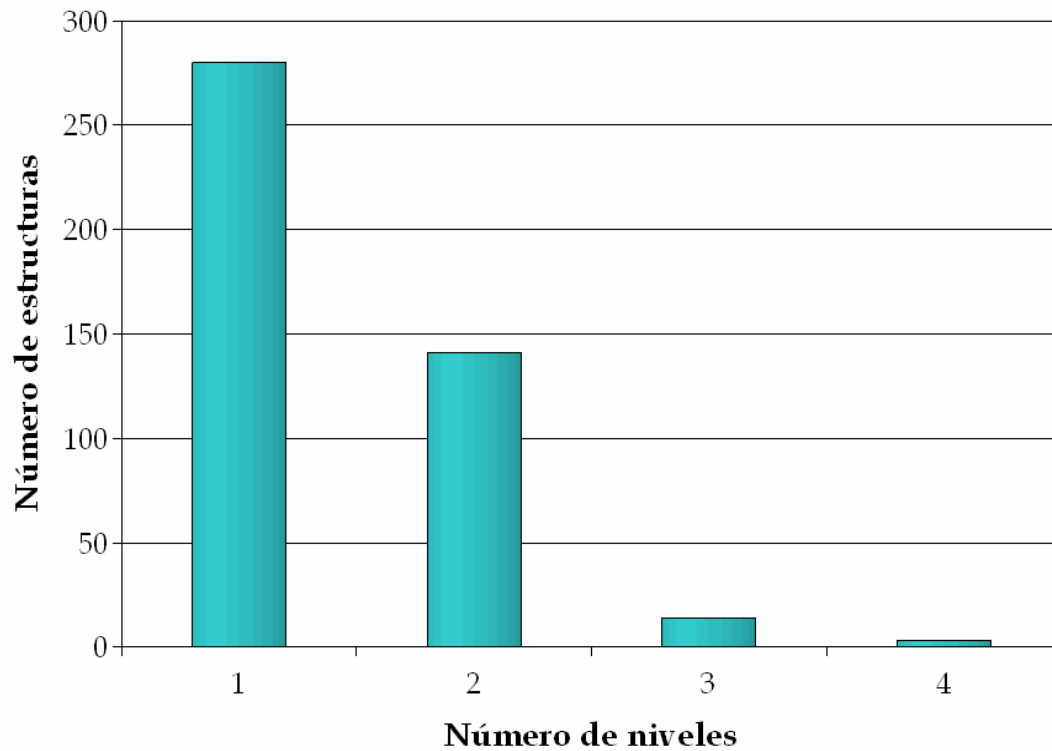


Figura 5.2.3.1. Número de niveles.

Tabla 5.2.3.2. Usos.

| Uso | Descripción                                  | Número de estructuras |
|-----|--|-----------------------|
| 1   | Alojamiento                                  | 4                     |
| 2   | Comercio (abandonado)                        | 1                     |
| 3   | Comercio (nivel 1) - Alojamiento (nivel 1)   | 1                     |
| 4   | Comercio (nivel 1) - Educación (nivel 2)     | 1                     |
| 5   | Comercio (nivel 1) - Habitacional (nivel 2)  | 84                    |
| 6   | Comercio (nivel 1) - Oficinas (nivel 2)      | 1                     |
| 7   | Comercio                                     | 60                    |
| 8   | Comunicaciones y transportes                 | 6                     |
| 9   | Educación y cultura                          | 9                     |
| 10  | Habitacional (abandonado)                    | 11                    |
| 11  | Habitacional (nivel 1) - Comercio (nivel 1)  | 43                    |
| 12  | Habitacional (nivel 1) - Educación (nivel 2) | 1                     |
| 13  | Habitacional                                 | 190                   |
| 14  | Industria                                    | 5                     |
| 15  | Oficinas (nivel 1) - Habitacional (nivel 2)  | 3                     |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 16 | Oficinas                                      | 11  |
| 17 | Recreación (nivel 1) - Habitacional (nivel 2) | 1   |
| 18 | Recreación                                    | 1   |
| 19 | Salud (nivel 1) - Habitacional (nivel 2)      | 3   |
| 20 | Seguridad                                     | 2   |
|    | <i>Total</i>                                  | 438 |

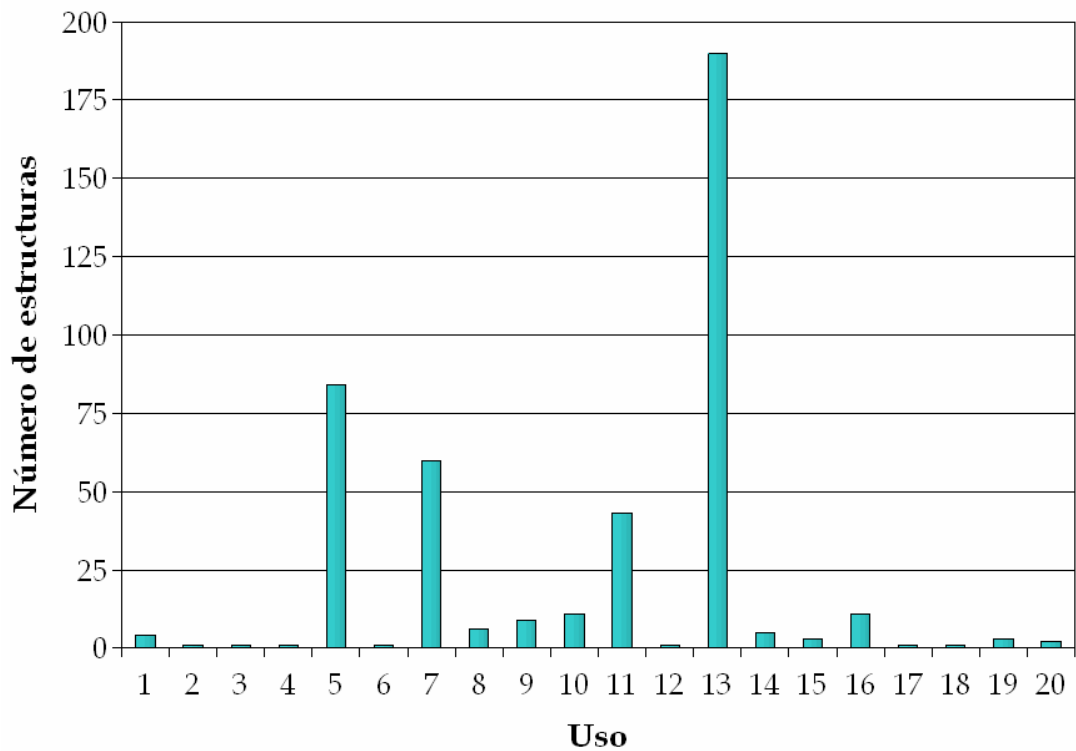


Figura 5.2.3.2. Usos.

Tabla 5.2.3.3. Materiales de construcción.

| Material | Descripción   | Número de estructuras |
|----------|---|-----------------------|
| 1        | Concreto reforzado  | 21                    |
| 2        | Mampostería de adobe - Mampostería de ladrillos de concreto                     | 3                     |
| 3        | Mampostería de adobe - Mampostería de piedra natural                            | 1                     |
| 4        | Mampostería de adobe (nivel 1) - Mampostería de ladrillos de arcilla (nivel 2)  | 1                     |
| 5        | Mampostería de adobe (nivel 1) - Mampostería de ladrillos de concreto (nivel 2) | 4                     |
| 6        | Mampostería de adobe  | 110                   |

|    |   |     |
|----|---|-----|
| 7  | Mampostería de ladrillos de arcilla -<br>Mampostería de ladrillos de concreto | 2   |
| 8  | Mampostería de ladrillos de arcilla   | 50  |
| 9  | Mampostería de ladrillos de concreto  | 241 |
| 10 | Mampostería de piedra - Mampostería de<br>ladrillos de concreto               | 2   |
| 11 | Mampostería de piedra natural   | 3   |
|    | <i>Total</i>  | 438 |

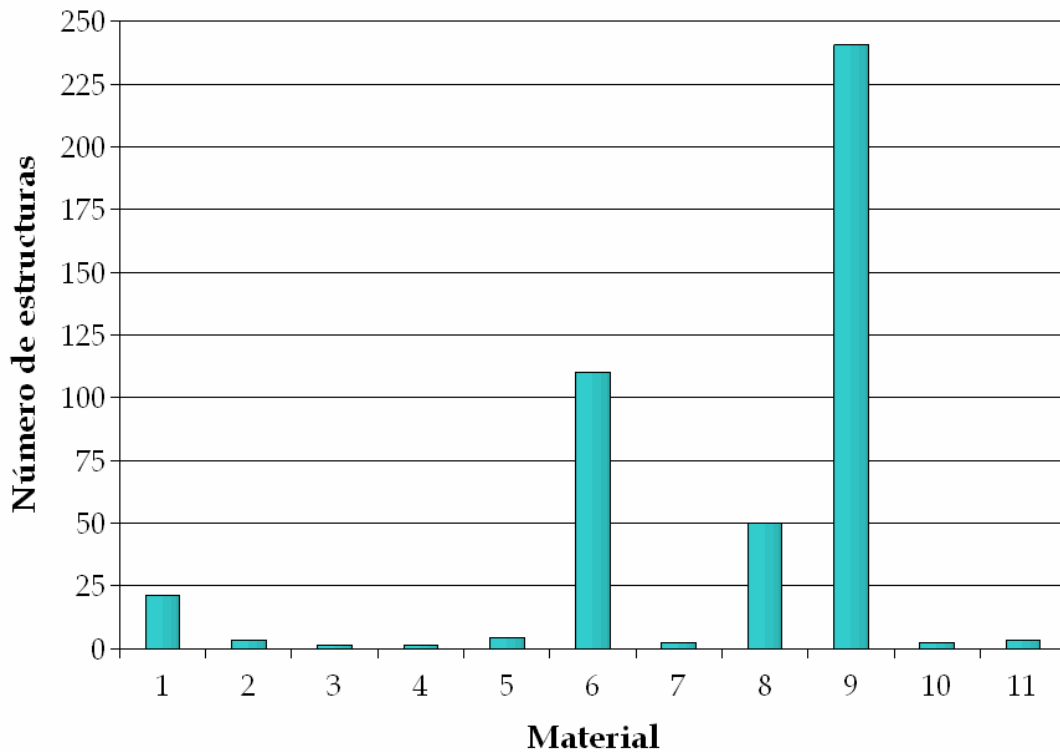


Figura 5.2.3.3. Materiales de construcción.

Tabla 5.2.3.4. Sistemas estructurales.

| Sistema | Descripción                 | Número de estructuras |
|---------|-----------------------------|-----------------------|
| 1       | Marcos y muros de carga     | 5                     |
| 2       | Marcos                      | 18                    |
| 3       | Muros de carga confinados   | 315                   |
| 4       | Muros de carga reforzados   | 1                     |
| 5       | Muros de carga sin refuerzo | 99                    |
|         | <i>Total</i>                | 438                   |



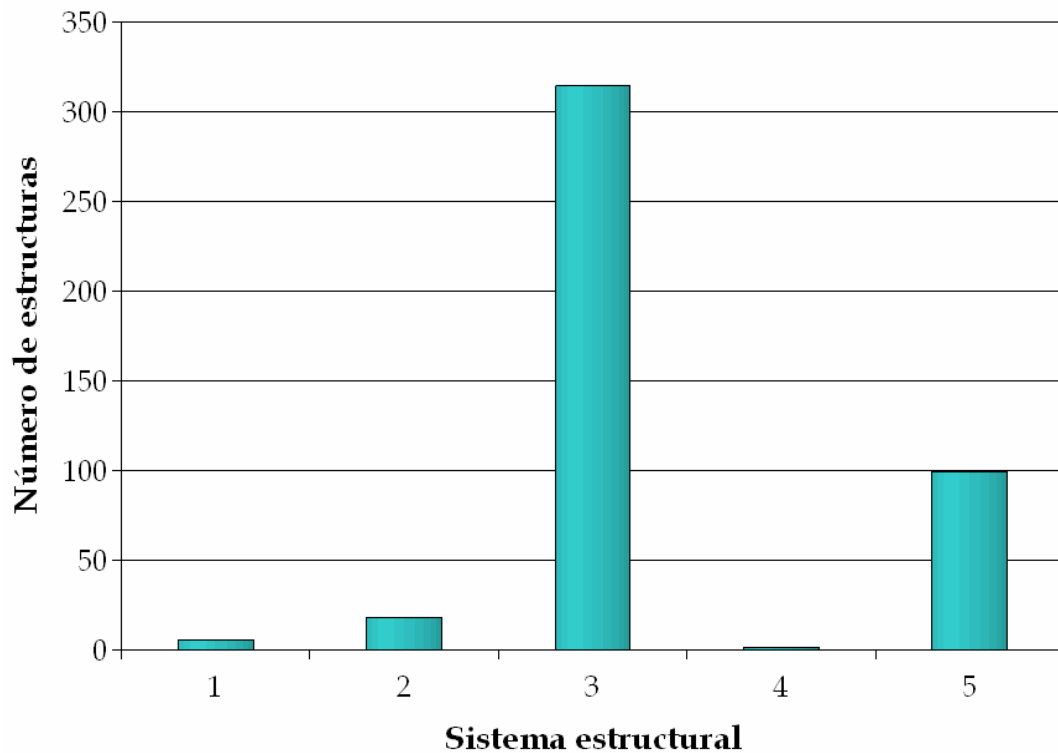


Figura 5.2.3.4. Sistemas estructurales.

Tabla 5.2.3.5. Sistemas de piso.

| Sistema | Descripción                                  | Número de estructuras |
|---------|--|-----------------------|
| 1       | Cúpulas de mampostería                       | 2                     |
| 2       | Losa (nivel 1) - Lámina de asbesto (nivel 1) | 1                     |
| 3       | Losa (nivel 1) - Lámina de asbesto (nivel 2) | 2                     |
| 4       | Losa (nivel 1) - Lámina metálica (nivel 2)   | 4                     |
| 5       | Losa (nivel 1) - Sin techo (nivel 2)         | 1                     |
| 6       | Losa   | 319                   |
| 7       | Lámina de asbesto                            | 11                    |
| 8       | Lámina de metal                              | 9                     |
| 9       | Relleno de tierra (nivel 1) - Losa (nivel 2) | 2                     |
| 10      | Relleno de tierra                            | 79                    |
| 11      | Sin techo                                    | 6                     |
| 12      | Teja de arcilla                              | 2                     |
|         | <i>Total</i>                                 | 438                   |

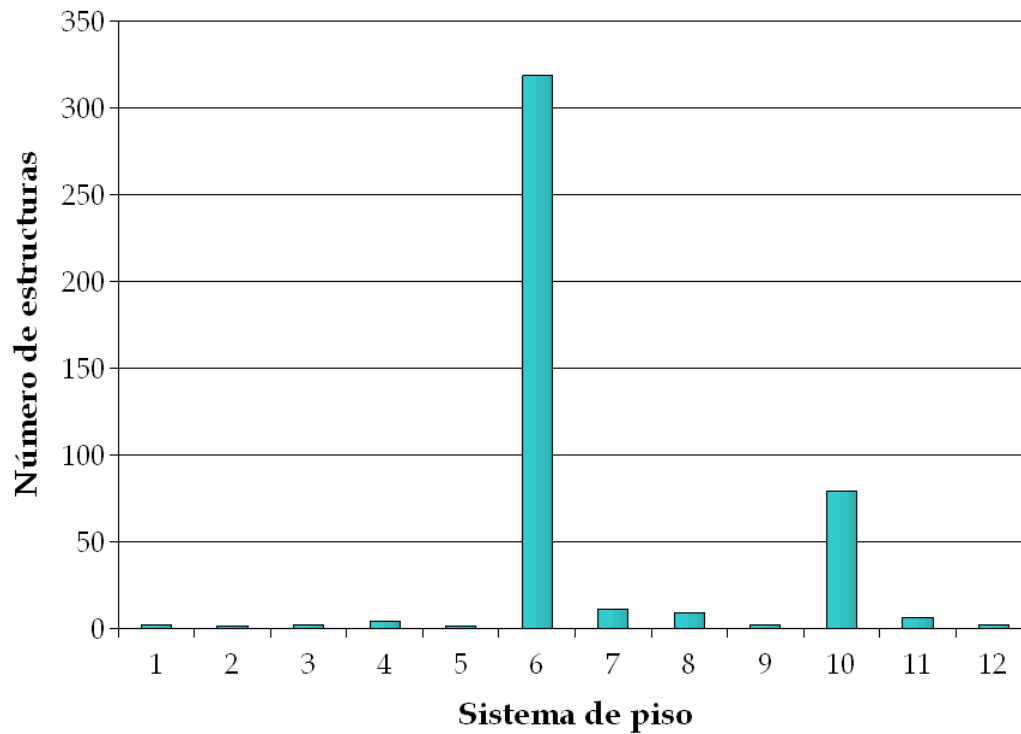


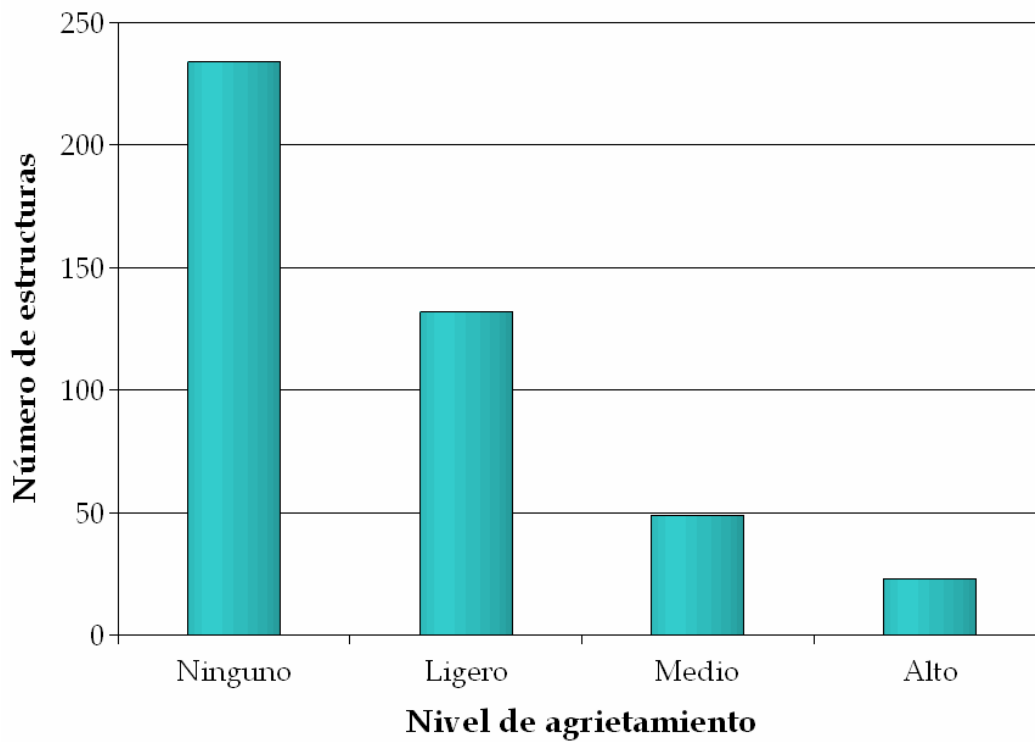
Figura 5.2.3.5. Sistemas de piso.

Tabla 5.2.3.6. Niveles de agrietamiento.

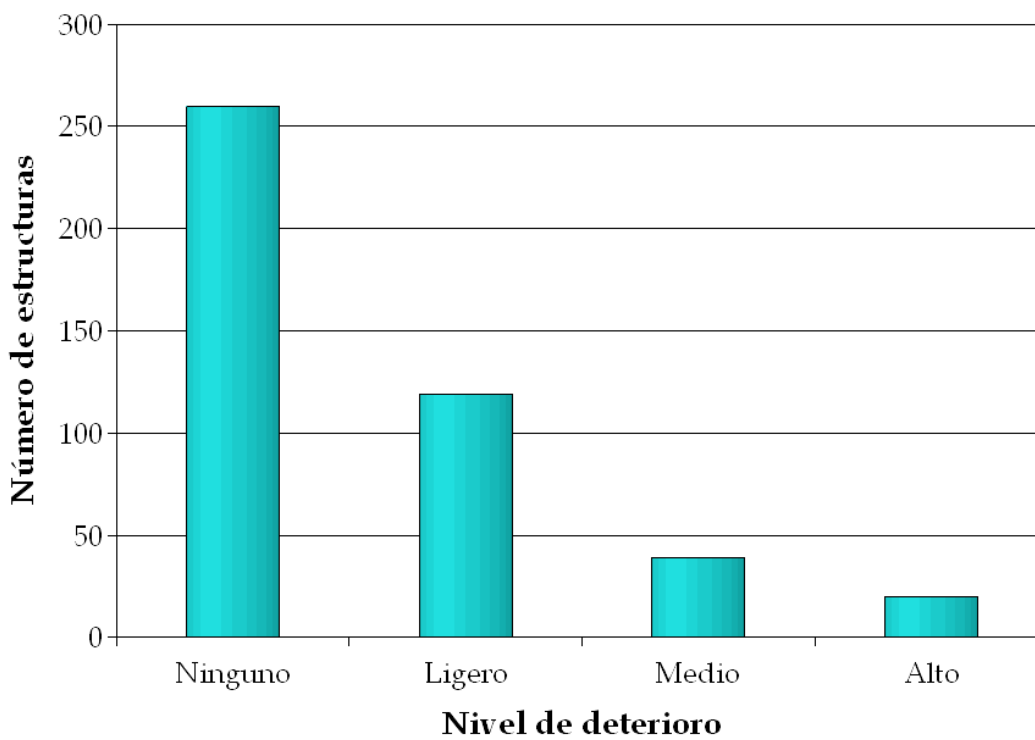
| Nivel   | Descripción   | Número de estructuras |
|---------|---|-----------------------|
| Ninguno | Fisuras imperceptibles, casi nulas                              | 234                   |
| Ligero  | Fisuras en algún punto o región de un elemento estructural      | 132                   |
| Medio   | Grietas en alguna región de un elemento estructural             | 49                    |
| Alto    | Grietas en varias regiones de uno o más elementos estructurales | 23                    |
|         | <i>Total</i>  | 438                   |

Tabla 5.2.3.7. Niveles de deterioro.

| Nivel   | Descripción                                 | Número de estructuras |
|---------|---|-----------------------|
| Ninguno | Materiales no desgastados, bien conservados | 260                   |
| Ligero  | Materiales ligeramente desgastados          | 119                   |
| Medio   | Materiales medianamente desgastados         | 39                    |
| Alto    | Materiales muy desgastados, mal conservados | 20                    |
|         | <i>Total</i>                                | 438                   |



**Figura 5.2.3.6.** Niveles de agrietamiento.



**Figura 5.2.3.7.** Niveles de deterioro.

De acuerdo con estos resultados, podemos ver que la mayoría de las construcciones son de uno o dos niveles, los usos principales son el habitacional y el comercial, los materiales de construcción más empleados son la mampostería de tabiques de concreto y la mampostería de adobe, los sistemas estructurales predominantes son los muros de carga confinados y los muros de carga sin refuerzo, y los sistemas de piso más utilizados son la losa de concreto y el terrado (relleno de tierra sobre vigas). Además, alrededor del 20% de las construcciones presentan niveles de agrietamiento y grados de deterioro de los materiales que van de medios a altos.

#### 5.2.4 Tipologías más comunes

Por último, se definieron tres tipologías estructurales que son las más comunes en el área de estudio, las cuales representan el 62% de las construcciones censadas:

- Tipología I: estructuras de 1 nivel, construidas con mampostería de ladrillos de concreto, a base de muros de carga confinados con dalas y castillos y con techo de losa de concreto.
- Tipología II: estructuras de 2 niveles, construidas con mampostería de ladrillos de concreto, a base de muros de carga confinados y con techo de losa de concreto.
- Tipología III: estructuras de 1 nivel, construidas con mampostería de adobe, a base de muros de carga sin refuerzo y con techo de relleno de tierra sobre vigas.

Las figura 5.2.4.1 muestra el número de edificaciones correspondiente, y la figura 5.2.4.2 la distribución espacial de las mismas.

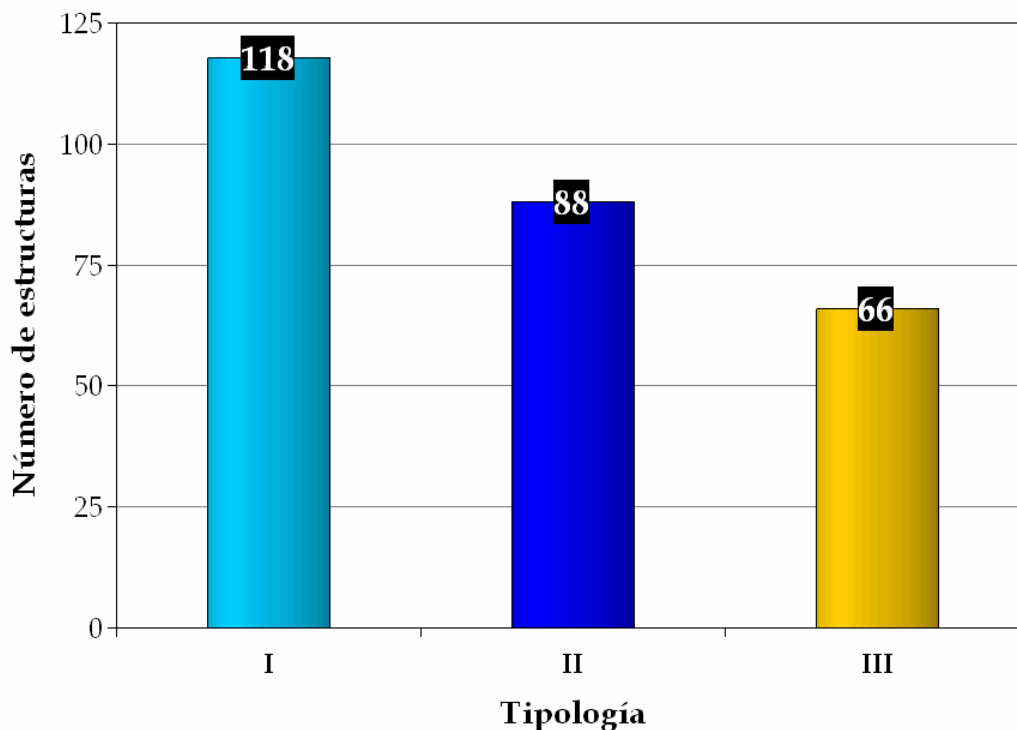
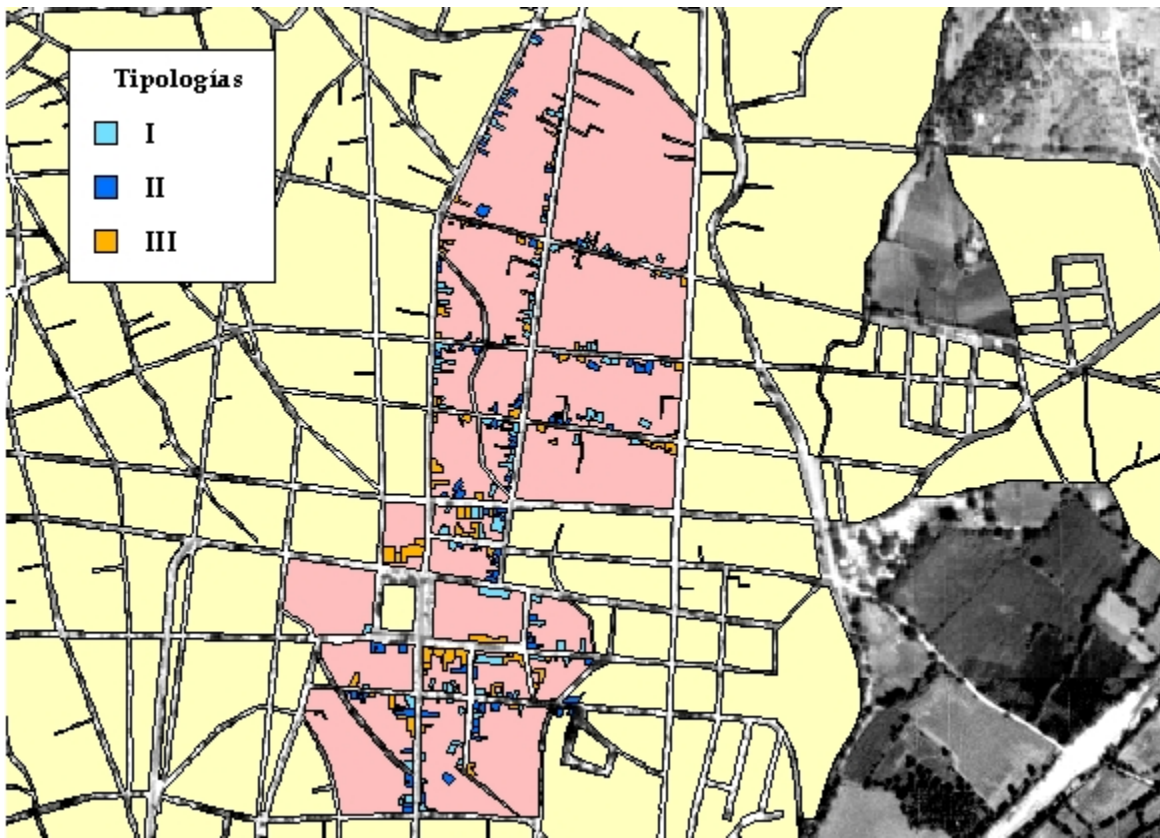


Figura 5.2.4.1. Número de estructuras por tipología.



**Figura 5.2.4.2.** Distribución de las tipologías estructurales más comunes.

Ahora bien, la tarea siguiente consistirá en determinar qué tan vulnerables son este tipo de construcciones, para lo cual se han tomado en cuenta dos niveles de excitación sísmica: el que corresponde al sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999 (calculado en el capítulo anterior), y el que recomienda la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993).

Con el fin de aplicar un método experimental y otro analítico, se han seleccionado las siguientes viviendas representativas.



**Figura 5.2.4.3.** Vivienda 1, representativa de la tipología I, ubicada en el punto 55.



**Figura 5.2.4.4.** Vivienda 2, representativa de la tipología II, ubicada en el punto 56.



**Figura 5.2.5.5.** Vivienda 3, representativa de la tipología III, ubicada en el punto 57.

### 5.3 Método experimental

En el presente estudio, el método experimental utilizado consiste en determinar los periodos fundamentales de vibración de cada estructura a partir de registros de vibración ambiental. La idea es calcular funciones de transferencia (empíricas) del sistema estructural, relacionando el movimiento en la azotea (o en el nivel de interés) respecto al movimiento en la base (a nivel de terreno). El proceso de obtención de registros y análisis de los datos es semejante al que se realizó para puntos de medición en el terreno, pero en este caso se consideran sólo las componentes horizontales.

Para determinar los periodos de traslación por piso, el numerador de la función de transferencia es el espectro de Fourier de la señal registrada en su centro de masa, mientras que el

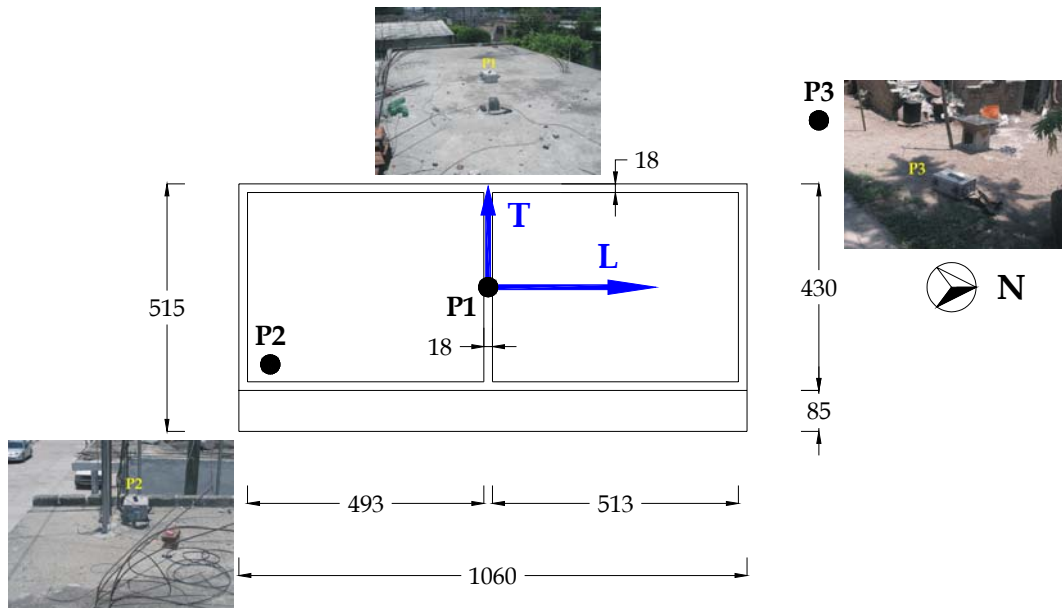


denominador es el espectro de Fourier de la señal registrada en la base de la estructura. Para el periodo asociado a torsión, el numerador es el espectro de Fourier de la señal registrada en una o más de sus esquinas, mientras que el denominador es el espectro de Fourier de la señal registrada en el centro de masa. Las funciones de transferencia se obtienen para dos direcciones ortogonales, generalmente las correspondientes a los ejes longitudinal y transversal de la edificación.

### 5.3.1 Obtención de registros

En cada una de las viviendas seleccionadas, se obtuvieron registros de vibración ambiental en la azotea y a nivel de terreno, para lo cual se ubicaron aproximadamente los siguientes puntos de medición: centro de masa de la azotea (P1), una esquina de la azotea (P2) y nivel del terreno (P3). El sistema de adquisición de datos consistió en tres acelerómetros marca Kinemetrics modelo FBA23, conectados a un registrador digital marca Kinemetrics modelo Altus. En cada punto se hicieron dos muestreos, cada uno con intervalo de 0.01 segundos y duración aproximada de 90 segundos. Los datos se grababan en formato binario, y posteriormente se transferían a una computadora portátil.

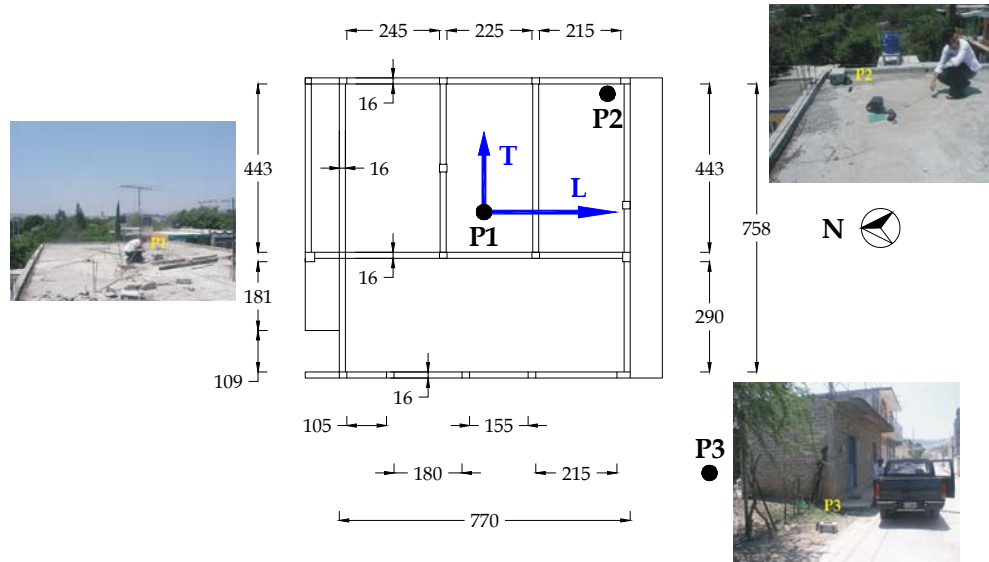
Las figuras 5.3.1.1, 5.3.1.2 y 5.3.1.3 muestran los croquis en planta correspondientes y la ubicación de los puntos de registro. Las tablas 5.3.1.1, 5.3.1.2 y 5.3.1.3 indican la manera en que fueron asignadas las componentes del movimiento.



**Figura 5.3.1.1.** Croquis en planta (dimensiones en centímetros) de la azotea de la vivienda 1 y ubicación de los puntos de registro de vibración ambiental.

Tabla 5.3.1.1. Asignación de las componentes del movimiento, vivienda 1.

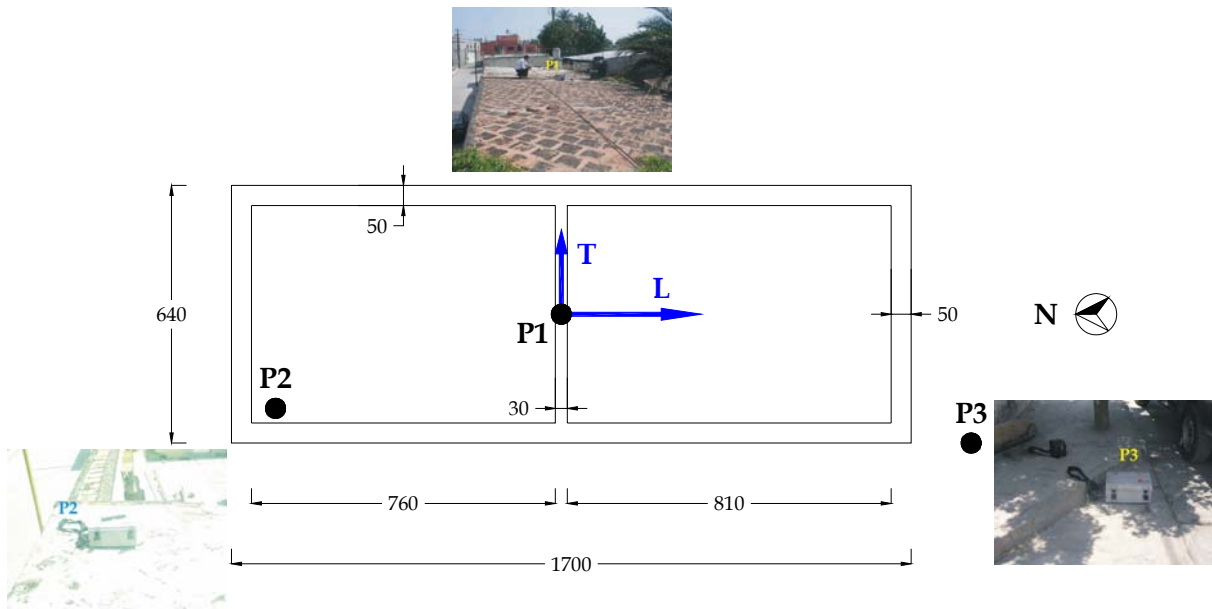
| Canal | Componente   | Eje de la estructura |
|-------|--------------|----------------------|
| 1     | Norte - Sur  | Longitudinal (L)     |
| 2     | Vertical     | -                    |
| 3     | Este - Oeste | Transversal (T)      |



**Figura 5.3.1.2.** Croquis en planta (dimensiones en centímetros) de la azotea de la vivienda 2 y ubicación de los puntos de registro de vibración ambiental.

Tabla 5.3.1.2. Asignación de las componentes del movimiento, vivienda 2.

| Canal | Componente   | Eje de la estructura |
|-------|--------------|----------------------|
| 1     | Norte - Sur  | Longitudinal (L)     |
| 2     | Vertical     | -                    |
| 3     | Este - Oeste | Transversal (T)      |



**Figura 5.3.1.3.** Croquis en planta (dimensiones en centímetros) de la azotea de la vivienda 3 y ubicación de los puntos de registro de vibración ambiental.

Tabla 5.3.1.3. Asignación de las componentes del movimiento, vivienda 3.

| Canal | Componente   | Eje de la estructura |
|-------|--------------|----------------------|
| 1     | Norte - Sur  | Transversal (T)      |
| 2     | Vertical     | -                    |
| 3     | Este - Oeste | Longitudinal (L)     |

### 5.3.2 Procesamiento de datos

Con los registros obtenidos en cada vivienda, se seleccionaron ventanas de 30 segundos aproximadamente, para las cuales se calcularon los espectros de Fourier y las funciones de transferencia empíricas correspondientes. Las FTE calculadas, junto con su promedio espectral respectivo, se muestran en las figuras 5.3.2.1, 5.3.2.2 y 5.3.2.3.

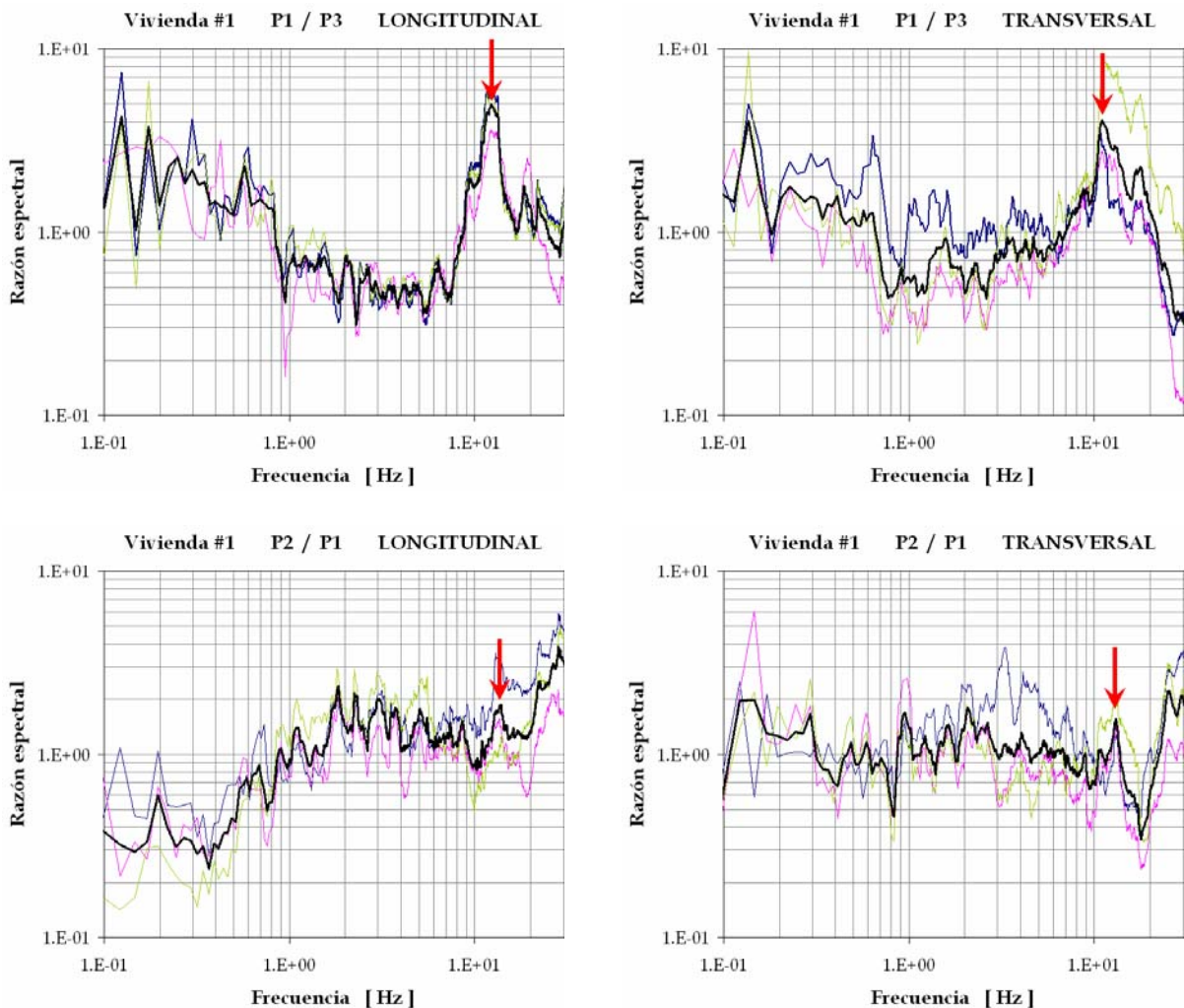


Figura 5.3.2.1. Funciones de transferencia empíricas en la vivienda 1. Las líneas gruesas representan el promedio espectral. La flecha indica la frecuencia asociada al modo de vibrar correspondiente.

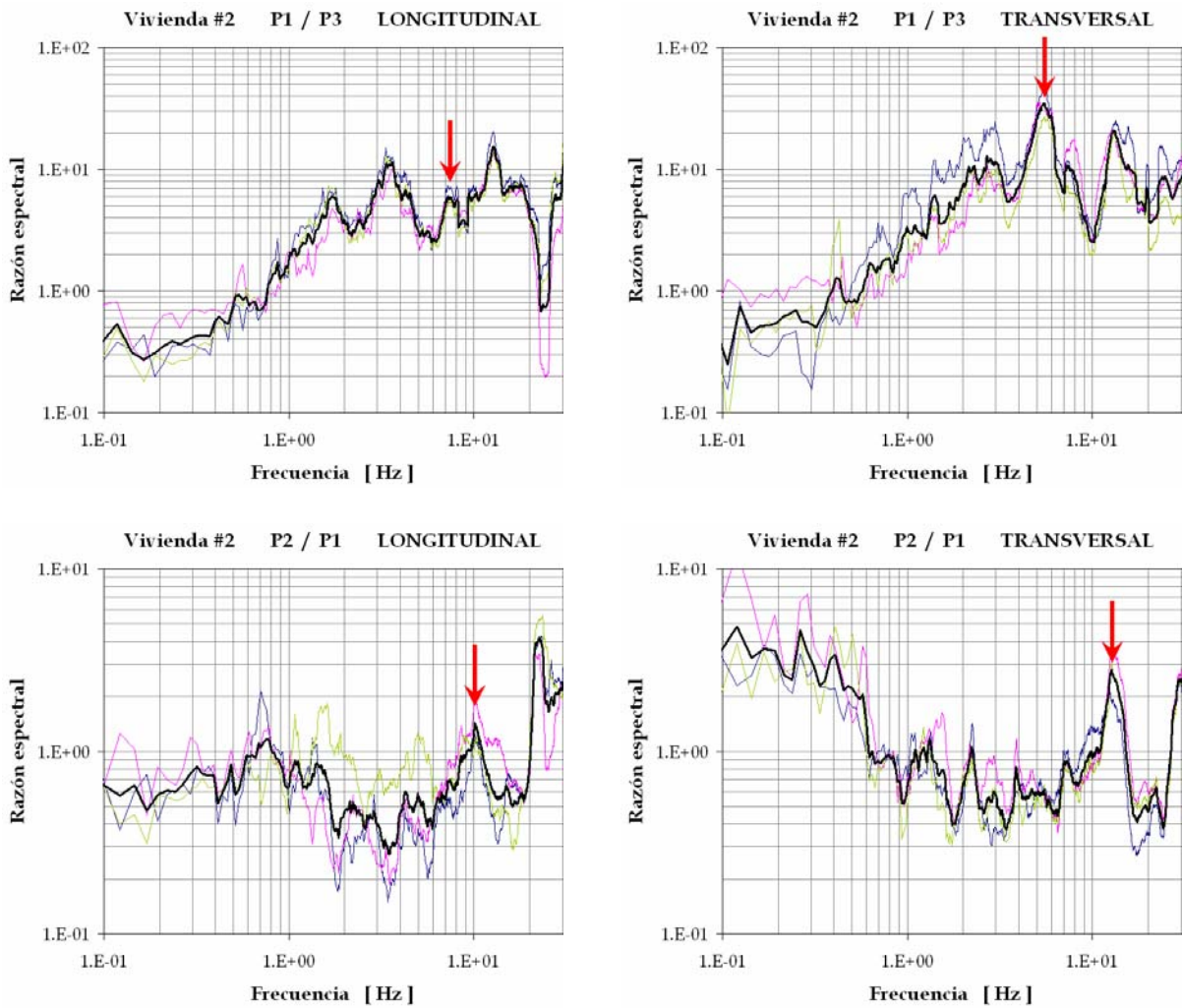
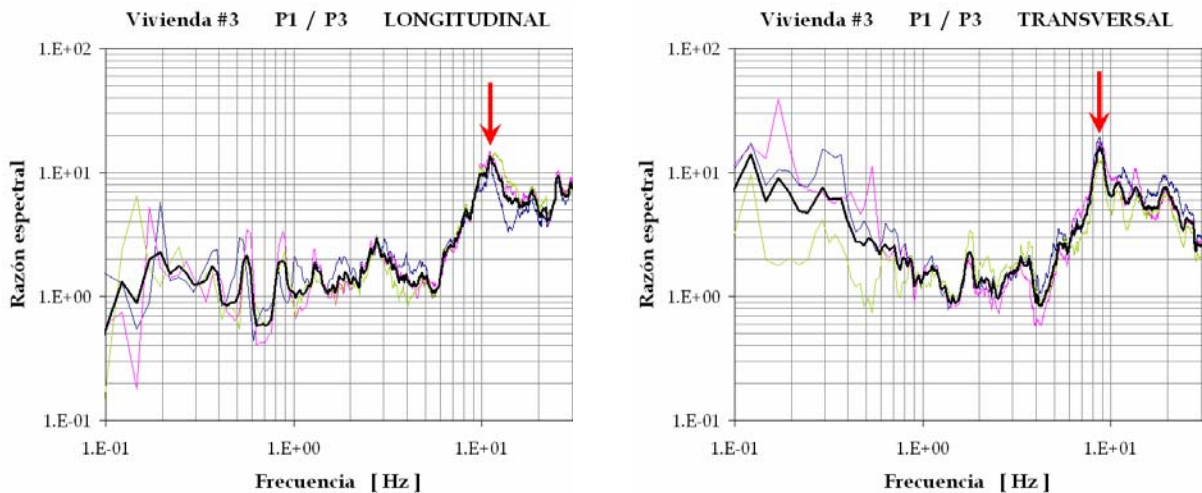
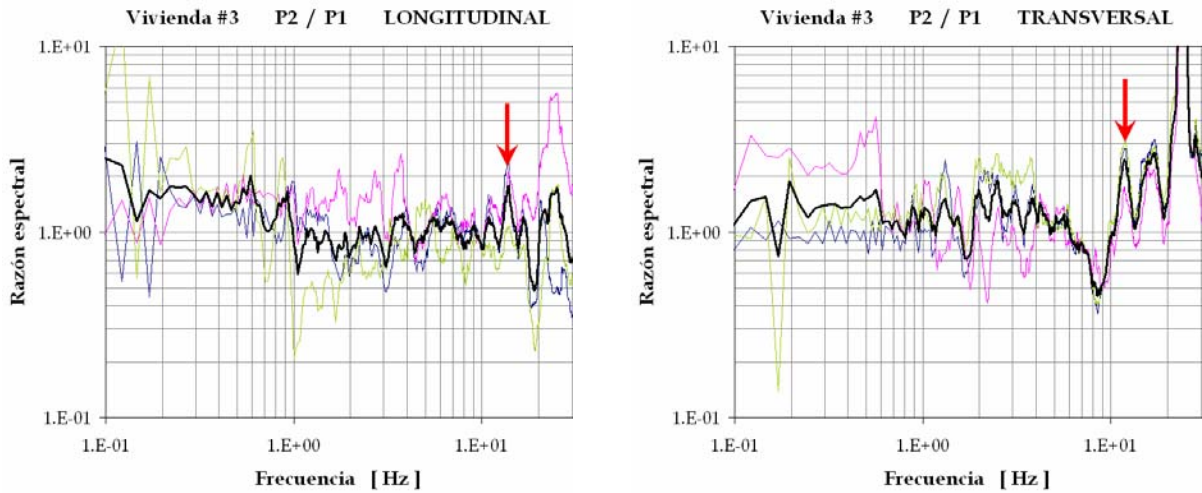


Figura 5.3.2.2. Funciones de transferencia empíricas en la vivienda 2. Las líneas gruesas representan el promedio espectral. La flecha indica la frecuencia asociada al modo de vibrar correspondiente.





**Figura 5.3.2.3.** Funciones de transferencia empíricas en la vivienda 3. Las líneas gruesas representan el promedio espectral. La flecha indica la frecuencia asociada al modo de vibrar correspondiente.

### 5.3.3 Resultados

Por último, con base en los promedios espectrales anteriores, en las siguientes tablas se muestran los valores de las frecuencias asociadas a los tres primeros modos de vibrar de las viviendas.

Tabla 5.3.3.1. Frecuencias de vibración experimentales de la vivienda 1.

| Dirección        | Frecuencia (Hz) | Periodo (s) |
|------------------|-----------------|-------------|
| Transversal (T)  | 11.01           | 0.091       |
| Longitudinal (L) | 12.30           | 0.081       |
| Torsional        | 13.89           | 0.072       |

Tabla 5.3.3.2. Frecuencias de vibración experimentales de la vivienda 2.

| Dirección        | Frecuencia (Hz) | Periodo (s) |
|------------------|-----------------|-------------|
| Transversal (T)  | 5.49            | 0.182       |
| Longitudinal (L) | 7.27            | 0.138       |
| Torsional        | 11.41           | 0.089       |

Tabla 5.3.3.3. Frecuencias de vibración experimentales de la vivienda 3.

| Dirección       | Frecuencia (Hz) | Periodo (s) |
|-----------------|-----------------|-------------|
| Transversal (T) | 8.85            | 0.113       |

|                  |       |       |
|------------------|-------|-------|
| Longitudinal (L) | 11.04 | 0.091 |
| Torsional        | 12.84 | 0.079 |

## 5.4 Método analítico

En el presente trabajo, el método analítico se utilizó para estimar la respuesta estructural de las viviendas 1, 2 y 3, representativas de las tipologías I, II y III respectivamente. Por una parte, se estudió la respuesta ante el sismo del 15 de junio de 1999, retomando los correspondientes acelerogramas teóricos calculados en el capítulo anterior. Por otra, se investigó la respuesta ante el espectro de diseño por sismo recomendado en el Manual de Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 1993). En ambos casos, se revisó el estado límite de servicio por desplazamientos laterales que establecen las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcción del Municipio de Puebla (NTCDS-RCMP, 2003).

Como bien se sabe, el análisis de las estructuras a base de mampostería sujetas a fuerzas horizontales y verticales es complejo, dadas las siguientes características de su comportamiento mecánico (Jean y Cesín, 2000):

- Las piezas son frágiles.
- Los materiales son heterogéneos y anisótropos.
- No es fácil conocer los valores del módulo de elasticidad ( $E_m$ ) y de cortante ( $G_m$ ).
- El comportamiento a compresión difiere del comportamiento a tensión en la mampostería.
- El comportamiento inelástico comienza a partir de distorsiones pequeñas, del orden de 0.001 y 0.002.
- El comportamiento en el rango inelástico depende del sistema seleccionado, del tipo de refuerzo y del detallado.

En los análisis aquí presentados, únicamente se consideró el rango de comportamiento elástico lineal y la mampostería se modeló como un material homogéneo e isotrópico. A falta de pruebas de laboratorio, las propiedades mecánicas de los materiales fueron estimadas a partir de los datos disponibles y de las relaciones empíricas reportadas en estudios experimentales de otros autores. Los cálculos se realizaron mediante el programa SAP2000 (Computers and Structures Inc., 1997). En todos los casos, se utilizó un valor de amortiguamiento estructural del 5% del crítico.

### 5.4.1 Modelos matemáticos

Para cada vivienda, en el modelo matemático se tomaron en cuenta los elementos estructurales que participan tanto en rigidez como en masa. Se calibró un modelo de elementos finitos para obtener información sobre la distribución de esfuerzos en los muros, de manera que estos se construyeron con aberturas cuyas dimensiones son similares a las reales.



▪ *Vivienda 1.*

La estructuración de la casa es a base de muros de carga de mampostería de tabique de concreto (tabicón); las dimensiones de las piezas son de 6.5x13x26 cm aproximadamente. Los muros están apoyados sobre una zapata corrida de concreto reforzado de 20x25 cm, y están confinados por dadas y castillos de 18x18 cm. El techo es una losa de concreto reforzado colada monolíticamente con los castillos y la dala superior. Los huecos en los muros cuentan con refuerzo en el borde superior y en uno de los bordes laterales, pero no están totalmente reforzados en su perímetro. Una dala perimetral, ubicada a unos 100 cm del techo, ofrece una liga adicional entre los muros. La vivienda es del tipo denominado autoconstrucción.

De acuerdo con los datos proporcionados por el fabricante que surte los expendios de materiales de construcción en la ciudad de Acatlán, las piezas de mampostería de tabique de concreto con las dimensiones mencionadas tienen valores promedio de resistencia a la compresión ( $f_p$ ) y peso volumétrico ( $\gamma_p$ ) de 65 kg/cm<sup>2</sup> y 1.5 t/m<sup>3</sup>, respectivamente. Con estos datos, las propiedades mecánicas de la mampostería se estimaron de las siguientes relaciones empíricas reportadas en los estudios experimentales de Meli y Reyes (1971) y Meli (1979):

$$f_m = 0.6f_p \quad \dots (1)$$

$$E_m = 600f_m \quad \dots (2)$$

$$G_m = 0.4E_m \quad \dots (3)$$

$$v_m = \sqrt{f_m} \quad \dots (4)$$

- donde
- $f_p$  : resistencia a la compresión de la pieza.
  - $f_m$  : resistencia a la compresión de la mampostería.
  - $E_m$  : módulo de elasticidad secante de la mampostería.
  - $G_m$  : módulo de rigidez al esfuerzo cortante de la mampostería.
  - $v_m$  : esfuerzo cortante resistente de la mampostería.

De esta manera, para un valor de  $f_p=65$  kg/cm<sup>2</sup>, las propiedades mecánicas de la mampostería resultaron como se muestra en la tabla 5.4.1.1.

Tabla 5.4.1.1. Propiedades mecánicas de la mampostería en la vivienda 1.

| Propiedad      | $\gamma_p$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $f_p$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $f_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $G_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $v_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Valor estimado | 1.5                               | 65                             | 39                             | 23,400                         | 9,360                          | 6.2                            |

Para el concreto, se tomó en cuenta la dosificación de materiales que utilizaron los propietarios de la casa durante su construcción. En comunicación personal con dichas personas, se

estimó que la dosificación que usaron para elaborar el concreto corresponde a la señalada en la tabla 5.4.1.2; así, la resistencia a compresión ( $f'_c$ ) se asignó con un valor de 200 kg/cm<sup>2</sup>. El peso volumétrico ( $\gamma_c$ ) se y el módulo de elasticidad ( $E_c$ ) se supusieron para un concreto clase 2, de acuerdo con lo indicado en las NTCDS-RCMP (2003).

Tabla 5.4.1.2. Dosificaciones prácticas por volumen del concreto (ONNCCE, NMX-C-414-1999).

| Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | 100 |     | 150 |     | 200 |     | 250 |     | 300 |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Tamaño máximo de agregado (TMA)                   | ¾"  | 1½" | ¾"  | 1½" | ¾"  | 1½" | ¾"  | 1½" | ¾"  | 1½" |
| Botes de grava (18 dm <sup>3</sup> c/u)           | 6   | 8   | 5¼  | 7½  | 4½  | 6   | 4   | 5½  | 3½  | 4¾  |
| Botes de arena (18 dm <sup>3</sup> c/u)           | 5¾  | 6   | 4¾  | 5¼  | 4   | 4¼  | 3½  | 3¾  | 2¾  | 3   |
| Botes de agua (18 dm <sup>3</sup> c/u)            | 2   |     | 1¾  |     | 1½  |     | 1¼  |     | 1   |     |
| Cemento (kg)                                      | 50  |     | 50  |     | 50  |     | 50  |     | 50  |     |
| Volumen de concreto (litros)                      | 175 | 189 | 151 | 167 | 133 | 145 | 120 | 130 | 103 | 112 |

De esta forma, las propiedades mecánicas del concreto resultaron como se muestra en la tabla 5.4.1.3.

Tabla 5.4.1.3. Propiedades mecánicas del concreto en la vivienda 1.

| Propiedad      | $\gamma_c$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $f'_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Valor estimado | 2.1                               | 200                             | 113,000                        |

En el modelo matemático, las dalas y castillos se idealizaron como elementos que proporcionan confinamiento a la mampostería, de manera que cada muro de carga se consideró como un conjunto formado por castillos-mampostería-dalas. Así definidos, los muros fueron configurados mediante elementos finitos cuadriláteros de cuatro nudos, con dimensiones no mayores de 40x40 cm, de relación largo/ancho menor de 1.5, y capaces de resistir esfuerzos de compresión, cortante y flexión en el plano del muro. La cimentación se consideró como viga y se construyó con elementos finitos lineales; los extremos de cada elemento barra se consideraron como apoyos fijos articulados. Finalmente, el techo se idealizó como un diafragma rígido en su plano. En la figura 5.4.1.1 se muestra el modelo construido.

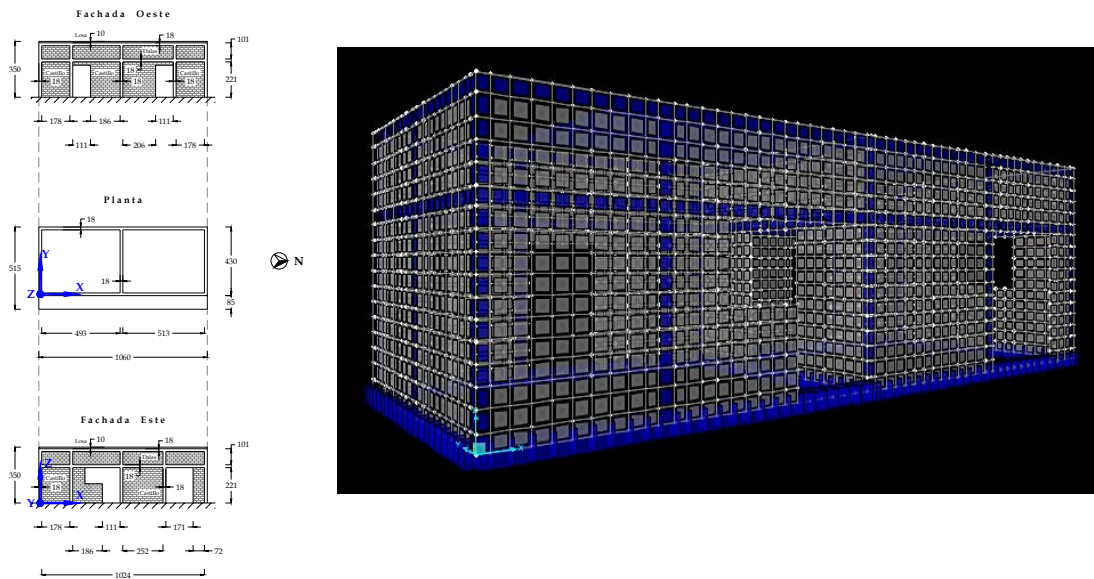


Figura 5.4.1.1. Modelo estructural de la vivienda 1.

▪ *Vivienda 2.*

La estructuración de la casa es a base de muros de carga de mampostería de tabique de concreto (tabicón); las dimensiones de las piezas son de 6.5x13x26 cm aproximadamente. Los muros están apoyados sobre una zapata corrida de concreto reforzado de 20x30 cm, y están confinados por dalas y castillos de 16x16 cm. El techo de cada entrepiso es una losa de concreto reforzado colada monóticamente con los castillos y la dala superior. Los huecos en los muros cuentan con refuerzo en uno o en dos de los bordes, pero no están totalmente reforzados en su perímetro. La vivienda es del tipo denominado autoconstrucción.

Las piezas de mampostería tienen propiedades semejantes a las de la vivienda 1, de manera que los valores de las propiedades mecánicas de la mampostería en la vivienda 2 se tomaron de la tabla 5.4.1.1. Para el concreto, se investigó la dosificación de materiales que utilizaron los propietarios de la casa durante su construcción; puesto que las técnicas constructivas fueron similares a las de la vivienda 1, los valores de las propiedades mecánicas del concreto se tomaron de la tabla 5.4.1.3.

En el modelo matemático, las dalas y castillos se idealizaron como elementos que proporcionan confinamiento a la mampostería, de manera que cada muro de carga se consideró como un conjunto formado por castillos-mampostería-dalas. Así definidos, los muros fueron configurados mediante elementos finitos cuadriláteros de cuatro nudos, con dimensiones no mayores de 30x30 cm, de relación largo/ancho menor de 1.5, y capaces de resistir esfuerzos de compresión, cortante y flexión en el plano del muro. La cimentación se consideró como viga y se construyó con elementos finitos lineales; los extremos de cada elemento barra se consideraron como apoyos fijos articulados. Finalmente, el techo de cada entrepiso se idealizó como un diafragma rígido en su plano. En la figura 5.4.1.2 se muestra el modelo construido.

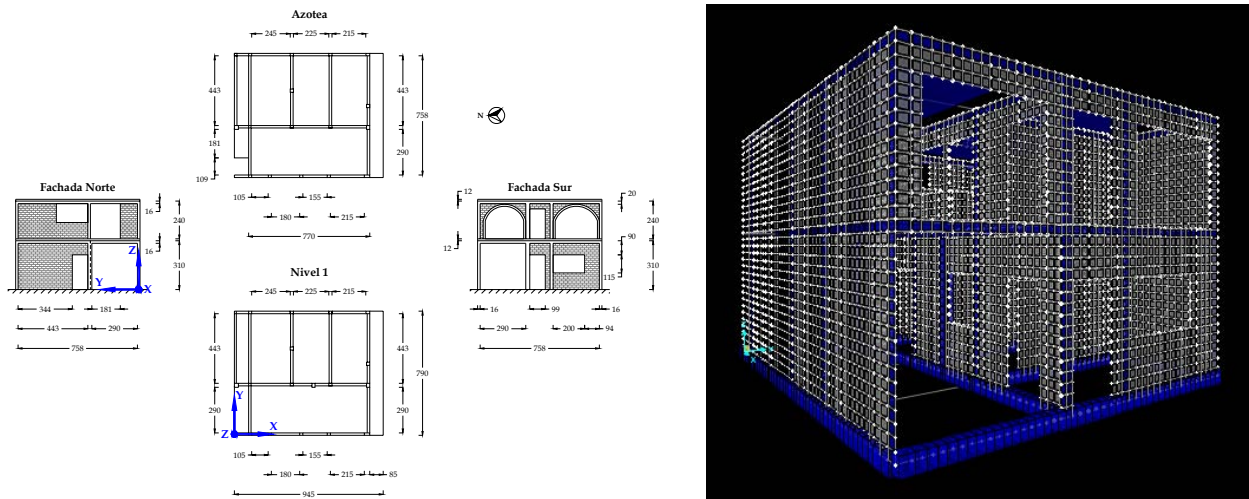


Figura 5.4.1.2. Modelo estructural de la vivienda 2.

▪ *Vivienda 3.*

La estructuración de la casa es a base de muros de carga de mampostería de adobe juntada con lodo; las dimensiones de las piezas son de 12x25x50 cm aproximadamente. Los muros están apoyados sobre una zapata corrida de mampostería de piedra natural (piedra braza) de 60x40 cm, y no cuentan con elementos de liga ni de refuerzo. El techo está formado por un relleno de tierra de 20 cm de espesor, apoyado sobre perfiles metálicos con separación de 60 cm; la superficie inferior y la superior del relleno están cubiertas por un enladrillado de piezas de tabique rojo de barro recocido, cuyas dimensiones son 2.5x20x25 cm. Los huecos en los muros no cuentan con refuerzo alguno. La vivienda es del tipo denominado autoconstrucción.

Las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe se retomaron de los resultados experimentales reportados por Hernández *et al.* (1981), los cuales corresponden a los adobes característicos de áreas rurales en las zonas de mayor sismicidad de nuestro país (zonas C y D del mapa de regionalización sísmica de México, CFE). De acuerdo con dichos autores, las propiedades de un muro de adobe juntado con lodo son semejantes a las de las piezas y no existe reducción importante por efecto de las juntas, pues al unir las piezas de adobe con el mismo material con que fueron fabricados se obtiene prácticamente un muro monolítico.

De esta manera, los valores asignados a las propiedades mecánicas de la mampostería de adobe se indican en la tabla 5.4.1.4.

Tabla 5.4.1.4. Propiedades mecánicas de la mampostería de adobe en la vivienda 3.

| Propiedad      | $\gamma_m$<br>(t/m <sup>3</sup> ) | $f_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $E_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $G_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | $v_m$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Valor estimado | 1.5                               | 10                             | 2,500                          | 750                            | 1.2                            |

Para la mampostería de piedra natural en la cimentación, sólo se consideró el peso volumétrico y el módulo de elasticidad, cuyos valores fueron tomados de Robles *et al.* (1984) y son del orden de  $2.4 \text{ t/m}^3$  y  $200,000 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Para el relleno de tierra en el techo, se estimó un peso volumétrico de  $1.5 \text{ t/m}^3$ .

En el modelo matemático, los muros fueron configurados mediante elementos finitos cuadriláteros de cuatro nudos, con dimensiones no mayores de  $50 \times 50 \text{ cm}$ , de relación largo/ ancho menor de 1.5, y capaces de resistir esfuerzos de compresión, cortante y flexión en el plano del muro. La cimentación se consideró como viga y se construyó con elementos finitos lineales; los extremos de cada elemento barra se consideraron como apoyos fijos articulados. Finalmente, como el techo no participa en rigidez sino en masa, se calculó el peso tributario en cada muro y se distribuyó en toda su longitud. En la figura 5.4.1.3 se muestra el modelo construido.

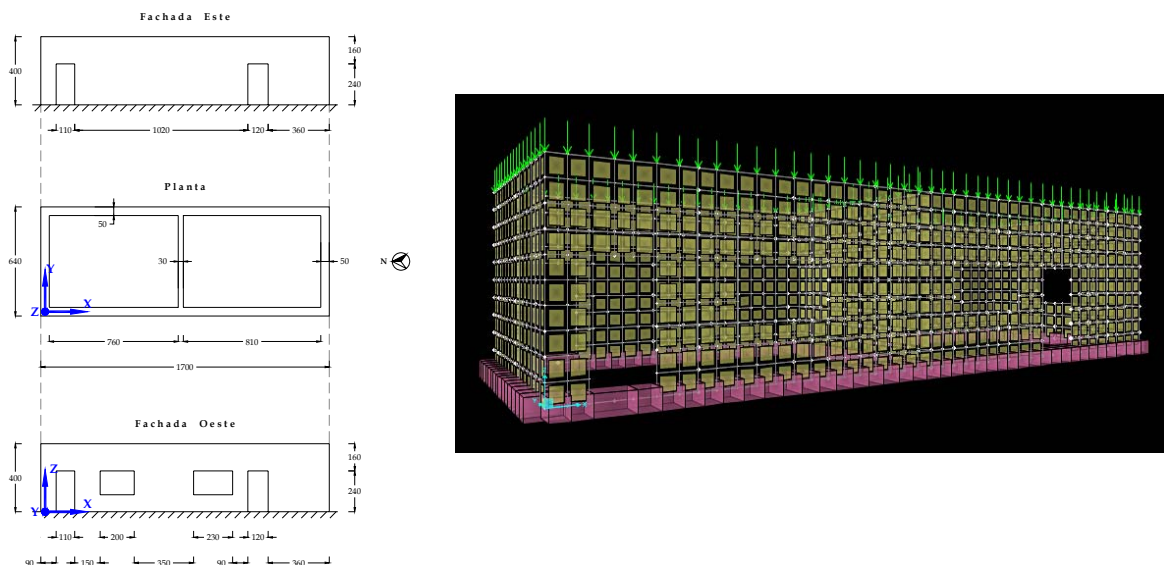


Figura 5.4.1.3. Modelo estructural de la vivienda 3.

### 5.4.2 Periodos y formas modales

A continuación se muestran los resultados del análisis modal. En cada modelo, se comparan las frecuencias y periodos teóricos con los valores obtenidos experimentalmente para los 3 primeros modos de vibrar, y se ilustran las configuraciones deformadas correspondientes.

- *Vivienda 1.*

Los dos primeros modos de vibrar son los que más influyen en la respuesta, como puede verse en los factores de participación modal de masa de la tabla 5.4.2.1. El modo 1 corresponde a la traslación en el eje Y o transversal (T), el modo 2 a la traslación en el eje X o longitudinal (L), y el modo 3 a la torsión respecto al eje Z o vertical, tal como se muestra en la figura 5.4.2.1. Considerando como referencia los valores experimentales de las frecuencias de vibración para los modos 1, 2 y 3, los valores teóricos presentan una diferencia de 2%, 10%, y 4%, respectivamente.

Tabla 5.4.2.1. Valores teóricos de frecuencias y periodos en el modelo de la vivienda 1.

| Modo | Frecuencia (Hz) | Periodo (s) | Factores de participación modal |        |
|------|-----------------|-------------|---------------------------------|--------|
|      |                 |             | L                               | T      |
| 1    | 11.24           | 0.089       | 0.0016                          | 0.8319 |
| 2    | 13.62           | 0.073       | 0.8234                          | 0.0106 |
| 3    | 14.48           | 0.069       | 0.0702                          | 0.0441 |
| 4    | 30.25           | 0.033       | 0.0025                          | 0.0013 |
| 5    | 31.36           | 0.032       | 0.0013                          | 0.0055 |
| 6    | 31.72           | 0.032       | 0.0048                          | 0.0000 |
| 7    | 31.99           | 0.031       | 0.0000                          | 0.0062 |
| 8    | 72.72           | 0.014       | 0.0000                          | 0.0000 |
| 9    | 76.71           | 0.013       | 0.0000                          | 0.0000 |
| 10   | 82.81           | 0.012       | 0.0000                          | 0.0000 |

Tabla 5.4.2.2. Frecuencias y periodos de los tres primeros modos de vibrar en la vivienda 1.

| Modo        | Frecuencia (Hz) |         | Periodo (s)  |         |
|-------------|-----------------|---------|--------------|---------|
|             | Experimental    | Teórica | Experimental | Teórico |
| 1 (T)       | 11.0            | 11.2    | 0.09         | 0.091   |
| 2 (L)       | 12.3            | 13.6    | 0.08         | 0.073   |
| 3 (torsión) | 13.9            | 14.5    | 0.07         | 0.069   |

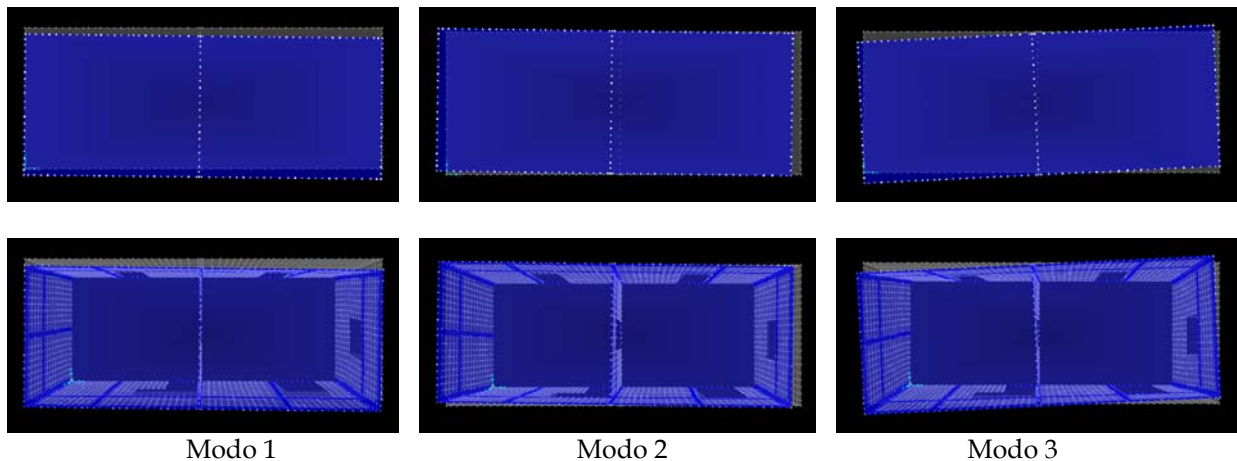


Figura 5.4.2.1. Configuraciones modales del modelo estructural de la vivienda 1.



▪ *Vivienda 2.*

Los dos primeros modos de vibrar son los que más influyen en la respuesta, como puede verse en los factores de participación modal de masa de la tabla 5.4.2.3. El modo 1 corresponde a la traslación en el eje Y o transversal (T), el modo 2 a la traslación en el eje X o longitudinal (L), y el modo 3 a la torsión respecto al eje Z o vertical, tal como se muestra en la figura 5.4.2.2. Considerando como referencia los valores experimentales de las frecuencias de vibración para los modos 1, 2 y 3, los valores teóricos presentan una diferencia de 16%, 27%, y 4%, respectivamente.

Tabla 5.4.2.3. Valores teóricos de frecuencias y periodos en el modelo de la vivienda 2.

| Modo | Frecuencia (Hz) | Periodo (s) | Factores de participación modal |        |
|------|-----------------|-------------|---------------------------------|--------|
|      |                 |             | L                               | T      |
| 1    | 6.37            | 0.157       | 0.0015                          | 0.8148 |
| 2    | 9.25            | 0.108       | 0.7848                          | 0.0042 |
| 3    | 10.99           | 0.091       | 0.0020                          | 0.0017 |
| 4    | 13.46           | 0.074       | 0.0417                          | 0.0140 |
| 5    | 17.85           | 0.056       | 0.0283                          | 0.0000 |
| 6    | 20.36           | 0.049       | 0.0119                          | 0.0086 |
| 7    | 21.45           | 0.047       | 0.0002                          | 0.0075 |
| 8    | 22.64           | 0.044       | 0.0039                          | 0.0558 |
| 9    | 23.37           | 0.043       | 0.0031                          | 0.0302 |
| 10   | 24.44           | 0.041       | 0.0390                          | 0.0000 |
| 11   | 26.45           | 0.038       | 0.0005                          | 0.0053 |
| 12   | 29.24           | 0.034       | 0.0071                          | 0.0010 |
| 13   | 30.98           | 0.032       | 0.0208                          | 0.0000 |
| 14   | 37.04           | 0.027       | 0.0001                          | 0.0002 |
| 15   | 37.28           | 0.027       | 0.0007                          | 0.0000 |

Tabla 5.4.2.4. Frecuencias y periodos de los tres primeros modos de vibrar en la vivienda 2.

| Modo        | Frecuencia (Hz) |         | Periodo (s)  |         |
|-------------|-----------------|---------|--------------|---------|
|             | Experimental    | Teórica | Experimental | Teórico |
| 1 (T)       | 5.5             | 6.4     | 0.18         | 0.16    |
| 2 (L)       | 7.3             | 9.3     | 0.14         | 0.11    |
| 3 (torsión) | 11.4            | 11.0    | 0.089        | 0.091   |

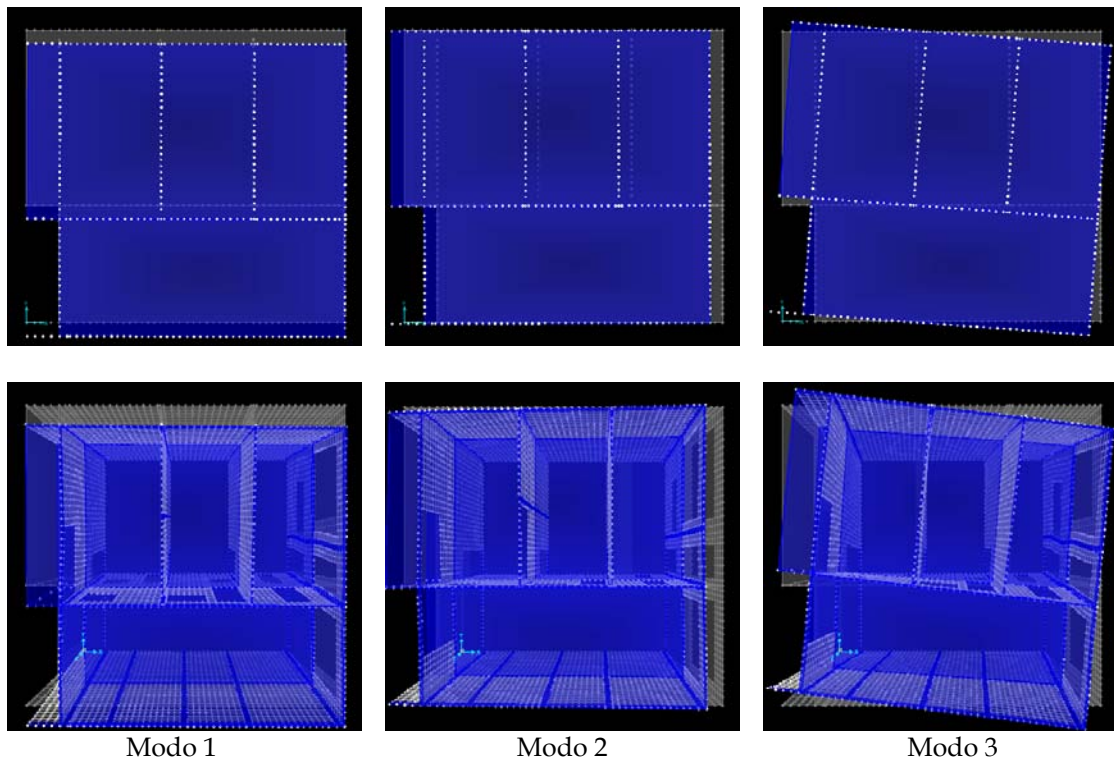


Figura 5.4.2.2. Configuraciones modales del modelo estructural de la vivienda 2.

▪ *Vivienda 3.*

Los dos primeros modos de vibrar son los que más influyen en la respuesta, como puede verse en los factores de participación modal de masa de la tabla 5.4.2.5. El modo 1 corresponde a la traslación en el eje Y o transversal (T), el modo 2 a la traslación en el eje X o longitudinal (L), y el modo 3 a la torsión respecto al eje Z o vertical, tal como se muestra en la figura 5.4.2.3. Considerando como referencia los valores experimentales de las frecuencias de vibración para los modos 1, 2 y 3, los valores teóricos presentan una diferencia de 12%, 4%, y 13%, respectivamente.

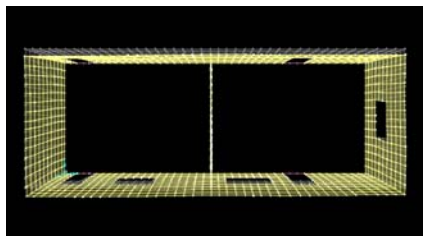
Tabla 5.4.2.5. Valores teóricos de frecuencias y periodos en el modelo de la vivienda 3.

| Modo | Frecuencia (Hz) | Periodo (s) | Factores de participación modal |        |
|------|-----------------|-------------|---------------------------------|--------|
|      |                 |             | L                               | T      |
| 1    | 10.01           | 0.100       | 0.0036                          | 0.6991 |
| 2    | 10.56           | 0.095       | 0.7001                          | 0.0050 |
| 3    | 11.22           | 0.089       | 0.0029                          | 0.0058 |
| 4    | 12.93           | 0.077       | 0.0072                          | 0.0001 |
| 5    | 13.02           | 0.077       | 0.0042                          | 0.0020 |

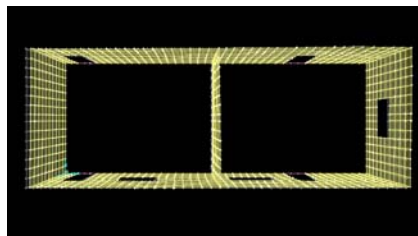
|    |       |       |        |        |
|----|-------|-------|--------|--------|
| 6  | 13.38 | 0.075 | 0.0000 | 0.0062 |
| 7  | 13.72 | 0.073 | 0.0014 | 0.0008 |
| 8  | 14.37 | 0.070 | 0.0059 | 0.0004 |
| 9  | 15.00 | 0.067 | 0.0102 | 0.0008 |
| 10 | 15.19 | 0.066 | 0.0001 | 0.0001 |
| 11 | 15.74 | 0.064 | 0.0063 | 0.0003 |
| 12 | 16.20 | 0.062 | 0.0000 | 0.0031 |
| 13 | 17.48 | 0.057 | 0.0021 | 0.0000 |
| 14 | 18.02 | 0.056 | 0.0023 | 0.0000 |
| 15 | 18.30 | 0.055 | 0.0036 | 0.0013 |

Tabla 5.4.2.6. Frecuencias y periodos de los tres primeros modos de vibrar en la vivienda 3.

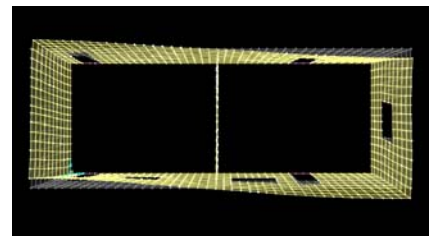
| Modo        | Frecuencia (Hz) |         | Periodo (s)  |         |
|-------------|-----------------|---------|--------------|---------|
|             | Experimental    | Teórica | Experimental | Teórico |
| 1 (T)       | 8.9             | 10.0    | 0.11         | 0.10    |
| 2 (L)       | 11.0            | 10.6    | 0.09         | 0.095   |
| 3 (torsión) | 12.8            | 11.2    | 0.079        | 0.089   |



Modo 1



Modo 2



Modo 3

Figura 5.4.2.3. Configuraciones modales del modelo estructural de la vivienda 3.

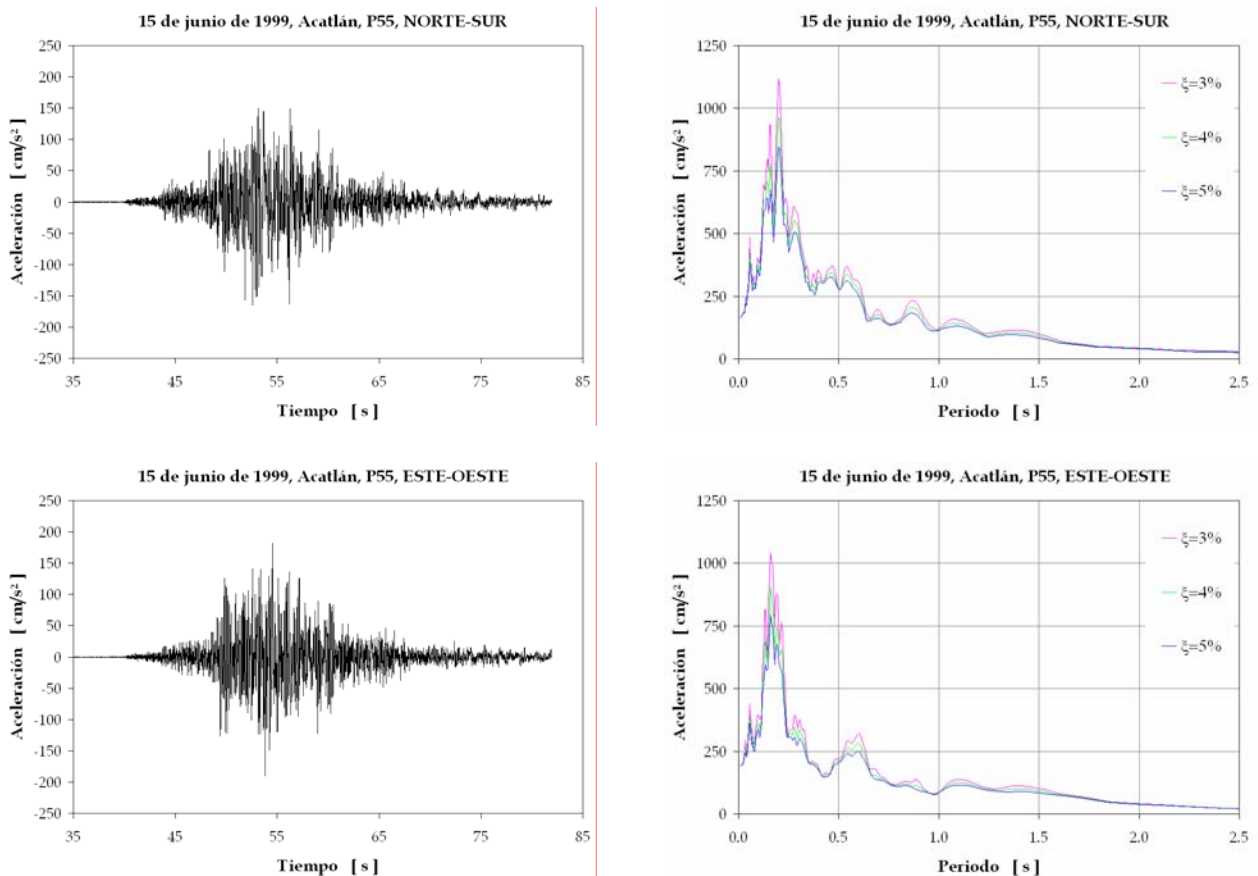
### 5.4.3 Análisis dinámico modal paso a paso

A continuación, se presentan los resultados de un análisis dinámico modal paso a paso para un temblor específico. La excitación en la base de cada modelo estructural corresponde a la historia de aceleraciones del terreno calculada como se describió en el capítulo anterior, para el escenario del sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999 ( $M_w=7.0$ ,  $m_b=6.3$ ). Se muestran los valores máximos de aceleración y desplazamiento inducidos en la estructura. Se comparan los esfuerzos máximos producidos en los muros con los esfuerzos resistentes estimados anteriormente. Se obtiene también

la máxima distorsión de entrepiso y se compara con el valor reportado por otros autores para el inicio de daño en la mampostería.

- *Vivienda 1.*

En la figura 5.4.3.1 se muestra la historia de aceleraciones del terreno, en las direcciones norte-sur y este-oeste, para el sitio donde se ubica esta vivienda (punto 55 de medición de microtremores). Se muestra también el espectro de respuesta de pseudoaceleración, calculado con el método de las ocho constantes (Chopra, 1995), para cada componente. El eje X o longitudinal de la vivienda coincide aproximadamente con la dirección norte-sur geográfica, y el eje Y o transversal con la este-oeste. De esta forma, la componente norte-sur del movimiento del terreno se aplicó en el eje X y la este-oeste en el eje Y.



**Figura 5.4.3.1.** Acelerogramas teóricos (izquierda) y espectros de respuesta de pseudoaceleración (derecha) en el punto 55 (vivienda 1), sismo del 15 de junio de 1999.

En la dirección norte-sur, la máxima aceleración del terreno es de  $166 \text{ cm/s}^2$  ( $0.17g$ ). El espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico muestra que las ordenadas máximas ocurren en un rango de periodos entre 0.12 y 0.24 segundos, con un pico en 0.20 segundos.

En la dirección este-oeste, la máxima aceleración del terreno es de  $190 \text{ cm/s}^2$  ( $0.19g$ ). El espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico muestra que las ordenadas máximas ocurren en un rango de periodos entre 0.12 y 0.22 segundos, con un pico en 0.16 segundos.

El pico espectral se presenta en un periodo estructural promedio de 0.18 segundos, el cual es cercano al periodo fundamental del suelo en este sitio ( $T_0=0.17$  segundos). Sin embargo, los periodos de los tres primeros modos de vibrar de la estructura (los que más influyen en la respuesta) se encuentran entre 0.07 y 0.09 segundos, aproximadamente, de manera que en este caso no se observa una doble amplificación por efecto de resonancia dinámica.

En la dirección X o longitudinal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida fue de  $270 \text{ cm/s}^2$  (0.28g). El desplazamiento máximo en el techo fue de 0.04 cm, por lo que la máxima distorsión de entrepiso resultó de  $0.00012$  ( $\gamma_{\text{máx}}=0.04/340$ ).

En la dirección Y o transversal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida fue de  $300 \text{ cm/s}^2$  (0.31g). El desplazamiento máximo en el techo fue de 0.06 cm, por lo que la máxima distorsión de entrepiso resultó de  $0.00018$  ( $\gamma_{\text{máx}}=0.06/340$ ).

Los esfuerzos máximos producidos en los muros de mampostería presentaron los valores indicados en la tabla siguiente.

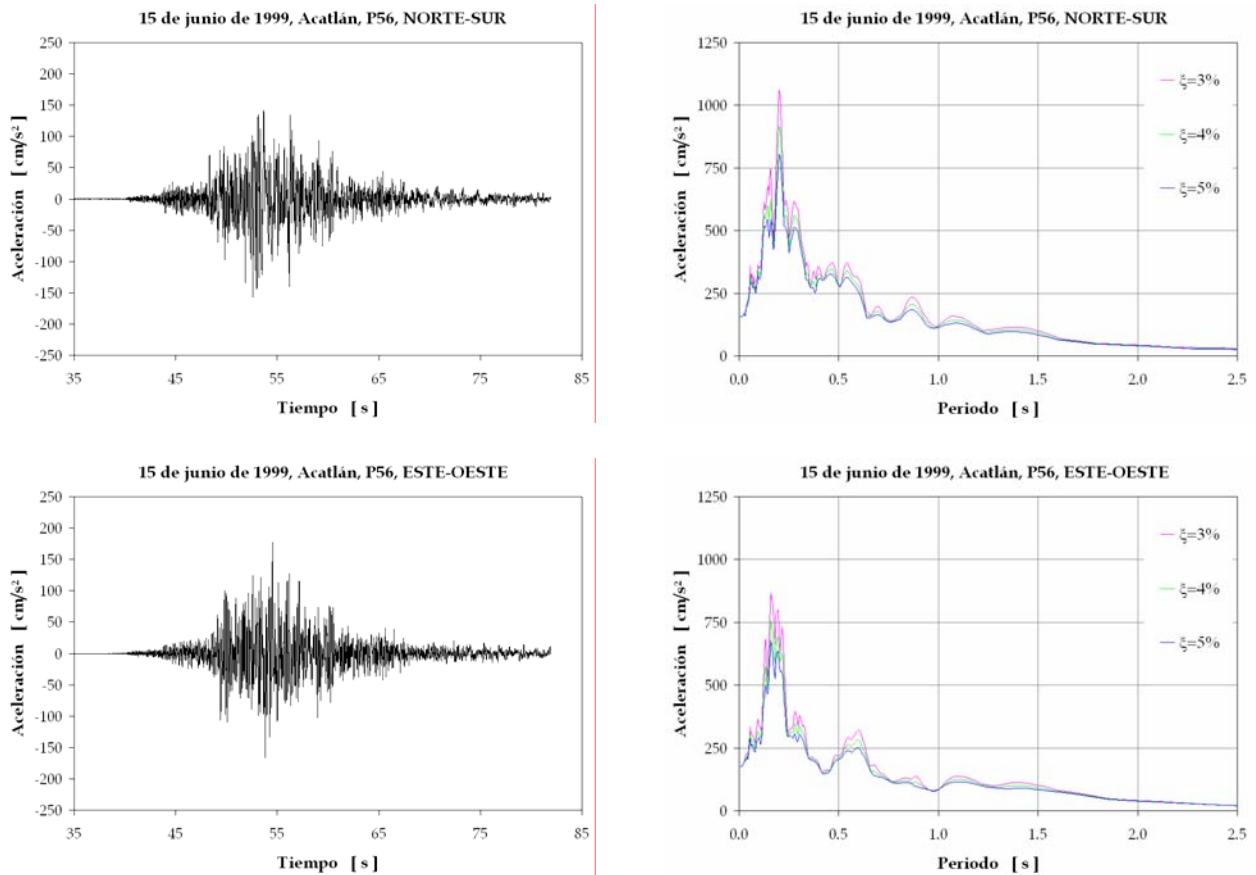
Tabla 5.4.3.1. Esfuerzos máximos en los muros de mampostería de la vivienda 1.

| Esfuerzo                      | Valor máximo<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Valor medio<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Compresión                    | 9.1                                   | 0.7                                  |
| Tensión                       | 8.9                                   | 0.7                                  |
| Cortante por tensión diagonal | 0.2                                   | 0.01                                 |

Como vemos, los esfuerzos actuantes máximos son menores que los correspondientes esfuerzos resistentes. La máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}=0.00019$ ) fue menor que el valor de 0.002 para el estado límite de servicio que fijan las NTCDS-RCMP (2003), y que es el mismo que proponen Reyes y Meli (1999) para el inicio de daño en estructuras de mampostería confinada de piezas macizas. De esta forma, aún cuando se haya alcanzado tal nivel de aceleración, prácticamente no hubo daños.

- *Vivienda 2.*

En la figura 5.4.3.2 se muestra la historia de aceleraciones del terreno, en las direcciones norte-sur y este-oeste, para el sitio donde se ubica esta vivienda (punto 56 de medición de microtremores). Se muestra también el espectro de respuesta de pseudoaceleración, calculado con el método de las ocho constantes (Chopra, 1995), para cada componente. El eje X o longitudinal de la vivienda coincide aproximadamente con la dirección norte-sur geográfica, y el eje Y o transversal con la este-oeste. De esta forma, la componente norte-sur del movimiento del terreno se aplicó en el eje X y la este-oeste en el eje Y.



**Figura 5.4.3.2.** Acelerogramas teóricos (izquierda) y espectros de respuesta de pseudoaceleración (derecha) en el punto 56 (vivienda 2), sismo del 15 de junio de 1999.

En la dirección norte-sur, la máxima aceleración del terreno es de  $157 \text{ cm/s}^2$  ( $0.16g$ ). El espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico muestra que las ordenadas máximas ocurren en un rango de periodos entre 0.18 y 0.24 segundos, con un pico en 0.20 segundos.

En la dirección este-oeste, la máxima aceleración del terreno es de  $177 \text{ cm/s}^2$  ( $0.18g$ ). El espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico muestra que las ordenadas máximas ocurren en un rango de periodos entre 0.14 y 0.22 segundos, con un pico en 0.16 segundos.

El pico espectral se presenta en un periodo estructural promedio de 0.18 segundos, que es igual al periodo fundamental del suelo en este sitio ( $T_0=0.18$  segundos). Los periodos de los tres primeros modos de vibrar de la estructura (los que más influyen en la respuesta) se encuentran entre 0.09 y 0.17 segundos, aproximadamente; en este caso, para el periodo fundamental de la estructura (0.17 segundos, dirección transversal) se observa una doble amplificación por efecto de resonancia dinámica.

En la dirección X o longitudinal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida fue de  $305 \text{ cm/s}^2$  ( $0.31g$ ). El desplazamiento máximo en la azotea fue de 0.10 cm, y en el nivel 1 de 0.06 cm. La máxima distorsión en el entrepiso inferior resultó de 0.00019 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.06/310$ ), y en el superior de 0.00017 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.04/240$ ).



En la dirección Y o transversal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida fue de 575 cm/s<sup>2</sup> (0.59g). El desplazamiento máximo en la azotea fue de 0.38 cm, y en el nivel 1 de 0.20 cm. La máxima distorsión en el entrepiso inferior resultó de 0.00065 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.20/310$ ), y en el superior de 0.00075 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.18/240$ ).

Los esfuerzos máximos producidos en los muros de mampostería presentaron los valores indicados en la tabla siguiente.

Tabla 5.4.3.2. Esfuerzos máximos en los muros de mampostería de la vivienda 2.

| Esfuerzo                      | Valor máximo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Valor medio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Compresión                    | 21.5                               | 2.5                               |
| Tensión                       | 21.9                               | 2.4                               |
| Cortante por tensión diagonal | 2.8                                | 0.03                              |

Como vemos, los esfuerzos actuantes máximos son menores que los correspondientes esfuerzos resistentes. La máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}=0.00075$ ) fue menor que el valor de 0.002 para el estado límite de servicio que fijan las NTCDS-RCMP (2003), y que es el mismo que proponen Reyes y Meli (1999) para el inicio de daño en estructuras de mampostería confinada de piezas macizas. De esta forma, aún cuando se haya alcanzado tal nivel de aceleración, los daños fueron relativamente ligeros.

▪ *Vivienda 3.*

En la figura 5.4.3.3 se muestra la historia de aceleraciones del terreno, en las direcciones norte-sur y este-oeste, para el sitio donde se ubica esta vivienda (punto 57 de medición de microtremores). Se muestra también el espectro de respuesta de pseudoaceleración, calculado con el método de las ocho constantes (Chopra, 1995), para cada componente. El eje X o longitudinal de la vivienda coincide aproximadamente con la dirección norte-sur geográfica, y el eje Y o transversal con la este-oeste. De esta forma, la componente norte-sur del movimiento del terreno se aplicó en el eje X y la este-oeste en el eje Y.

En la dirección norte-sur, la máxima aceleración del terreno es de 238 cm/s<sup>2</sup> (0.24g). El espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico muestra que las ordenadas máximas ocurren en un rango de periodos entre 0.17 y 0.32 segundos, con un pico en 0.21 segundos.

En la dirección este-oeste, la máxima aceleración del terreno es de 184 cm/s<sup>2</sup> (0.19g). El espectro de respuesta para el 5% del amortiguamiento crítico muestra que las ordenadas máximas ocurren en un rango de periodos entre 0.15 y 0.24 segundos, con un pico en 0.22 segundos.

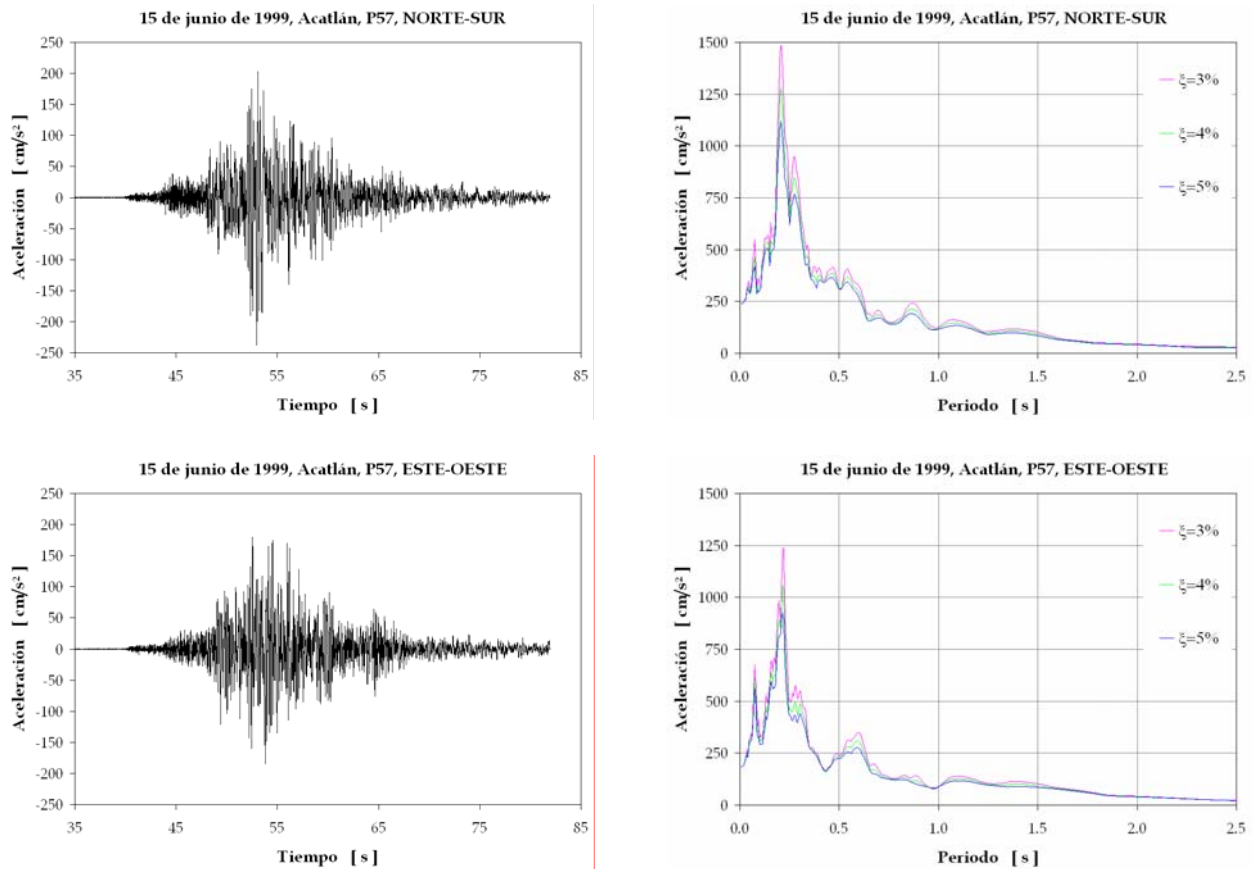


Figura 5.4.3.3. Acelerogramas teóricos (izquierda) y espectros de respuesta de pseudoaceleración (derecha) en el punto 57 (vivienda 3), sismo del 15 de junio de 1999.

El pico espectral se presenta en un periodo estructural promedio de 0.21 segundos, el cual es cercano al periodo fundamental del suelo en este sitio ( $T_0=0.23$  segundos). Sin embargo, los periodos de los tres primeros modos de vibrar de la estructura (los que más influyen en la respuesta) se encuentran entre 0.08 y 0.10 segundos, aproximadamente, de manera que en este caso no se observa una doble amplificación por efecto de resonancia dinámica.

En la dirección X o longitudinal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida fue de  $370 \text{ cm/s}^2$  ( $0.38g$ ). El desplazamiento máximo en el techo fue de  $0.09 \text{ cm}$ , por lo que la máxima distorsión de entrepiso resultó de  $0.00024$  ( $\gamma_{\text{máx}}=0.09/380$ ).

En la dirección Y o transversal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida fue de  $330 \text{ cm/s}^2$  ( $0.34g$ ). El desplazamiento máximo en el techo fue de  $0.09 \text{ cm}$ , por lo que la máxima distorsión de entrepiso resultó de  $0.00024$  ( $\gamma_{\text{máx}}=0.09/380$ ).

Los esfuerzos máximos producidos en los muros de mampostería presentaron los valores indicados en la tabla siguiente.

Tabla 5.4.3.3. Esfuerzos máximos en los muros de mampostería de la vivienda 3.

| Esfuerzo                      | Valor máximo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Valor medio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Compresión                    | 0.81                               | 0.15                              |
| Tensión                       | 0.77                               | 0.14                              |
| Cortante por tensión diagonal | 0.03                               | 0.004                             |

Como vemos, los esfuerzos actuantes máximos son menores que los correspondientes esfuerzos resistentes. La máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}=0.00024$ ) fue menor que el valor de 0.001 para el estado límite de servicio que fijan las NTCDS-RCMP (2003), y que es el mismo que proponen Reyes y Meli (1999) para el inicio de daño en estructuras de mampostería sin confinamiento ni refuerzo. De esta forma, aún cuando se haya alcanzado tal nivel de aceleración, los daños fueron relativamente ligeros.

#### 5.4.4 Análisis dinámico modal espectral

En el estado de Puebla, sólo las ciudades de Puebla y Tehuacán cuentan con estudios de microzonificación sísmica (Chávez-García *et al.*, 1995; Osorio-Carrera *et al.*, 1997; Ramírez-Centeno *et al.*, 1997; Ruiz *et al.*, 1993). La ciudad de Acatlán de Osorio no cuenta con su propio Reglamento de Construcción, y prácticamente todas las edificaciones han sido construidas por los propios habitantes sin atender normas técnicas para el diseño sismorresistente de las mismas.

De esta manera, se aplicó el espectro de diseño por sismo del mapa de regionalización sísmica de México (CFE, 1993). El Manual de Diseño por Sismo de la Comisión Federal de Electricidad recomienda los parámetros de la tabla 5.4.4.1 para estructuras del Grupo B en la zona sísmica C, en la cual se sitúa la ciudad de Acatlán.

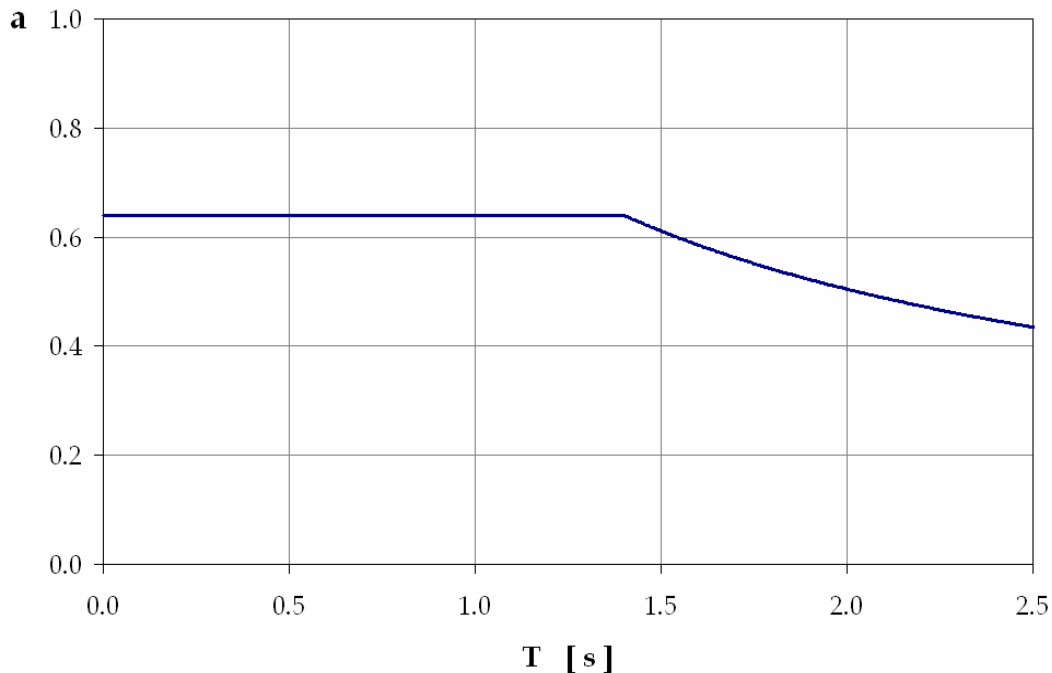
Tabla 5.4.4.1. Parámetros de los espectros de diseño (estructuras del Grupo B) en la zona sísmica C del Mapa de Regionalización Sísmica de México (CFE, 1993).

| Tipo de terreno | $a_0$ | $c$  | $T_a$ | $T_b$ | $r$  |
|-----------------|-------|------|-------|-------|------|
|                 | (1)   | (1)  | (s)   | (s)   | (1)  |
| I               | 0.36  | 0.36 | 0.0   | 0.6   | 0.50 |
| II              | 0.64  | 0.64 | 0.0   | 1.4   | 0.67 |
| III             | 0.64  | 0.64 | 0.0   | 1.9   | 1.00 |

Para definir el tipo de terreno en los sitios de estudio, se consideró la clasificación de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del Reglamento de Construcción del Municipio de Puebla (NTCDS-RCMP, 2003). Como se vio en el capítulo anterior, las microzonas I y

II definidas en la ciudad de Acatlán corresponden a los tipos de terreno I y II, respectivamente. Las viviendas 1, 2 y 3 se encuentran en la microzona II, de manera que para el análisis se utilizó el espectro de diseño para el tipo de terreno II, el cual se muestra en la siguiente figura.

**Espectro de diseño, terreno tipo II**



**Figura 5.4.4.1.** Espectro de diseño para la microzona II de la ciudad de Acatlán (CFE, 1993).

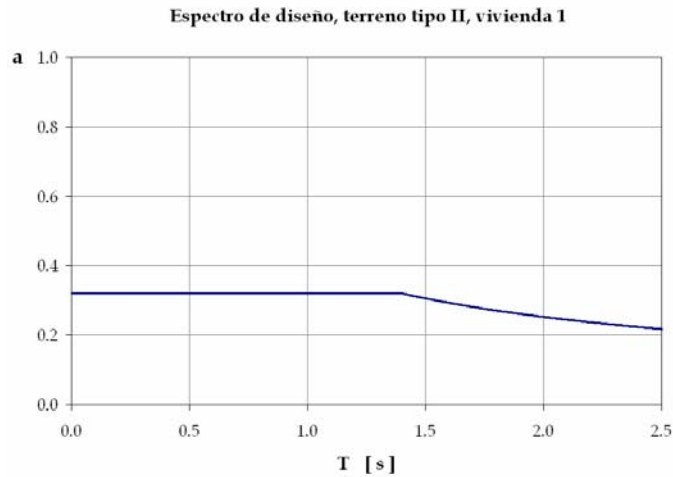
Para los modelos de las viviendas 1 y 2, se utilizó un factor de comportamiento sísmico  $Q=2$ , pues en este caso la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por muros de piezas macizas confinados por castillos y dalas, y cumplen esencialmente con los requisitos para considerarlas como estructuras de mampostería confinada. Para el modelo de la vivienda 1, se usó un factor  $Q=1$ , pues en este caso la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por muros de piezas son confinamiento ni refuerzo. En cada caso, el espectro de diseño se redujo de acuerdo con lo establecido en las NTCDS-RCMP (2003). Se aplicó el espectro de diseño correspondiente en las direcciones longitudinal y transversal para las combinaciones de 100% en una y 30% en otra, y viceversa.

- *Vivienda 1.*

La figura 5.4.4.2 presenta el espectro de aceleraciones reducido por el factor  $Q'$ . En este caso,  $Q'=Q$  para todo el rango de periodos, pues  $T_a=0$ .

En la dirección X o longitudinal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida es de  $270 \text{ cm/s}^2$  ( $0.28g$ ). El desplazamiento máximo en el techo (multiplicado por el factor de comportamiento sísmico) es de  $0.08 \text{ cm}$ , por lo que la máxima distorsión de entrepiso resulta de  $0.00024$  ( $\gamma_{\text{máx}}=0.08/340$ ).

En la dirección Y o transversal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida es de 310 cm/s<sup>2</sup> (0.32g). El desplazamiento máximo en el techo (multiplicado por el factor de comportamiento sísmico) es de 0.12 cm, por lo que la máxima distorsión de entrepiso resulta de 0.00036 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.12/340$ ).



**Figura 5.4.4.2.** Espectro de aceleraciones reducido para el análisis de la vivienda 1.

Los esfuerzos máximos producidos en los muros de mampostería presentan los valores indicados en la tabla siguiente.

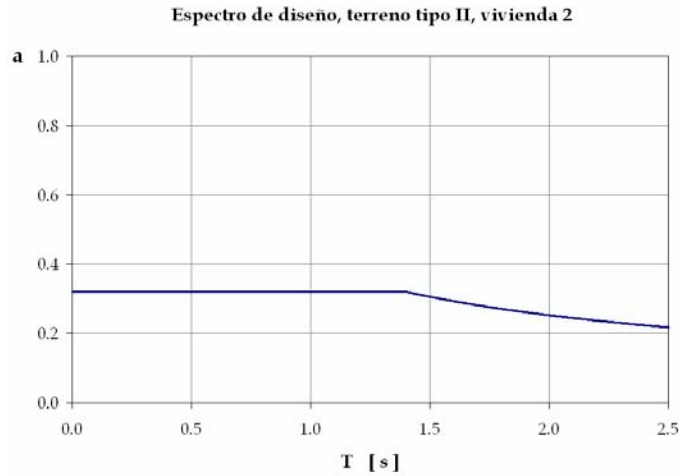
Tabla 5.4.4.2. Esfuerzos máximos en los muros de mampostería de la vivienda 1.

| Esfuerzo                      | Valor máximo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Valor medio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Compresión                    | 8.7                                | 0.6                               |
| Tensión                       | 8.2                                | 0.6                               |
| Cortante por tensión diagonal | 0.3                                | 0.01                              |

Como vemos, los esfuerzos actuantes máximos son menores que los correspondientes esfuerzos resistentes. La máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}=0.00036$ ) es menor que el valor de 0.002 para el estado límite de servicio que fijan las NTCDS-RCMP (2003), y que es el mismo que proponen Reyes y Meli (1999) para el inicio de daño en estructuras de mampostería confinada de piezas macizas.

- *Vivienda 2.*

La figura 5.4.4.3 presenta el espectro de aceleraciones reducido por el factor  $Q'$ . En este caso,  $Q'=Q$  para todo el rango de periodos, pues  $T_a=0$ .



**Figura 5.4.4.3.** Espectro de aceleraciones reducido para el análisis de la vivienda 2.

En la dirección X o longitudinal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida es de  $300 \text{ cm/s}^2$  (0.31g). El desplazamiento máximo en la azotea (multiplicado por el factor de comportamiento sísmico) es de 0.18 cm, y en el nivel 1 de 0.10 cm. La máxima distorsión en el entrepiso inferior resulta de 0.00032 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.10/310$ ), y en el superior de 0.00033 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.08/240$ ).

En la dirección Y o transversal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida es de  $330 \text{ cm/s}^2$  (0.34g). El desplazamiento máximo en la azotea (multiplicado por el factor de comportamiento sísmico) es de 0.42 cm, y en el nivel 1 de 0.22 cm. La máxima distorsión en el entrepiso inferior resulta de 0.00071 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.22/310$ ), y en el superior de 0.00083 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.20/240$ ).

Los esfuerzos máximos producidos en los muros de mampostería presentan los valores indicados en la tabla siguiente.

Tabla 5.4.4.3. Esfuerzos máximos en los muros de mampostería de la vivienda 2.

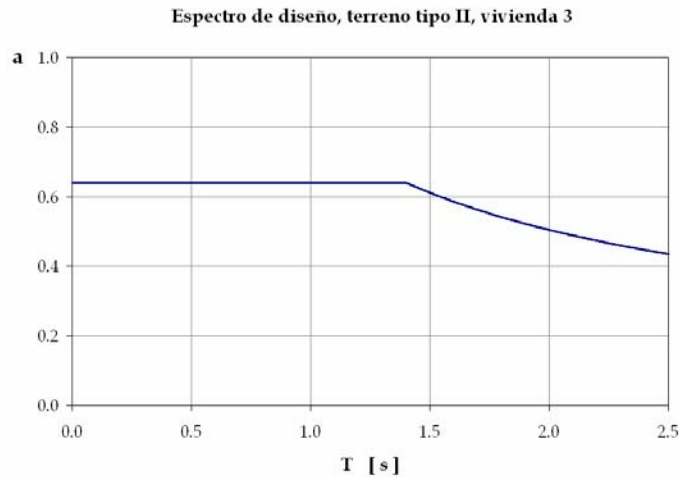
| Esfuerzo                      | Valor máximo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Valor medio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Compresión                    | 12.4                               | 1.3                               |
| Tensión                       | 12.0                               | 1.3                               |
| Cortante por tensión diagonal | 1.6                                | 0.02                              |

Como vemos, los esfuerzos actuantes máximos son menores que los correspondientes esfuerzos resistentes. La máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}=0.00083$ ) es menor que el valor de 0.002 para el estado límite de servicio que fijan las NTCDS-RCMP (2003), y que es el mismo que proponen Reyes y Meli (1999) para el inicio de daño en estructuras de mampostería confinada de piezas macizas.



▪ *Vivienda 3.*

La figura 5.4.4.4 presenta el espectro de aceleraciones reducido por el factor  $Q'$ . En este caso,  $Q'=Q$  para todo el rango de periodos, pues  $T_a=0$ .



**Figura 5.4.4.4.** Espectro de aceleraciones reducido para el análisis de la vivienda 3.

En la dirección X o longitudinal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida es de  $830 \text{ cm/s}^2$  (0.85g). El desplazamiento máximo en el techo es de 0.19 cm, por lo que la máxima distorsión de entrepiso resulta de 0.0005 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.19/380$ ).

En la dirección Y o transversal, la respuesta estructural del modelo mostró que la aceleración máxima inducida es de  $750 \text{ cm/s}^2$  (0.76g). El desplazamiento máximo en el techo es de 0.19 cm, por lo que la máxima distorsión de entrepiso resulta de 0.0005 ( $\gamma_{\text{máx}}=0.19/380$ ).

Los esfuerzos máximos producidos en los muros de mampostería presentan los valores indicados en la tabla siguiente.

Tabla 5.4.4.4. Esfuerzos máximos en los muros de mampostería de la vivienda 3.

| Esfuerzo                      | Valor máximo (kg/cm <sup>2</sup> ) | Valor medio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Compresión                    | 1.4                                | 0.2                               |
| Tensión                       | 1.5                                | 0.2                               |
| Cortante por tensión diagonal | 0.07                               | 0.007                             |

Como vemos, los esfuerzos actuantes máximos son menores que los correspondientes esfuerzos resistentes. La máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}=0.0005$ ) es menor que el valor de 0.001 para el estado límite de servicio que fijan las NTCDS-RCMP (2003), y que es el mismo que

proponen Reyes y Meli (1999) para el inicio de daño en estructuras de mampostería sin confinamiento ni refuerzo.

Sin embargo, es poco creíble que una casa de mampostería sin refuerzo ni confinamiento pueda resistir sin daños un sismo con una ordenada espectral de 0.64g para el periodo fundamental de la estructura. Cabe recordar que en el análisis no se consideró el comportamiento frágil de la mampostería de adobe no reforzada. Además, el modelo no incluye el efecto del deterioro de los materiales por intemperismo, el cual afecta en forma no despreciable sus propiedades mecánicas y hace más vulnerable este tipo de construcciones (Hernández *et al.*, 1981). De esta manera, dados los niveles de aceleración alcanzados (alrededor de 0.8g), en la estructura pueden ocurrir esfuerzos y desplazamientos de mayor magnitud que los aquí calculados.

## 5.5 Resultados

### 5.5.1 Respuesta estructural

De acuerdo con los resultados del método analítico, la vivienda 1 muestra un comportamiento sísmico adecuado ante las excitaciones impuestas en el modelo estructural. En el escenario del sismo del 15 de junio de 1999, la máxima distorsión de entrepiso fue del orden del 10% del valor para el estado límite de servicio correspondiente, el esfuerzo máximo de compresión fue de un 23% de la resistencia a compresión, y el esfuerzo cortante máximo (por tensión diagonal) de un 3% de la resistencia a cortante. Ante el espectro de diseño recomendado por CFE (1993), los valores fueron del orden de 18%, 22% y 5%, respectivamente.

La vivienda 2 muestra un comportamiento sísmico adecuado ante las excitaciones impuestas en el modelo estructural. En el escenario del sismo del 15 de junio de 1999, la máxima distorsión de entrepiso fue del orden del 38% del valor para el estado límite de servicio correspondiente, el esfuerzo máximo de compresión fue de un 55% de la resistencia a compresión, y el esfuerzo cortante máximo (por tensión diagonal) de un 45% de la resistencia a cortante. Ante el espectro de diseño recomendado por CFE (1993), los valores fueron del orden de 43%, 32% y 26%, respectivamente.

La vivienda 3 muestra un comportamiento adecuado ante el sismo del 15 de junio de 1999, donde la máxima distorsión de entrepiso fue del orden del 24% del valor para el estado límite de servicio correspondiente, el esfuerzo máximo de compresión fue de un 8% de la resistencia a compresión, y el esfuerzo cortante máximo (por tensión diagonal) de un 3% de la resistencia a cortante. Ante el espectro de diseño recomendado por CFE (1993) los valores fueron del orden de 50%, 14% y 6%, respectivamente; sin embargo, dado el nivel de aceleraciones máximas inducidas, se considera que en este caso pueden presentarse valores más grandes.

### 5.5.2 Resonancia dinámica

Las viviendas analizadas tienen periodos fundamentales de 0.09 (vivienda 1), 0.17 (vivienda 2) y 0.10 (vivienda 3) segundos aproximadamente. Los espectros de respuesta para el sismo del 15 de junio de 1999 muestran que la máxima ordenada espectral se presenta en un periodo estructural

con valor cercano al del periodo fundamental del suelo ( $T_0$ ) en los sitios respectivos: 0.17 (punto 55), 0.18 (punto 56) y 0.23 (punto 57) segundos. De acuerdo con estos resultados, sólo en la vivienda 2 se observa una doble amplificación de la respuesta por efecto de resonancia dinámica; sin embargo, su comportamiento es adecuado gracias a que cumple esencialmente con los requisitos para considerarla como una estructura de mampostería confinada. En la figura 5.5.2.1 se muestran las curvas de isoperiodo junto con la distribución de las edificaciones censadas.

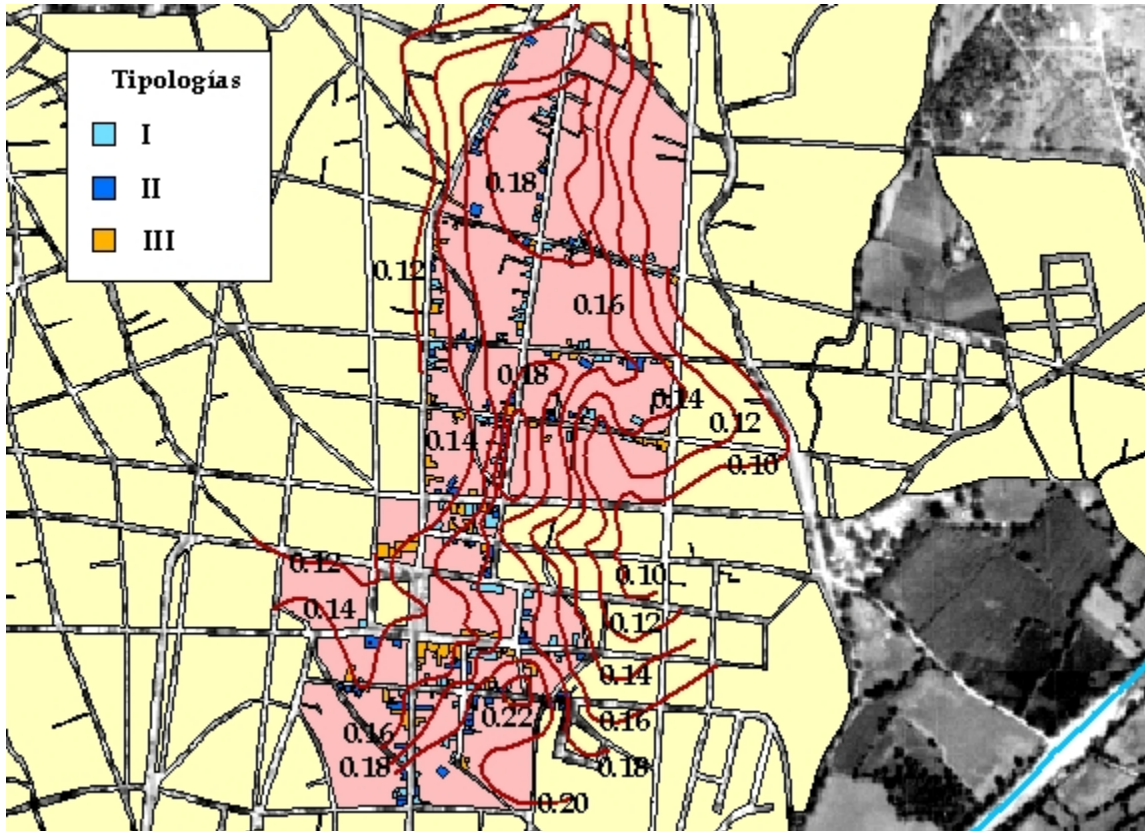


Figura 5.5.2.1. Relación del efecto de sitio con las tipologías estructurales.

Con base en esta figura, podemos ver que en la zona de estudio casi todas las construcciones con tipología I (periodo fundamental de 0.09 segundos aproximadamente) están libres del efecto de amplificación por resonancia dinámica. Esto significa que tales estructuras sólo están expuestas a la amplificación del movimiento del terreno por efecto de la geología local, como se vio en el capítulo anterior. De acuerdo con los resultados del método analítico, su comportamiento sísmico fue adecuado durante el temblor del 15 de junio de 1999 ( $M_w=7.0$ ,  $m_b=6.3$ ), y es satisfactorio para el nivel de excitación dado por el espectro de diseño correspondiente (CFE, 1993). La vivienda representativa (vivienda 1) posee las características esenciales para lograr dicho comportamiento, tales como la rigidización del techo en su plano para que forme un diafragma, la adecuada liga del techo a los muros, así como la liga y el refuerzo en las esquinas e intersecciones de muros (GDF, 2002). De esta manera, los daños estructurales severos que se hayan presentado en este tipo de construcciones se atribuyen más bien a deficiencias constructivas que no permiten satisfacer dichos requisitos.

Varias construcciones con tipología II (periodo fundamental alrededor de 0.17 segundos) en la zona de estudio están expuestas a un efecto de amplificación por resonancia dinámica, además

de la amplificación por efecto de la geología local. Sin embargo, de acuerdo con los resultados del método analítico, su comportamiento sísmico fue adecuado durante el temblor del 15 de junio de 1999, y es satisfactorio para el nivel de excitación dado por el espectro de diseño correspondiente (CFE, 1993). La vivienda representativa (vivienda 2) posee las características esenciales para lograr dicho comportamiento, tales como las mencionadas en el párrafo anterior. De esta forma, los daños estructurales severos que se hayan presentado en este tipo de construcciones se atribuyen más bien a deficiencias constructivas que no permiten satisfacer esos requisitos.

Casi todas las construcciones con tipología III (periodo fundamental de 0.10 segundos aproximadamente) en la zona de estudio están libres del efecto de amplificación por resonancia dinámica, lo cual significa que sólo están expuestas a la amplificación por efecto de la geología local. De acuerdo con los resultados del método analítico, su comportamiento sísmico fue adecuado durante el temblor del 15 de junio de 1999, pero no es satisfactorio para el nivel de excitación dado por el espectro de diseño correspondiente (CFE, 1993). La vivienda representativa (vivienda 3) cuenta con un recubrimiento de mortero en los muros, el cual disminuye el deterioro a causa del intemperismo; se sabe, por ejemplo, que la resistencia a compresión y a tensión por flexión del adobe disminuyen casi linealmente con la humedad, hasta ser prácticamente nulas para contenidos de agua del 12% (Hernández *et al.*, 1981). De esta manera, los daños estructurales severos que se hayan presentado en este tipo de construcciones se atribuyen más bien a deficiencias en el mantenimiento de la mampostería de adobe.

### 5.5.3 Clases de vulnerabilidad

La distorsión máxima de entrepiso ( $\gamma_{\text{máx}}$ ) es el parámetro de respuesta estructural que tiene mejor correlación con el daño estructural y con el daño no estructural (Alonso *et al.*, 1996; Bertero *et al.*, 1991; Moehle, 1992; Miranda, 1997; Priestley, 1997; Sozen, 1997). Considerando los valores de  $\gamma_{\text{máx}}$  obtenidos del análisis modal espectral, tenemos que la vivienda 3 (representativa de la tipología III) es la de mayor vulnerabilidad sísmica ( $\gamma_{\text{máx}} \geq 50\% \gamma_{\text{permisible}}$ ), la vivienda 1 (representativa de la tipología I) es la de menor vulnerabilidad sísmica ( $\gamma_{\text{máx}} \approx 18\% \gamma_{\text{permisible}}$ ), y la vivienda 2 (representativa de la tipología II) es de vulnerabilidad intermedia ( $\gamma_{\text{máx}} \approx 43\% \gamma_{\text{permisible}}$ ).

Asumiendo que las edificaciones con características estructurales similares a las de las viviendas analizadas pueden presentar un comportamiento sísmico semejante, se han definido tres clases de vulnerabilidad para las tipologías más comunes de las construcciones estudiadas con el método empírico:

- Clase A. Vulnerabilidad alta, asignada a las construcciones con tipología III.
- Clase B. Vulnerabilidad media, asignada a las construcciones con tipología II.
- Clase C. Vulnerabilidad baja, asignada a las construcciones con tipología I.

En las figuras 5.5.3.1 y 5.5.3.2, se muestra la distribución de las edificaciones estudiadas con el método empírico y se indica la clase de vulnerabilidad asignada de acuerdo con los resultados del método analítico.

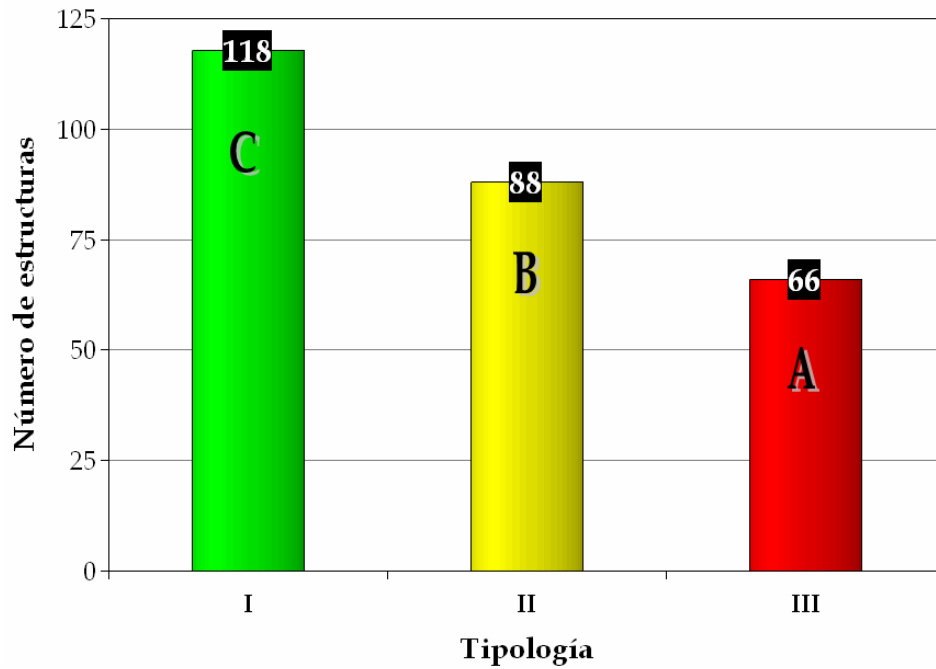


Figura 5.5.3.1. Clases de vulnerabilidad asignadas a las tipologías más comunes.

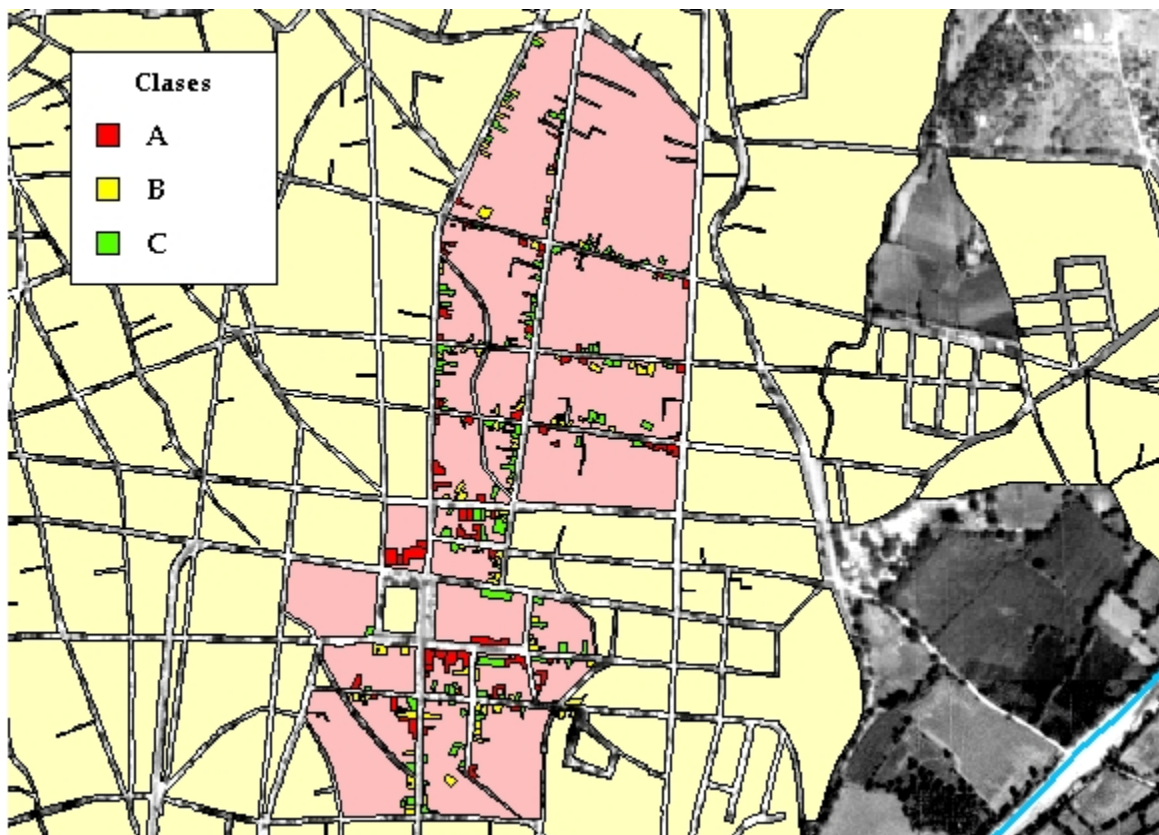


Figura 5.5.3.2. Distribución de clases de vulnerabilidad en la zona de estudio.

## Capítulo 6 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de la presente investigación, podemos enfatizar los siguientes puntos a manera de conclusión.

- Considerando los aspectos geológicos, morfológicos e hidrológicos de la ciudad de Acatlán, se distinguen tres microzonas: I) Alta, donde predominan rocas metamórficas; II) Media, conformada por depósitos arenosos de origen aluvial; III) Baja, donde los materiales aluviales son producto del río Tizaac. La mayoría de las construcciones (el 97%) se localizan en las microzonas I y II.
- La ciudad de Acatlán se localiza en la zona de mayor actividad sísmica del estado de Puebla. Los macrosismos intraplaca son los que producen mayor nivel de intensidad, en comparación con los macrosismos interplaca de la costa sur mexicana del Pacífico. Durante el sismo de Huajuapán de León del 24 de octubre de 1980 ( $M_w=7.0$ ,  $m_b=7.0$ ) y el de Tehuacán del 15 de junio de 1999 ( $M_w=7.0$ ,  $m_b=6.3$ ), los daños se concentraron en la microzona II.
- Las funciones de transferencia empíricas muestran la existencia de un efecto de amplificación en los depósitos arenosos de la microzona II, en un intervalo de frecuencias fundamentales del suelo entre 4 y 12.5 Hz (0.08 y 0.26 segundos) aproximadamente, donde se observan amplificaciones relativas máximas de hasta 5 veces con una media de 3 veces.
- Los perfiles de velocidades de ondas de corte, estimados a partir del ensaye de refracción y de las funciones de transferencia empíricas, revelan la presencia de depósitos arenosos en la microzona II con espesores que varían entre 3 y 11 m con una media de 7 m. Las profundidades a la roca basal así estimadas resultaron entre 4 y 13 m con una media de 8 m.
- En el escenario del sismo del 15 de junio de 1999, se estimó un valor mínimo de 147 gal, un máximo de 238 gal y una media de 171 gal en dirección norte-sur para el movimiento en la superficie del terreno de la microzona II. En dirección este-oeste, se obtuvo un valor mínimo de 177 gal, un máximo de 213 gal y una media de 195 gal. En general, las máximas aceleraciones resultaron en la dirección este-oeste.
- Del censo estructural realizado en la zona donde se concentraron los daños más graves durante el sismo del 15 de junio de 1999, se demostró que la mayoría de las construcciones son de uno o dos niveles, los usos principales son el habitacional y el comercial, los materiales de construcción más empleados son la mampostería de tabiques de concreto y la mampostería de adobe, los sistemas estructurales predominantes son los muros de carga confinados y los muros de carga sin refuerzo, y los sistemas de piso más utilizados son la

losa de concreto y el terrado (relleno de tierra sobre vigas). Además, alrededor del 20% de las construcciones presentan niveles de agrietamiento y grados de deterioro de los materiales que van de medios a altos.

- En la zona de estudio, las tres tipologías estructurales más comunes constituyen el 62% (272 edificaciones) del total de las construcciones censadas, y son las siguientes: I) estructuras de 1 nivel, construidas con mampostería de ladrillos de concreto, a base de muros de carga confinados con dalas y castillos y con techo de losa de concreto; II) estructuras de 2 niveles, construidas con mampostería de ladrillos de concreto, a base de muros de carga confinados y con techo de losa de concreto; III) estructuras de 1 nivel, construidas con mampostería de adobe, a base de muros de carga sin refuerzo y con techo de relleno de tierra sobre vigas. A su vez, la tipología I representa el 43%, la tipología II el 32% y la tipología III el 24% de la muestra.
- Casi todas las construcciones con tipología I (periodo fundamental de 0.09 segundos aproximadamente) están libres del efecto de amplificación por resonancia dinámica. De acuerdo con los resultados del método analítico, su comportamiento sísmico fue adecuado durante el temblor del 15 de junio de 1999, y es satisfactorio para el nivel de excitación dado por el espectro de diseño correspondiente (CFE, 1993); en ambos casos, los esfuerzos máximos en los muros resultaron bastante menores que los esfuerzos resistentes. Los daños estructurales severos que se presenten en este tipo de construcciones se atribuyen más bien a deficiencias constructivas que no permiten satisfacer los requisitos esenciales para lograr un buen comportamiento, tales como la rigidización del techo en su plano para que forme un diafragma, la adecuada liga del techo a los muros, así como la liga y el refuerzo en las esquinas e intersecciones de muros (GDF, 2002).
- Varias construcciones con tipología II (periodo fundamental alrededor de 0.17 segundos) están expuestas a un efecto de amplificación por resonancia dinámica. Sin embargo, de acuerdo con los resultados del método analítico, su comportamiento sísmico fue adecuado durante el temblor del 15 de junio de 1999, y es satisfactorio para el nivel de excitación dado por el espectro de diseño correspondiente (CFE, 1993); en ambos casos, los esfuerzos máximos en los muros resultaron menores que los esfuerzos resistentes. Los daños estructurales severos que se presenten en este tipo de construcciones se atribuyen más bien a deficiencias constructivas que no permiten satisfacer los requisitos esenciales para lograr un buen comportamiento, tales como los mencionados en el punto anterior.
- Casi todas las construcciones con tipología III (periodo fundamental de 0.10 segundos aproximadamente) están libres del efecto de amplificación por resonancia dinámica. De acuerdo con los resultados del método analítico, su comportamiento sísmico fue adecuado durante el temblor del 15 de junio de 1999, pero no es satisfactorio para el nivel de excitación dado por el espectro de diseño correspondiente (CFE, 1993). En el primer caso, los daños estructurales severos que se presentaron en este tipo de construcciones se atribuyen más bien a deficiencias en el mantenimiento de la mampostería de adobe. En el segundo caso, dado el nivel de aceleraciones inducidas (alrededor de 0.8g), se considera que sí pueden presentarse daños estructurales.
- De acuerdo con los valores de la máxima distorsión de entrepiso ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) calculados con el análisis modal espectral, y asumiendo que las edificaciones con características estructurales



similares a las de las viviendas analizadas pueden presentar un comportamiento sísmico semejante, se han definido tres clases de vulnerabilidad: A) vulnerabilidad alta ( $\gamma_{\text{máx}} \geq 50\% \gamma_{\text{permisible}}$ ), asignada a la tipología III; B) vulnerabilidad media ( $\gamma_{\text{máx}} \approx 43\% \gamma_{\text{permisible}}$ ), asignada a la tipología II; C) vulnerabilidad baja ( $\gamma_{\text{máx}} \approx 18\% \gamma_{\text{permisible}}$ ), asignada a la tipología I.

Aunque se analizaron dos escenarios sísmicos importantes, en estudios posteriores convendrá simular otros sismos para investigar el efecto de fuente y de directividad en la respuesta del terreno. Además, podemos señalar que aún es necesario evaluar otros aspectos que no se incluyeron en los alcances del presente trabajo; por ejemplo, queda por investigar el efecto de sitio aplicando modelos bidimensionales o tridimensionales de la geometría del valle, así como la vulnerabilidad de las construcciones considerando el comportamiento no lineal de los materiales.

# ANEXOS

## ANEXO 1 CATÁLOGO DE SISMOS

Este catálogo es una recopilación de los datos de sismos localizados instrumentalmente por Figueroa (1974), González-Pomposo y Valdés-González (1995), y el Servicio Sismológico Nacional (2005) en el estado de Puebla y sus alrededores. Los eventos abarcan la región centro-sur de México y corresponden a los periodos de febrero de 1911 a octubre de 1980, de enero de 1986 a agosto de 1989, y de febrero de 1990 a diciembre de 2002. En total se obtuvieron datos de 1150 sismos, los cuales se enlistan en la tabla 1.

Las coordenadas epicentrales varían entre los paralelos  $15.81^{\circ}\text{N}$  y  $20.88^{\circ}\text{N}$ , y los meridianos  $99.95^{\circ}\text{O}$  y  $94.11^{\circ}\text{O}$ , las cuales definen el marco mostrado en la figura 1. La máxima profundidad hipocentral es de 178 km (evento no. 648 de la tabla 1). Las magnitudes se distribuyen como indica la figura 2.

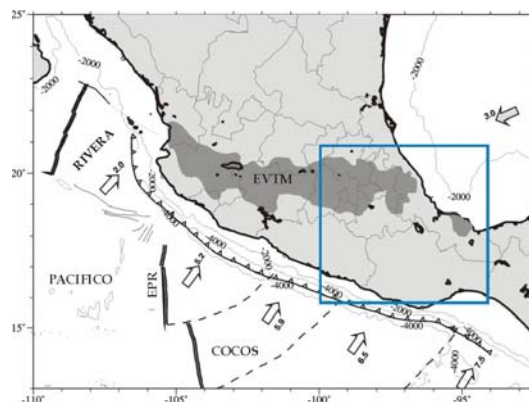


Figura 1. Región de estudio.

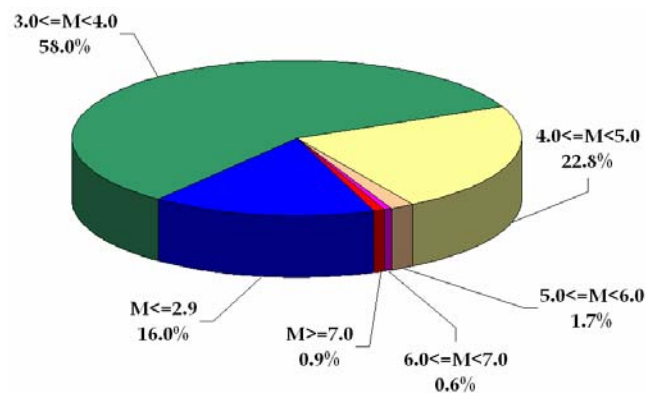


Figura 2. Distribución porcentual de magnitudes.

Tabla 1. Catálogo de sismos.

| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H<br>(km) | Magnitud |      | No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H<br>(km) | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|-----------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|--------|-----------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   |           | Richter  | Coda |     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   |           | Richter  | Coda |
| 1   | 1911 | 23   | 2041 | 55.0 | 18.200 | 96.367 | 80.0      | 7.3      |      | 74  | 1959 | 411  | 0038 | 52.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.0      |      |
| 2   | 1920 | 14   | 0348 | 3.0  | 19.267 | 96.967 |           | 7.8      |      | 75  | 1959 | 422  | 0111 | 14.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.8      |      |
| 3   | 1920 | 14   | 0424 | 50.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 76  | 1959 | 422  | 1050 | 51.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.3      |      |
| 4   | 1920 | 14   | 0500 | 4.0  | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 77  | 1959 | 55   | 1113 | 52.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.5      |      |
| 5   | 1920 | 14   | 0610 | 54.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 78  | 1959 | 524  | 1917 | 43.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 6.8      |      |
| 6   | 1920 | 14   | 0723 | 10.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 79  | 1959 | 525  | 0541 | 38.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 4.0      |      |
| 7   | 1920 | 17   | 1554 | 13.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 80  | 1959 | 87   | 2302 | 2.0  | 19.400 | 99.367 |           | 5.0      |      |
| 8   | 1920 | 123  | 0443 | 15.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 81  | 1959 | 812  | 1301 | 14.0 | 19.400 | 99.367 |           | 5.4      |      |
| 9   | 1920 | 27   | 2306 | 21.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 82  | 1959 | 918  | 0706 | 20.0 | 17.850 | 97.633 | 100.0     | 5.2      |      |
| 10  | 1920 | 419  | 2107 | 3.0  | 18.817 | 97.467 | 80.0      | 6.7      |      | 83  | 1960 | 17   | 0054 | 10.0 | 19.317 | 99.267 |           | 4.0      |      |
| 11  | 1920 | 1010 | 0222 | 56.0 | 19.167 | 98.667 |           | 4.0      |      | 84  | 1960 | 628  | 0309 | 10.0 | 19.317 | 99.267 |           | 4.5      |      |
| 12  | 1921 | 615  | 1707 | 16.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 85  | 1960 | 628  | 0420 | 22.0 | 19.317 | 99.267 |           | 4.5      |      |
| 13  | 1921 | 615  | 1711 | 16.0 | 19.267 | 96.967 |           | 4.0      |      | 86  | 1960 | 628  | 0611 | 7.0  | 19.317 | 99.267 |           | 4.5      |      |
| 14  | 1924 | 929  | 2003 | 10.0 | 17.933 | 98.850 |           | 4.0      |      | 87  | 1961 | 426  | 2317 | 49.0 | 19.317 | 99.317 |           | 4.0      |      |
| 15  | 1928 | 210  | 0439 | 6.0  | 17.850 | 97.633 | 100.0     | 7.7      |      | 88  | 1961 | 512  | 0905 | 2.0  | 19.317 | 99.317 |           | 4.0      |      |
| 16  | 1928 | 417  | 0326 | 15.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 7.7      |      | 89  | 1961 | 924  | 1904 | 38.0 | 18.267 | 99.133 |           | 6.1      |      |
| 17  | 1928 | 820  | 1748 | 56.0 | 19.267 | 97.800 |           | 4.0      |      | 90  | 1962 | 519  | 1458 | 5.0  | 17.300 | 99.433 |           | 5.5      |      |
| 18  | 1929 | 615  | 0036 | 10.0 | 19.267 | 97.800 |           | 4.0      |      | 91  | 1962 | 93   | 0926 | 34.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 4.9      |      |
| 19  | 1931 | 115  | 0000 | 0.0  | 16.340 | 96.870 | 40.0      | 7.8      |      | 92  | 1962 | 1130 | 2157 | 18.0 | 17.300 | 99.433 |           | 5.8      |      |
| 20  | 1932 | 310  | 2302 | 30.0 | 18.033 | 96.467 |           | 5.5      |      | 93  | 1964 | 421  | 0438 | 44.0 | 17.933 | 98.850 | 100.0     | 4.5      |      |
| 21  | 1935 | 43   | 0842 | 49.0 | 18.683 | 96.650 |           | 5.0      |      | 94  | 1964 | 615  | 0721 | 14.0 | 19.350 | 99.100 |           | 4.0      |      |
| 22  | 1935 | 65   | 0626 | 0.0  | 17.217 | 97.883 |           | 6.0      |      | 95  | 1965 | 23   | 2125 | 48.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 4.0      |      |
| 23  | 1935 | 117  | 2331 | 57.0 | 17.850 | 97.633 | 100.0     | 4.5      |      | 96  | 1965 | 92   | 1711 | 26.0 | 19.483 | 99.233 |           | 4.0      |      |
| 24  | 1936 | 84   | 0352 | 15.0 | 18.200 | 96.367 |           | 4.0      |      | 97  | 1966 | 215  | 0654 | 18.0 | 18.467 | 98.450 |           | 3.8      |      |
| 25  | 1937 | 726  | 0348 | 3.0  | 18.817 | 97.467 | 80.0      | 7.7      |      | 98  | 1966 | 49   | 2042 | 32.0 | 18.467 | 98.450 |           | 3.8      |      |
| 26  | 1937 | 106  | 0947 | 38.0 | 17.783 | 99.167 |           | 7.2      |      | 99  | 1966 | 410  | 0028 | 37.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 4.7      |      |
| 27  | 1937 | 1226 | 1756 | 50.0 | 17.917 | 98.083 |           | 4.0      |      | 100 | 1966 | 417  | 0859 | 21.0 | 18.467 | 98.450 |           | 4.0      |      |
| 28  | 1938 | 53   | 0215 | 49.0 | 17.783 | 99.167 |           | 6.2      |      | 101 | 1966 | 823  | 0643 | 22.0 | 17.300 | 99.433 |           | 4.3      |      |
| 29  | 1940 | 41   | 1900 | 52.0 | 18.667 | 96.133 |           | 5.0      |      | 102 | 1966 | 126  | 1331 | 14.0 | 19.400 | 99.183 |           | 4.0      |      |
| 30  | 1942 | 723  | 1416 | 23.0 | 17.933 | 98.850 |           | 4.0      |      | 103 | 1967 | 17   | 1924 | 16.0 | 17.367 | 98.883 |           | 4.9      |      |
| 31  | 1945 | 1011 | 1657 | 28.0 | 17.850 | 97.633 | 100.0     | 6.5      |      | 104 | 1967 | 411  | 0343 | 37.0 | 19.400 | 99.250 |           | 4.0      |      |
| 32  | 1945 | 1021 | 1554 | 29.0 | 17.133 | 97.517 |           | 5.0      |      | 105 | 1967 | 513  | 0612 | 22.0 | 19.350 | 99.200 |           | 4.0      |      |
| 33  | 1947 | 216  | 0216 | 35.0 | 17.850 | 97.633 | 80.0      | 5.4      |      | 106 | 1967 | 513  | 0613 | 36.0 | 19.350 | 99.200 |           | 4.0      |      |
| 34  | 1948 | 124  | 2308 | 5.0  | 17.933 | 98.850 |           | 4.5      |      | 107 | 1967 | 513  | 0613 | 58.0 | 19.350 | 99.200 |           | 4.0      |      |
| 35  | 1948 | 418  | 0711 | 46.0 | 18.033 | 96.467 |           | 4.0      |      | 108 | 1967 | 514  | 1146 | 40.0 | 19.350 | 99.200 |           | 4.0      |      |
| 36  | 1948 | 811  | 1036 | 40.0 | 17.750 | 97.100 | 100.0     | 6.5      |      | 109 | 1967 | 1212 | 0752 | 45.0 | 17.700 | 97.333 |           | 4.1      |      |
| 37  | 1948 | 813  | 0057 | 28.0 | 18.033 | 96.467 |           | 4.0      |      | 110 | 1968 | 217  | 0850 | 25.0 | 18.000 | 99.167 |           | 4.9      |      |
| 38  | 1949 | 109  | 1247 | 43.0 | 17.783 | 99.167 |           | 4.0      |      | 111 | 1968 | 410  | 1044 | 15.0 | 17.433 | 96.417 |           | 3.4      |      |
| 39  | 1949 | 1121 | 1423 | 1.0  | 19.450 | 99.217 |           | 4.0      |      | 112 | 1968 | 66   | 0916 | 37.0 | 18.617 | 97.700 |           | 5.1      |      |
| 40  | 1950 | 311  | 0511 | 46.0 | 19.900 | 98.083 |           | 4.4      |      | 113 | 1968 | 82   | 1619 | 42.0 | 17.200 | 97.500 |           | 4.0      |      |
| 41  | 1950 | 620  | 1859 | 0.0  | 17.217 | 97.833 |           | 4.0      |      | 114 | 1968 | 824  | 2203 | 15.0 | 17.533 | 99.133 |           | 3.2      |      |
| 42  | 1950 | 1223 | 0820 | 55.0 | 19.300 | 99.100 |           | 4.0      |      | 115 | 1968 | 97   | 0723 | 51.0 | 17.650 | 99.250 |           | 3.2      |      |
| 43  | 1951 | 823  | 1020 | 12.0 | 17.933 | 98.950 | 100.0     | 4.0      |      | 116 | 1968 | 101  | 2241 | 54.0 | 17.200 | 97.800 | 40.0      | 3.7      |      |
| 44  | 1951 | 109  | 0917 | 24.0 | 17.750 | 98.100 | 100.0     | 4.0      |      | 117 | 1969 | 710  | 1809 | 13.0 | 19.000 | 98.800 |           | 4.3      |      |
| 45  | 1951 | 112  | 1819 | 21.0 | 18.500 | 99.100 | 100.0     | 4.0      |      | 118 | 1969 | 713  | 1043 | 10.0 | 17.200 | 97.500 |           | 4.0      |      |
| 46  | 1952 | 428  | 1401 | 44.0 | 19.467 | 99.083 |           | 4.5      |      | 119 | 1969 | 719  | 0725 | 22.0 | 18.200 | 97.400 | 70.0      | 3.9      |      |
| 47  | 1952 | 629  | 1843 | 18.0 | 19.400 | 99.217 |           | 4.0      |      | 120 | 1970 | 828  | 1739 | 45.0 | 18.400 | 97.900 | 68.0      | 4.0      |      |
| 48  | 1952 | 629  | 1948 | 33.0 | 19.400 | 99.217 |           | 5.5      |      | 121 | 1971 | 220  | 2149 | 57.0 | 18.039 | 99.324 | 98.0      | 4.5      |      |
| 49  | 1952 | 72   | 1330 | 7.0  | 19.400 | 99.217 |           | 4.5      |      | 122 | 1971 | 33   | 0048 | 11.0 | 17.656 | 99.289 | 77.0      | 5.1      |      |
| 50  | 1952 | 73   | 2030 | 24.0 | 19.400 | 99.217 |           | 4.5      |      | 123 | 1971 | 622  | 0003 | 49.0 | 18.286 | 98.322 | 66.0      | 4.2      |      |
| 51  | 1952 | 77   | 0201 | 6.0  | 19.400 | 99.217 |           | 4.5      |      | 124 | 1971 | 921  | 0754 | 16.0 | 18.811 | 98.609 | 41.0      | 4.7      |      |
| 52  | 1952 | 919  | 2338 | 50.0 | 17.850 | 97.633 | 100.0     | 4.0      |      | 125 | 1973 | 131  | 1232 | 26.0 | 18.187 | 97.047 | 56.0      | 4.7      |      |
| 53  | 1954 | 47   | 0535 | 48.0 | 18.033 | 96.467 |           | 4.0      |      | 126 | 1973 | 828  | 0950 | 54.0 | 18.817 | 97.467 | 80.0      | 7.0      |      |
| 54  | 1954 | 1224 | 0405 | 57.0 | 17.783 | 99.167 | 100.0     | 4.3      |      | 127 | 1980 | 1024 | 0853 | 31.0 | 18.030 | 98.270 | 65.0      |          | 7.0  |
| 55  | 1955 | 37   | 0905 | 59.0 | 18.500 | 99.100 | 100.0     | 4.0      |      | 128 | 1986 | 14   | 1538 | 16.0 | 19.605 | 99.014 | 37.0      |          | 4.2  |
| 56  | 1955 | 316  | 0254 | 49.0 | 18.500 | 99.100 | 100.0     | 4.0      |      | 129 | 1986 | 18   | 1220 | 35.2 | 17.955 | 99.041 | 24.0      |          | 3.7  |
| 57  | 1955 | 318  | 1334 | 25.0 | 17.233 | 98.350 |           | 4.5      |      | 130 | 1986 | 19   | 0329 | 58.0 | 18.726 | 99.352 | 37.0      |          | 3.9  |
| 58  | 1955 | 319  | 0749 | 48.0 | 17.300 | 99.433 |           | 5.0      |      | 131 | 1986 | 210  | 0913 | 28.7 | 18.616 | 98.615 | 37.0      |          | 3.5  |
| 59  | 1957 | 1021 | 2118 | 35.0 | 17.783 | 99.167 | 100.0     | 4.5      |      | 132 | 1986 | 219  | 1913 | 40.8 | 18.731 | 98.730 | 16.0      |          | 4.0  |
| 60  | 1957 | 1115 | 0416 | 28.0 | 18.817 | 97.467 | 100.0     | 4.6      |      | 133 | 1986 | 220  | 2054 | 51.8 | 18.132 | 96.302 | 41.0      |          | 4.9  |
| 61  | 1957 | 1128 | 0355 | 54.0 | 17.217 | 97.833 |           | 4.3      |      | 134 | 1986 | 320  | 1012 | 34.1 | 19.346 | 97.614 | 20.0      |          | 3.4  |
| 62  | 1957 | 128  | 1628 | 50.0 | 18.200 | 96.367 | 80.0      | 4.6      |      | 135 | 1986 | 58   | 1844 | 30.3 | 19.669 | 98.667 | 30.0      |          | 4.0  |
| 63  | 1957 | 1224 | 1551 | 56.0 | 18.683 | 96.600 |           | 4.6      |      | 136 | 1986 | 58   | 1929 | 22.2 | 19.791 | 98.662 | 29.0      |          | 3.8  |
| 64  | 1958 | 53   | 1957 | 28.0 | 18.917 | 99.417 |           | 4.2      |      | 137 | 1986 | 58   | 2040 | 2.1  | 19.837 | 98.724 | 37.0      |          | 3.2  |
| 65  | 1958 | 819  | 0148 | 21.0 | 18.817 | 97.467 |           | 4.2      |      | 138 | 1986 | 58   | 2040 | 4.9  | 19.599 | 98.841 | 37.0      |          | 3.5  |
| 66  | 1958 | 1118 | 2318 | 7.0  | 19.333 | 99.183 |           | 4.0      |      | 139 | 1986 | 59   | 0004 | 39.4 | 19.769 | 98.662 | 37.0      |          | 3.6  |
| 67  | 1959 | 46   | 0444 | 24.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.0      |      | 140 | 1986 | 510  | 1645 | 53.4 | 18.378 | 99.770 | 32.0      |          | 3.7  |
| 68  | 1959 | 46   | 0725 | 51.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.0      |      | 141 | 1986 | 511  | 0653 | 55.8 | 19.589 | 98.811 | 34.0      |          | 3.5  |
| 69  | 1959 | 47   | 1747 | 37.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.4      |      | 142 | 1986 | 511  | 1014 | 29.1 | 18.081 | 99.444 | 24.0      |          | 3.0  |
| 70  | 1959 | 49   | 0750 | 58.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.2      |      | 143 | 1986 | 511  | 1227 | 26.3 | 19.657 | 98.650 | 29.0      |          | 4.1  |
| 71  | 1959 | 49   | 0802 | 35.0 | 19.250 | 97.783 |           | 4.0      |      | 144 | 1986 | 512  | 2348 | 28.1 | 19.654 | 98.768 | 37.0      |          | 3.7  |

Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H    | Magnitud |      | No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H    | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|--------|------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km) | Richter  | Coda |     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km) | Richter  | Coda |
| 147 | 1986 | 513  | 1056 | 57.4 | 19.712 | 98.740 | 35.0 |          | 3.3  | 221 | 1987 | 73   | 0147 | 4.9  | 18.539 | 98.615 | 41.0 |          | 3.0  |
| 148 | 1986 | 520  | 1701 | 21.5 | 18.978 | 98.738 | 37.0 |          | 2.8  | 222 | 1987 | 73   | 0530 | 42.5 | 18.264 | 97.820 | 51.0 |          | 2.1  |
| 149 | 1986 | 523  | 0202 | 34.5 | 19.491 | 99.018 | 37.0 |          | 3.2  | 223 | 1987 | 720  | 1201 | 10.2 | 18.164 | 98.053 | 50.0 |          | 2.6  |
| 150 | 1986 | 524  | 1323 | 10.8 | 18.846 | 99.282 | 21.0 |          | 3.7  | 224 | 1987 | 721  | 0403 | 59.2 | 18.150 | 97.676 | 37.0 |          | 3.0  |
| 151 | 1986 | 62   | 1002 | 8.9  | 18.938 | 98.631 | 31.0 |          | 2.6  | 225 | 1987 | 721  | 0727 | 44.6 | 17.577 | 97.118 | 39.0 |          | 2.8  |
| 152 | 1986 | 620  | 0124 | 41.5 | 18.300 | 98.299 | 37.0 |          | 3.5  | 226 | 1987 | 721  | 1520 | 29.6 | 17.833 | 97.031 | 36.0 |          | 4.0  |
| 153 | 1986 | 630  | 0430 | 34.6 | 19.287 | 98.727 | 37.0 |          | 2.6  | 227 | 1987 | 723  | 0141 | 52.5 | 17.862 | 96.820 | 37.0 |          | 3.0  |
| 154 | 1986 | 715  | 2307 | 2.9  | 18.660 | 99.470 | 23.0 |          | 3.8  | 228 | 1987 | 723  | 0952 | 57.6 | 17.071 | 97.099 | 37.0 |          | 3.3  |
| 155 | 1986 | 727  | 0955 | 31.1 | 18.394 | 99.404 | 32.0 |          | 3.9  | 229 | 1987 | 81   | 2116 | 18.2 | 18.427 | 99.451 | 59.0 |          | 3.5  |
| 156 | 1986 | 729  | 1217 | 14.6 | 18.124 | 99.750 | 56.0 |          | 4.2  | 230 | 1987 | 83   | 1758 | 42.7 | 18.102 | 98.101 | 37.0 |          | 2.6  |
| 157 | 1986 | 812  | 2119 | 6.2  | 18.735 | 97.918 | 68.0 |          | 2.7  | 231 | 1987 | 85   | 0644 | 9.8  | 18.462 | 98.615 | 41.0 |          | 2.8  |
| 158 | 1986 | 824  | 1404 | 3.3  | 18.300 | 98.305 | 37.0 |          | 3.2  | 232 | 1987 | 85   | 1152 | 20.9 | 18.300 | 98.280 | 41.0 |          | 2.4  |
| 159 | 1986 | 830  | 1047 | 25.4 | 18.958 | 99.505 | 37.0 |          | 3.2  | 233 | 1987 | 810  | 1956 | 53.0 | 18.068 | 98.561 | 35.0 |          | 2.7  |
| 160 | 1986 | 830  | 1923 | 46.7 | 19.680 | 98.572 | 37.0 |          | 4.0  | 234 | 1987 | 814  | 0534 | 30.9 | 17.915 | 97.652 | 48.0 |          | 3.2  |
| 161 | 1986 | 830  | 2234 | 23.6 | 19.692 | 98.614 | 37.0 |          | 3.4  | 235 | 1987 | 814  | 0940 | 32.5 | 18.203 | 96.869 | 37.0 |          | 4.7  |
| 162 | 1986 | 91   | 0340 | 33.5 | 19.636 | 98.688 | 37.0 |          | 3.4  | 236 | 1987 | 816  | 0903 | 54.1 | 19.393 | 98.171 | 32.0 |          | 3.1  |
| 163 | 1986 | 92   | 1617 | 30.6 | 18.730 | 98.638 | 37.0 |          | 2.9  | 237 | 1987 | 818  | 1149 | 11.1 | 17.921 | 98.428 | 37.0 |          | 3.0  |
| 164 | 1986 | 911  | 0216 | 54.7 | 19.638 | 98.771 | 14.0 |          | 3.7  | 238 | 1987 | 819  | 1347 | 33.0 | 17.745 | 98.158 | 39.0 |          | 3.4  |
| 165 | 1986 | 925  | 0357 | 33.2 | 18.442 | 97.918 | 64.0 |          | 2.9  | 239 | 1987 | 823  | 0945 | 16.7 | 17.842 | 97.794 | 23.0 |          | 2.9  |
| 166 | 1986 | 1010 | 0047 | 30.3 | 18.761 | 98.586 | 37.0 |          | 3.3  | 240 | 1987 | 831  | 0720 | 33.2 | 17.524 | 97.415 | 37.0 |          | 3.3  |
| 167 | 1986 | 1013 | 0312 | 31.8 | 19.168 | 98.587 | 11.0 |          | 3.3  | 241 | 1987 | 99   | 0701 | 19.3 | 18.826 | 96.319 | 32.0 |          | 2.8  |
| 168 | 1986 | 1030 | 0242 | 28.0 | 18.459 | 99.470 | 37.0 |          | 3.9  | 242 | 1987 | 99   | 1600 | 55.3 | 17.235 | 96.966 | 37.0 |          | 3.6  |
| 169 | 1986 | 1119 | 0707 | 19.4 | 18.133 | 98.438 | 37.0 |          | 2.9  | 243 | 1987 | 914  | 2357 | 2.7  | 18.134 | 97.557 | 45.0 |          | 3.3  |
| 170 | 1986 | 1123 | 0934 | 23.7 | 18.775 | 98.678 | 39.0 |          | 3.0  | 244 | 1987 | 915  | 1921 | 55.9 | 17.980 | 97.768 | 54.0 |          | 3.4  |
| 171 | 1986 | 126  | 1013 | 11.2 | 17.849 | 98.233 | 37.0 |          | 3.0  | 245 | 1987 | 917  | 1010 | 0.7  | 17.980 | 97.144 | 37.0 |          | 3.5  |
| 172 | 1986 | 127  | 0452 | 27.5 | 18.837 | 99.470 | 41.0 |          | 3.5  | 246 | 1987 | 919  | 0738 | 15.7 | 17.370 | 97.235 | 40.0 |          | 2.8  |
| 173 | 1986 | 1213 | 0030 | 29.9 | 17.788 | 98.673 | 37.0 |          | 3.6  | 247 | 1987 | 920  | 1434 | 56.0 | 18.008 | 98.583 | 19.0 |          | 2.7  |
| 174 | 1986 | 1215 | 2315 | 41.7 | 18.494 | 97.948 | 62.0 |          | 3.8  | 248 | 1987 | 925  | 0747 | 44.8 | 17.834 | 98.510 | 13.0 |          | 3.5  |
| 175 | 1986 | 1219 | 0804 | 8.6  | 18.300 | 99.332 | 59.0 |          | 2.0  | 249 | 1987 | 104  | 0417 | 6.9  | 18.756 | 98.659 | 37.0 |          | 2.9  |
| 176 | 1986 | 1219 | 1536 | 20.3 | 18.542 | 99.542 | 20.0 |          | 4.1  | 250 | 1987 | 1014 | 0707 | 54.0 | 18.989 | 99.232 | 32.0 |          | 3.6  |
| 177 | 1986 | 1224 | 0726 | 4.7  | 17.797 | 97.557 | 37.0 |          | 3.0  | 251 | 1987 | 1017 | 1819 | 22.0 | 18.233 | 97.291 | 37.0 |          | 2.8  |
| 178 | 1986 | 1226 | 1621 | 58.5 | 17.676 | 96.734 | 37.0 |          | 4.0  | 252 | 1987 | 1020 | 2021 | 34.5 | 19.791 | 98.542 | 37.0 |          | 3.3  |
| 179 | 1986 | 1231 | 2053 | 19.7 | 17.481 | 96.662 | 48.0 |          | 4.4  | 253 | 1987 | 1022 | 0747 | 21.0 | 18.236 | 99.814 | 37.0 |          | 3.8  |
| 180 | 1987 | 115  | 2034 | 59.2 | 18.178 | 98.561 | 41.0 |          | 3.2  | 254 | 1987 | 1025 | 0432 | 41.5 | 17.964 | 97.856 | 41.0 |          | 3.0  |
| 181 | 1987 | 117  | 2335 | 36.3 | 17.832 | 98.199 | 33.0 |          | 2.9  | 255 | 1987 | 112  | 0423 | 0.5  | 17.900 | 98.899 | 41.0 |          | 2.8  |
| 182 | 1987 | 119  | 0409 | 57.5 | 19.909 | 97.198 | 37.0 |          | 2.9  | 256 | 1987 | 112  | 0614 | 26.4 | 17.293 | 98.444 | 41.0 |          | 3.5  |
| 183 | 1987 | 121  | 0341 | 49.3 | 18.694 | 96.542 | 46.0 |          | 3.8  | 257 | 1987 | 114  | 1845 | 24.5 | 19.709 | 96.799 | 37.0 |          | 3.1  |
| 184 | 1987 | 122  | 0539 | 8.4  | 17.883 | 97.449 | 46.0 |          | 4.0  | 258 | 1987 | 115  | 1616 | 23.1 | 18.186 | 98.138 | 37.0 |          | 2.6  |
| 185 | 1987 | 126  | 2357 | 53.0 | 19.058 | 99.171 | 30.0 |          | 3.3  | 259 | 1987 | 115  | 1623 | 26.8 | 18.226 | 97.919 | 37.0 |          | 3.0  |
| 186 | 1987 | 127  | 0351 | 35.0 | 18.162 | 98.462 | 34.0 |          | 4.4  | 260 | 1987 | 117  | 0254 | 21.9 | 18.157 | 98.079 | 37.0 |          | 2.3  |
| 187 | 1987 | 129  | 0943 | 42.7 | 18.098 | 98.356 | 37.0 |          | 3.6  | 261 | 1987 | 117  | 2250 | 33.2 | 18.378 | 99.702 | 37.0 |          | 2.8  |
| 188 | 1987 | 28   | 1940 | 38.6 | 19.369 | 99.197 | 37.0 |          | 2.3  | 262 | 1987 | 1115 | 0329 | 21.7 | 17.357 | 97.371 | 53.0 |          | 3.9  |
| 189 | 1987 | 218  | 0126 | 37.4 | 19.242 | 97.620 | 24.0 |          | 3.1  | 263 | 1987 | 1124 | 0558 | 44.3 | 17.428 | 98.197 | 37.0 |          | 3.4  |
| 190 | 1987 | 219  | 0807 | 38.7 | 18.378 | 99.470 | 37.0 |          | 3.7  | 264 | 1987 | 1127 | 0834 | 30.9 | 17.342 | 98.254 | 37.0 |          | 3.7  |
| 191 | 1987 | 225  | 0738 | 32.5 | 19.502 | 99.176 | 37.0 |          | 2.9  | 265 | 1987 | 126  | 2236 | 12.9 | 18.396 | 97.759 | 37.0 |          | 3.2  |
| 192 | 1987 | 32   | 1754 | 54.1 | 17.168 | 94.106 | 37.0 |          | 5.1  | 266 | 1987 | 127  | 2246 | 11.9 | 18.522 | 98.801 | 32.0 |          | 2.6  |
| 193 | 1987 | 39   | 1133 | 27.3 | 19.247 | 97.379 | 37.0 |          | 2.9  | 267 | 1987 | 128  | 0902 | 54.6 | 18.139 | 98.464 | 37.0 |          | 2.3  |
| 194 | 1987 | 312  | 1847 | 56.5 | 19.384 | 99.111 | 37.0 |          | 3.3  | 268 | 1987 | 1210 | 0424 | 15.8 | 18.007 | 98.633 | 31.0 |          | 2.9  |
| 195 | 1987 | 326  | 1029 | 56.4 | 17.803 | 98.112 | 37.0 |          | 3.8  | 269 | 1987 | 1213 | 0130 | 46.1 | 18.028 | 98.275 | 34.0 |          | 2.7  |
| 196 | 1987 | 41   | 0616 | 9.5  | 18.031 | 99.680 | 22.0 |          | 4.0  | 270 | 1987 | 1214 | 1244 | 14.5 | 17.964 | 98.067 | 37.0 |          | 3.6  |
| 197 | 1987 | 43   | 0529 | 24.9 | 17.945 | 99.665 | 37.0 |          | 3.3  | 271 | 1987 | 1214 | 1654 | 28.8 | 18.264 | 97.978 | 37.0 |          | 2.3  |
| 198 | 1987 | 46   | 0523 | 43.8 | 18.550 | 99.470 | 50.0 |          | 4.2  | 272 | 1987 | 1215 | 0415 | 52.8 | 17.802 | 98.359 | 32.0 |          | 2.7  |
| 199 | 1987 | 410  | 1003 | 0.4  | 18.132 | 98.483 | 41.0 |          | 3.2  | 273 | 1987 | 1215 | 1115 | 20.5 | 17.709 | 96.929 | 41.0 |          | 3.6  |
| 200 | 1987 | 416  | 0524 | 59.8 | 17.774 | 99.098 | 21.0 |          | 3.2  | 274 | 1987 | 1218 | 0256 | 36.8 | 18.777 | 99.273 | 24.0 |          | 2.8  |
| 201 | 1987 | 418  | 0830 | 42.9 | 19.534 | 98.334 | 37.0 |          | 3.1  | 275 | 1987 | 1221 | 0410 | 3.7  | 18.534 | 97.144 | 41.0 |          | 2.9  |
| 202 | 1987 | 422  | 1841 | 16.1 | 17.071 | 97.651 | 40.0 |          | 3.1  | 276 | 1987 | 1223 | 1148 | 54.1 | 16.651 | 98.260 | 44.0 |          | 3.1  |
| 203 | 1987 | 424  | 0807 | 35.9 | 17.864 | 97.801 | 37.0 |          | 2.8  | 277 | 1987 | 1225 | 0720 | 21.2 | 17.775 | 97.570 | 40.0 |          | 3.1  |
| 204 | 1987 | 425  | 0130 | 12.9 | 18.007 | 99.869 | 37.0 |          | 4.7  | 278 | 1987 | 1225 | 2139 | 1.4  | 17.531 | 94.647 | 37.0 |          | 3.9  |
| 205 | 1987 | 51   | 2328 | 50.3 | 17.987 | 99.592 | 32.0 |          | 3.9  | 279 | 1987 | 1226 | 2011 | 2.0  | 17.698 | 97.841 | 64.0 |          | 3.8  |
| 206 | 1987 | 58   | 0600 | 6.4  | 18.885 | 99.036 | 37.0 |          | 3.8  | 280 | 1987 | 1229 | 2337 | 47.3 | 17.145 | 97.110 | 23.0 |          | 3.6  |
| 207 | 1987 | 59   | 0856 | 31.2 | 17.099 | 97.703 | 37.0 |          | 3.6  | 281 | 1988 | 15   | 0532 | 46.2 | 17.941 | 98.259 | 50.0 |          | 2.0  |
| 208 | 1987 | 513  | 0408 | 48.0 | 19.292 | 97.412 | 25.0 |          | 3.4  | 282 | 1988 | 119  | 1523 | 33.2 | 15.814 | 99.523 | 37.0 |          | 2.0  |
| 209 | 1987 | 525  | 1240 | 1.3  | 19.271 | 98.818 | 41.0 |          | 3.0  | 283 | 1988 | 124  | 0132 | 44.5 | 17.513 | 99.262 | 37.0 |          | 2.0  |
| 210 | 1987 | 525  | 2143 | 32.0 | 17.801 | 96.940 | 37.0 |          | 4.1  | 284 | 1988 | 124  | 1709 | 35.4 | 18.029 | 98.198 | 37.0 |          | 2.0  |
| 211 | 1987 | 531  | 0737 | 20.3 | 18.515 | 98.516 | 37.0 |          | 2.4  | 285 | 1988 | 129  | 1429 | 7.5  | 18.225 | 96.980 | 37.0 |          | 2.0  |
| 212 | 1987 | 612  | 1014 | 20.1 | 18.976 | 99.260 | 37.0 |          | 3.3  | 286 | 1988 | 130  | 2325 | 54.1 | 18.130 | 96.220 | 32.0 |          | 2.0  |
| 213 | 1987 | 617  | 0806 | 33.9 | 18.144 | 97.672 | 37.0 |          | 2.8  | 287 | 1988 | 131  | 0617 | 9.6  | 18.378 | 99.099 | 37.0 |          | 2.0  |
| 214 | 1987 | 619  | 0439 | 14.4 | 18.071 | 98.801 | 37.0 |          | 2.8  | 288 | 1988 | 131  | 1046 | 22.1 | 17.282 | 99.423 | 37.  |          |      |

Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H    | Magnitud |      | No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H    | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|--------|------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km) | Richter  | Coda |     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km) | Richter  | Coda |
| 295 | 1988 | 221  | 0022 | 34.2 | 19.216 | 96.418 | 32.0 |          | 2.0  | 370 | 1988 | 819  | 1111 | 31.4 | 16.754 | 96.185 | 23.0 |          | 4.1  |
| 296 | 1988 | 221  | 2017 | 42.4 | 19.289 | 97.189 | 37.0 |          | 2.0  | 371 | 1988 | 820  | 0322 | 45.8 | 17.834 | 96.239 | 37.0 |          | 3.3  |
| 297 | 1988 | 225  | 1159 | 37.4 | 18.778 | 99.181 | 37.0 |          | 2.0  | 372 | 1988 | 820  | 0616 | 37.1 | 15.965 | 98.256 | 37.0 |          | 4.2  |
| 298 | 1988 | 226  | 0712 | 23.3 | 18.003 | 97.444 | 46.0 |          | 2.0  | 373 | 1988 | 828  | 0421 | 57.1 | 16.030 | 97.199 | 18.0 |          | 3.9  |
| 299 | 1988 | 228  | 2241 | 49.8 | 18.105 | 98.332 | 37.0 |          | 2.0  | 374 | 1988 | 831  | 1957 | 28.8 | 18.584 | 95.734 | 32.0 |          | 2.9  |
| 300 | 1988 | 3 7  | 0333 | 25.2 | 17.836 | 96.134 | 22.0 |          | 2.0  | 375 | 1988 | 9 8  | 1419 | 29.3 | 18.096 | 98.064 | 42.0 |          | 2.5  |
| 301 | 1988 | 312  | 2213 | 3.1  | 17.904 | 97.549 | 37.0 |          | 2.6  | 376 | 1988 | 912  | 0755 | 38.5 | 17.195 | 96.692 | 37.0 |          | 3.2  |
| 302 | 1988 | 324  | 1325 | 42.5 | 18.002 | 98.705 | 37.0 |          | 4.1  | 377 | 1988 | 913  | 2212 | 46.7 | 17.904 | 97.612 | 54.0 |          | 2.6  |
| 303 | 1988 | 325  | 0408 | 14.5 | 18.210 | 98.681 | 37.0 |          | 3.6  | 378 | 1988 | 914  | 2121 | 0.6  | 17.112 | 96.691 | 27.0 |          | 3.9  |
| 304 | 1988 | 325  | 0720 | 6.5  | 17.964 | 97.891 | 42.0 |          | 2.6  | 379 | 1988 | 919  | 1900 | 36.2 | 18.150 | 98.123 | 37.0 |          | 2.5  |
| 305 | 1988 | 326  | 2358 | 21.8 | 17.896 | 97.473 | 48.0 |          | 4.4  | 380 | 1988 | 922  | 0824 | 43.3 | 17.032 | 99.293 | 41.0 |          | 3.9  |
| 306 | 1988 | 4 1  | 0330 | 37.7 | 18.023 | 97.928 | 51.0 |          | 3.6  | 381 | 1988 | 925  | 1747 | 0.1  | 18.153 | 98.538 | 37.0 |          | 2.8  |
| 307 | 1988 | 4 1  | 2358 | 26.3 | 19.325 | 97.422 | 26.0 |          | 2.7  | 382 | 1988 | 925  | 2354 | 2.0  | 18.434 | 98.017 | 37.0 |          | 2.0  |
| 308 | 1988 | 4 9  | 0615 | 41.9 | 18.303 | 97.250 | 43.0 |          | 2.4  | 383 | 1988 | 1010 | 1307 | 13.9 | 18.529 | 97.856 | 37.0 |          | 3.8  |
| 309 | 1988 | 417  | 0645 | 7.6  | 19.411 | 97.160 | 37.0 |          | 2.8  | 384 | 1988 | 1010 | 2333 | 48.7 | 17.950 | 97.247 | 46.0 |          | 4.0  |
| 310 | 1988 | 426  | 2339 | 54.7 | 18.144 | 97.713 | 45.0 |          | 3.0  | 385 | 1988 | 1012 | 1145 | 51.8 | 17.631 | 97.269 | 54.0 |          | 2.8  |
| 311 | 1988 | 430  | 0236 | 1.2  | 18.108 | 98.179 | 37.0 |          | 3.1  | 386 | 1988 | 1012 | 1642 | 0.2  | 18.035 | 98.280 | 37.0 |          | 2.5  |
| 312 | 1988 | 5 1  | 1641 | 21.4 | 18.103 | 98.167 | 37.0 |          | 2.3  | 387 | 1988 | 1017 | 2230 | 54.6 | 17.783 | 98.144 | 39.0 |          | 2.7  |
| 313 | 1988 | 5 3  | 0040 | 6.9  | 17.389 | 97.491 | 37.0 |          | 4.1  | 388 | 1988 | 1022 | 1234 | 48.9 | 18.063 | 98.479 | 29.0 |          | 3.6  |
| 314 | 1988 | 5 3  | 1032 | 9.1  | 18.115 | 99.344 | 37.0 |          | 3.0  | 389 | 1988 | 1023 | 1334 | 9.9  | 17.978 | 96.927 | 41.0 |          | 3.0  |
| 315 | 1988 | 5 4  | 0409 | 25.2 | 18.790 | 99.237 | 37.0 |          | 3.4  | 390 | 1988 | 1028 | 1315 | 33.6 | 17.517 | 99.408 | 56.0 |          | 3.2  |
| 316 | 1988 | 5 6  | 0803 | 15.1 | 17.892 | 99.011 | 37.0 |          | 2.7  | 391 | 1988 | 1029 | 2205 | 2.2  | 19.160 | 96.275 | 32.0 |          | 3.4  |
| 317 | 1988 | 5 7  | 2333 | 47.5 | 18.054 | 96.891 | 46.0 |          | 3.9  | 392 | 1988 | 11 4 | 1515 | 3.0  | 17.953 | 97.860 | 50.0 |          | 2.5  |
| 318 | 1988 | 5 7  | 2340 | 10.4 | 17.935 | 98.967 | 37.0 |          | 3.4  | 393 | 1988 | 11 6 | 0659 | 29.7 | 18.101 | 98.149 | 38.0 |          | 3.1  |
| 319 | 1988 | 5 9  | 0037 | 49.1 | 17.988 | 98.944 | 40.0 |          | 3.8  | 394 | 1988 | 1112 | 1101 | 12.5 | 18.253 | 97.323 | 47.0 |          | 3.4  |
| 320 | 1988 | 5 9  | 0802 | 1.2  | 18.195 | 97.625 | 47.0 |          | 2.7  | 395 | 1988 | 1120 | 0023 | 49.5 | 16.791 | 98.146 | 24.0 |          | 3.4  |
| 321 | 1988 | 5 9  | 2251 | 35.1 | 18.064 | 98.437 | 37.0 |          | 2.5  | 396 | 1988 | 1125 | 1830 | 46.0 | 17.314 | 96.725 | 37.0 |          | 3.0  |
| 322 | 1988 | 510  | 0633 | 43.2 | 19.164 | 99.006 | 15.0 |          | 3.8  | 397 | 1988 | 12 5 | 1231 | 58.5 | 18.192 | 98.055 | 41.0 |          | 3.4  |
| 323 | 1988 | 511  | 2314 | 1.9  | 18.152 | 97.574 | 50.0 |          | 3.1  | 398 | 1988 | 12 8 | 0826 | 7.9  | 16.959 | 97.856 | 32.0 |          | 3.3  |
| 324 | 1988 | 512  | 0615 | 17.7 | 19.153 | 99.063 | 37.0 |          | 3.2  | 399 | 1988 | 12 9 | 1547 | 28.7 | 17.922 | 96.924 | 37.0 |          | 2.9  |
| 325 | 1988 | 512  | 1001 | 51.0 | 19.098 | 99.063 | 37.0 |          | 3.1  | 400 | 1988 | 1210 | 2117 | 53.9 | 18.198 | 97.692 | 37.0 |          | 2.6  |
| 326 | 1988 | 512  | 2122 | 40.1 | 17.964 | 98.085 | 50.0 |          | 2.4  | 401 | 1988 | 1212 | 0643 | 40.3 | 17.208 | 96.044 | 18.0 |          | 3.8  |
| 327 | 1988 | 514  | 0557 | 26.6 | 17.608 | 97.480 | 41.0 |          | 2.8  | 402 | 1988 | 1224 | 1732 | 54.8 | 16.786 | 99.099 | 32.0 |          | 4.3  |
| 328 | 1988 | 515  | 0803 | 15.5 | 17.901 | 98.193 | 37.0 |          | 2.6  | 403 | 1988 | 1230 | 0736 | 46.1 | 17.957 | 98.366 | 37.0 |          | 3.3  |
| 329 | 1988 | 516  | 0010 | 42.3 | 18.461 | 96.825 | 20.0 |          | 3.0  | 404 | 1989 | 1 1  | 0306 | 1.5  | 17.987 | 98.355 | 37.0 |          | 2.2  |
| 330 | 1988 | 517  | 2133 | 27.8 | 18.214 | 97.680 | 37.0 |          | 2.2  | 405 | 1989 | 1 1  | 0503 | 17.4 | 18.092 | 98.066 | 44.0 |          | 2.6  |
| 331 | 1988 | 518  | 1014 | 30.8 | 17.417 | 97.218 | 55.0 |          | 2.4  | 406 | 1989 | 1 1  | 0903 | 4.7  | 18.025 | 97.788 | 41.0 |          | 3.6  |
| 332 | 1988 | 525  | 0923 | 56.5 | 16.778 | 99.154 | 37.0 |          | 3.6  | 407 | 1989 | 1 1  | 2332 | 28.7 | 17.598 | 97.270 | 50.0 |          | 3.1  |
| 333 | 1988 | 525  | 1541 | 13.0 | 19.371 | 97.516 | 37.0 |          | 3.5  | 408 | 1989 | 1 4  | 1320 | 6.0  | 17.995 | 97.842 | 49.0 |          | 3.0  |
| 334 | 1988 | 527  | 0821 | 51.0 | 18.808 | 99.205 | 29.0 |          | 2.8  | 409 | 1989 | 1 6  | 0531 | 40.0 | 17.055 | 98.916 | 37.0 |          | 3.8  |
| 335 | 1988 | 528  | 1413 | 20.7 | 17.852 | 98.535 | 39.0 |          | 3.5  | 410 | 1989 | 114  | 2314 | 55.1 | 18.070 | 97.907 | 44.0 |          | 2.7  |
| 336 | 1988 | 529  | 0611 | 48.9 | 18.378 | 99.470 | 20.0 |          | 4.6  | 411 | 1989 | 115  | 1708 | 33.9 | 17.964 | 97.723 | 37.0 |          | 2.4  |
| 337 | 1988 | 529  | 1029 | 17.9 | 18.224 | 99.470 | 37.0 |          | 4.0  | 412 | 1989 | 117  | 0442 | 40.2 | 18.086 | 98.212 | 37.0 |          | 2.8  |
| 338 | 1988 | 530  | 0906 | 32.2 | 17.334 | 98.217 | 37.0 |          | 2.8  | 413 | 1989 | 118  | 0404 | 32.8 | 17.964 | 97.571 | 40.0 |          | 2.8  |
| 339 | 1988 | 531  | 0727 | 53.5 | 17.706 | 97.144 | 40.0 |          | 3.8  | 414 | 1989 | 118  | 1643 | 19.5 | 17.593 | 97.026 | 34.0 |          | 3.0  |
| 340 | 1988 | 6 2  | 1139 | 21.3 | 18.657 | 98.044 | 41.0 |          | 3.0  | 415 | 1989 | 120  | 0618 | 47.7 | 17.966 | 97.374 | 48.0 |          | 2.8  |
| 341 | 1988 | 610  | 1434 | 28.1 | 17.705 | 98.911 | 42.0 |          | 3.7  | 416 | 1989 | 122  | 0530 | 19.0 | 18.068 | 97.053 | 37.0 |          | 3.2  |
| 342 | 1988 | 611  | 0939 | 17.7 | 18.246 | 98.587 | 40.0 |          | 3.1  | 417 | 1989 | 122  | 1633 | 15.6 | 17.791 | 95.908 | 41.0 |          | 4.0  |
| 343 | 1988 | 612  | 1005 | 47.7 | 18.153 | 97.885 | 46.0 |          | 2.6  | 418 | 1989 | 124  | 0752 | 12.9 | 17.179 | 96.933 | 37.0 |          | 4.0  |
| 344 | 1988 | 615  | 1008 | 36.2 | 18.208 | 97.817 | 49.0 |          | 2.6  | 419 | 1989 | 124  | 1146 | 8.4  | 18.571 | 99.556 | 30.0 |          | 3.9  |
| 345 | 1988 | 616  | 1557 | 42.6 | 17.985 | 98.403 | 38.0 |          | 2.8  | 420 | 1989 | 125  | 0005 | 2.2  | 16.300 | 98.488 | 37.0 |          | 4.1  |
| 346 | 1988 | 617  | 1006 | 7.1  | 18.119 | 97.996 | 51.0 |          | 2.6  | 421 | 1989 | 126  | 1555 | 8.4  | 17.399 | 97.258 | 37.0 |          | 3.2  |
| 347 | 1988 | 625  | 1227 | 27.1 | 17.597 | 97.499 | 41.0 |          | 3.9  | 422 | 1989 | 126  | 1600 | 13.2 | 17.582 | 97.001 | 51.0 |          | 3.1  |
| 348 | 1988 | 629  | 1509 | 52.1 | 18.062 | 97.952 | 41.0 |          | 3.9  | 423 | 1989 | 2 1  | 1650 | 17.6 | 17.879 | 97.877 | 47.0 |          | 2.5  |
| 349 | 1988 | 7 6  | 1957 | 42.4 | 17.964 | 97.521 | 37.0 |          | 2.6  | 424 | 1989 | 2 1  | 2321 | 14.1 | 17.964 | 97.631 | 39.0 |          | 2.5  |
| 350 | 1988 | 7 8  | 0305 | 19.4 | 17.893 | 98.463 | 37.0 |          | 3.2  | 425 | 1989 | 2 3  | 0454 | 20.7 | 17.828 | 99.470 | 37.0 |          | 2.5  |
| 351 | 1988 | 7 9  | 0424 | 48.6 | 18.091 | 97.645 | 37.0 |          | 2.4  | 426 | 1989 | 2 6  | 0651 | 22.2 | 17.440 | 97.274 | 48.0 |          | 2.9  |
| 352 | 1988 | 713  | 1058 | 2.2  | 17.880 | 98.701 | 32.0 |          | 3.4  | 427 | 1989 | 2 7  | 1241 | 54.4 | 17.945 | 97.936 | 43.0 |          | 2.8  |
| 353 | 1988 | 714  | 0538 | 25.8 | 18.021 | 96.041 | 41.0 |          | 3.4  | 428 | 1989 | 2 9  | 1406 | 59.3 | 18.090 | 98.766 | 40.0 |          | 3.5  |
| 354 | 1988 | 718  | 2120 | 34.3 | 17.269 | 96.734 | 37.0 |          | 3.1  | 429 | 1989 | 2 9  | 2149 | 53.7 | 17.993 | 99.107 | 33.0 |          | 2.3  |
| 355 | 1988 | 724  | 1542 | 8.5  | 17.856 | 97.989 | 46.0 |          | 2.9  | 430 | 1989 | 212  | 1120 | 9.9  | 17.918 | 98.694 | 37.0 |          | 3.1  |
| 356 | 1988 | 725  | 0431 | 42.4 | 17.947 | 98.209 | 33.0 |          | 3.4  | 431 | 1989 | 213  | 0149 | 4.2  | 19.168 | 95.963 | 24.0 |          | 3.8  |
| 357 | 1988 | 728  | 2342 | 38.8 | 17.795 | 98.615 | 24.0 |          | 2.6  | 432 | 1989 | 224  | 2000 | 56.2 | 19.059 | 98.615 | 37.0 |          | 2.4  |
| 358 | 1988 | 8 1  | 1621 | 7.4  | 18.062 | 99.206 | 37.0 |          | 3.2  | 433 | 1989 | 226  | 1413 | 8.4  | 18.084 | 95.955 | 41.0 |          | 3.5  |
| 359 | 1988 | 8 2  | 0055 | 52.9 | 18.300 | 98.868 | 37.0 |          | 4.2  | 434 | 1989 | 227  | 2011 | 25.4 | 17.947 | 98.684 | 43.0 |          | 2.7  |
| 360 | 1988 | 8 2  | 0623 | 3.4  | 17.478 | 96.734 | 42.0 |          | 2.6  | 435 | 1989 | 313  | 0330 | 59.9 | 16.814 | 99.653 | 37.0 |          | 3.8  |
| 361 | 1988 | 8 2  | 2326 | 24.6 | 17.983 | 97.088 | 59.0 |          | 2.9  | 436 | 1989 | 313  | 1600 | 17.0 | 16.234 | 98.243 | 37.0 |          | 4.0  |
| 362 | 1988 | 8 3  | 0248 | 39.4 | 17.475 | 96.658 | 37.0 |          | 3.6  | 437 | 1989 | 316  | 2121 | 58.1 | 17.612 |        |      |          |      |

Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      | No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |
| 445 | 1989 | 4 3  | 0833 | 26.8 | 18.888 | 98.752 | 29.0  |          | 3.2  | 520 | 1991 | 719  | 1823 | 32.5 | 17.930 | 97.250 | 63.0  |          | 3.9  |
| 446 | 1989 | 4 3  | 1129 | 38.0 | 18.123 | 99.293 | 33.0  |          | 4.0  | 521 | 1991 | 729  | 0748 | 29.2 | 19.740 | 96.640 | 46.0  |          | 3.8  |
| 447 | 1989 | 4 4  | 1328 | 27.8 | 19.023 | 98.706 | 18.0  |          | 3.5  | 522 | 1991 | 818  | 1318 | 12.1 | 19.330 | 99.240 | 1.0   |          | 3.8  |
| 448 | 1989 | 4 4  | 1854 | 0.9  | 18.352 | 98.028 | 37.0  |          | 2.5  | 523 | 1991 | 825  | 1714 | 45.5 | 18.290 | 97.800 | 20.0  |          | 3.9  |
| 449 | 1989 | 4 8  | 1804 | 54.1 | 16.954 | 98.463 | 29.0  |          | 4.0  | 524 | 1991 | 918  | 2301 | 45.2 | 18.810 | 97.340 | 28.0  |          | 3.5  |
| 450 | 1989 | 412  | 0547 | 14.4 | 17.964 | 97.519 | 64.0  |          | 2.4  | 525 | 1991 | 10 5 | 1231 | 53.0 | 17.030 | 96.720 | 67.0  |          | 4.1  |
| 451 | 1989 | 412  | 1040 | 15.0 | 19.336 | 97.443 | 37.0  |          | 3.0  | 526 | 1991 | 1023 | 1653 | 25.2 | 17.930 | 97.660 | 60.0  |          | 4.3  |
| 452 | 1989 | 412  | 1042 | 3.4  | 19.605 | 97.282 | 32.0  |          | 2.9  | 527 | 1991 | 1027 | 1857 | 14.8 | 18.280 | 99.300 | 50.0  |          | 4.3  |
| 453 | 1989 | 420  | 0741 | 25.2 | 18.932 | 99.949 | 29.0  |          | 2.6  | 528 | 1991 | 1121 | 1918 | 41.4 | 20.540 | 99.110 | 5.0   |          | 3.6  |
| 454 | 1989 | 420  | 0830 | 1.4  | 18.748 | 97.520 | 42.0  |          | 2.2  | 529 | 1991 | 1126 | 0627 | 51.7 | 17.450 | 96.660 | 80.0  |          | 4.9  |
| 455 | 1989 | 425  | 2234 | 15.9 | 17.813 | 99.399 | 37.0  |          | 3.3  | 530 | 1991 | 1130 | 0132 | 31.0 | 17.900 | 98.310 | 48.0  |          | 3.9  |
| 456 | 1989 | 428  | 0929 | 39.4 | 16.713 | 99.450 | 37.0  |          | 3.2  | 531 | 1991 | 12 6 | 1257 | 49.9 | 17.090 | 96.480 | 53.0  |          | 3.8  |
| 457 | 1989 | 428  | 1641 | 59.8 | 18.315 | 97.610 | 41.0  |          | 2.3  | 532 | 1992 | 1 1  | 2346 | 33.2 | 18.170 | 99.070 | 82.0  |          | 3.7  |
| 458 | 1989 | 5 3  | 0736 | 1.9  | 18.107 | 97.710 | 37.0  |          | 2.3  | 533 | 1992 | 1 6  | 0745 | 10.5 | 18.170 | 96.480 | 70.0  |          | 4.1  |
| 459 | 1989 | 5 4  | 0011 | 29.8 | 17.234 | 99.572 | 32.0  |          | 3.2  | 534 | 1992 | 118  | 0317 | 56.7 | 19.170 | 98.310 | 5.0   |          | 3.5  |
| 460 | 1989 | 5 8  | 1114 | 39.0 | 17.869 | 97.778 | 47.0  |          | 2.5  | 535 | 1992 | 118  | 1958 | 14.6 | 19.200 | 98.310 | 5.0   |          | 3.4  |
| 461 | 1989 | 528  | 1712 | 58.5 | 17.278 | 99.722 | 37.0  |          | 3.2  | 536 | 1992 | 222  | 2033 | 3.2  | 18.230 | 97.260 | 75.0  |          | 3.7  |
| 462 | 1989 | 529  | 0408 | 9.6  | 17.644 | 98.927 | 37.0  |          | 3.5  | 537 | 1992 | 424  | 0240 | 15.8 | 17.930 | 98.790 | 60.0  |          | 3.8  |
| 463 | 1989 | 630  | 1919 | 10.6 | 17.814 | 97.282 | 41.0  |          | 2.7  | 538 | 1992 | 5 1  | 2253 | 7.9  | 17.110 | 99.490 | 74.0  |          | 3.5  |
| 464 | 1989 | 7 7  | 2212 | 12.8 | 17.730 | 97.531 | 37.0  |          | 2.7  | 539 | 1992 | 511  | 1830 | 54.5 | 17.010 | 98.250 | 54.0  |          | 4.1  |
| 465 | 1989 | 7 8  | 0627 | 45.1 | 19.338 | 97.700 | 32.0  |          | 3.0  | 540 | 1992 | 513  | 1650 | 57.0 | 18.630 | 97.030 | 4.0   |          | 3.5  |
| 466 | 1989 | 713  | 1354 | 5.9  | 18.080 | 98.384 | 37.0  |          | 3.2  | 541 | 1992 | 6 5  | 0857 | 50.4 | 17.400 | 96.490 | 58.0  |          | 3.9  |
| 467 | 1989 | 716  | 1159 | 18.3 | 19.143 | 99.571 | 37.0  |          | 3.2  | 542 | 1992 | 617  | 0614 | 11.8 | 20.460 | 99.180 | 10.0  |          | 4.1  |
| 468 | 1989 | 724  | 1030 | 1.6  | 17.903 | 97.961 | 58.0  |          | 3.4  | 543 | 1992 | 623  | 0532 | 31.6 | 20.600 | 99.060 | 5.0   |          | 4.1  |
| 469 | 1989 | 727  | 1237 | 14.4 | 17.794 | 99.164 | 37.0  |          | 3.4  | 544 | 1992 | 720  | 2259 | 35.0 | 19.290 | 97.500 | 5.0   |          | 3.8  |
| 470 | 1989 | 813  | 2309 | 24.4 | 18.108 | 97.050 | 58.0  |          | 2.9  | 545 | 1992 | 8 4  | 0127 | 42.7 | 17.640 | 97.850 | 70.0  |          | 3.8  |
| 471 | 1989 | 816  | 0329 | 30.3 | 16.917 | 98.149 | 37.0  |          | 3.2  | 546 | 1992 | 811  | 1327 | 53.7 | 17.700 | 96.710 | 34.0  |          | 4.1  |
| 472 | 1989 | 818  | 0029 | 5.6  | 19.353 | 97.244 | 37.0  |          | 2.7  | 547 | 1992 | 812  | 0711 | 56.5 | 17.000 | 96.340 | 57.0  |          | 4.1  |
| 473 | 1989 | 828  | 2025 | 52.8 | 16.412 | 98.005 | 37.0  |          | 3.4  | 548 | 1992 | 923  | 0445 | 8.5  | 17.270 | 96.150 | 109.0 |          | 4.3  |
| 474 | 1990 | 2 4  | 1145 | 51.7 | 18.040 | 99.200 | 20.0  |          | 3.8  | 549 | 1992 | 927  | 1100 | 50.7 | 17.010 | 99.490 | 19.0  |          | 4.2  |
| 475 | 1990 | 211  | 1922 | 34.9 | 20.770 | 97.040 | 120.0 |          | 4.3  | 550 | 1992 | 1115 | 2212 | 20.2 | 18.020 | 98.390 | 70.0  |          | 3.8  |
| 476 | 1990 | 212  | 1147 | 49.4 | 19.370 | 99.200 | 4.0   |          | 3.5  | 551 | 1992 | 1122 | 1307 | 56.2 | 18.280 | 98.180 | 90.0  |          | 3.6  |
| 477 | 1990 | 228  | 0711 | 59.5 | 17.620 | 98.570 | 15.0  |          | 3.8  | 552 | 1992 | 1130 | 1726 | 47.2 | 17.590 | 97.380 | 96.0  |          | 4.2  |
| 478 | 1990 | 3 9  | 2126 | 45.4 | 17.650 | 96.400 | 127.0 |          | 3.8  | 553 | 1992 | 12 2 | 1623 | 2.0  | 19.050 | 98.860 | 7.0   |          | 3.7  |
| 479 | 1990 | 318  | 0049 | 18.5 | 19.220 | 99.180 | 5.0   |          | 3.2  | 554 | 1992 | 12 4 | 2324 | 17.0 | 18.550 | 99.480 | 7.0   |          | 3.6  |
| 480 | 1990 | 318  | 0542 | 38.0 | 20.240 | 96.440 | 27.0  |          | 4.2  | 555 | 1993 | 1 6  | 0044 | 23.6 | 17.900 | 98.740 | 65.0  |          | 4.4  |
| 481 | 1990 | 422  | 1237 | 53.9 | 19.370 | 99.300 | 6.0   |          | 3.3  | 556 | 1993 | 2 3  | 2312 | 43.9 | 17.880 | 97.760 | 77.0  |          | 4.5  |
| 482 | 1990 | 422  | 1240 | 58.7 | 19.490 | 99.360 | 10.0  |          | 3.5  | 557 | 1993 | 222  | 2013 | 44.2 | 17.010 | 99.220 | 55.0  |          | 3.9  |
| 483 | 1990 | 426  | 1821 | 40.5 | 17.870 | 98.260 | 60.0  |          | 3.7  | 558 | 1993 | 227  | 1858 | 51.9 | 18.070 | 99.470 | 19.0  |          | 3.6  |
| 484 | 1990 | 529  | 1236 | 51.7 | 18.110 | 98.020 | 10.0  |          | 3.9  | 559 | 1993 | 3 8  | 1437 | 41.0 | 19.250 | 98.930 | 11.0  |          | 3.3  |
| 485 | 1990 | 6 7  | 2004 | 26.7 | 19.570 | 99.240 | 2.0   |          | 3.1  | 560 | 1993 | 320  | 0153 | 7.6  | 19.250 | 97.090 | 28.0  |          | 3.5  |
| 486 | 1990 | 614  | 1701 | 6.6  | 17.740 | 96.860 | 56.0  |          | 3.7  | 561 | 1993 | 320  | 0154 | 30.8 | 19.220 | 97.160 | 20.0  |          | 3.7  |
| 487 | 1990 | 7 6  | 1016 | 27.0 | 19.110 | 98.120 | 9.0   |          | 3.4  | 562 | 1993 | 320  | 0204 | 25.2 | 19.300 | 97.250 | 8.0   |          | 3.8  |
| 488 | 1990 | 7 6  | 1038 | 40.9 | 19.020 | 97.980 | 14.0  |          | 3.2  | 563 | 1993 | 324  | 0141 | 11.8 | 19.720 | 97.950 | 17.0  |          | 3.4  |
| 489 | 1990 | 730  | 0923 | 7.5  | 17.560 | 99.250 | 176.0 |          | 3.7  | 564 | 1993 | 331  | 0651 | 16.3 | 17.300 | 97.130 | 51.0  |          | 4.3  |
| 490 | 1990 | 8 5  | 1437 | 54.5 | 20.040 | 97.490 | 34.0  |          | 3.8  | 565 | 1993 | 414  | 0431 | 36.2 | 17.040 | 99.460 | 20.0  |          | 4.6  |
| 491 | 1990 | 9 2  | 0327 | 40.0 | 18.940 | 98.840 | 16.0  |          | 3.6  | 566 | 1993 | 430  | 0749 | 15.1 | 19.760 | 96.450 | 44.0  |          | 3.7  |
| 492 | 1990 | 9 3  | 0405 | 55.0 | 17.880 | 97.660 | 19.0  |          | 3.7  | 567 | 1993 | 430  | 1148 | 59.0 | 19.350 | 96.220 | 23.0  |          | 4.1  |
| 493 | 1990 | 919  | 1447 | 48.4 | 19.590 | 98.650 | 3.0   |          | 3.5  | 568 | 1993 | 430  | 1505 | 40.0 | 19.340 | 96.160 | 8.0   |          | 4.5  |
| 494 | 1990 | 10 1 | 0800 | 11.1 | 20.080 | 98.940 | 30.0  |          | 3.4  | 569 | 1993 | 5 1  | 2001 | 0.1  | 17.870 | 99.380 | 69.0  |          | 4.1  |
| 495 | 1990 | 10 6 | 2211 | 20.0 | 18.490 | 96.520 | 20.0  |          | 3.8  | 570 | 1993 | 5 9  | 0300 | 6.1  | 17.990 | 98.600 | 56.0  |          | 4.0  |
| 496 | 1990 | 1017 | 2032 | 26.6 | 17.680 | 99.000 | 40.0  |          | 4.4  | 571 | 1993 | 5 9  | 1808 | 18.2 | 19.650 | 96.630 | 5.0   |          | 3.6  |
| 497 | 1990 | 11 1 | 1708 | 56.5 | 17.370 | 97.350 | 76.0  |          | 4.3  | 572 | 1993 | 513  | 0046 | 48.2 | 17.050 | 99.180 | 87.0  |          | 4.2  |
| 498 | 1990 | 1115 | 0427 | 16.6 | 17.730 | 97.520 | 88.0  |          | 4.8  | 573 | 1993 | 515  | 1637 | 22.0 | 18.190 | 98.530 | 63.0  |          | 3.8  |
| 499 | 1990 | 1127 | 1009 | 32.5 | 17.050 | 96.760 | 59.0  |          | 4.1  | 574 | 1993 | 524  | 2243 | 34.7 | 17.240 | 96.600 | 76.0  |          | 4.2  |
| 500 | 1990 | 1129 | 0019 | 11.0 | 19.920 | 96.450 | 7.0   |          | 3.6  | 575 | 1993 | 525  | 1907 | 37.5 | 17.950 | 97.930 | 42.0  |          | 4.3  |
| 501 | 1990 | 1130 | 1652 | 28.3 | 17.190 | 99.490 | 44.0  |          | 4.0  | 576 | 1993 | 528  | 0650 | 32.5 | 19.390 | 98.720 | 49.0  |          | 3.4  |
| 502 | 1990 | 12 2 | 0327 | 28.1 | 19.740 | 96.450 | 17.0  |          | 3.9  | 577 | 1993 | 6 3  | 0252 | 50.7 | 17.620 | 96.960 | 84.0  |          | 4.3  |
| 503 | 1990 | 12 2 | 1120 | 42.7 | 17.330 | 96.740 | 64.0  |          | 3.5  | 578 | 1993 | 611  | 0503 | 17.3 | 18.090 | 98.280 | 77.0  |          | 3.6  |
| 504 | 1990 | 1230 | 0527 | 41.0 | 18.190 | 97.960 | 80.0  |          | 3.7  | 579 | 1993 | 611  | 1211 | 9.5  | 17.850 | 98.550 | 148.0 |          | 3.7  |
| 505 | 1991 | 123  | 0247 | 15.8 | 19.740 | 96.520 | 30.0  |          | 3.9  | 580 | 1993 | 615  | 1158 | 28.7 | 18.000 | 99.320 | 11.0  |          | 3.6  |
| 506 | 1991 | 220  | 1520 | 10.3 | 17.950 | 98.730 | 62.0  |          | 3.9  | 581 | 1993 | 617  | 2314 | 32.9 | 19.560 | 97.520 | 21.0  |          | 3.7  |
| 507 | 1991 | 310  | 1826 | 11.3 | 17.900 | 97.330 | 88.0  |          | 3.5  | 582 | 1993 | 623  | 1337 | 42.7 | 17.280 | 96.520 | 53.0  |          | 4.2  |
| 508 | 1991 | 415  | 2241 | 55.0 | 18.020 | 99.470 | 35.0  |          | 4.4  | 583 | 1993 | 628  | 2112 | 5.6  | 18.130 | 96.720 | 67.0  |          | 3.9  |
| 509 | 1991 | 423  | 1811 | 19.2 | 19.100 | 96.370 | 20.0  |          | 4.2  | 584 | 1993 | 7 1  | 0034 | 26.5 | 18.120 | 97.540 | 32.0  |          | 3.6  |
| 510 | 1991 | 429  | 0223 | 25.3 | 17.950 | 98.540 | 32.0  |          | 4.1  | 585 | 1993 | 713  | 1946 | 34.5 | 17.280 | 97.210 | 60.0  |          | 3.9  |
| 511 | 1991 | 5 6  | 0718 | 23.0 | 17.670 | 96.530 | 95.0  |          | 3.7  | 586 | 1993 | 716  | 2039 | 17.0 | 19.540 | 97.410 | 102.0 |          | 3.6  |
| 512 | 1991 | 5 8  | 0211 | 32.7 | 17.730 | 99.470 | 47.0  |          | 3.6  | 587 | 1993 | 726  | 0656 | 5.8  | 17.380 | 96.530 | 72.   |          |      |



Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      | No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |
| 595 | 1993 | 912  | 1537 | 33.4 | 20.140 | 96.540 | 16.0  |          | 4.0  | 670 | 1995 | 1225 | 2036 | 47.7 | 17.820 | 97.640 | 73.0  |          | 3.8  |
| 596 | 1993 | 912  | 1551 | 34.2 | 20.130 | 96.560 | 9.0   |          | 4.0  | 671 | 1996 | 11   | 0323 | 35.2 | 19.170 | 98.980 | 11.0  |          | 2.9  |
| 597 | 1993 | 915  | 0859 | 39.0 | 18.990 | 98.730 | 6.0   |          | 3.3  | 672 | 1996 | 13   | 0133 | 9.1  | 17.980 | 97.980 | 64.0  |          | 3.8  |
| 598 | 1993 | 1014 | 0208 | 46.2 | 17.450 | 96.650 | 45.0  |          | 3.9  | 673 | 1996 | 23   | 0034 | 3.5  | 19.150 | 98.340 | 19.0  |          | 3.3  |
| 599 | 1993 | 1016 | 1750 | 28.7 | 19.800 | 98.650 | 44.0  |          | 3.7  | 674 | 1996 | 24   | 1022 | 45.4 | 17.870 | 98.910 | 16.0  |          | 3.4  |
| 600 | 1993 | 1023 | 2204 | 36.2 | 19.590 | 98.600 | 41.0  |          | 3.6  | 675 | 1996 | 210  | 0014 | 30.7 | 19.210 | 98.330 | 15.0  |          | 3.7  |
| 601 | 1994 | 14   | 1906 | 30.8 | 18.910 | 97.860 | 76.0  |          | 3.9  | 676 | 1996 | 213  | 0033 | 38.0 | 19.080 | 98.260 | 17.0  |          | 3.3  |
| 602 | 1994 | 124  | 1611 | 49.4 | 19.220 | 98.670 | 54.0  |          | 3.8  | 677 | 1996 | 327  | 0805 | 15.1 | 19.770 | 99.010 | 8.0   |          | 3.4  |
| 603 | 1994 | 131  | 2346 | 48.2 | 19.580 | 98.810 | 30.0  |          | 3.6  | 678 | 1996 | 417  | 1119 | 10.3 | 19.210 | 98.940 | 10.0  |          | 3.5  |
| 604 | 1994 | 21   | 2321 | 38.0 | 19.470 | 99.080 | 13.0  |          | 3.8  | 679 | 1996 | 427  | 1756 | 48.2 | 19.210 | 98.810 | 13.0  |          | 3.7  |
| 605 | 1994 | 223  | 0058 | 12.3 | 19.660 | 98.460 | 28.0  |          | 3.6  | 680 | 1996 | 430  | 0139 | 54.9 | 19.050 | 98.600 | 7.0   |          | 3.6  |
| 606 | 1994 | 223  | 1413 | 51.0 | 17.820 | 97.300 | 53.0  |          | 5.0  | 681 | 1996 | 430  | 0145 | 20.8 | 19.060 | 98.760 | 13.0  |          | 3.2  |
| 607 | 1994 | 223  | 1445 | 24.8 | 17.780 | 97.370 | 71.0  |          | 4.0  | 682 | 1996 | 53   | 0919 | 7.9  | 18.160 | 98.530 | 31.0  |          | 3.6  |
| 608 | 1994 | 225  | 0833 | 22.1 | 19.820 | 98.600 | 81.0  |          | 4.0  | 683 | 1996 | 65   | 0940 | 42.5 | 20.700 | 99.500 | 19.0  |          | 4.2  |
| 609 | 1994 | 225  | 1501 | 42.4 | 19.750 | 98.510 | 100.0 |          | 4.0  | 684 | 1996 | 67   | 0810 | 54.0 | 19.190 | 98.940 | 12.0  |          | 3.5  |
| 610 | 1994 | 225  | 1510 | 56.7 | 19.940 | 98.550 | 15.0  |          | 3.8  | 685 | 1996 | 613  | 1635 | 45.2 | 18.950 | 98.700 | 5.0   |          | 3.8  |
| 611 | 1994 | 225  | 1957 | 43.2 | 19.880 | 98.670 | 16.0  |          | 4.0  | 686 | 1996 | 615  | 2053 | 48.5 | 17.800 | 98.400 | 37.0  |          | 4.3  |
| 612 | 1994 | 225  | 2111 | 46.7 | 19.560 | 98.700 | 90.0  |          | 3.9  | 687 | 1996 | 619  | 1915 | 12.5 | 17.920 | 97.880 | 15.0  |          | 3.8  |
| 613 | 1994 | 226  | 1000 | 27.7 | 19.780 | 98.900 | 54.0  |          | 4.0  | 688 | 1996 | 72   | 0315 | 24.6 | 19.070 | 98.680 | 15.0  |          | 3.7  |
| 614 | 1994 | 226  | 1638 | 33.5 | 19.700 | 98.700 | 74.0  |          | 4.3  | 689 | 1996 | 76   | 0359 | 38.2 | 17.820 | 99.010 | 23.0  |          | 4.1  |
| 615 | 1994 | 226  | 1918 | 54.7 | 19.680 | 98.790 | 70.0  |          | 4.1  | 690 | 1996 | 723  | 1355 | 29.1 | 19.330 | 98.780 | 5.0   |          | 3.5  |
| 616 | 1994 | 320  | 0506 | 32.5 | 18.200 | 99.230 | 35.0  |          | 3.4  | 691 | 1996 | 731  | 2309 | 59.9 | 18.160 | 97.840 | 72.0  |          | 3.8  |
| 617 | 1994 | 324  | 0652 | 15.3 | 19.480 | 96.440 | 7.0   |          | 4.0  | 692 | 1996 | 820  | 0239 | 46.0 | 17.140 | 98.240 | 5.0   |          | 3.9  |
| 618 | 1994 | 331  | 2007 | 21.7 | 19.490 | 96.420 | 4.0   |          | 2.9  | 693 | 1996 | 91   | 1347 | 21.5 | 19.070 | 98.580 | 6.0   |          | 3.8  |
| 619 | 1994 | 41   | 1616 | 15.6 | 19.500 | 96.410 | 5.0   |          | 3.8  | 694 | 1996 | 95   | 0544 | 15.6 | 18.030 | 98.940 | 34.0  |          | 4.1  |
| 620 | 1994 | 43   | 0249 | 42.2 | 19.490 | 96.390 | 5.0   |          | 3.8  | 695 | 1996 | 96   | 0655 | 0.6  | 19.210 | 98.360 | 5.0   |          | 4.0  |
| 621 | 1994 | 43   | 0344 | 21.6 | 19.520 | 96.410 | 5.0   |          | 3.0  | 696 | 1996 | 96   | 0829 | 21.7 | 17.130 | 96.860 | 80.0  |          | 4.1  |
| 622 | 1994 | 43   | 0510 | 50.0 | 19.490 | 96.410 | 5.0   |          | 3.1  | 697 | 1996 | 918  | 0031 | 51.5 | 19.070 | 98.610 | 4.0   |          | 3.4  |
| 623 | 1994 | 43   | 1502 | 31.5 | 19.500 | 96.420 | 5.0   |          | 3.1  | 698 | 1996 | 918  | 2017 | 24.7 | 17.740 | 97.450 | 70.0  |          | 3.8  |
| 624 | 1994 | 48   | 0109 | 5.6  | 19.460 | 96.430 | 7.0   |          | 2.7  | 699 | 1996 | 920  | 1406 | 46.2 | 19.060 | 98.630 | 1.0   |          | 3.6  |
| 625 | 1994 | 416  | 0443 | 2.2  | 20.010 | 96.560 | 12.0  |          | 3.9  | 700 | 1996 | 922  | 1821 | 25.6 | 20.810 | 99.400 | 20.0  |          | 4.2  |
| 626 | 1994 | 430  | 0810 | 29.7 | 19.430 | 98.840 | 13.0  |          | 4.2  | 701 | 1996 | 925  | 0829 | 48.5 | 19.440 | 99.100 | 6.0   |          | 3.2  |
| 627 | 1994 | 53   | 1943 | 53.7 | 19.490 | 99.220 | 8.0   |          | 3.1  | 702 | 1996 | 103  | 1947 | 12.1 | 20.740 | 99.470 | 57.0  |          | 3.8  |
| 628 | 1994 | 56   | 2109 | 37.4 | 18.170 | 98.160 | 96.0  |          | 0.0  | 703 | 1996 | 109  | 0006 | 31.7 | 18.260 | 98.390 | 59.0  |          | 3.6  |
| 629 | 1994 | 517  | 1121 | 26.8 | 19.400 | 98.380 | 5.0   |          | 3.4  | 704 | 1996 | 1017 | 0637 | 49.4 | 19.020 | 98.630 | 2.0   |          | 3.6  |
| 630 | 1994 | 522  | 1611 | 34.0 | 18.030 | 98.240 | 66.0  |          | 4.2  | 705 | 1996 | 1023 | 0819 | 6.6  | 19.030 | 98.630 | 2.0   |          | 3.3  |
| 631 | 1994 | 528  | 1852 | 9.6  | 19.420 | 98.870 | 1.0   |          | 2.6  | 706 | 1996 | 112  | 0549 | 38.4 | 18.010 | 98.710 | 66.0  |          | 3.7  |
| 632 | 1994 | 620  | 0151 | 20.2 | 17.170 | 97.390 | 70.0  |          | 4.7  | 707 | 1996 | 128  | 1758 | 26.8 | 20.280 | 99.160 | 13.0  |          | 3.3  |
| 633 | 1994 | 75   | 1127 | 23.2 | 19.040 | 98.630 | 13.0  |          | 3.6  | 708 | 1997 | 113  | 1540 | 4.6  | 19.710 | 98.640 | 5.0   |          | 3.0  |
| 634 | 1994 | 78   | 0741 | 41.5 | 20.130 | 98.190 | 34.0  |          | 3.9  | 709 | 1997 | 117  | 2338 | 5.9  | 17.660 | 98.810 | 80.0  |          | 3.5  |
| 635 | 1994 | 825  | 2021 | 41.0 | 19.210 | 96.040 | 18.0  |          | 4.0  | 710 | 1997 | 119  | 1422 | 53.7 | 19.030 | 98.600 | 5.0   |          | 3.2  |
| 636 | 1994 | 828  | 1502 | 17.8 | 17.020 | 96.100 | 22.0  |          | 5.2  | 711 | 1997 | 128  | 0821 | 16.2 | 17.710 | 97.430 | 65.0  |          | 4.2  |
| 637 | 1994 | 917  | 1915 | 59.2 | 18.010 | 99.290 | 86.0  |          | 3.7  | 712 | 1997 | 131  | 1143 | 24.5 | 19.230 | 98.940 | 2.0   |          | 2.8  |
| 638 | 1994 | 923  | 0627 | 49.0 | 18.070 | 98.170 | 69.0  |          | 3.6  | 713 | 1997 | 24   | 0605 | 11.8 | 17.230 | 96.430 | 103.0 |          | 4.0  |
| 639 | 1994 | 925  | 2310 | 37.0 | 17.080 | 96.970 | 64.0  |          | 4.4  | 714 | 1997 | 24   | 0657 | 4.8  | 18.100 | 98.270 | 44.0  |          | 4.1  |
| 640 | 1994 | 104  | 2001 | 53.0 | 18.170 | 97.470 | 72.0  |          | 3.7  | 715 | 1997 | 34   | 1534 | 22.3 | 19.030 | 98.620 | 1.0   |          | 3.6  |
| 641 | 1994 | 1011 | 2106 | 40.5 | 19.500 | 98.710 | 5.0   |          | 3.8  | 716 | 1997 | 38   | 0626 | 41.5 | 19.710 | 99.120 | 3.0   |          | 2.7  |
| 642 | 1994 | 1013 | 0318 | 12.1 | 18.200 | 97.110 | 59.0  |          | 4.0  | 717 | 1997 | 313  | 1730 | 56.5 | 19.080 | 98.500 | 13.0  |          | 3.8  |
| 643 | 1994 | 112  | 1531 | 21.7 | 19.410 | 98.900 | 7.0   |          | 3.7  | 718 | 1997 | 315  | 0538 | 56.9 | 19.110 | 98.550 | 5.0   |          | 3.6  |
| 644 | 1994 | 1124 | 2142 | 52.7 | 20.320 | 97.480 | 19.0  |          | 4.0  | 719 | 1997 | 330  | 0214 | 9.8  | 17.070 | 99.290 | 63.0  |          | 3.6  |
| 645 | 1994 | 1125 | 1852 | 59.5 | 19.780 | 97.320 | 4.0   |          | 4.6  | 720 | 1997 | 330  | 1214 | 50.7 | 19.170 | 98.460 | 9.0   |          | 3.4  |
| 646 | 1995 | 118  | 1532 | 13.8 | 17.180 | 99.310 | 50.0  |          | 4.1  | 721 | 1997 | 43   | 2122 | 31.7 | 17.980 | 98.330 | 30.0  |          | 4.8  |
| 647 | 1995 | 121  | 0551 | 52.5 | 19.290 | 98.920 | 15.0  |          | 3.8  | 722 | 1997 | 46   | 1909 | 22.5 | 19.140 | 98.430 | 8.0   |          | 3.3  |
| 648 | 1995 | 216  | 2030 | 21.8 | 17.150 | 97.030 | 178.0 |          | 4.0  | 723 | 1997 | 412  | 1908 | 25.0 | 19.110 | 98.480 | 12.0  |          | 3.4  |
| 649 | 1995 | 39   | 1223 | 39.5 | 18.230 | 98.210 | 92.0  |          | 4.1  | 724 | 1997 | 416  | 0853 | 38.2 | 19.120 | 98.640 | 3.0   |          | 2.9  |
| 650 | 1995 | 413  | 0421 | 54.0 | 18.720 | 99.340 | 106.0 |          | 3.7  | 725 | 1997 | 418  | 0702 | 28.1 | 20.270 | 99.140 | 2.0   |          | 3.4  |
| 651 | 1995 | 414  | 1034 | 26.7 | 19.720 | 96.370 | 60.0  |          | 3.4  | 726 | 1997 | 420  | 2011 | 11.3 | 18.990 | 99.190 | 5.0   |          | 3.6  |
| 652 | 1995 | 430  | 0056 | 53.2 | 17.660 | 96.620 | 36.0  |          | 3.8  | 727 | 1997 | 423  | 0617 | 22.1 | 18.950 | 98.550 | 5.0   |          | 3.5  |
| 653 | 1995 | 62   | 1900 | 44.4 | 19.660 | 98.930 | 40.0  |          | 3.4  | 728 | 1997 | 423  | 1147 | 23.1 | 19.020 | 98.140 | 11.0  |          | 3.6  |
| 654 | 1995 | 625  | 0733 | 50.5 | 18.130 | 98.780 | 62.0  |          | 3.4  | 729 | 1997 | 425  | 1831 | 39.2 | 17.380 | 97.430 | 51.0  |          | 3.9  |
| 655 | 1995 | 628  | 1204 | 41.0 | 17.290 | 96.210 | 97.0  |          | 4.7  | 730 | 1997 | 429  | 0611 | 57.5 | 18.820 | 98.630 | 8.0   |          | 4.1  |
| 656 | 1995 | 84   | 1203 | 0.1  | 17.490 | 96.860 | 102.0 |          | 4.3  | 731 | 1997 | 53   | 1000 | 35.7 | 19.170 | 98.590 | 1.0   |          | 3.0  |
| 657 | 1995 | 811  | 0626 | 49.4 | 18.580 | 99.410 | 24.0  |          | 3.5  | 732 | 1997 | 56   | 0759 | 37.2 | 19.310 | 98.190 | 2.0   |          | 3.7  |
| 658 | 1995 | 924  | 1444 | 33.2 | 17.960 | 97.010 | 44.0  |          | 4.2  | 733 | 1997 | 58   | 2251 | 1.6  | 19.210 | 98.940 | 5.0   |          | 2.8  |
| 659 | 1995 | 1015 | 0140 | 39.0 | 17.130 | 98.850 | 94.0  |          | 3.7  | 734 | 1997 | 514  | 0331 | 47.9 | 19.050 | 98.550 | 20.0  |          | 3.8  |
| 660 | 1995 | 1024 | 0331 | 28.2 | 19.350 | 96.830 | 27.0  |          | 3.6  | 735 | 1997 | 514  | 1450 | 16.7 | 19.060 | 98.470 | 11.0  |          | 3.8  |
| 661 | 1995 | 1025 | 0443 | 17.7 | 17.040 | 99.180 | 90.0  |          | 3.8  | 736 | 1997 | 69   | 1231 | 38.7 | 19.480 | 96.230 | 5.0   |          | 4.0  |
| 662 | 1995 | 112  | 0225 | 40.7 | 19.420 | 98.460 | 15.0  |          | 3.4  | 737 | 1997 | 617  | 1128 | 33.2 | 17.940 | 97.770 | 28.0  |          | 4.0  |
| 663 | 1995 | 1111 | 1824 | 7.3  | 19.    |        |       |          |      |     |      |      |      |      |        |        |       |          |      |

Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H    | Magnitud |      | No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|------|----------|------|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km) | Richter  | Coda |     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |
| 745 | 1997 | 715  | 2007 | 28.8 | 19.330 | 98.850 | 10.0 |          | 3.6  | 820 | 1998 | 7 8  | 1752 | 51.2 | 17.520 | 98.760 | 69.0  |          | 4.0  |
| 746 | 1997 | 726  | 1922 | 23.0 | 19.510 | 98.980 | 53.0 |          | 3.4  | 821 | 1998 | 7 8  | 2113 | 43.0 | 19.330 | 98.730 | 2.0   |          | 3.4  |
| 747 | 1997 | 728  | 2145 | 43.0 | 17.890 | 97.460 | 96.0 |          | 4.0  | 822 | 1998 | 8 3  | 1300 | 35.5 | 17.690 | 98.670 | 61.0  |          | 3.9  |
| 748 | 1997 | 729  | 0624 | 11.6 | 19.140 | 98.670 | 4.0  |          | 3.7  | 823 | 1998 | 810  | 2153 | 40.0 | 19.310 | 98.760 | 35.0  |          | 3.2  |
| 749 | 1997 | 8 3  | 1006 | 3.2  | 19.330 | 98.690 | 5.0  |          | 2.9  | 824 | 1998 | 810  | 2311 | 20.8 | 18.420 | 99.250 | 64.0  |          | 3.2  |
| 750 | 1997 | 8 5  | 1550 | 23.6 | 19.460 | 98.940 | 11.0 |          | 3.2  | 825 | 1998 | 813  | 1947 | 43.0 | 18.960 | 98.560 | 2.0   |          | 3.9  |
| 751 | 1997 | 814  | 1911 | 59.5 | 19.370 | 98.630 | 13.0 |          | 3.3  | 826 | 1998 | 818  | 1627 | 33.0 | 19.180 | 98.950 | 10.0  |          | 2.9  |
| 752 | 1997 | 818  | 1739 | 40.5 | 19.420 | 98.830 | 7.0  |          | 3.5  | 827 | 1998 | 818  | 1852 | 49.2 | 19.190 | 98.990 | 3.0   |          | 2.9  |
| 753 | 1997 | 826  | 0912 | 1.7  | 19.160 | 98.900 | 14.0 |          | 2.9  | 828 | 1998 | 821  | 2356 | 14.8 | 19.990 | 99.390 | 42.0  |          | 3.0  |
| 754 | 1997 | 9 6  | 0847 | 31.7 | 18.060 | 98.620 | 5.0  |          | 3.6  | 829 | 1998 | 822  | 1111 | 59.2 | 17.050 | 99.400 | 64.0  |          | 3.9  |
| 755 | 1997 | 9 9  | 0030 | 3.4  | 20.430 | 99.190 | 15.0 |          | 3.9  | 830 | 1998 | 824  | 1451 | 3.0  | 19.250 | 98.630 | 7.0   |          | 3.4  |
| 756 | 1997 | 910  | 0006 | 25.8 | 19.410 | 98.950 | 4.0  |          | 3.5  | 831 | 1998 | 825  | 2248 | 1.3  | 17.310 | 96.420 | 91.0  |          | 3.9  |
| 757 | 1997 | 914  | 0038 | 30.7 | 17.780 | 97.790 | 16.0 |          | 3.7  | 832 | 1998 | 831  | 2013 | 50.2 | 19.150 | 98.580 | 15.0  |          | 3.0  |
| 758 | 1997 | 920  | 0244 | 58.2 | 19.400 | 98.900 | 35.0 |          | 3.8  | 833 | 1998 | 9 6  | 0042 | 15.1 | 17.690 | 99.320 | 16.0  |          | 3.3  |
| 759 | 1997 | 920  | 1343 | 41.7 | 19.270 | 99.170 | 7.0  |          | 3.4  | 834 | 1998 | 9 6  | 1258 | 9.6  | 17.940 | 97.580 | 126.0 |          | 3.5  |
| 760 | 1997 | 10 5 | 2357 | 55.5 | 19.320 | 98.500 | 6.0  |          | 3.4  | 835 | 1998 | 9 6  | 2233 | 35.7 | 17.970 | 98.790 | 17.0  |          | 3.5  |
| 761 | 1997 | 10 6 | 1402 | 44.9 | 19.220 | 97.390 | 16.0 |          | 3.5  | 836 | 1998 | 9 8  | 2219 | 57.5 | 19.460 | 99.050 | 5.0   |          | 3.2  |
| 762 | 1997 | 10 6 | 1620 | 3.9  | 20.220 | 98.950 | 2.0  |          | 3.1  | 837 | 1998 | 910  | 2004 | 20.3 | 18.020 | 97.640 | 16.0  |          | 3.6  |
| 763 | 1997 | 1010 | 1221 | 55.2 | 19.280 | 98.660 | 13.0 |          | 3.3  | 838 | 1998 | 911  | 0407 | 48.5 | 19.370 | 98.770 | 0.0   |          | 3.5  |
| 764 | 1997 | 1012 | 2031 | 44.7 | 19.410 | 98.930 | 11.0 |          | 3.4  | 839 | 1998 | 918  | 1527 | 54.0 | 18.110 | 97.990 | 44.0  |          | 3.8  |
| 765 | 1997 | 1013 | 1452 | 38.5 | 19.310 | 98.600 | 9.0  |          | 3.4  | 840 | 1998 | 921  | 1648 | 1.3  | 19.010 | 98.560 | 7.0   |          | 4.0  |
| 766 | 1997 | 1017 | 0619 | 56.2 | 18.060 | 98.720 | 50.0 |          | 3.9  | 841 | 1998 | 921  | 2043 | 40.0 | 19.040 | 98.510 | 7.0   |          | 3.9  |
| 767 | 1997 | 1017 | 1658 | 16.5 | 19.300 | 98.530 | 25.0 |          | 3.5  | 842 | 1998 | 922  | 1725 | 4.0  | 19.100 | 98.540 | 1.0   |          | 4.0  |
| 768 | 1997 | 1018 | 0314 | 36.5 | 18.840 | 96.640 | 34.0 |          | 3.7  | 843 | 1998 | 923  | 2329 | 30.1 | 19.090 | 98.530 | 3.0   |          | 3.9  |
| 769 | 1997 | 1022 | 0043 | 37.9 | 19.160 | 98.880 | 16.0 |          | 3.2  | 844 | 1998 | 925  | 0711 | 42.0 | 17.810 | 99.020 | 42.0  |          | 3.6  |
| 770 | 1997 | 1030 | 0537 | 9.6  | 20.620 | 96.200 | 19.0 |          | 3.9  | 845 | 1998 | 926  | 0101 | 40.7 | 19.400 | 99.060 | 13.0  |          | 2.3  |
| 771 | 1997 | 11 1 | 1654 | 24.1 | 18.420 | 99.500 | 4.0  |          | 3.5  | 846 | 1998 | 10 6 | 0412 | 32.9 | 19.280 | 98.400 | 12.0  |          | 3.8  |
| 772 | 1997 | 1117 | 1242 | 6.5  | 19.240 | 97.320 | 4.0  |          | 3.5  | 847 | 1998 | 10 6 | 0947 | 43.7 | 17.080 | 99.280 | 49.0  |          | 4.0  |
| 773 | 1997 | 1122 | 1541 | 35.5 | 17.040 | 99.260 | 20.0 |          | 3.8  | 848 | 1998 | 10 6 | 1825 | 46.2 | 17.190 | 96.960 | 76.0  |          | 3.8  |
| 774 | 1997 | 1129 | 1808 | 26.5 | 17.220 | 96.940 | 71.0 |          | 3.7  | 849 | 1998 | 10 9 | 0252 | 36.5 | 17.950 | 98.430 | 65.0  |          | 3.9  |
| 775 | 1997 | 12 4 | 1849 | 57.4 | 19.410 | 98.680 | 24.0 |          | 3.4  | 850 | 1998 | 1017 | 0143 | 12.8 | 20.550 | 99.050 | 3.0   |          | 3.1  |
| 776 | 1997 | 1211 | 0310 | 17.3 | 17.890 | 98.940 | 36.0 |          | 3.9  | 851 | 1998 | 1026 | 0235 | 10.5 | 19.060 | 99.170 | 6.0   |          | 3.0  |
| 777 | 1997 | 1214 | 0025 | 47.2 | 20.250 | 99.130 | 2.0  |          | 3.1  | 852 | 1998 | 1026 | 0750 | 6.1  | 19.060 | 99.200 | 4.0   |          | 3.3  |
| 778 | 1997 | 1225 | 0129 | 10.6 | 18.970 | 98.590 | 11.0 |          | 4.1  | 853 | 1998 | 1030 | 2232 | 38.2 | 19.210 | 98.810 | 1.0   |          | 3.3  |
| 779 | 1997 | 1228 | 2122 | 4.9  | 18.950 | 98.420 | 7.0  |          | 3.5  | 854 | 1998 | 11 1 | 1228 | 6.5  | 17.920 | 99.500 | 26.0  |          | 3.3  |
| 780 | 1998 | 1 2  | 0027 | 26.7 | 18.970 | 98.440 | 5.0  |          | 4.1  | 855 | 1998 | 1125 | 1403 | 29.2 | 19.130 | 98.560 | 1.0   |          | 3.9  |
| 781 | 1998 | 1 6  | 2333 | 32.0 | 19.370 | 98.620 | 25.0 |          | 3.3  | 856 | 1998 | 1125 | 1805 | 42.2 | 19.120 | 98.580 | 0.0   |          | 3.9  |
| 782 | 1998 | 1 23 | 2238 | 57.5 | 18.590 | 96.900 | 11.0 |          | 3.6  | 857 | 1998 | 1125 | 2258 | 39.5 | 19.100 | 98.710 | 0.0   |          | 3.9  |
| 783 | 1998 | 1 29 | 0542 | 46.5 | 17.470 | 98.760 | 17.0 |          | 3.6  | 858 | 1998 | 1126 | 1613 | 21.7 | 19.120 | 98.620 | 0.0   |          | 3.9  |
| 784 | 1998 | 2 2  | 1000 | 53.5 | 17.240 | 99.250 | 83.0 |          | 3.8  | 859 | 1998 | 1127 | 0313 | 41.7 | 18.970 | 98.610 | 0.0   |          | 3.8  |
| 785 | 1998 | 2 3  | 0847 | 40.5 | 17.130 | 98.440 | 16.0 |          | 3.6  | 860 | 1998 | 1127 | 0420 | 23.0 | 19.060 | 98.570 | 6.0   |          | 3.8  |
| 786 | 1998 | 2 6  | 2118 | 49.2 | 18.310 | 98.510 | 72.0 |          | 3.6  | 861 | 1998 | 1127 | 1749 | 55.2 | 18.750 | 96.780 | 12.0  |          | 3.9  |
| 787 | 1998 | 2 6  | 2347 | 52.0 | 19.410 | 98.930 | 43.0 |          | 3.5  | 862 | 1998 | 1127 | 1934 | 2.2  | 19.110 | 98.580 | 4.0   |          | 4.0  |
| 788 | 1998 | 2 9  | 0114 | 32.5 | 19.360 | 99.190 | 11.0 |          | 2.6  | 863 | 1998 | 1128 | 0545 | 4.5  | 19.120 | 98.600 | 1.0   |          | 3.7  |
| 789 | 1998 | 2 11 | 1156 | 41.4 | 18.920 | 98.600 | 13.0 |          | 3.9  | 864 | 1998 | 1128 | 0841 | 57.7 | 19.040 | 98.720 | 9.0   |          | 3.9  |
| 790 | 1998 | 3 13 | 1350 | 53.5 | 17.430 | 97.400 | 67.0 |          | 4.2  | 865 | 1998 | 1129 | 0428 | 7.9  | 19.110 | 98.510 | 5.0   |          | 3.4  |
| 791 | 1998 | 3 18 | 1156 | 4.5  | 20.100 | 99.230 | 5.0  |          | 4.3  | 866 | 1998 | 1129 | 0905 | 50.4 | 19.270 | 98.640 | 2.0   |          | 3.9  |
| 792 | 1998 | 3 18 | 2014 | 35.0 | 20.110 | 99.270 | 5.0  |          | 3.3  | 867 | 1998 | 1129 | 2244 | 28.3 | 19.180 | 98.650 | 1.0   |          | 3.8  |
| 793 | 1998 | 3 19 | 0014 | 35.7 | 20.260 | 99.180 | 1.0  |          | 3.1  | 868 | 1998 | 1130 | 1529 | 52.0 | 19.070 | 98.660 | 0.0   |          | 3.7  |
| 794 | 1998 | 3 19 | 0211 | 14.5 | 20.290 | 99.180 | 5.0  |          | 2.8  | 869 | 1998 | 12 4 | 0052 | 51.9 | 19.080 | 98.510 | 2.0   |          | 3.9  |
| 795 | 1998 | 3 21 | 2159 | 32.5 | 19.100 | 98.540 | 4.0  |          | 4.1  | 870 | 1998 | 12 4 | 1855 | 23.1 | 19.210 | 98.610 | 1.0   |          | 3.8  |
| 796 | 1998 | 3 23 | 0638 | 10.3 | 20.080 | 99.190 | 3.0  |          | 3.4  | 871 | 1998 | 12 7 | 1223 | 5.6  | 19.080 | 98.600 | 16.0  |          | 4.0  |
| 797 | 1998 | 3 23 | 2342 | 23.0 | 20.130 | 99.210 | 3.0  |          | 3.3  | 872 | 1998 | 1210 | 1811 | 0.3  | 19.840 | 98.770 | 9.0   |          | 2.9  |
| 798 | 1998 | 3 24 | 0018 | 58.5 | 19.420 | 98.870 | 9.0  |          | 3.7  | 873 | 1998 | 1214 | 0652 | 4.1  | 19.100 | 98.740 | 2.0   |          | 2.9  |
| 799 | 1998 | 3 25 | 1232 | 58.5 | 20.110 | 99.280 | 10.0 |          | 3.2  | 874 | 1998 | 1215 | 2350 | 10.6 | 19.070 | 98.610 | 4.0   |          | 3.8  |
| 800 | 1998 | 3 27 | 0210 | 12.6 | 17.930 | 97.880 | 17.0 |          | 3.7  | 875 | 1998 | 1218 | 0047 | 8.6  | 19.160 | 98.640 | 1.0   |          | 3.7  |
| 801 | 1998 | 3 29 | 0836 | 35.2 | 20.130 | 99.300 | 9.0  |          | 3.3  | 876 | 1998 | 1231 | 0644 | 5.9  | 18.980 | 98.650 | 2.0   |          | 3.8  |
| 802 | 1998 | 3 31 | 0109 | 53.9 | 19.390 | 98.920 | 55.0 |          | 3.4  | 877 | 1999 | 1 4  | 2321 | 59.5 | 20.110 | 98.980 | 3.0   |          | 3.5  |
| 803 | 1998 | 4 2  | 1254 | 31.1 | 20.120 | 99.320 | 5.0  |          | 3.3  | 878 | 1999 | 1 9  | 0931 | 0.6  | 17.280 | 96.100 | 25.0  |          | 3.7  |
| 804 | 1998 | 4 2  | 1634 | 11.0 | 20.210 | 99.490 | 20.0 |          | 3.1  | 879 | 1999 | 114  | 2331 | 2.7  | 18.180 | 97.420 | 62.0  |          | 3.7  |
| 805 | 1998 | 4 19 | 0427 | 48.9 | 20.150 | 99.000 | 5.0  |          | 2.9  | 880 | 1999 | 115  | 0553 | 47.9 | 19.120 | 98.560 | 0.0   |          | 3.4  |
| 806 | 1998 | 4 20 | 1506 | 42.9 | 20.040 | 99.190 | 5.0  |          | 3.3  | 881 | 1999 | 117  | 2053 | 45.2 | 17.330 | 98.680 | 41.0  |          | 3.7  |
| 807 | 1998 | 4 20 | 2331 | 36.2 | 18.760 | 99.130 | 4.0  |          | 3.4  | 882 | 1999 | 127  | 0755 | 23.2 | 18.750 | 98.550 | 0.0   |          | 3.4  |
| 808 | 1998 | 4 21 | 1607 | 2.2  | 19.050 | 98.600 | 2.0  |          | 4.0  | 883 | 1999 | 128  | 2153 | 43.7 | 18.500 | 97.090 | 84.0  |          | 3.6  |
| 809 | 1998 | 4 26 | 0804 | 24.7 | 17.290 | 97.530 | 86.0 |          | 3.9  | 884 | 1999 | 128  | 2356 | 13.8 | 19.440 | 99.210 | 9.0   |          | 2.7  |
| 810 | 1998 | 4 27 | 1531 | 29.7 | 19.040 | 98.510 | 2.0  |          | 4.0  | 885 | 1999 | 131  | 1440 | 5.6  | 17.880 | 97.670 | 43.0  |          | 3.8  |
| 811 | 1998 | 4 28 | 1351 | 59.7 | 17.520 | 99.170 | 70.0 |          | 3.5  | 886 | 1999 | 131  | 0139 | 53.5 | 19.250 | 98.540 | 2.0   |          | 3.9  |
| 812 | 1998 | 5 2  | 0336 | 19.5 | 17.280 | 96.810 | 91.0 |          | 4.4  | 887 | 1999 | 315  | 1921 | 37.2 | 17.730 | 97.730 | 16.0  |          |      |

Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

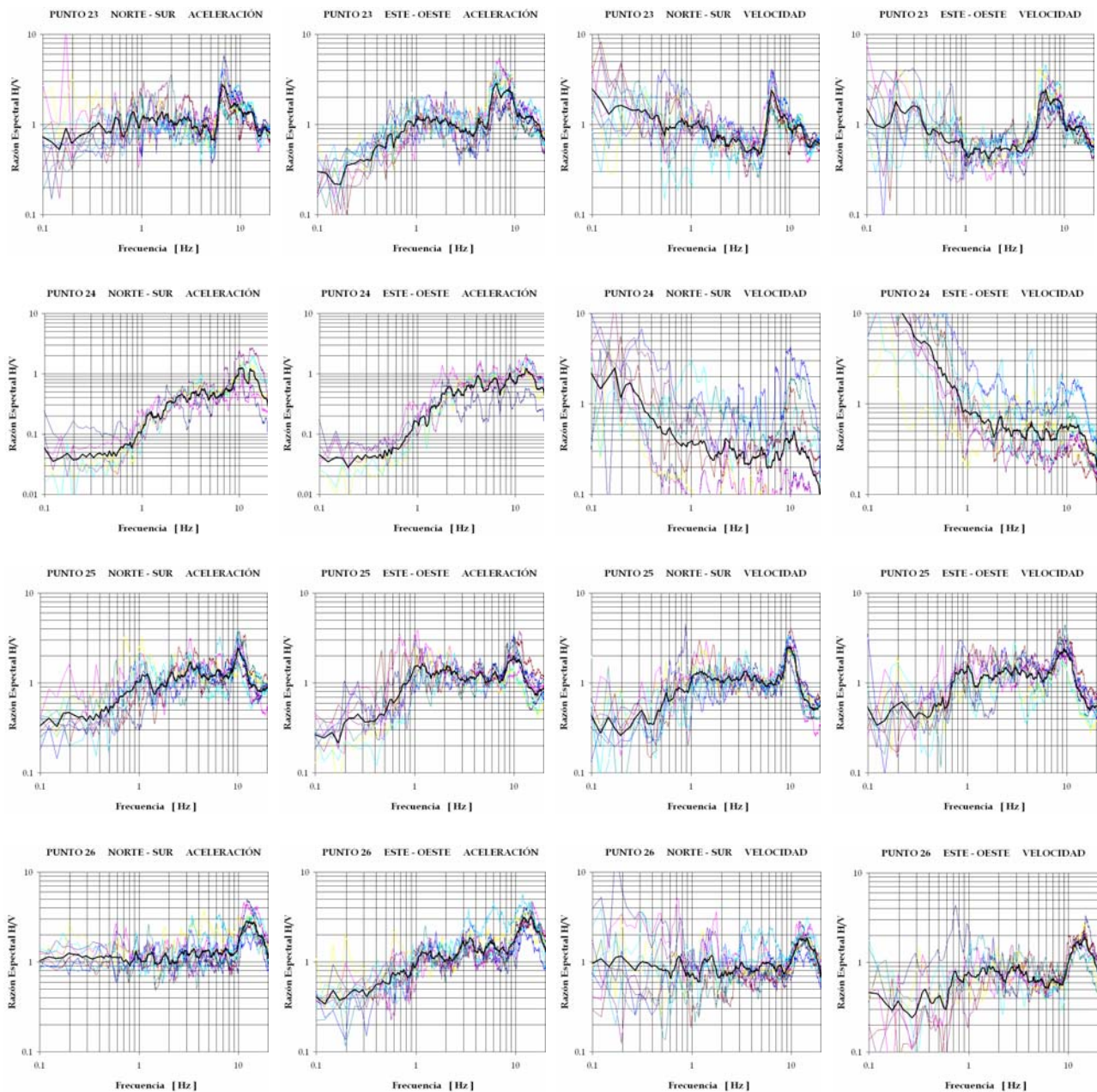
| No. | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      | No.  | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      |
|-----|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|
|     |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |      |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |
| 895 | 1999 | 4 5  | 0125 | 42.2 | 19.160 | 96.330 | 18.0  |          | 3.8  | 970  | 1999 | 1027 | 0345 | 26.3 | 17.020 | 98.770 | 28.0  |          | 3.9  |
| 896 | 1999 | 4 6  | 1220 | 4.6  | 19.380 | 99.090 | 13.0  |          | 2.8  | 971  | 1999 | 1027 | 1424 | 26.5 | 17.610 | 98.470 | 20.0  |          | 4.1  |
| 897 | 1999 | 412  | 1541 | 32.5 | 18.070 | 99.420 | 49.0  |          | 3.9  | 972  | 1999 | 1029 | 1346 | 32.5 | 18.280 | 99.240 | 52.0  |          | 3.7  |
| 898 | 1999 | 412  | 2006 | 41.7 | 19.520 | 99.200 | 8.0   |          | 3.0  | 973  | 1999 | 1029 | 2218 | 16.2 | 17.080 | 96.090 | 5.0   |          | 4.0  |
| 899 | 1999 | 418  | 0453 | 58.7 | 17.920 | 96.420 | 128.0 |          | 3.7  | 974  | 1999 | 11 3 | 0416 | 19.1 | 19.340 | 98.570 | 7.0   |          | 3.3  |
| 900 | 1999 | 420  | 2006 | 44.0 | 19.550 | 99.240 | 2.0   |          | 2.5  | 975  | 1999 | 11 6 | 1503 | 39.9 | 17.580 | 96.710 | 84.0  |          | 4.5  |
| 901 | 1999 | 425  | 0906 | 36.4 | 17.090 | 99.200 | 8.0   |          | 3.8  | 976  | 1999 | 11 9 | 0533 | 26.5 | 17.700 | 97.200 | 75.0  |          | 3.7  |
| 902 | 1999 | 429  | 0539 | 50.4 | 17.200 | 97.270 | 80.0  |          | 3.6  | 977  | 1999 | 1113 | 1743 | 20.6 | 19.400 | 98.910 | 16.0  |          | 3.4  |
| 903 | 1999 | 512  | 1317 | 41.0 | 18.100 | 99.410 | 51.0  |          | 3.5  | 978  | 1999 | 1113 | 2354 | 52.2 | 19.390 | 98.900 | 2.0   |          | 2.7  |
| 904 | 1999 | 517  | 0144 | 48.5 | 17.720 | 99.080 | 77.0  |          | 3.7  | 979  | 1999 | 1114 | 0102 | 35.7 | 19.430 | 98.870 | 0.0   |          | 3.1  |
| 905 | 1999 | 519  | 2023 | 6.0  | 19.190 | 98.960 | 5.0   |          | 3.1  | 980  | 1999 | 1114 | 2234 | 55.2 | 19.420 | 98.900 | 13.0  |          | 2.9  |
| 906 | 1999 | 522  | 0657 | 26.3 | 19.180 | 98.970 | 4.0   |          | 3.1  | 981  | 1999 | 1117 | 0843 | 7.1  | 18.230 | 97.650 | 77.0  |          | 3.8  |
| 907 | 1999 | 523  | 1833 | 19.5 | 19.410 | 98.630 | 7.0   |          | 2.6  | 982  | 1999 | 1125 | 0241 | 14.1 | 17.880 | 98.540 | 74.0  |          | 3.5  |
| 908 | 1999 | 528  | 1705 | 21.3 | 19.280 | 98.980 | 3.0   |          | 2.6  | 983  | 1999 | 12 7 | 1353 | 49.7 | 19.220 | 98.920 | 3.0   |          | 3.4  |
| 909 | 1999 | 530  | 1053 | 47.0 | 19.840 | 98.850 | 3.0   |          | 2.4  | 984  | 1999 | 12 9 | 0453 | 39.2 | 19.180 | 98.900 | 6.0   |          | 3.1  |
| 910 | 1999 | 6 7  | 0024 | 14.3 | 19.170 | 98.960 | 5.0   |          | 3.3  | 985  | 1999 | 12 9 | 1938 | 8.6  | 17.710 | 98.300 | 16.0  |          | 3.8  |
| 911 | 1999 | 6 7  | 0731 | 30.2 | 18.160 | 97.470 | 35.0  |          | 3.8  | 986  | 1999 | 1210 | 0122 | 2.7  | 19.250 | 98.930 | 2.0   |          | 3.1  |
| 912 | 1999 | 6 9  | 0122 | 5.5  | 18.590 | 98.740 | 3.0   |          | 3.3  | 987  | 1999 | 1210 | 1221 | 34.2 | 17.140 | 96.290 | 106.0 |          | 3.9  |
| 913 | 1999 | 612  | 1133 | 19.7 | 19.230 | 98.560 | 8.0   |          | 3.4  | 988  | 1999 | 1212 | 0545 | 56.0 | 17.000 | 96.710 | 65.0  |          | 3.7  |
| 914 | 1999 | 612  | 1410 | 5.8  | 19.230 | 98.520 | 2.0   |          | 3.2  | 989  | 1999 | 1214 | 0712 | 16.5 | 17.960 | 98.540 | 36.0  |          | 4.5  |
| 915 | 1999 | 615  | 1541 | 6.0  | 18.150 | 97.520 | 60.0  |          | 7.0  | 990  | 1999 | 1215 | 0056 | 22.0 | 18.640 | 99.060 | 9.0   |          | 3.3  |
| 916 | 1999 | 615  | 2042 | 7.1  | 18.180 | 97.510 | 69.0  |          | 0.0  | 991  | 1999 | 1216 | 0425 | 7.0  | 19.280 | 99.200 | 20.0  |          | 2.6  |
| 917 | 1999 | 615  | 2152 | 7.1  | 18.150 | 97.630 | 34.0  |          | 4.5  | 992  | 1999 | 1216 | 0426 | 32.5 | 19.270 | 99.140 | 36.0  |          | 3.0  |
| 918 | 1999 | 616  | 0156 | 44.5 | 18.210 | 97.610 | 68.0  |          | 3.8  | 993  | 1999 | 1216 | 0431 | 4.1  | 19.270 | 99.210 | 9.0   |          | 2.4  |
| 919 | 1999 | 616  | 0359 | 7.1  | 18.220 | 97.640 | 41.0  |          | 3.8  | 994  | 1999 | 1216 | 1216 | 12.6 | 17.320 | 97.080 | 73.0  |          | 3.6  |
| 920 | 1999 | 616  | 1327 | 22.6 | 18.260 | 97.580 | 60.0  |          | 3.8  | 995  | 1999 | 1227 | 2121 | 34.2 | 17.740 | 98.330 | 17.0  |          | 4.6  |
| 921 | 1999 | 616  | 1903 | 45.9 | 18.140 | 97.640 | 51.0  |          | 3.6  | 996  | 1999 | 1231 | 1700 | 18.8 | 19.060 | 97.890 | 126.0 |          | 3.6  |
| 922 | 1999 | 616  | 1926 | 47.9 | 18.950 | 98.520 | 3.0   |          | 3.6  | 997  | 2000 | 1 3  | 0755 | 15.6 | 17.740 | 96.880 | 83.0  |          | 3.4  |
| 923 | 1999 | 616  | 1926 | 51.0 | 19.420 | 98.890 | 9.0   |          | 3.8  | 998  | 2000 | 121  | 0421 | 36.2 | 18.360 | 97.680 | 68.0  |          | 3.4  |
| 924 | 1999 | 616  | 1958 | 14.8 | 19.090 | 98.490 | 10.0  |          | 3.4  | 999  | 2000 | 2 4  | 1529 | 23.2 | 18.090 | 98.020 | 73.0  |          | 3.6  |
| 925 | 1999 | 616  | 1957 | 58.2 | 19.100 | 98.530 | 13.0  |          | 3.2  | 1000 | 2000 | 2 7  | 0947 | 22.5 | 18.660 | 98.640 | 2.0   |          | 3.3  |
| 926 | 1999 | 616  | 2101 | 26.7 | 19.040 | 98.540 | 13.0  |          | 3.5  | 1001 | 2000 | 216  | 0023 | 59.7 | 18.820 | 99.200 | 8.0   |          | 3.3  |
| 927 | 1999 | 616  | 2118 | 5.3  | 18.080 | 97.680 | 26.0  |          | 3.7  | 1002 | 2000 | 225  | 0200 | 0.8  | 18.990 | 98.780 | 27.0  |          | 3.5  |
| 928 | 1999 | 616  | 2325 | 32.9 | 18.220 | 97.710 | 66.0  |          | 3.5  | 1003 | 2000 | 228  | 0333 | 45.7 | 17.920 | 99.360 | 52.0  |          | 3.3  |
| 929 | 1999 | 617  | 0426 | 52.9 | 18.330 | 97.750 | 67.0  |          | 4.0  | 1004 | 2000 | 3 4  | 0406 | 5.6  | 18.120 | 98.200 | 10.0  |          | 3.6  |
| 930 | 1999 | 619  | 2006 | 33.5 | 19.920 | 97.810 | 23.0  |          | 3.5  | 1005 | 2000 | 3 4  | 2055 | 23.7 | 18.840 | 98.570 | 4.0   |          | 4.1  |
| 931 | 1999 | 620  | 0911 | 59.4 | 19.310 | 98.460 | 3.0   |          | 3.4  | 1006 | 2000 | 3 5  | 1514 | 45.5 | 17.780 | 98.170 | 36.0  |          | 3.6  |
| 932 | 1999 | 620  | 1025 | 21.1 | 19.310 | 98.480 | 3.0   |          | 4.0  | 1007 | 2000 | 312  | 0344 | 48.5 | 20.100 | 99.290 | 5.0   |          | 4.1  |
| 933 | 1999 | 620  | 1049 | 9.0  | 19.310 | 98.530 | 3.0   |          | 2.9  | 1008 | 2000 | 312  | 2055 | 56.4 | 19.970 | 96.490 | 15.0  |          | 3.7  |
| 934 | 1999 | 620  | 1936 | 51.5 | 18.750 | 98.660 | 11.0  |          | 3.1  | 1009 | 2000 | 318  | 0050 | 58.4 | 17.080 | 99.310 | 31.0  |          | 4.7  |
| 935 | 1999 | 621  | 0112 | 30.1 | 17.830 | 98.220 | 76.0  |          | 4.0  | 1010 | 2000 | 318  | 1119 | 9.8  | 17.030 | 99.420 | 63.0  |          | 3.8  |
| 936 | 1999 | 624  | 0829 | 47.0 | 18.300 | 97.750 | 55.0  |          | 4.1  | 1011 | 2000 | 319  | 0510 | 42.4 | 19.420 | 97.600 | 9.0   |          | 3.9  |
| 937 | 1999 | 627  | 0448 | 6.3  | 18.880 | 97.590 | 110.0 |          | 3.4  | 1012 | 2000 | 329  | 0648 | 23.7 | 17.510 | 99.340 | 96.0  |          | 3.3  |
| 938 | 1999 | 628  | 2046 | 3.7  | 17.260 | 96.070 | 120.0 |          | 3.9  | 1013 | 2000 | 4 1  | 0432 | 8.1  | 19.730 | 96.370 | 29.0  |          | 3.5  |
| 939 | 1999 | 629  | 1331 | 12.5 | 18.200 | 97.620 | 55.0  |          | 3.8  | 1014 | 2000 | 4 5  | 2153 | 21.2 | 18.820 | 99.180 | 2.0   |          | 3.3  |
| 940 | 1999 | 7 1  | 2006 | 11.0 | 20.340 | 99.050 | 6.0   |          | 3.5  | 1015 | 2000 | 4 6  | 0037 | 48.7 | 19.940 | 97.660 | 102.0 |          | 3.5  |
| 941 | 1999 | 7 2  | 0202 | 35.0 | 18.230 | 97.150 | 70.0  |          | 3.5  | 1016 | 2000 | 410  | 0753 | 23.7 | 19.220 | 98.990 | 14.0  |          | 2.6  |
| 942 | 1999 | 7 2  | 1117 | 53.0 | 18.340 | 97.660 | 95.0  |          | 3.9  | 1017 | 2000 | 419  | 1142 | 18.5 | 19.380 | 98.870 | 4.0   |          | 2.9  |
| 943 | 1999 | 7 8  | 0909 | 30.1 | 18.870 | 96.510 | 90.0  |          | 3.5  | 1018 | 2000 | 427  | 2227 | 43.7 | 18.940 | 99.370 | 2.0   |          | 3.3  |
| 944 | 1999 | 715  | 0153 | 59.7 | 19.010 | 98.610 | 1.0   |          | 3.3  | 1019 | 2000 | 515  | 0904 | 2.5  | 20.610 | 99.410 | 5.0   |          | 3.5  |
| 945 | 1999 | 716  | 1905 | 32.2 | 18.380 | 97.690 | 90.0  |          | 3.6  | 1020 | 2000 | 522  | 0710 | 22.2 | 17.320 | 96.180 | 118.0 |          | 4.0  |
| 946 | 1999 | 717  | 0020 | 1.5  | 18.330 | 97.200 | 85.0  |          | 3.5  | 1021 | 2000 | 528  | 0401 | 45.0 | 20.410 | 99.350 | 10.0  |          | 3.5  |
| 947 | 1999 | 721  | 1428 | 46.9 | 17.380 | 97.350 | 79.0  |          | 3.8  | 1022 | 2000 | 529  | 0501 | 6.4  | 17.280 | 98.450 | 80.0  |          | 4.0  |
| 948 | 1999 | 724  | 2256 | 4.0  | 18.310 | 97.770 | 84.0  |          | 4.0  | 1023 | 2000 | 6 5  | 1159 | 41.7 | 18.770 | 96.290 | 16.0  |          | 4.4  |
| 949 | 1999 | 725  | 1426 | 1.2  | 19.190 | 98.960 | 2.0   |          | 3.6  | 1024 | 2000 | 611  | 0129 | 26.7 | 19.160 | 98.940 | 14.0  |          | 3.0  |
| 950 | 1999 | 727  | 2127 | 32.7 | 19.430 | 98.780 | 2.0   |          | 3.6  | 1025 | 2000 | 611  | 0530 | 55.7 | 17.240 | 97.250 | 87.0  |          | 4.3  |
| 951 | 1999 | 728  | 1352 | 7.8  | 19.990 | 96.160 | 12.0  |          | 3.6  | 1026 | 2000 | 614  | 1723 | 33.0 | 19.360 | 98.610 | 13.0  |          | 3.3  |
| 952 | 1999 | 8 7  | 1349 | 53.0 | 19.170 | 98.970 | 16.0  |          | 3.2  | 1027 | 2000 | 626  | 0545 | 57.0 | 20.580 | 99.450 | 4.0   |          | 3.4  |
| 953 | 1999 | 813  | 2252 | 53.5 | 17.930 | 98.180 | 16.0  |          | 3.9  | 1028 | 2000 | 7 3  | 0251 | 5.5  | 17.970 | 98.420 | 50.0  |          | 4.2  |
| 954 | 1999 | 815  | 1258 | 40.0 | 18.030 | 98.030 | 77.0  |          | 3.7  | 1029 | 2000 | 7 6  | 0836 | 24.8 | 19.180 | 98.930 | 8.0   |          | 3.3  |
| 955 | 1999 | 821  | 1735 | 32.9 | 19.400 | 98.830 | 11.0  |          | 3.5  | 1030 | 2000 | 7 6  | 1315 | 34.4 | 19.190 | 98.960 | 5.0   |          | 3.4  |
| 956 | 1999 | 822  | 0118 | 34.7 | 17.120 | 96.990 | 69.0  |          | 3.7  | 1031 | 2000 | 720  | 0826 | 37.0 | 17.040 | 96.720 | 71.0  |          | 3.7  |
| 957 | 1999 | 828  | 0354 | 38.7 | 18.070 | 98.100 | 16.0  |          | 3.6  | 1032 | 2000 | 721  | 0613 | 39.7 | 18.090 | 98.970 | 48.0  |          | 5.4  |
| 958 | 1999 | 829  | 0313 | 15.1 | 18.880 | 96.050 | 17.0  |          | 3.4  | 1033 | 2000 | 8 5  | 0914 | 20.2 | 19.370 | 96.770 | 105.0 |          | 3.6  |
| 959 | 1999 | 830  | 2303 | 55.0 | 19.760 | 96.390 | 5.0   |          | 3.6  | 1034 | 2000 | 8 8  | 1456 | 50.5 | 17.870 | 98.000 | 39.0  |          | 3.7  |
| 960 | 1999 | 9 8  | 0042 | 28.6 | 17.630 | 98.340 | 36.0  |          | 4.4  | 1035 | 2000 | 811  | 0819 | 55.5 | 19.570 | 96.420 | 8.0   |          | 4.1  |
| 961 | 1999 | 9 8  | 0504 | 29.2 | 17.660 | 98.290 | 58.0  |          | 4.0  | 1036 | 2000 | 812  | 1417 | 59.7 | 18.390 | 98.040 | 64.0  |          | 3.3  |
| 962 | 1999 | 9 8  | 0842 | 24.2 | 18.320 | 97.560 | 103.0 |          | 3.7  | 1037 | 2000 | 9 4  | 0013 | 23.2 | 17.130 | 99     |       |          |      |

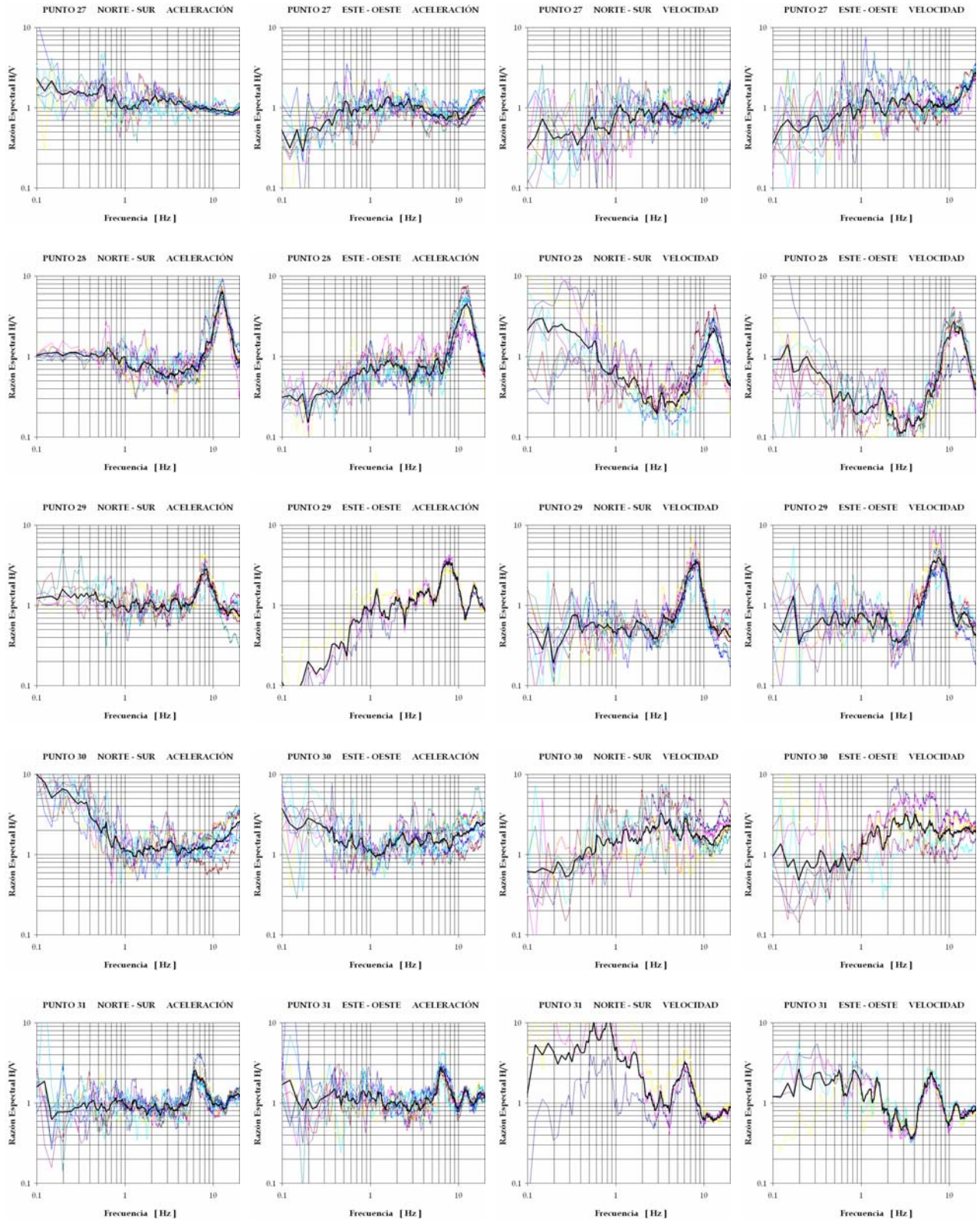
Tabla 1. Catálogo de sismos (continuación).

| No.  | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H     | Magnitud |      | No.  | aaaa | mmdd | hhmm | seg  | Lat.   | Long.  | H    | Magnitud |      |
|------|------|------|------|------|--------|--------|-------|----------|------|------|------|------|------|------|--------|--------|------|----------|------|
|      |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km)  | Richter  | Coda |      |      |      |      |      | (°N)   | (°O)   | (km) | Richter  | Coda |
| 1045 | 2000 | 11 1 | 2352 | 42.7 | 18.240 | 97.250 | 107.0 |          | 3.6  | 1119 | 2002 | 520  | 1005 | 19.6 | 18.000 | 99.000 | 44.0 |          | 3.7  |
| 1046 | 2000 | 11 7 | 2353 | 53.5 | 19.690 | 98.580 | 13.0  |          | 3.2  | 1120 | 2002 | 630  | 2014 | 39.5 | 19.220 | 96.270 | 16.0 |          | 3.9  |
| 1047 | 2000 | 11 8 | 0117 | 24.2 | 19.670 | 98.590 | 13.0  |          | 3.2  | 1121 | 2002 | 7 5  | 1045 | 59.4 | 17.910 | 98.340 | 16.0 |          | 3.8  |
| 1048 | 2000 | 1110 | 0724 | 10.0 | 18.930 | 96.850 | 16.0  |          | 3.9  | 1122 | 2002 | 713  | 1543 | 40.0 | 17.580 | 99.330 | 77.0 |          | 3.3  |
| 1049 | 2000 | 12 5 | 1503 | 23.2 | 19.080 | 98.380 | 1.0   |          | 3.3  | 1123 | 2002 | 713  | 1734 | 42.2 | 19.190 | 98.550 | 34.0 |          | 3.4  |
| 1050 | 2000 | 12 6 | 2103 | 5.5  | 18.940 | 97.090 | 35.0  |          | 2.8  | 1124 | 2002 | 719  | 1349 | 49.7 | 17.900 | 97.370 | 65.0 |          | 3.8  |
| 1051 | 2000 | 12 6 | 2104 | 54.7 | 19.010 | 97.100 | 34.0  |          | 2.6  | 1125 | 2002 | 8 6  | 1855 | 28.2 | 17.180 | 97.800 | 61.0 |          | 3.9  |
| 1052 | 2000 | 12 8 | 2236 | 4.5  | 18.270 | 97.430 | 50.0  |          | 4.1  | 1126 | 2002 | 8 6  | 2239 | 27.7 | 18.650 | 97.400 | 2.0  |          | 3.5  |
| 1053 | 2000 | 12 9 | 1846 | 5.3  | 17.910 | 98.960 | 91.0  |          | 3.6  | 1127 | 2002 | 8 9  | 1949 | 57.2 | 17.870 | 99.190 | 51.0 |          | 4.0  |
| 1054 | 2000 | 1226 | 0440 | 36.4 | 17.700 | 97.670 | 63.0  |          | 3.6  | 1128 | 2002 | 813  | 2234 | 56.0 | 18.930 | 98.550 | 1.0  |          | 3.4  |
| 1055 | 2001 | 117  | 2317 | 27.2 | 18.270 | 97.080 | 65.0  |          | 3.5  | 1129 | 2002 | 816  | 1206 | 27.0 | 17.870 | 99.350 | 54.0 |          | 4.0  |
| 1056 | 2001 | 118  | 0430 | 31.8 | 17.020 | 99.080 | 27.0  |          | 3.7  | 1130 | 2002 | 818  | 1619 | 50.2 | 18.930 | 98.490 | 20.0 |          | 3.4  |
| 1057 | 2001 | 2 9  | 1650 | 7.0  | 19.200 | 98.460 | 1.0   |          | 3.3  | 1131 | 2002 | 818  | 1633 | 28.8 | 18.960 | 98.540 | 26.0 |          | 3.3  |
| 1058 | 2001 | 210  | 2300 | 43.0 | 19.370 | 98.780 | 1.0   |          | 3.2  | 1132 | 2002 | 819  | 0024 | 38.0 | 18.950 | 98.500 | 18.0 |          | 3.3  |
| 1059 | 2001 | 4 2  | 0725 | 28.5 | 17.590 | 99.260 | 63.0  |          | 3.7  | 1133 | 2002 | 824  | 0519 | 44.4 | 18.670 | 98.180 | 8.0  |          | 3.6  |
| 1060 | 2001 | 4 3  | 0456 | 24.1 | 17.090 | 96.560 | 71.0  |          | 3.9  | 1134 | 2002 | 829  | 0105 | 41.7 | 17.570 | 97.400 | 92.0 |          | 4.4  |
| 1061 | 2001 | 416  | 1643 | 15.8 | 19.150 | 98.920 | 14.0  |          | 3.3  | 1135 | 2002 | 9 2  | 1623 | 20.7 | 20.130 | 96.750 | 7.0  |          | 3.4  |
| 1062 | 2001 | 417  | 0514 | 35.7 | 19.190 | 98.970 | 14.0  |          | 3.1  | 1136 | 2002 | 9 5  | 0350 | 20.0 | 19.360 | 98.530 | 49.0 |          | 3.8  |
| 1063 | 2001 | 418  | 1147 | 3.0  | 20.640 | 99.180 | 47.0  |          | 3.6  | 1137 | 2002 | 926  | 2015 | 9.1  | 17.410 | 96.210 | 87.0 |          | 3.9  |
| 1064 | 2001 | 427  | 1501 | 14.0 | 18.390 | 96.900 | 75.0  |          | 3.2  | 1138 | 2002 | 1012 | 1623 | 58.9 | 17.860 | 99.140 | 36.0 |          | 4.3  |
| 1065 | 2001 | 5 1  | 2223 | 22.1 | 18.400 | 96.050 | 16.0  |          | 4.3  | 1139 | 2002 | 1027 | 0211 | 59.5 | 18.820 | 98.770 | 6.0  |          | 3.4  |
| 1066 | 2001 | 5 2  | 0320 | 29.2 | 20.040 | 96.390 | 10.0  |          | 3.9  | 1140 | 2002 | 1028 | 0900 | 2.7  | 17.340 | 97.850 | 36.0 |          | 4.0  |
| 1067 | 2001 | 511  | 1056 | 26.2 | 18.980 | 98.550 | 1.0   |          | 3.6  | 1141 | 2002 | 11 3 | 2134 | 59.4 | 19.260 | 98.040 | 2.0  |          | 4.0  |
| 1068 | 2001 | 512  | 0514 | 3.9  | 18.890 | 96.860 | 16.0  |          | 3.7  | 1142 | 2002 | 1112 | 0602 | 32.5 | 17.690 | 97.710 | 71.0 |          | 3.9  |
| 1069 | 2001 | 531  | 0158 | 18.5 | 18.040 | 99.380 | 58.0  |          | 3.7  | 1143 | 2002 | 1116 | 1150 | 2.0  | 19.170 | 98.490 | 9.0  |          | 4.1  |
| 1070 | 2001 | 6 1  | 0235 | 55.9 | 19.270 | 98.490 | 2.0   |          | 3.8  | 1144 | 2002 | 1116 | 1408 | 7.5  | 19.100 | 98.470 | 5.0  |          | 3.5  |
| 1071 | 2001 | 6 1  | 0951 | 26.7 | 19.270 | 96.460 | 16.0  |          | 3.7  | 1145 | 2002 | 1117 | 0054 | 9.3  | 19.200 | 98.510 | 7.0  |          | 3.4  |
| 1072 | 2001 | 6 1  | 2257 | 58.0 | 19.980 | 96.560 | 16.0  |          | 3.4  | 1146 | 2002 | 1117 | 1214 | 25.7 | 19.190 | 98.500 | 2.0  |          | 3.4  |
| 1073 | 2001 | 613  | 0357 | 43.4 | 19.270 | 99.420 | 12.0  |          | 3.2  | 1147 | 2002 | 1117 | 1220 | 28.5 | 19.200 | 98.610 | 5.0  |          | 3.4  |
| 1074 | 2001 | 617  | 2348 | 25.0 | 17.700 | 96.090 | 137.0 |          | 3.9  | 1148 | 2002 | 12 3 | 0509 | 40.7 | 17.320 | 96.690 | 75.0 |          | 4.0  |
| 1075 | 2001 | 620  | 0952 | 43.0 | 19.590 | 97.170 | 4.0   |          | 3.7  | 1149 | 2002 | 1215 | 1403 | 41.7 | 18.910 | 97.200 | 2.0  |          | 3.7  |
| 1076 | 2001 | 624  | 2029 | 18.5 | 17.570 | 96.150 | 112.0 |          | 3.9  | 1150 | 2002 | 1221 | 2122 | 25.2 | 19.310 | 98.760 | 22.0 |          | 3.0  |
| 1077 | 2001 | 627  | 0257 | 31.2 | 17.430 | 97.220 | 74.0  |          | 3.6  | 1151 | 2002 | 1230 | 1630 | 19.8 | 17.920 | 98.070 | 18.0 |          | 3.5  |
| 1078 | 2001 | 7 3  | 0910 | 7.1  | 19.110 | 98.380 | 15.0  |          | 3.8  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1079 | 2001 | 7 9  | 1346 | 42.7 | 19.240 | 96.280 | 26.0  |          | 3.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1080 | 2001 | 714  | 0733 | 16.1 | 17.410 | 96.710 | 70.0  |          | 4.1  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1081 | 2001 | 723  | 0301 | 43.9 | 17.490 | 97.110 | 92.0  |          | 3.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1082 | 2001 | 725  | 0044 | 8.8  | 17.290 | 96.750 | 76.0  |          | 3.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1083 | 2001 | 728  | 0343 | 31.2 | 17.240 | 97.850 | 31.0  |          | 3.5  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1084 | 2001 | 8 3  | 1521 | 26.0 | 17.320 | 96.470 | 86.0  |          | 3.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1085 | 2001 | 821  | 0525 | 20.8 | 17.310 | 96.190 | 89.0  |          | 3.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1086 | 2001 | 9 3  | 0015 | 20.0 | 19.330 | 99.410 | 11.0  |          | 2.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1087 | 2001 | 914  | 1713 | 15.6 | 19.310 | 99.300 | 14.0  |          | 2.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1088 | 2001 | 929  | 1850 | 49.2 | 17.960 | 98.460 | 74.0  |          | 3.8  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1089 | 2001 | 10 7 | 0909 | 28.8 | 18.170 | 99.320 | 68.0  |          | 3.4  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1090 | 2001 | 1101 | 4361 | 18.7 | 17.090 | 96.630 | 81.0  |          | 3.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1091 | 2001 | 1115 | 2218 | 22.2 | 19.560 | 99.160 | 4.0   |          | 3.5  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1092 | 2001 | 1123 | 1005 | 54.5 | 19.460 | 98.970 | 5.0   |          | 3.0  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1093 | 2001 | 1129 | 2111 | 21.0 | 18.230 | 97.450 | 32.0  |          | 3.6  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1094 | 2001 | 1130 | 0747 | 6.5  | 17.580 | 97.140 | 81.0  |          | 3.9  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1095 | 2001 | 12 3 | 2102 | 17.2 | 17.080 | 98.060 | 18.0  |          | 3.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1096 | 2001 | 1219 | 2301 | 35.7 | 18.100 | 98.420 | 41.0  |          | 3.4  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1097 | 2001 | 1220 | 0126 | 19.7 | 19.000 | 98.500 | 2.0   |          | 3.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1098 | 2001 | 1222 | 2335 | 23.5 | 19.260 | 98.520 | 10.0  |          | 3.8  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1099 | 2002 | 1 7  | 1625 | 47.7 | 18.250 | 97.550 | 72.0  |          | 3.5  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1100 | 2002 | 118  | 0846 | 48.7 | 17.100 | 99.480 | 29.0  |          | 3.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1101 | 2002 | 121  | 1815 | 36.0 | 19.180 | 97.190 | 86.0  |          | 4.1  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1102 | 2002 | 2 1  | 1929 | 11.0 | 19.520 | 99.210 | 2.0   |          | 2.6  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1103 | 2002 | 2 5  | 1551 | 45.2 | 17.090 | 99.350 | 11.0  |          | 4.2  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1104 | 2002 | 216  | 1858 | 24.5 | 17.670 | 98.870 | 57.0  |          | 4.3  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1105 | 2002 | 311  | 2106 | 3.4  | 17.750 | 97.550 | 67.0  |          | 3.8  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1106 | 2002 | 316  | 0632 | 12.6 | 17.990 | 98.080 | 70.0  |          | 3.5  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1107 | 2002 | 318  | 1856 | 16.3 | 17.880 | 99.420 | 79.0  |          | 3.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1108 | 2002 | 325  | 0931 | 25.2 | 17.000 | 98.980 | 32.0  |          | 4.1  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1109 | 2002 | 326  | 0444 | 26.3 | 17.230 | 99.140 | 20.0  |          | 4.3  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1110 | 2002 | 421  | 0920 | 47.0 | 19.470 | 98.940 | 13.0  |          | 3.1  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1111 | 2002 | 421  | 0922 | 44.2 | 19.450 | 98.960 | 13.0  |          | 2.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1112 | 2002 | 421  | 0923 | 16.8 | 19.440 | 99.030 | 11.0  |          | 3.1  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1113 | 2002 | 421  | 0959 | 58.7 | 19.450 | 99.020 | 12.0  |          | 3.0  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1114 | 2002 | 5 9  | 1425 | 43.0 | 19.490 | 99.010 | 19.0  |          | 3.7  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1115 | 2002 | 5 9  | 1556 | 8.0  | 19.490 | 99.020 | 21.0  |          | 3.3  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1116 | 2002 | 5 9  | 2039 | 42.0 | 19.500 | 98.990 | 22.0  |          | 3.4  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1117 | 2002 | 511  | 1535 | 8.3  | 19.500 | 99.000 | 24.0  |          | 3.1  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |
| 1118 | 2002 | 515  | 2322 | 19.6 | 18.980 | 98.540 | 2.0   |          | 3.4  |      |      |      |      |      |        |        |      |          |      |

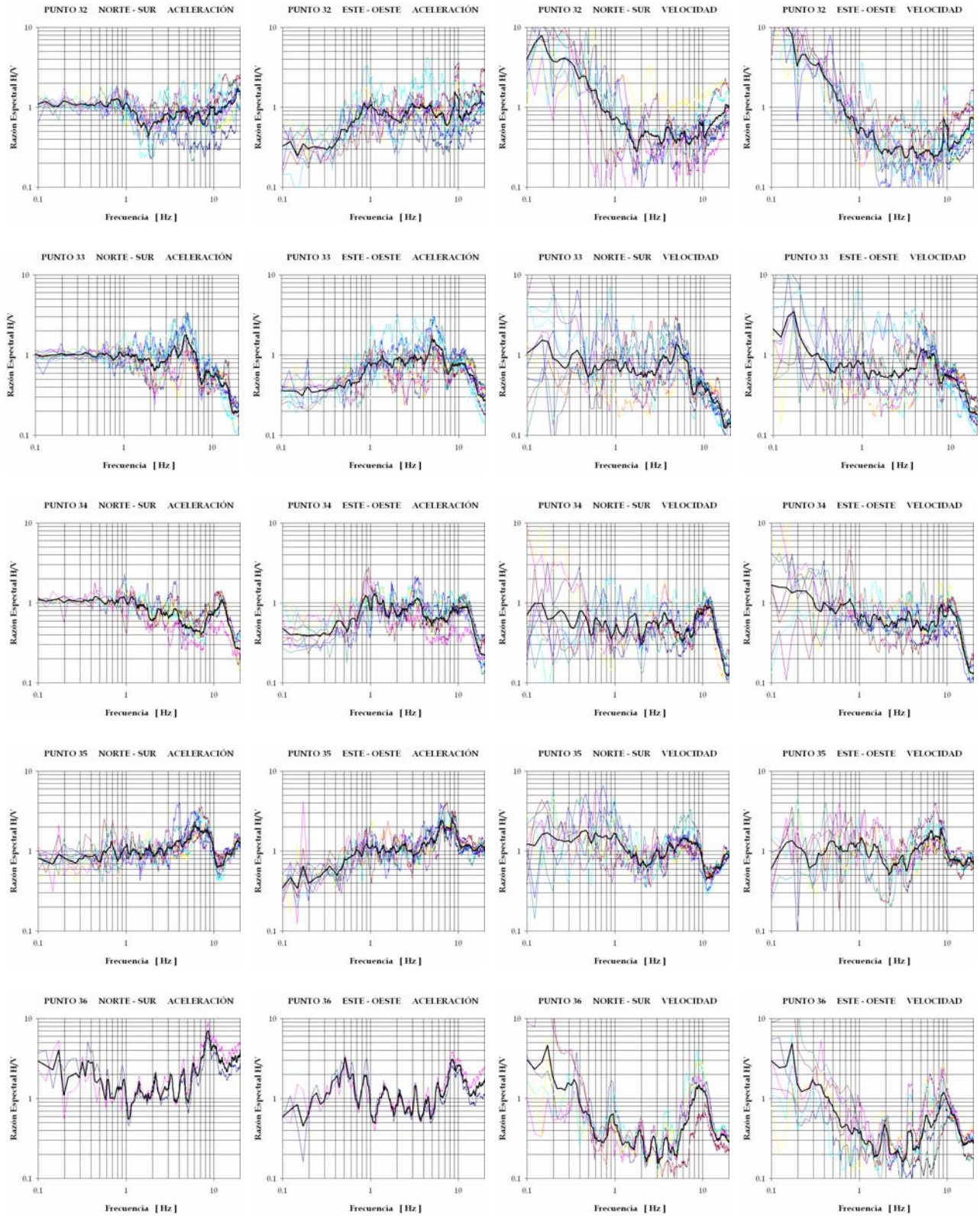
## ANEXO 2 FUNCIONES DE TRANSFERENCIA EMPÍRICAS

En las siguientes figuras, las líneas delgadas son las funciones de transferencia empíricas obtenidas de los registros de vibración ambiental. Las líneas gruesas representan el promedio espectral.

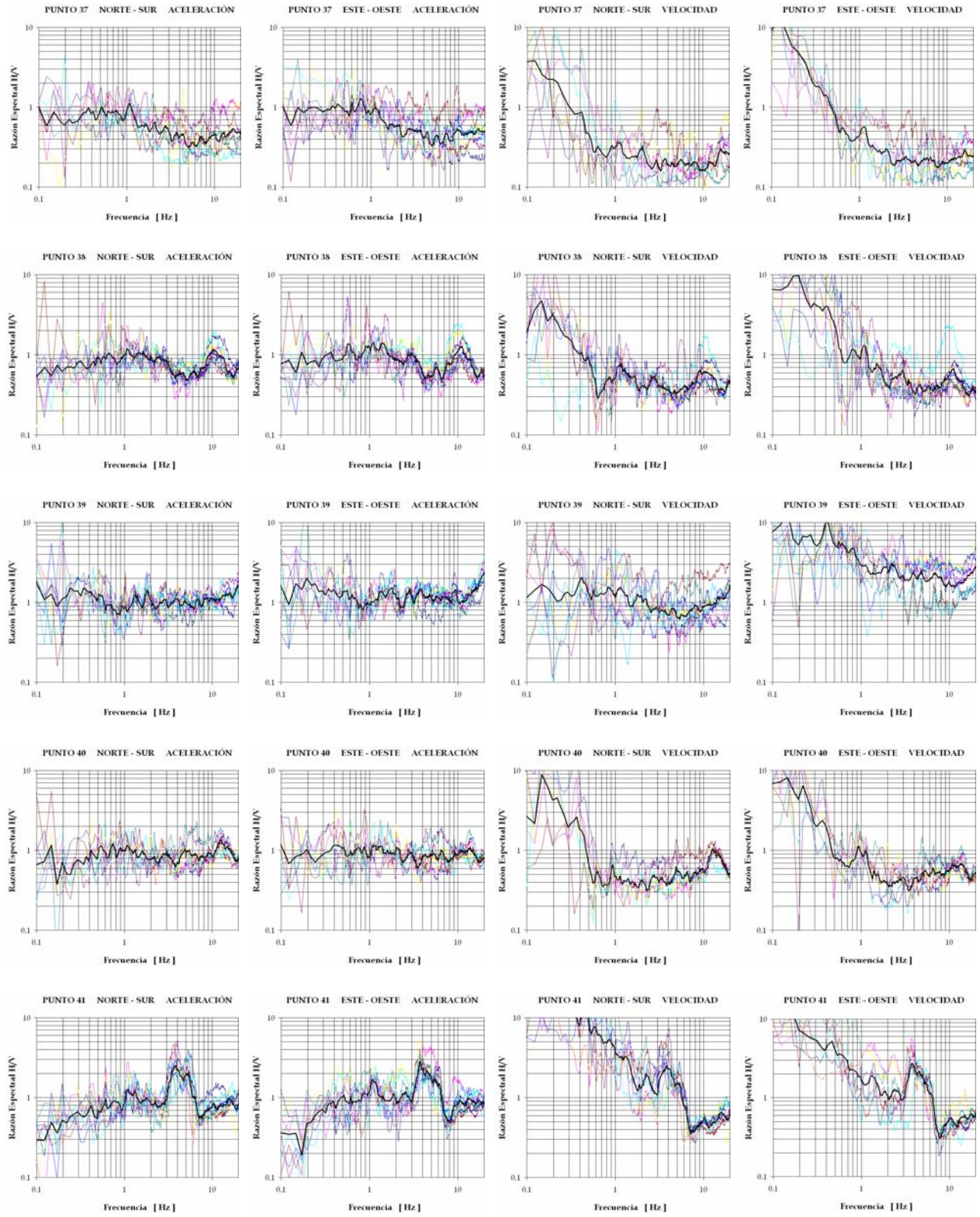


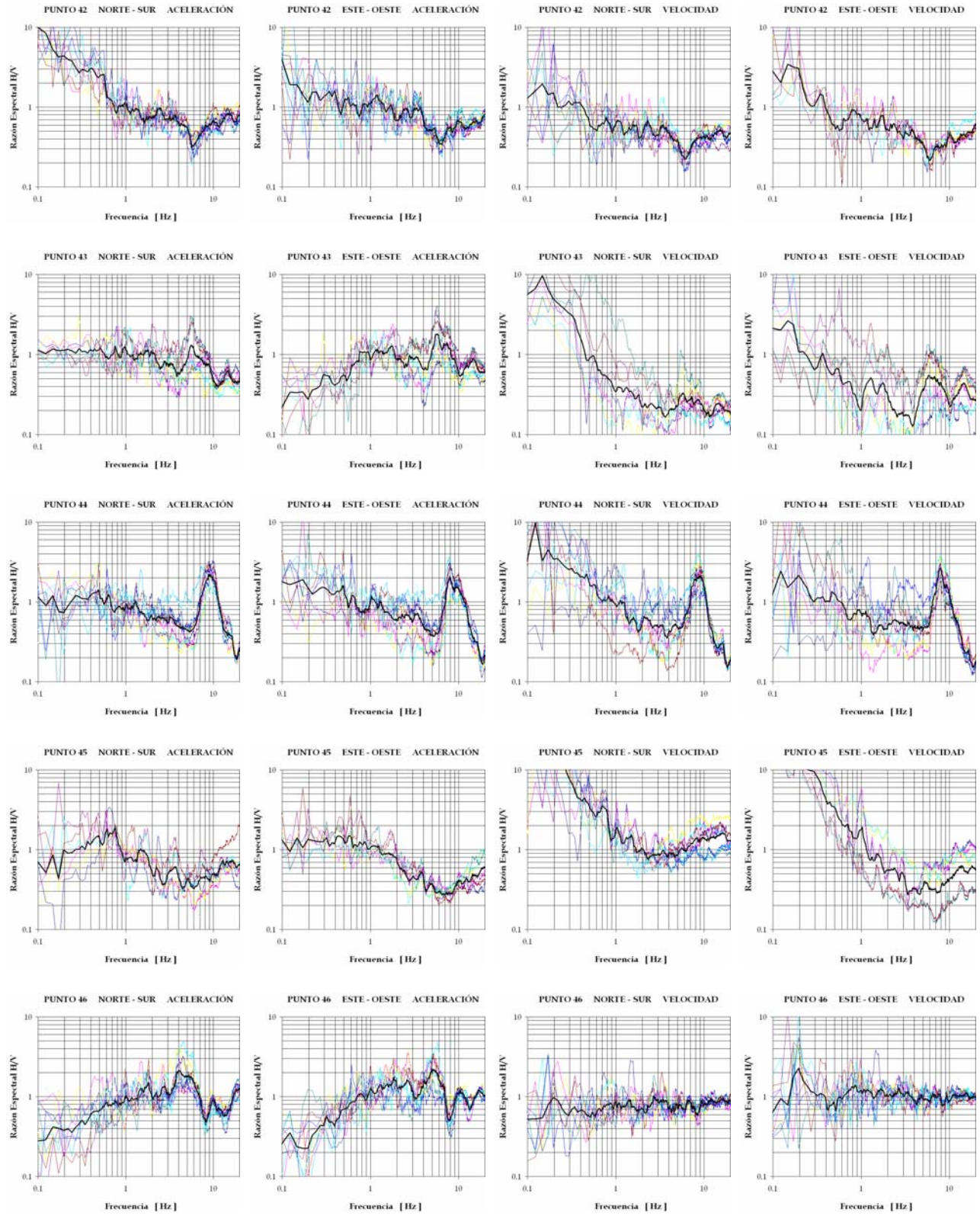


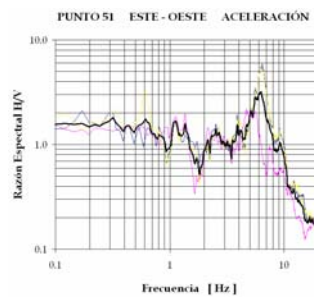
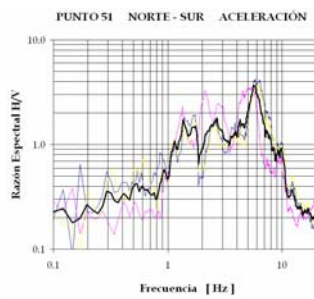
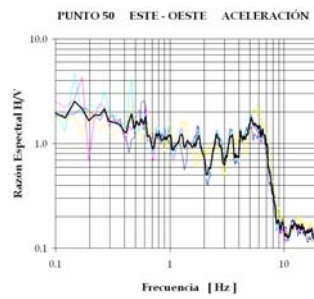
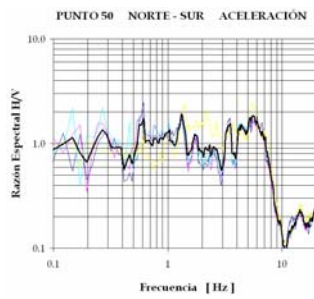
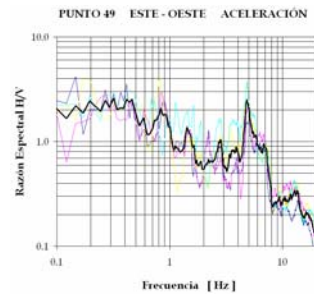
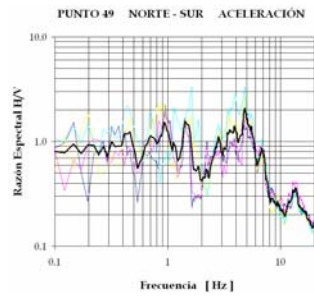
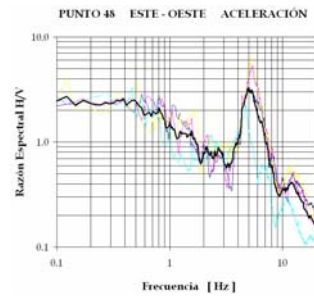
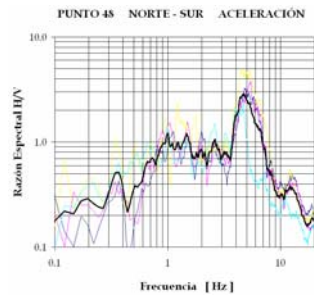
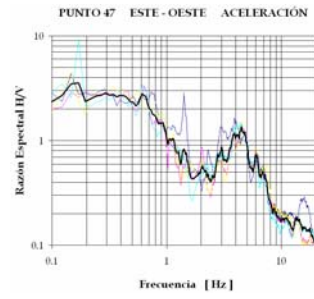
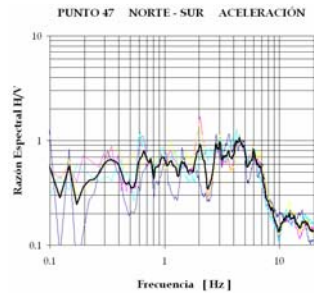




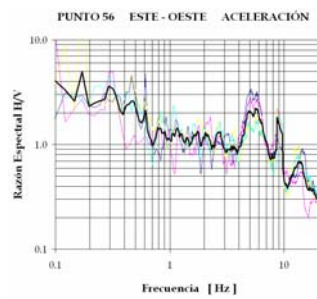
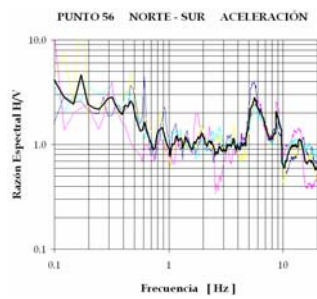
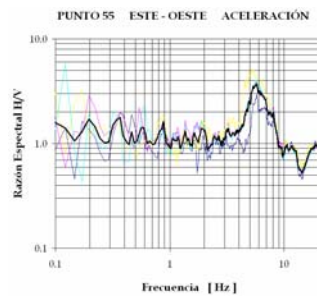
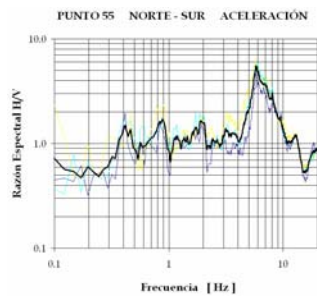
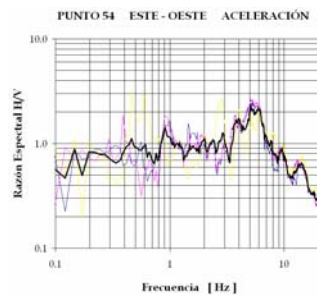
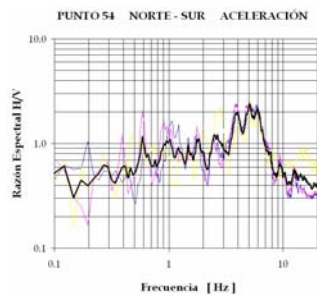
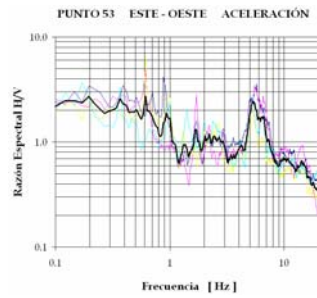
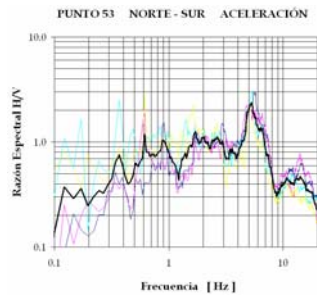
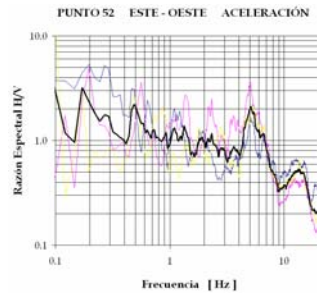
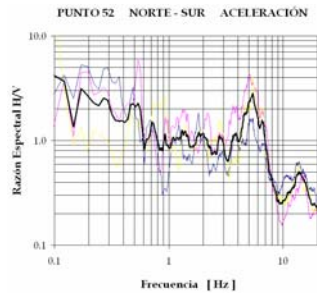


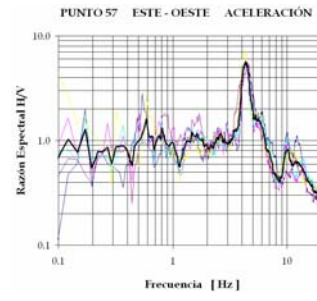
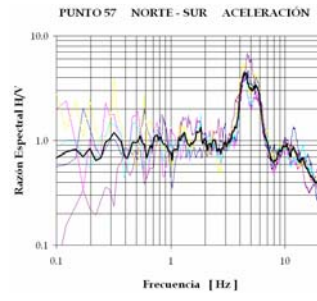










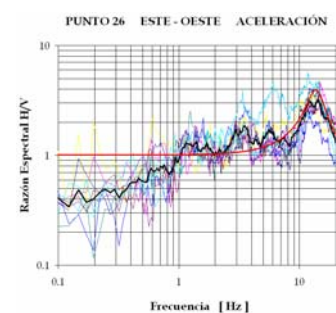
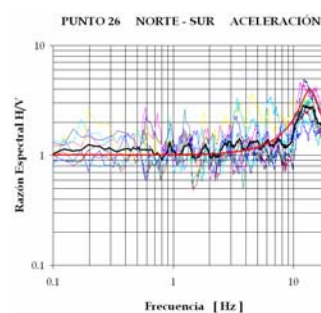
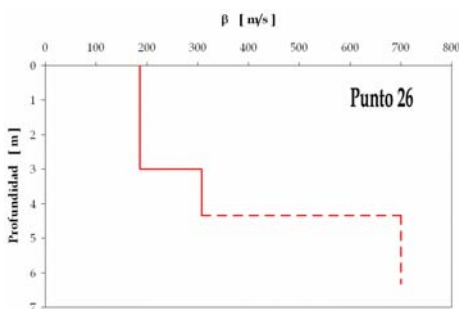
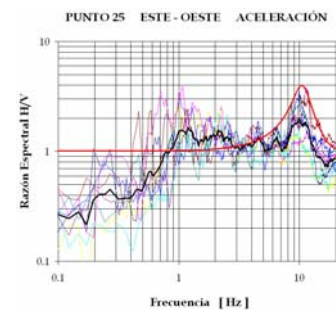
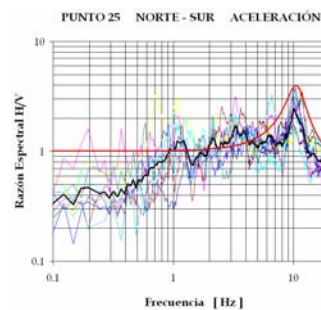
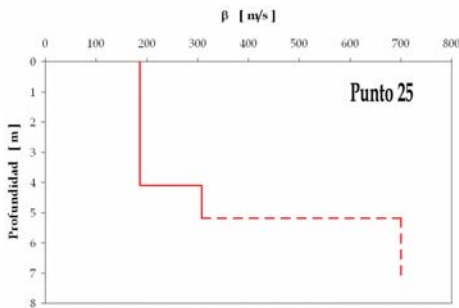
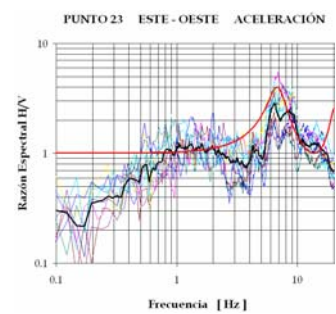
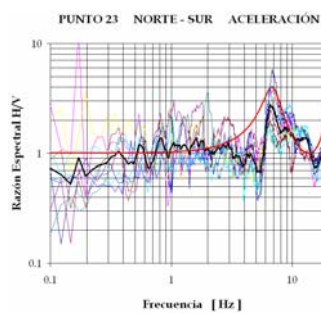
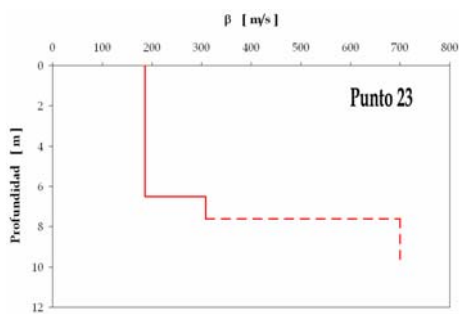


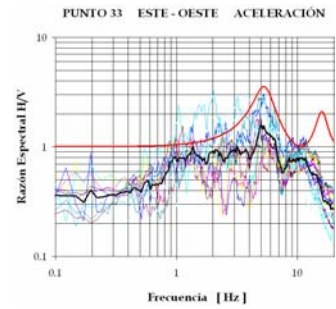
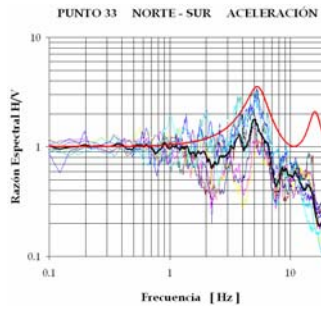
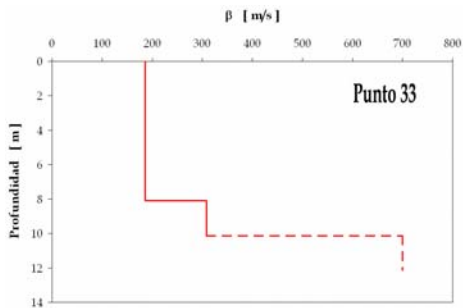
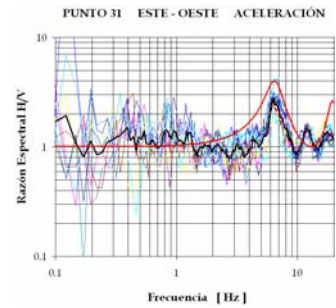
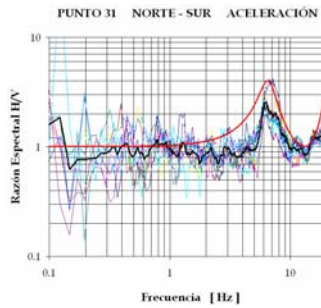
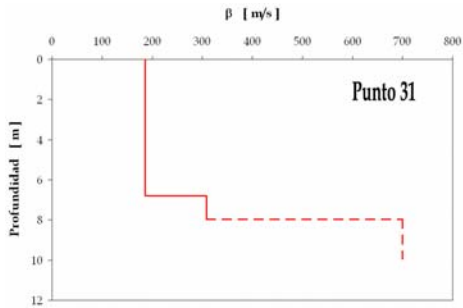
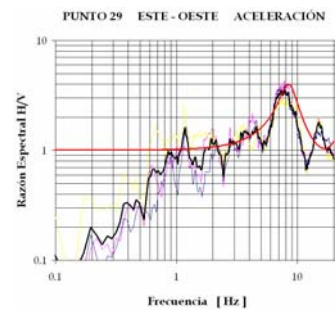
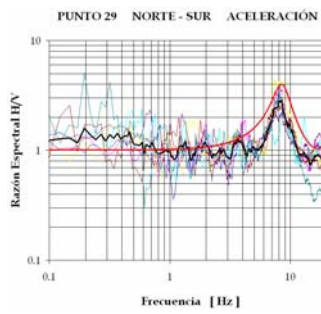
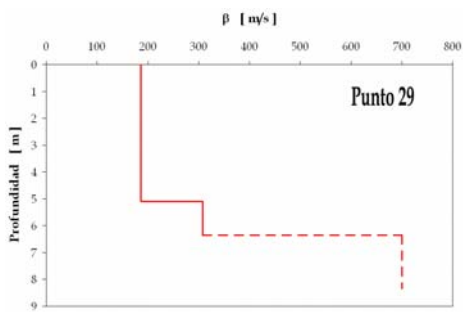
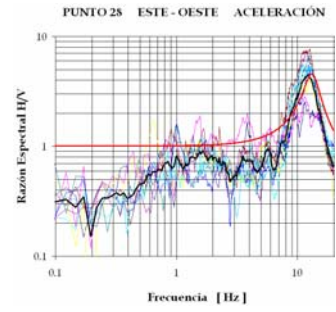
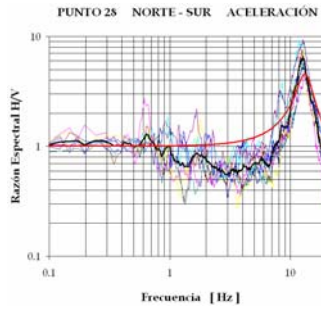
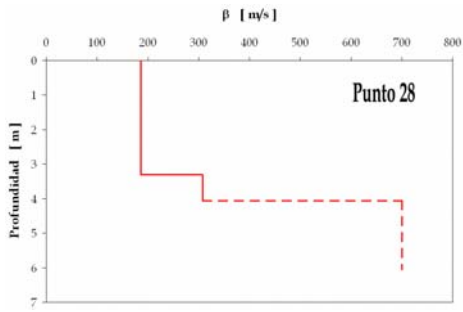
### ANEXO 3

## FUNCIONES DE TRANSFERENCIA TEÓRICAS

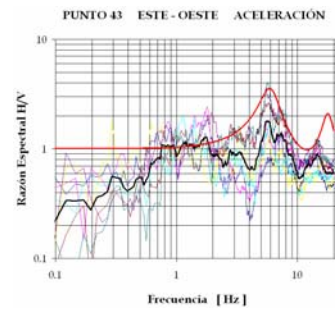
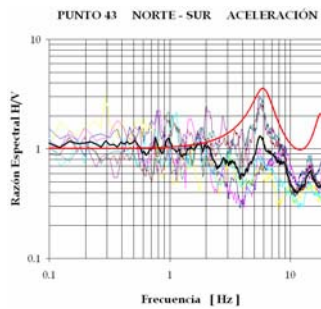
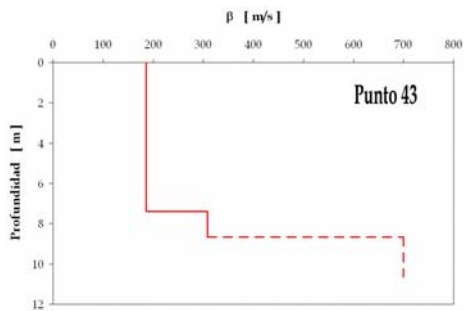
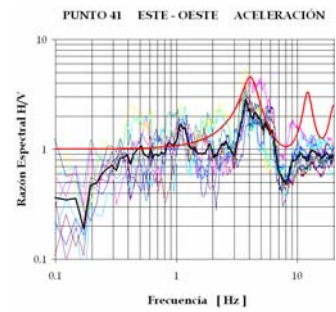
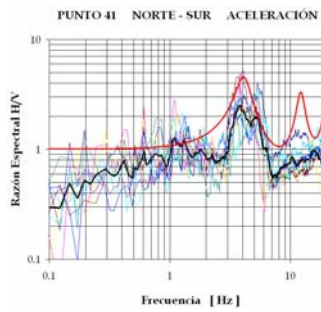
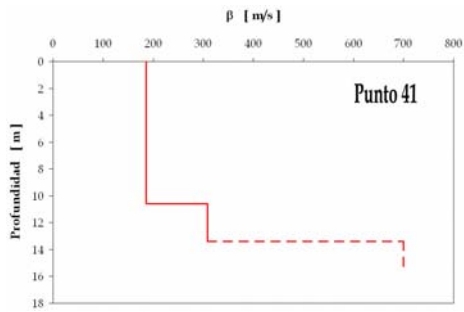
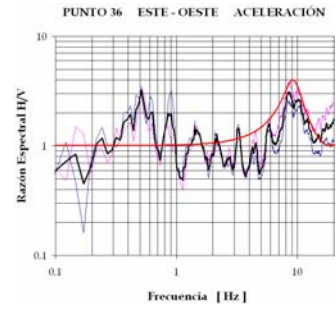
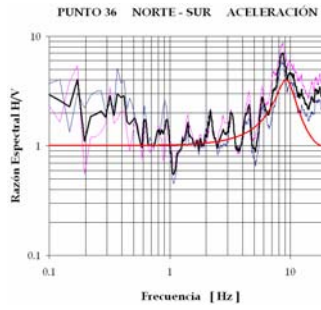
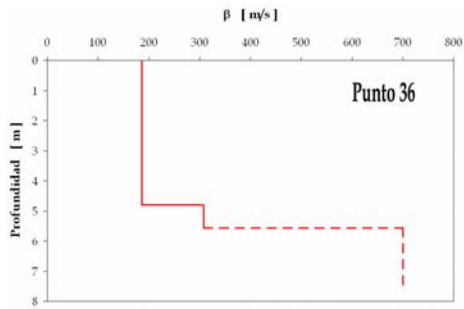
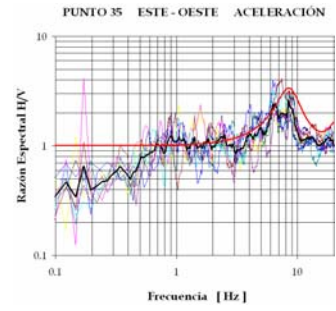
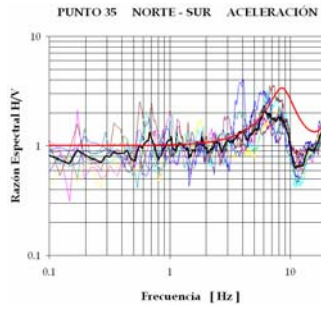
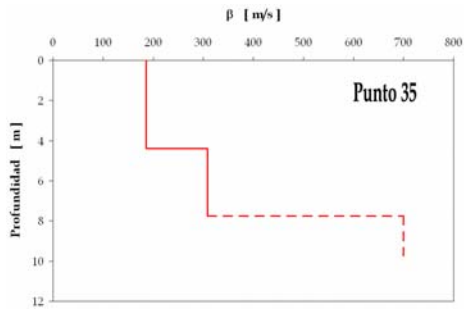
Se muestran los perfiles de velocidades estimados a partir de las funciones de transferencia empíricas, en varios puntos de la microzona II. Se muestran las respectivas funciones de transferencia teóricas calculadas con el método de Haskell (1962).

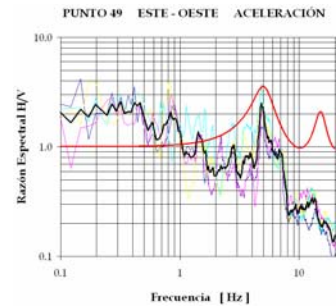
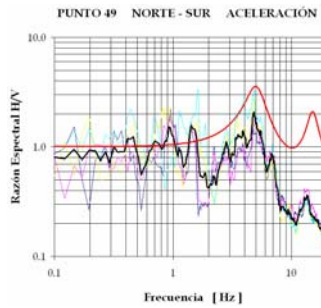
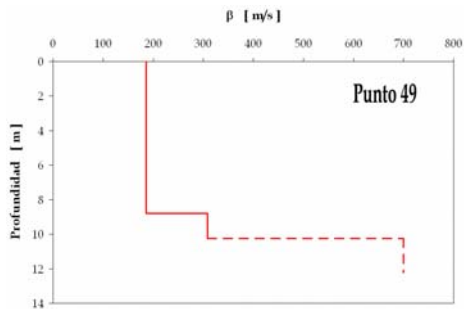
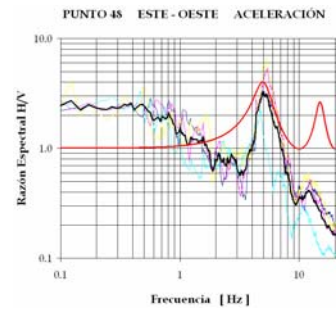
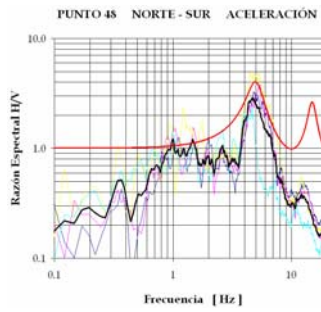
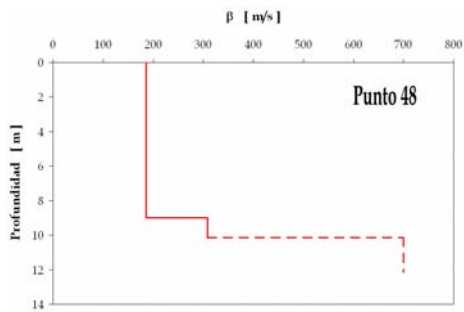
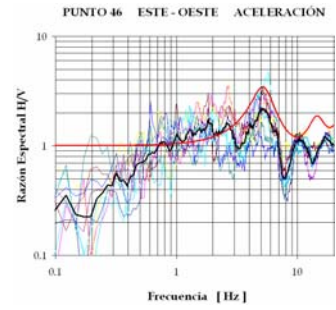
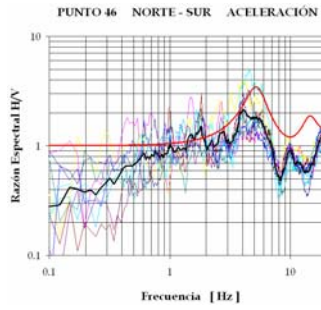
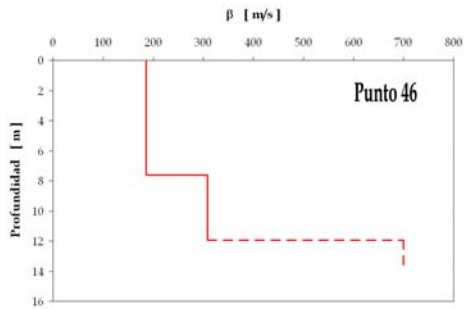
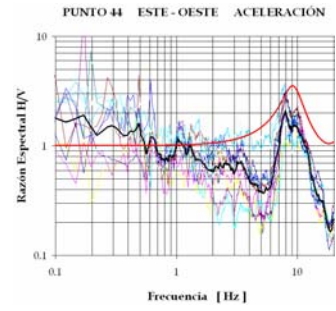
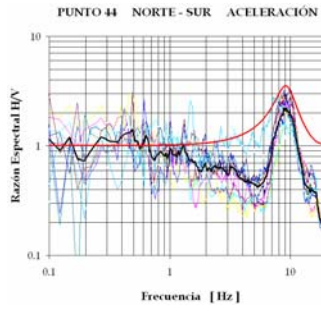
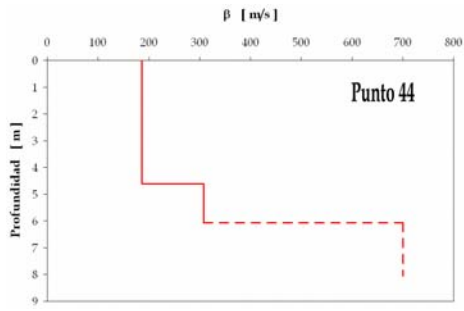
En los gráficos siguientes, se superponen las FFT con las FTE obtenidas mediante los registros de aceleración de microtremores. En los perfiles de velocidades, la línea discontinua representa la roca basal. En las funciones de transferencia, la línea roja representa la FTT.

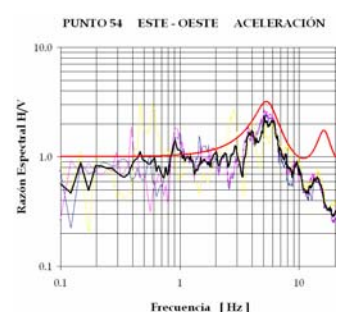
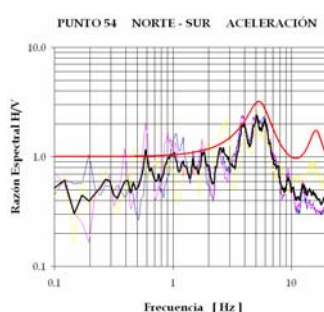
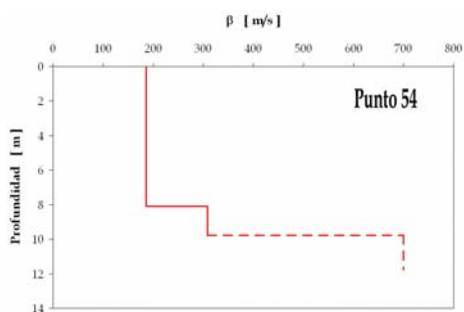
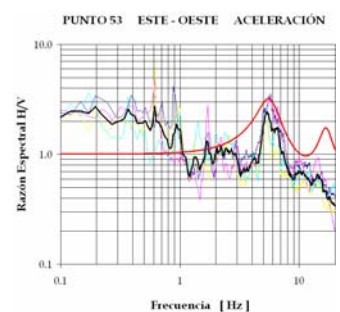
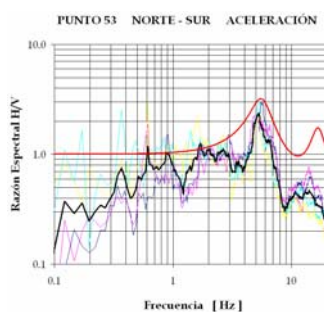
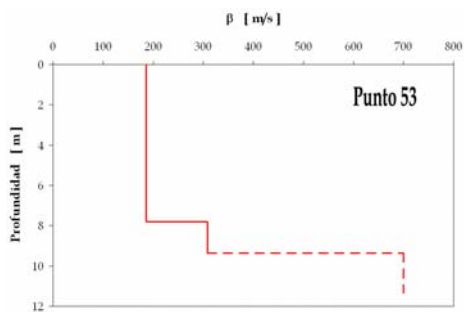
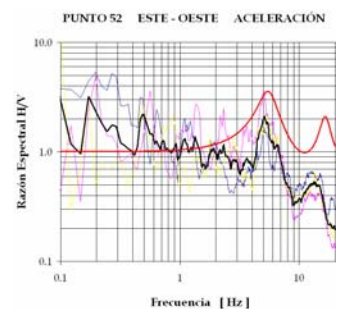
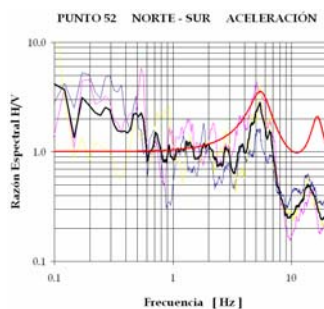
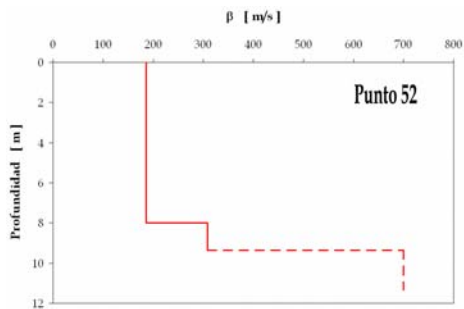
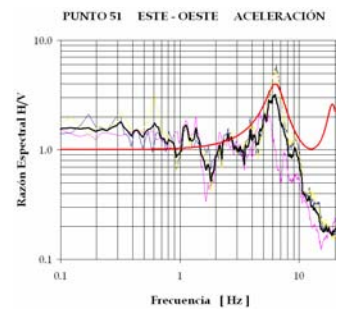
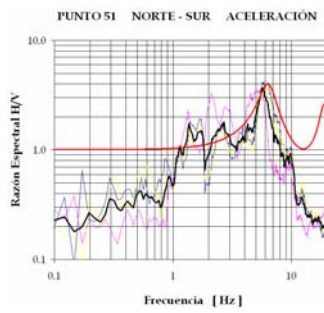
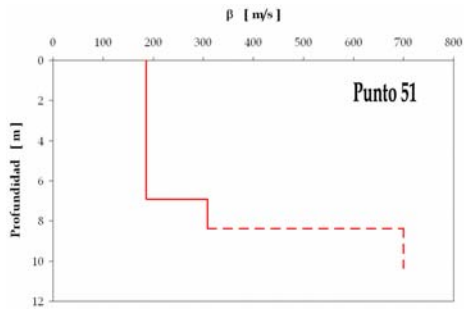


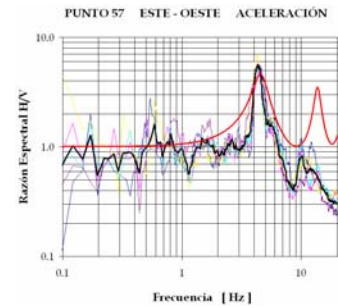
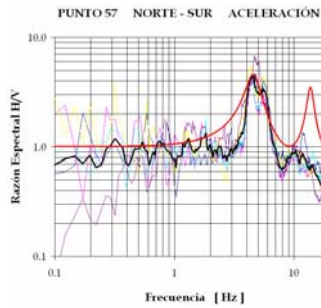
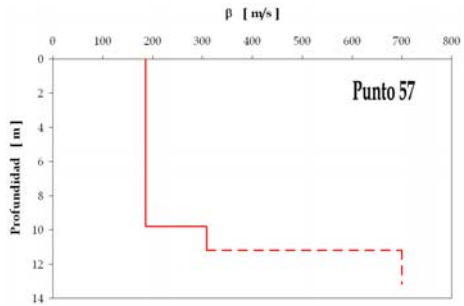
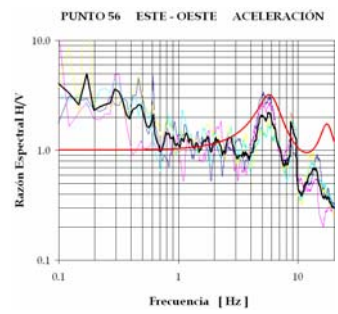
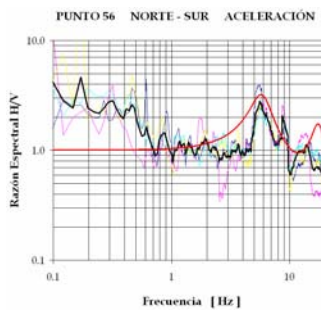
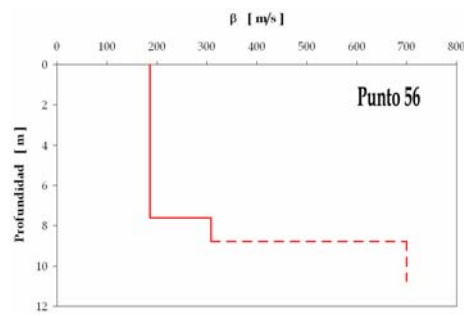
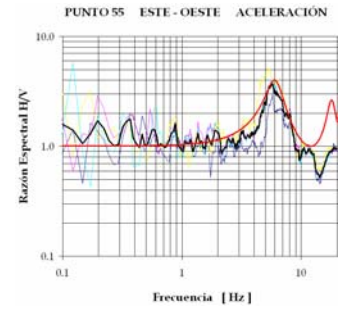
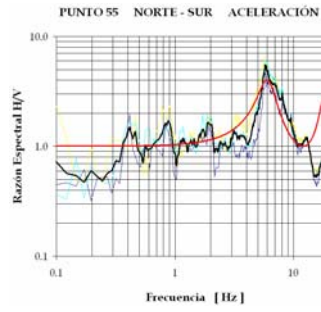
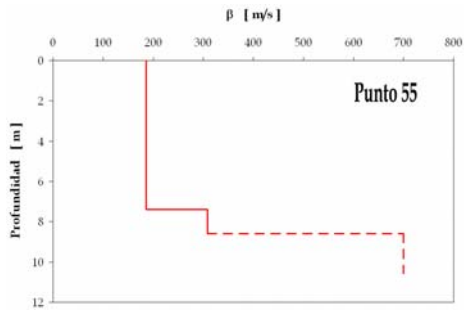




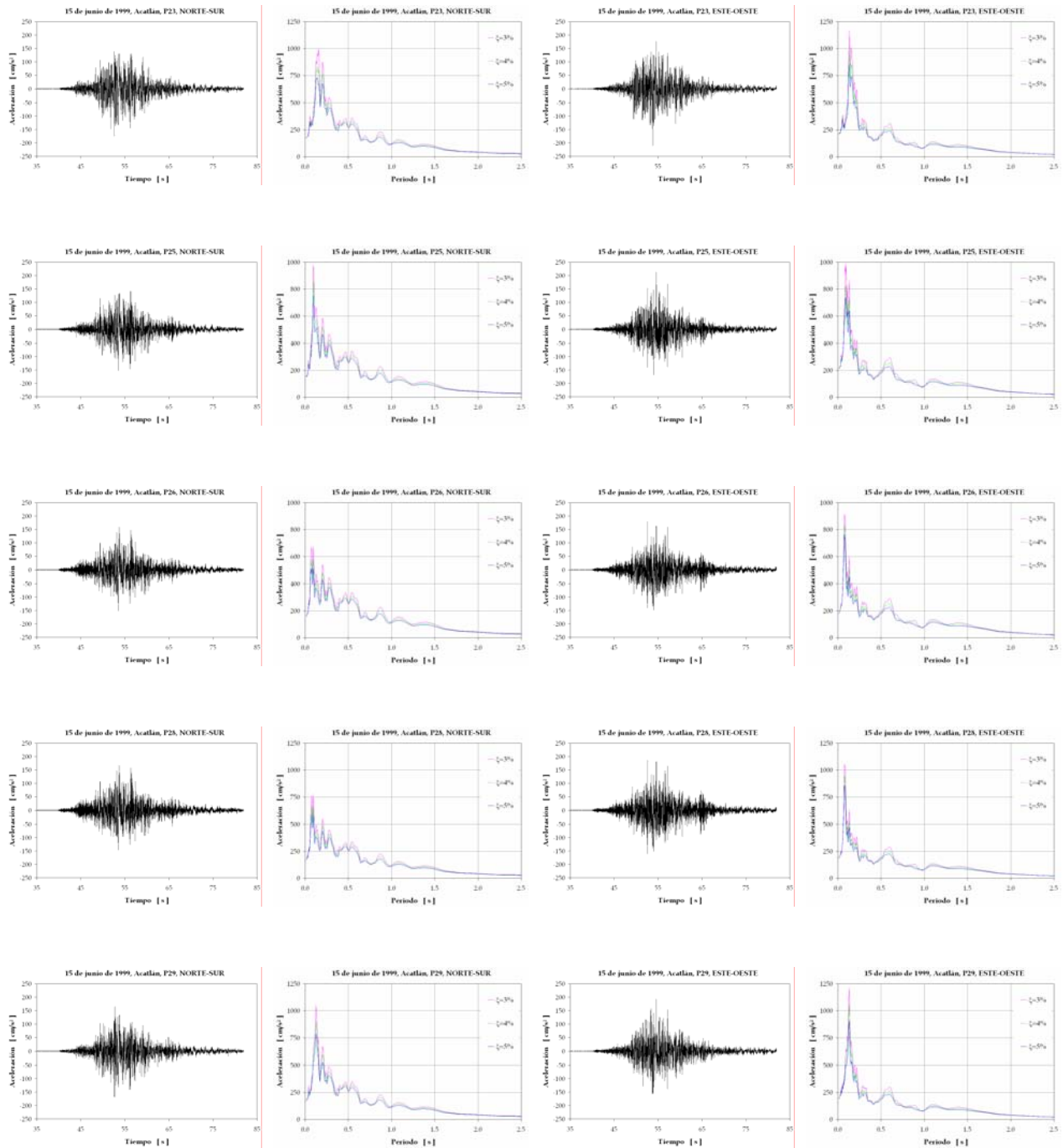




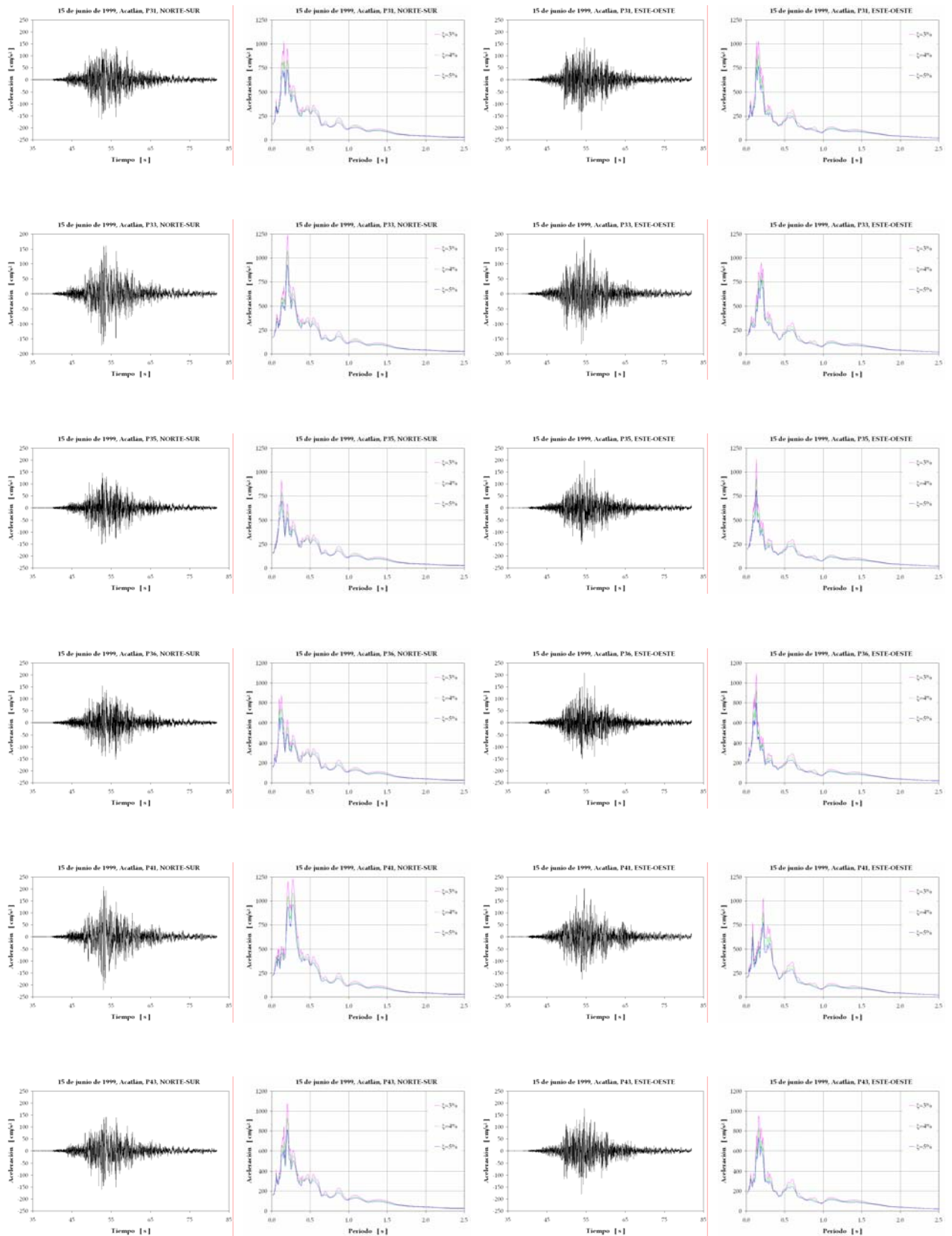




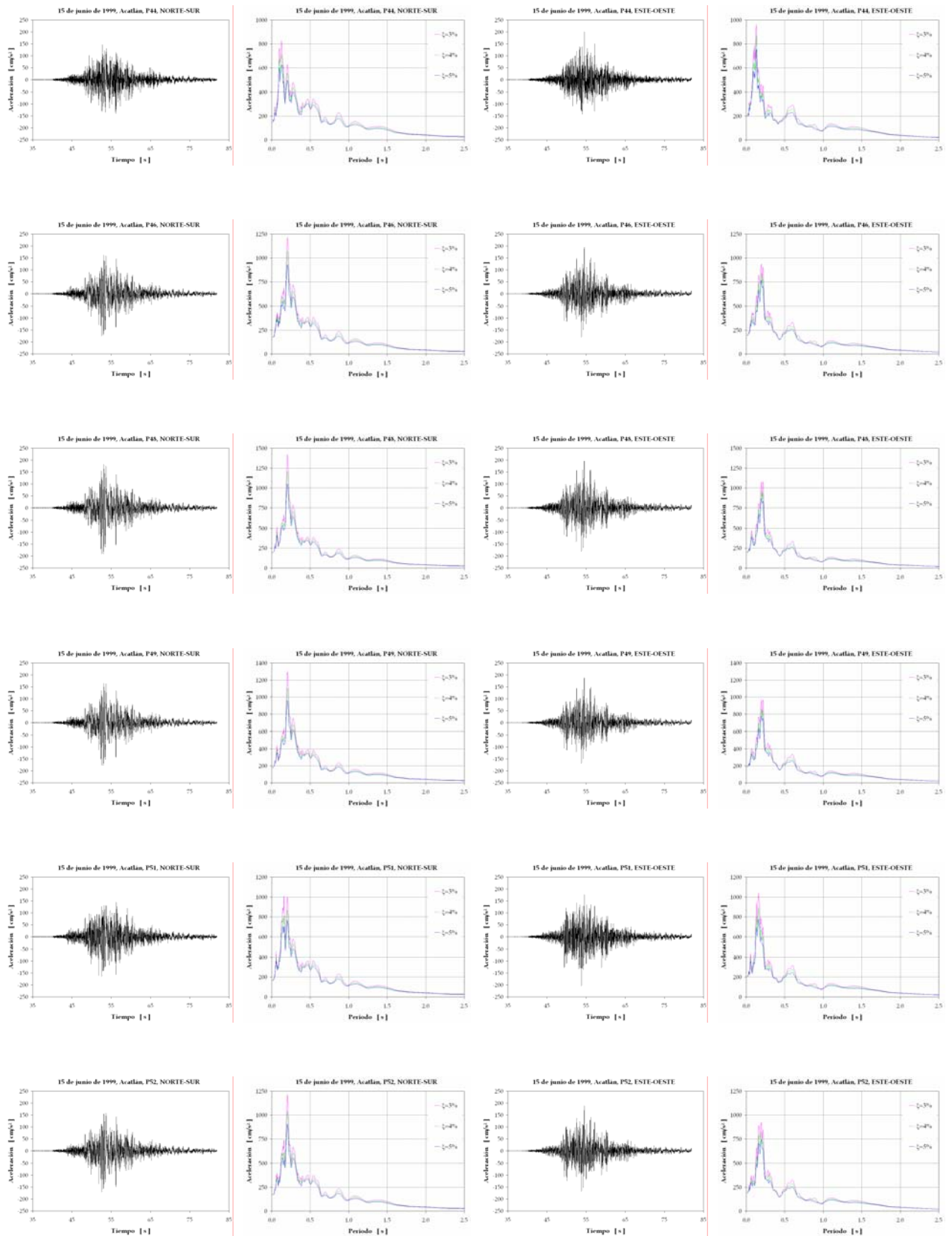
## ANEXO 4 ACELEROGRAMAS TEÓRICOS

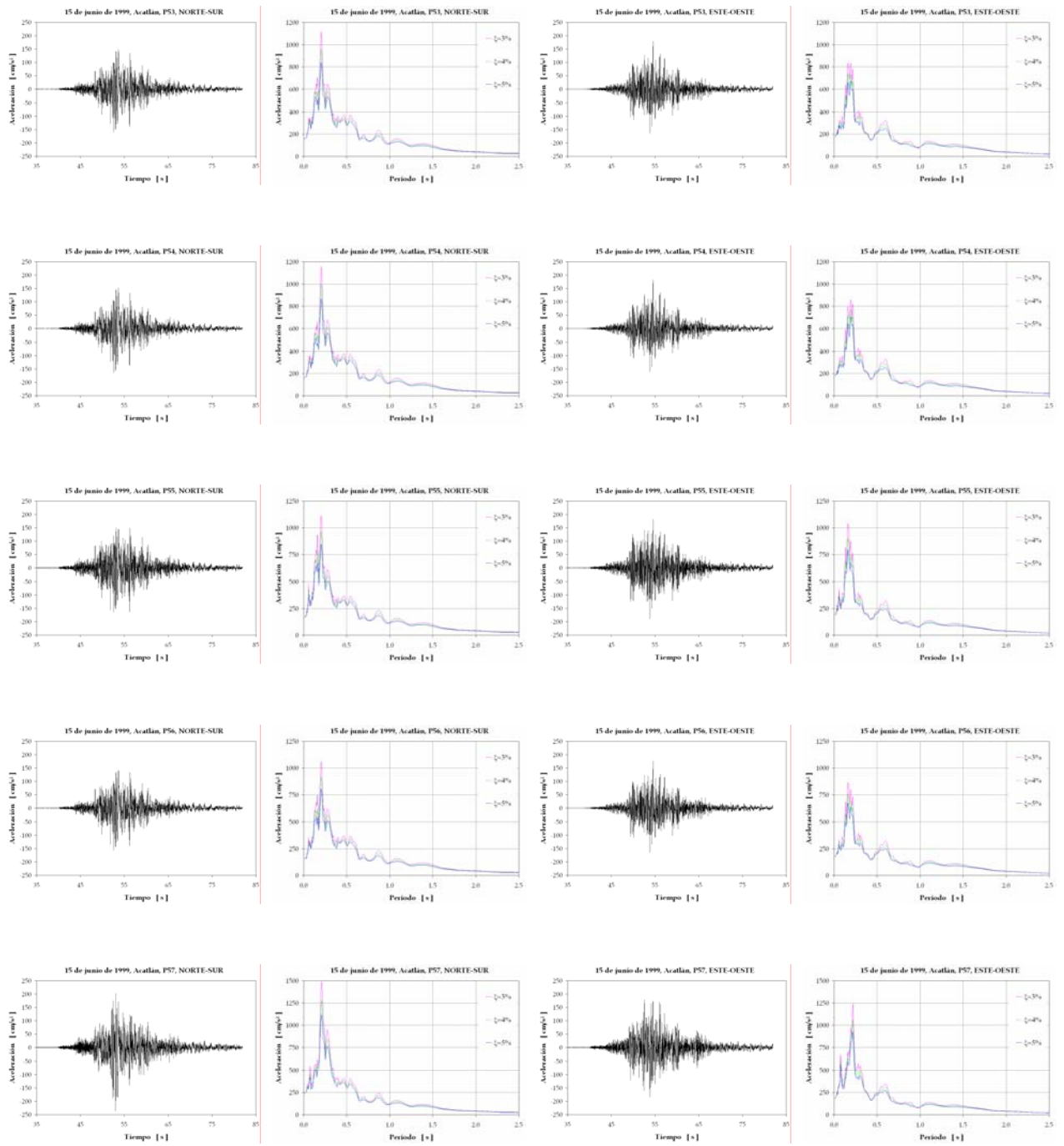












## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aki, K y P G Richards (1980), "Quantitative Seismology, Theory and Methods", W. H. Freeman and Company, San Francisco, California.

Alcocer, S, G Aguilar, L Flores, R Durán, O López-Bátiz, M A Pacheco, C Uribe y M Mendoza (1999), "El sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999", *Boletín informativo del Centro Nacional de Prevención de Desastres*, 160 pp.

Avilés, J y V Trueba (1991), "Criterios de caracterización de sitio con fines de microzonificación sísmica: Manual de diseño por sismo de la CFE", *Memorias, IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Manzanillo, Colima.

Bard, P Y, A M Duval, B Lebrun, C Lachet, J Riepl, y D Hatzfeld (1997), "Reliability of the H/V technique for site effects measurement: an experimental assessment", *Seventh International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Istanbul.

Bollinger, G A (1980), "Blast vibration analysis", Southern Illinois University Press, U.S.A, 131 pp.

Caicedo, C, A H Barbat y J A Canas (1994), "Vulnerabilidad sísmica de edificios", Monografías de Ingeniería Sísmica, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona.

Comisión Federal de Electricidad (1993), "Diseño por Sismo", *Manual de Diseño de Obras Civiles*, México.

Computers and Structures Inc. (1997), "SAP2000, Analysis Reference", Vol. I y II, University of California at Berkeley.

Corazao, M y M Blondet (1975), "Estudio experimental del comportamiento estructural de construcciones de adobe frente a sollicitaciones sísmicas", Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú.

Corona, G A y T Perea (2000), *Sistema Digital de Daños (SDD) – Sismo de Tehuacán del 15 de junio de 1999*, CD-ROM, Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Puebla.

Chávez-García, F J, J Cuenca, J Lermo y H Mijares (1995), "Seismic microzonation of the City of Puebla, Mexico", *Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, St. Louis, Missouri, USA, pp. 545-548.

Chopra, A K (1995), "Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering", Edit. Prentice-Hall, pp. 156-158.

Díaz-Rodríguez, J A (2000), "Determinación de las propiedades dinámicas de los suelos", Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, Cuaderno de Investigación número D-104, 85 pp.

Di Pascuale, E y A Cakmak (1988), "Identification of the serviceability limit state and detection of the seismic structural damage", Technical Report NCEER-88-0022, National Center for Earthquake Engineering Research, Princeton University, USA.

Dirección de Obras Públicas del Municipio de Acatlán de Osorio, Puebla (1999), "Distribución de los daños causados por el temblor del día 15 de junio de 1999", Archivo del H. Ayuntamiento Constitucional de Acatlán de Osorio, Puebla.

Dolce, M (1994), "Vulnerability and Risk Analysis", Report of the Working Group of the European Association for Earthquake Engineering, *Proceedings of the 10<sup>th</sup> ECEE*, Viena, Austria.

ESRI Incorporation (ESRI, 2001), ArcGIS 8.1 - Professional GIS for the Desktop, ArcGIS Desktop Guide.

Figueroa, J (1963), "Isosistas de macrosismos mexicanos", Serie Azul del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 67, pp. 45-67.

Figueroa, J (1970), "Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana", Serie Azul del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 272, pp. 1-20.

Figueroa, J (1974), "Sismicidad en Puebla. Macrosismo del 28 de agosto de 1973", Serie Azul del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 343, 68 pp.

Figueroa, J (1986), "Isosistas de grandes temblores ocurridos en la República Mexicana", Serie Amarilla del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Finn, W D L (1991), "Geotechnical engineering aspects of microzonation", *Fourth Conference on Seismic Zonation*, Stanford, California, Vol. I, pp. 199-259.

GNDT (1990), "Rischio sismico di edifici pubblici", Consiglio Nazionale delle Ricerche, Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti.

Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2002), "Normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", Anteproyecto del Comité de Normas, México, D.F., 47 pp.

Gobierno del Distrito Federal (GDF, 2004), "Normas técnicas complementarias para diseño por sismo", Anteproyecto del Comité de Normas, México, D.F., 47 pp.

Gómez, R T, y G J González-Pomposo (1983), "Zonificación sísmica del estado de Puebla", *Memorias, VI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Puebla, Puebla, pp. 25-38.

González-Pomposo, G J, y C Valdés-González (1995), "Seismicity of the State of Puebla, Mexico, 1986-1989", *Geofísica Internacional*, Vol. 34, No. 2, pp. 221-231.

Grünthal, G (1998), "European Macroseismic Scale 1998. EMS-98", Conseil de L'Europe, Cahiers du centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Vol. 15.

Gutiérrez, C (1999), "Mapa de intensidades sísmicas del evento del 15 de junio de 1999, Mw 7.0, Tehuacán, Puebla", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán, pp. 736-743.

Gutiérrez, C y S K Singh (1992), "A site effect study in Acapulco, Guerrero, Mexico: comparison of results", *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 78, pp. 42-63.

Hardin, B O y V P Drnevich (1972), "Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter", *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, American Society of Civil Engineering, Vol. 98 (SM6), pp. 603-624.

Haskell, N A (1962), "Crustal reflection of plane P and SV waves", *J. Phys. Earth.*, No. 67, pp. 4751-4767.

Haskell, N A (1964), "Radiation patterns of surface waves from point source in a multi-layered medium", *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 54, pp. 377-393.

Hernández, O, R Meli, M Padilla y E Valencia (1981), "Refuerzo de la vivienda económica en zonas sísmicas. Estudios experimentales", Serie Azul del Instituto de Ingeniería, UNAM, México, No. 441, 86 pp.

Iglesias-Jiménez, J, J Iglesias-Villarreal, M Ramírez-Centeno, B Gómez-González, J J Guerrero-Correa, C Ruiz-Acevedo e I Salgado-Salazar (1999), "Mapa de intensidades del sismo del 15 de junio de 1999", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán, pp. 744-753.

INEGI (1988), Carta topográfica "Acatlán de Osorio", clave E14-B83, escala 1:50 000.

INEGI (1990), Carta geológica "Cuernavaca", clave E14-5, escala 1:250 000.

INEGI (2000), "XII Censo General de Población y Vivienda. Tabulados Básicos", página Web [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx).

Instituto de Ingeniería - UNAM, "Acelerograma registrado en la estación CHFL durante el sismo del 15 de junio de 1999 (Mw=7.0, mb=7.0)", Coordinación de Instrumentación Sísmica.

Jean, R y J Cesín (2000), "Recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", *Memorias, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, León, Guanajuato, México, artículo No. 37.

Juárez-García, H, A Gómez-Bernal, A Terán-Gilmore, E Sordo-Zabay, E Arellano-Méndez, M Corona-Loera, T Perea-Olvera, D Hernández-Herman, G Rangel-Torres, G Arzate-Juárez, H Ramírez y M Jara-Díaz (1999), "Intensidades y daños asociados al sismo del 15 de junio de 1999", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán, pp. 754-765.

Kanai, K y T Tanaka (1954), "Measurement of the microtremor", *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, No. 32, pp. 199-209.

Kanai, K y T Tanaka (1961), "On microtremors. VIII", *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, No. 39, pp. 97-114.

Laboratorio y Calidad Total Aplicada, S.A. de C.V. (LAByCTA, 2003), *Estudio geotécnico realizado para el diseño del pavimento en la Avenida Mina del Municipio de Acatlán de Osorio*, 18 pp.

Lermo, J, M Rodríguez y S K Singh (1987), "Observaciones de microtemblores y su aplicación en la ingeniería sísmica", *Memorias, VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Querétaro, Qro.

Lermo, J y F J Chávez García (1993), "Site effect evaluation using spectral ratios with only one station", *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 83, pp. 1574-1594.

Lermo, J y F J Chávez-García (1994), "Site effect evaluation at Mexico City. Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremors records", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, No. 13, pp. 413-423.

Lachet, C and P Y Bard (1994), "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique", *J. Phys. Earth.*, No. 42, pp. 377-397.

Lumbier, M (1928), "Megasismos recientes en Puebla y Oaxaca", *Folleto de Divulgación*, No. 31, Instituto de Geofísica, UNAM.

Miranda, E (1991), "Seismic evaluation and upgrading of existing buildings", Ph. D. Thesis, University of California at Berkeley, Berkeley, California.

Muriá, D, O Hernández y E Mena (1980), "Reporte de daños observados en la región epicentral del sismo de Huajuapán de León, octubre 24, de 1980", Reporte Interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto 0769, México, 33 pp.

Nakamura, Y (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface", *QR of RTRI*, No. 30, pp. 25-33.

Ohsaki, Y y R Iwasaki (1973), "On dynamics shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits", *Soil and Foundations*, No. 13, pp. 61-73.

Ordaz, M, J M Jara y S K Singh (1989), "Riesgo sísmico y espectros de diseño en el estado de Guerrero", *Memorias, VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Acapulco, Gro.

Ordaz, M y C Montoya-Dulché (2003), Programa Degtra A4 versión 4.0.7, Instituto de Ingeniería, UNAM.

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE, 2003), Norma NMX-C-414-1999, "Industria de la construcción. Cementos hidráulicos. Especificaciones y métodos de prueba".



- Orozco y Berra, J (1911), "Megasismos en la República Mexicana", *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*, Tomos varios.
- Ortega-Gutiérrez, F (1978), "Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, estados de Puebla y Oaxaca", *Revista del Instituto de Geología*, No. 2, pp. 112-131.
- Ortega-Gutiérrez, F (1993), "Tectonostratigraphic analysis and significance of the Paleozoic Acatlán Complex of southern Mexico", *First circum-Pacific and circum-Atlantic Terrane Conference*, Guanajuato, Mexico, Guidebook of field trip B, pp. 54-60.
- Ortega-Gutiérrez, F, M Elías-Herrera, M Reyes-Salas, C Macías-Romo y R López (1999), "Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections", *Geology*, No. 27, pp. 719-722.
- Osorio-Carrera, E, S García-Isidro, M Ramírez-Centeno, G López-Arciga y C Ruiz-Acevedo (1997), "Propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Tehuacán, Puebla", *Memorias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Veracruz.
- Pardo, M y G Suárez (1995), "Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in Southern Mexico: seismic and tectonic implications", *J. Geophys. Res.*, No. 100, pp. 12357-12373.
- Park, Y, A Ang y Y Wen (1984), "Seismic damage analysis and damage-limiting design of RC building", Technical Report SRS-516, Civil Engineering Studies, University of Illinois.
- Prince, J, J Havskov, J M Espinosa, I Mora, L Alonso, D Muriá y E Mena (1980), "Datos básicos del sismo del 24 de octubre de 1980 cerca de Huajuapán de León, Oaxaca", Reporte Interno del Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto 0768, México, 88 pp.
- Ramírez-Centeno, M, E Osorio, S García, J García, F Rivero y M Ruiz-Sandoval (1997), "Curvas de isoperiodo para la ciudad de Tehuacán, Puebla", *Memorias, XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Veracruz.
- Reglamento de Construcción del Municipio de Puebla (2003), "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCDS)", pp. 81-99.
- Reyes, C y R Meli (1999), "Relaciones de distorsión de entrepiso-daño y velocidades y aceleraciones de piso con incomodidad personal y daño a objetos", *Memorias, XII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Morelia, Michoacán.
- Riquer, G, F Williams, J Lermo, G Torres y R Leyva (2003), "Microzonificación sísmica en la zona conurbada Veracruz - Boca del Río", *Memorias, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Guanajuato-León, Gto.
- Rosenblueth, E (1953), *Teoría del diseño sísmico sobre mantos blandos*, Ediciones ICA, Serie B, No. 14, pp. 3-12.
- Rosenblueth, E, S K Singh, M Ordaz y F J Sánchez-Sesma (1987), "Espectros de diseño para el Distrito Federal", *Memorias, VII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Querétaro, Qro.

Ruiz, C, J Juárez, M Ramírez, M Ruiz-Sandoval, J Aguilar, J Carballo, J J Guerrero, H Juárez y J Iglesias (1993), "Zonificación sísmica de la ciudad de Puebla", *Memorias, X Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Puerto Vallarta, Jalisco.

Safina, S (2003), "Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico", Tesis de Maestría en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cataluña.

Salmorán, M (1995), "Diario de un Pueblo. Acatlán de Osorio", edición particular, 20 pp.

Sánchez-Sesma, F J, S Chávez-Pérez, M Suárez, M A Bravo y L E Pérez-Rocha (1988), "On the seismic response of the valley of Mexico", *Earthquake Spectra* 4, 3, pp. 569-589.

Sandi, H (1986), "Vulnerability and risk analysis for individual structures and systems", *Report of the Working Group of the European Association for Earthquake Engineering*, Proceedings of the 8th ECEE, Lisbon, Portugal.

Sauter, F (1989), "Fundamentos de Ingeniería Sísmica - Introducción a la Sismología", Edit. Tecnológica de Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, pp. 143-151.

Secretaría de Obras Públicas del Estado de Puebla (2004), *Cartografía digital del municipio de Acatlán de Osorio, Puebla*, Subsecretaría de Desarrollo Urbano, Departamento de Ordenamiento Territorial.

Seed, H B e I M Idriss (1970), "Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses", Report EERC-7010, University of California at Berkeley, California.

Sheriff, R E y L P Geldart (1991), "Exploration seismology. History, theory, and data acquisition", Vol. I, Cambridge University Press, pp. 119-126, 263-284.

Singh, S K, J Lermo, T Domínguez, M ordaz, J M Espinoza, E Mena y R Quass (1988a), "A study of amplification of seismic waves in the valley of Mexico with respect to a hill zone site (CU)", *Earthquake Spectra*, pp. 653-673.

Singh, S K, E Mena y R Castro (1988b), "Some aspects of the source characteristics and the ground motion amplifications in and near Mexico City from the acceleration data of the September 19th, 1985, Michoacan, Mexico earthquakes", *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 78, pp. 451-477.

Singh, S K, M Ordaz, J F Pacheco, R Quass, L Alcántara, S Alcocer, C Gutiérrez, R Meli y E Ovando (1999), "A Preliminary Report on the Tehuacán, México Earthquake of June 15, 1999 (Mw = 7.0)", *Seismological Research Letters*, Vol. 70, No. 5, pp. 489-504.

Singh, S K, M Ordaz, L Alcántara, N Shapiro, V Kostoglodov, J F Pacheco, S Alcocer, C Gutiérrez, R Quass, T Mikumo y E Ovando (2000), "The Oaxaca Earthquake of 30 September 1999 (Mw = 7.5): A Normal-faulting Event in the Subducted Cocos Plate", *Seismological Research Letters*, Vol. 71, No. 1, pp. 67-78.

Singh, S K y M Wyss (1976), "Source parameters of the Orizaba earthquake of August 28, 1973", *Geofísica Internacional*, No. 16, pp. 165-184.

Suárez, G, T Monfret, G Wittlinger y C David (1990), "Geometry of subduction and depth of seismogenic zone in the Guerrero gap, México", *Nature*, Vol. 345, No. 6273.

Terán, A (1997), "Energy concepts and damage indices", Página Web de la Universidad de California en Berkeley <<http://nisee.berkeley.edu/lessons/general.htm>>.

Thomson, W T (1950), "Transmission of elastic waves through a stratified solid medium", *J. Appl. Phys.*, No. 21, pp. 89-93.

Trueba, V (1991), "Determinación de las propiedades mecánicas del subsuelo con fines de microzonificación sísmica", *Memorias, IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Manzanillo, Colima.

Udwadia, F E y M D Trifunac (1973), "Comparison of earthquake and microtremor ground motions in El Centro, California", *Bulletin of the Seismological Society of America*, No. 63, pp. 1227- 1253.

Valles, R, A Reinhorn, S Kunnath, C Li y A Madan (1996), "IDARC 2D Version 4.0: A program for the inelastic damage analysis for building", Technical Report NCEER-96-0010, National Center for Earthquake Engineering Research, New York.

Yamamoto, J, Z Jiménez y R Mota (1984), "El temblor de Huajuapán de León, Oaxaca, México, del 24 de octubre de 1980", *Geofísica Internacional*, No. 23, pp. 83-110.