

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA
(UNAN RURD-MANAGUA)

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA.

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION.

INGENIERIA CIVIL.



Monografía para optar al título de Ingeniero Civil.

“Espectro de diseño y zonificación sísmica basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana de la ciudad de Mateare”.

Autores:

Br. Allan Kadir Castro Osorno.

Br. Jorgen Martin Pérez Pérez.

Tutor:

M.Ph. Edwin Nadir Castrillo.

Managua, Nicaragua

Julio del 2016.

DEDICATORIAS.

Allan Castro:

Este trabajo lo dedico primeramente a Dios por darme el entendimiento y sabiduría que se requería para llegar a este momento especial en mi vida, por los momentos difíciles que tuve que pasar en el transcurso de este periodo pero que gracias a Él con esfuerzo y perseverancia logre atravesar por diferentes dificultades.

A mis padres, Héctor Castro y Martha Osorno. Ustedes dieron lo mejor de sí para conmigo que sin su ayuda no hubiera podido culminar esta meta que propuse en mi vida, gracias por su confianza, comprensión y apoyo en cada paso de mi carrera y el transcurso de mi vida.

A mis hermanos y amigos que igual sus consejos fueron parte de mi fortaleza para atravesar cada adversidad que encontré en este largo periodo de mi vida, sus palabras de ánimo significan mucho para mí, gracias por su apoyo.

¡GRACIAS!

Jorgen Pérez:

A Dios que es el protagonista de mi existencia, quien ha sido mi fuerza y motivación en los momentos difíciles en todo el transcurso de mi vida académica, que con su amor y su gracia me ha sostenido firme en el cumplimiento de mis metas; por ello, con todo mi agradecimiento y humildad de mi corazón dedico primeramente mi trabajo a Dios, que me dio la sabiduría y el entendimiento para terminar exitosamente mi carrera profesional, ayudándome a reconocer mis faltas y mis debilidades, guardándome de todo peligro y sosteniéndome a pesar de mis errores.

Dedico de manera muy especial, con gran admiración y amor a mi madre María Victoria Pérez este triunfo más en mi vida. Que con su amor y esfuerzo ha sido la base en mi formación profesional, dándome su apoyo incondicional y animándome en cada momento para no dejar de seguir con mi propósito; ella ha sido ejemplo de valentía y de superación en medio de las tristezas, planto en mí el valor de la responsabilidad y el deseo de luchar hasta lograr alcanzar esta meta la cual gracias a ella está cumplida.

A mis hermanos Francisco Javier Delgado Pérez y Geovanny Antonio Delgado Pérez, que siempre me han deseado lo mejor, con los cuales he compartido aquellos momentos tristes y alegres que se presentan en la vida, ellos con su cariño de hermano han sido parte de todo este trayecto culminado.

A todas aquellas personas que con su aprecio y humildad han sido participes de todo mi crecimiento profesional, que nunca dejaron de creer en mi capacidad de poder lograr mis sueños, agradezco toda la comprensión y motivación que me brindaron para poder alcanzar mi meta, gracias les doy de corazón por haber sido mi compañía en mi formación profesional.

¡GRACIAS!

AGRADECIMIENTOS.

Allan Castro – Jorgen Pérez.

Agradecemos a Dios por su dirección, por su luz y su gran misericordia que nos proveyó en cada instante, por darnos la vida y por ayudarnos a lograr llegar a este momento agradable e inolvidable resguardándonos ante toda dificultad, gracias a Dios culminamos nuestra carrera.

A nuestro tutor. MSC. Edwin Nadir Castrillo, que nos dedicó el tiempo necesario para llevar a cabo esta investigación de tesis, guiándonos en la recopilación de la información, en los levantamientos de campo y transmitiéndonos sus conocimientos sobre el estudio y análisis del problema, esto nos ha aumentado la capacidad intelectual como profesionales, agradecemos su importante amistad que nos brindó durante el periodo de investigación y por haber creído y puesto su confianza en nosotros.

A todos los profesores del Departamento de Construcción, que durante todo el trayecto de nuestra formación académica han sido muy importantes transmitiéndonos sus conocimientos y experiencias vividas, que han sido herramientas y consejos que hemos tomado como un valor indispensable en nuestro desarrollo como profesionales.

Finalmente agradecemos a todos los compañeros de clases, con los cuales compartimos y adquirimos juntos todas las enseñanzas transmitidas por los profesores durante cada jornada de clase en todos los años anteriores de la formación académica, ellos fueron parte de la conclusión de nuestra tesis, aprendiendo a ser mejores como persona y como profesionales.

¡GRACIAS!

Tabla de Contenido.

Dedicatorias.....	i
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
Índice de Figuras.....	viii
Índice de Tablas.....	x
1. Introducción.....	11
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Justificación.....	14
1.3 Planteamiento del problema.....	15
1.4 Alcances y limitaciones.....	16
2. Objetivos.....	17
2.1 Objetivo General.....	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
3. Descripción del Área de Estudio.....	18
3.1 Área de estudio.....	18
3.2 Geología de Mateara, Managua.....	19
3.2.1 Litología y estratigrafía.....	19
3.2.2 Estructura geológica.....	21
3.3 Marco geológico-estructural regional.....	23
3.3.1 Fallas dentro del graben de Managua.....	23
4. Marco Teórico.....	27
4.1 Definiciones.....	27
4.1.1 Periodos de vibración.....	27

4.1.2 Microtremores.....	28
4.1.2.1 Características de microtremores.....	30
4.1.3 Microzonificación sísmica.....	31
4.1.4 Efecto de sitio.....	31
4.1.5 Velocidad de ondas de corte.....	32
4.1.6 Propagación de ondas sísmicas.....	34
4.1.6.1 Ondas de cuerpo (P y S).....	34
4.1.6.2 Ondas superficiales.....	36
4.1.7 Espectro de respuesta.....	38
4.1.7.1 Tipos de espectros.....	38
4.1.7.1.1 Espectro elástico de respuesta.....	38
4.1.7.1.2 Espectro de respuesta inelástico.....	40
4.1.7.1.3 Espectro para diseño sísmico.....	40
4.1.8 Función de transferencia.....	41
4.2 Métodos.....	44
4.2.1 Método para el análisis de micotrepidaciones.....	44
4.2.1.1 Método de relaciones espectrales (REHV).....	44
4.2.2 Método de análisis de respuesta sísmica de sitio.....	46
4.2.2.1 Método lineal equivalente.....	46
5. Metodología.....	50
5.1 Obtención de datos de ruido ambiental.....	50
5.2 Procesamiento y análisis de datos de campo.....	51
5.3 Divulgación de resultados.....	51
6. Análisis de Resultados.....	52
6.1 Periodos fundamentales del suelo.....	52
6.1.1 Adquisición de datos geofísicos.....	52
6.1.2 Análisis de periodos fundamentales del suelo.....	53
6.1.3 Familia de curvas.....	56
6.1.4 Propuesta de zonificación sísmica para la ciudad de Mateare.....	59

6.2 Modelo de velocidades de ondas de corte Vs.....	61
6.2.1 proceso para la comparación de curva teórica respecto a la curva de razón espectral H/V.....	61
6.2.2 Análisis de la comparación de curva teórica con la curva de razón espectral H/V.....	61
6.3 Espectro de respuesta.....	64
6.3.1 Procesamiento de análisis de espectro de respuesta.....	64
6.3.2 Interpretación de los espectros de respuesta.....	65
6.3.3 Comparación entre espectros de respuesta.....	69
7. Conclusiones.....	73
8. Recomendaciones.....	75
9. Bibliografía.....	77
Anexos.....	80
Anexos 1: Levantamiento de datos de microtemores.....	81
Anexos 2: Gráficos de curvas procesadas, de razón espectral H/V, extraídas desde DEEPSOIL.....	84
Anexos 3: Perfil geológico de pozos existentes de Mateare.....	88
Anexos 4: Espectros de respuesta considerando el modelo de suelos obtenido.....	93

RESUMEN.

La sismología es el estudio científico de las vibraciones mecánicas de la tierra. Dicho estudio se lleva a cabo mediante el análisis de datos contenidos en sismogramas, los cuales son grabaciones de vibraciones resultado de eventos naturales, como son: terremotos, erupciones volcánicas o explosiones hechas por el hombre. Tales fenómenos han atraído fuertemente la atención de la humanidad por siglos y aún en nuestro tiempo provocan sentimientos de miedo y misterio además de gran curiosidad intelectual. La modificación que sufre la señal sísmica en diferentes sitios es causada por las alteraciones que sufren las ondas debido a las condiciones geológicas, topográficas y de rigidez del subsuelo. La importancia de conocer estas alteraciones conocidas como “efectos locales”, conduce a la necesidad de realizar estudios de microzonificación en áreas urbanas para detectar aquellas zonas que exhiban problemas especiales.

En esta investigación se realizara el estudio de algunas propiedades dinámicas de los suelos para la ciudad de Mateare con fines de microzonificación sísmica. Específicamente las propiedades dinámicas a determinar serán periodos fundamentales de vibración y velocidades de ondas S. Esto nos servirá para proponer microzonas en la ciudad así como para determinar el espectro de respuesta y compararlo con el espectro de diseño sugerido en el RNC-07. Esto es sumamente importante a la hora de realizar los diseños de edificaciones pues aporta herramientas a los diseñadores para realizar mejores análisis de acuerdo a las propiedades dinámicas de los suelos de la ciudad. Para obtener los periodos fundamentales de vibración del suelo se realizaran 50 mediciones de Microtremores en diferentes puntos del área de estudio.

Posteriormente se realizara el análisis de datos obtenidos de las mediciones de Microtremores realizados con un sismógrafo, el análisis será determinado por el programa Geopsy.

ABSTRACT.

Seismology is the scientific study of the mechanical vibrations of the earth. This study was conducted by analyzing data contained in seismograms, which are recordings of vibrations result of natural events such as earthquakes, volcanic eruptions or man-made explosions. Such phenomena have strongly attracted the attention of mankind for centuries and even in our time cause feelings of fear and mystery besides great intellectual curiosity. The modification undergoes seismic signal at different sites is caused by alterations suffered waves due to geological, topographical and stiffness of subsoil conditions. The importance of knowing these alterations known as "local effects", leads to the need for studies of micro-zoning in urban areas to detect those areas exhibiting special problems.

In this research, the study of some dynamic properties of soils for the city of Mateare purposes microzonation be held. Specifically determine dynamic properties will be fundamental periods of vibration and wave velocities S . This will serve us to propose micro-zones in the city as well as to determine the response spectrum and compare it with the design spectrum suggested in the RNC-07. This is extremely important when making designs buildings provides tools for designers to make better analysis according to the dynamic properties of soils in the city. For the fundamental periods of vibration measurements of ground microtremor 50 were held in different parts of the study area.

Later analysis of data obtained from microtremor measurements made with a seismograph, the analysis will be determined by the Geopsy program was made.

INDICE DE FIGURAS.

Figura 3.1 *Área de estudio y ubicación de medición d microtremores.*

Figura 3.2 *Estratigrafía de Managua. Fuente: Tomado de Hodgson, 2000.*

Figura 3.3 *Fallas Principales afectando a la Ciudad de Managua y sus alrededores (INETER, Geodesia).*

Figura 3.4 *Zona de subducción o fuente sísmica principal. (INETER).*

Figura 4.1 *Movimiento periódico y no periódico: (a) movimiento armónico simple; (b) movimiento periódico general; (c) movimiento transitorio de impacto; (d) movimiento transitorio de sismo.*

Figura 4.2 *Comportamiento de Microtremores dependiendo del tipo de suelo.*

Figura 4.3 *Figura de Amplitud vs periodo (Chopra, 2001 4ta Edición).*

Figura 4.4 *Propagación de Ondas P (Bolt, 1988).*

Figura 4.5 *Propagación Ondas Secundaria (Bolt, 1988).*

Figura 4.6 *Ondas tipo LOVE (Bolt, 1988).*

Figura 4.7 *Propagación de Ondas Rayleigh (Bolt, 1988).*

Figura 4.8 *Sistema de un grado de libertad: (a) Fuerza aplicada $P(t)$; (b) fuerza inducida por un terremoto (Chopra, 1995).*

Figura 4.9 *Espectro de Diseño Para Nicaragua (RNC-2007).*

Figura 4.10 *Grafica de la Función de Transferencia (Chopra, 1995).*

Figura 4.11 *Curvas típicas de módulo de corte y razón de amortiguamiento.*

Figura 5.1 *Relación Espectral H/V vs Frecuencia Hz. (punto 10).*

Figura 5.2 *Curva de Relación Espectral H/V vs Frecuencia Hz. (punto 28).*

Figura 5.3 *Curvas de la Zona 1.*

Figura 5.4 *Curvas de la Zona 2.*

Figura 5.5 *Curvas de la Zona 3.*

Figura 5.6 *Propuesta de Zonificación Sísmica Para Zona Urbana de Mateare.*

Figura 5.7 *Comparación Curva Teórica Respecto a Curva H/V del Punto 28 (Parte Oeste de la Ciudad de Mateare).*

Figura 5.8 *Número de Estratos de Modelo (DEEPSOIL V6.0).*

Figura 5.9 *Función de Transferencia, Managua 1972 (DEEPSOIL).*

Figura 5.10 *Función de Transferencia, Chichi (DEEPSOIL).*

Figura 5.11 *Función de Transferencia, ImperialValley (DEEPSOIL).*

Figura 5.12 *Función de Transferencia, Northridge (DEEPSOIL).*

Figura 5.13 *Función de Transferencia, Kobe (DEEPSOIL).*

Figura 5.14 *Función de Transferencia, Whittierarrows. (DEEPSOIL).*

Figura 5.15 *Comparación de Espectros con Espectro de Diseño del RNC-07.*

Figura 5.16 *Comparación de Espectros de respuesta con Espectro de Diseño Promedio.*

Figura 5.17 *Comparación de Espectros de respuesta con Espectro de Diseño Máximo.*

INDICE DE TABLAS.

Tabla 4.1 *Clasificación de sitio y tipo de suelo en los primeros 30m de profundidad, según la NEHRP.*

Tabla 4.2 *Clasificación de suelo en los primeros 30m de profundidad, según el EUROCODE 1998.*

Tabla 5.1 *Resultados de Periodo Natural (T_n) y Amplitudes de los puntos estudiados (Obtenidos del GEOPSY).*

Tabla 5.2 *Tabla de zonas según Periodo Natural (T_n) de vibración en la parte urbana de Mateare.*

Tabla 5.3 *Características De Los Sismos Estudiados.*

Tabla 5.4 *Resultados del Análisis De Los Sismos (Obtenidos Por Deepsoil).*

Tabla 5.5 *Factores de amplificación por tipo de suelo, S.*

1. INTRODUCCION.

Nicaragua al igual que el resto de Centro América presentan un alto índice de sismicidad y actividad volcánica, debido a que se ubica en el margen Oeste de la Placa Caribe la cual está siendo presionada por la placa Cocos en su margen Este, en un régimen de subducción convergente y a una velocidad de 8 cm/año en dirección noreste.

Uno de los indicadores de mayor interés para la ingeniería sísmica respecto a las propiedades dinámicas de los suelos es el periodo fundamental de vibración del suelo (T_0) que ha sido mundialmente el más utilizado para estimar lo antes mencionado. En numerosas ocasiones se ha demostrado en terremotos que han ocurrido alrededor del mundo, que el periodo fundamental de los suelos está relacionado a los daños observados en edificaciones, debido al llamado fenómeno de resonancia en el cual tanto el suelo como la estructura coinciden en su forma de oscilar.

La zonificación sísmica consiste en establecer zonas de suelos con comportamiento dinámico similar durante un sismo, de manera que puedan definirse de allí, recomendaciones precisas para el diseño y construcciones de edificaciones sismo resistentes. Para cada una de las zonas, además de especificarse las propiedades dinámicas de los suelos, deben identificarse los tipos de fenómenos asociados que pueden desencadenarse a raíz del sismo, como son los deslizamientos, la amplificación exagerada del movimiento o la posibilidad de la licuación del suelo.

En el caso de no contar con mucha información sísmica, se debe recurrir al uso de otros métodos. Entre las alternativas para obtener datos sísmicos de una región en particular se encuentran las Microtrepidaciones.

La ciudad de Managua, capital de Nicaragua, se ve afectada constantemente ante amenazas sísmicas debido al 59% de fallas sísmicas locales. Y el otro 41% resulta de la zona de subducción (Segura et al. 2000). Por lo que significa que la ciudad se encuentra en permanente amenaza de un gran terremoto ocasionado por cualquiera de las dos fuentes ya mencionadas, como el terremoto ya ocasionado en el año 1972 cuyo origen fue por fallamiento local, y más recientemente el terremoto del 2014 en Mateare.

En el municipio de Mateare según registros sísmicos obtenidos por INETER, se han detectado epicentros subsuperficiales, al este y sureste de El Paraíso y al noroeste de Ciudad Sandino. Los sismos en esta región ocurren con frecuencia, y los temblores son recurrentes.

1.1 Antecedentes.

El terremoto de Managua de 1931 fue un sismo de 6.0 grados en la escala de Richter (INETER, 2002). Que destruyó la capital de Nicaragua, su epicentro fue localizado en la falla del estadio. Causo entre 1200 a 1500 muertes y más de 200 heridos, al igual que dejo muchas pérdidas económicas.

La ciudad de Managua se ha visto afectada por ocurrencia de eventos sísmicos, lo cual está asociado al sistema de fallamiento local. En ocasiones solo han afectado zonas parciales de la ciudad pero otros como se experimentó en el terremoto de 1972 de magnitud de 6.2 grados en la escala de Richter afecto en todo el territorio de la ciudad lo cual tuvo repercusiones en la economía de la Nación. A finales de abril e inicios de mayo de 1955, la región de Mateare y Nagarote fue sacudida por un fuerte sismo conocido como terremoto de Mateare. De este terremoto hay pocas referencias documentales, los sismos fueron iniciados el 29 de abril, continuando hasta el 03 de mayo de 1955, en donde se ocasionaron daños en muchas viviendas y abriendo grandes hendiduras en el suelo. (INETER, 2002).

El ultimo y reciente registro sísmico de mayor escala, fue el ocurrido el 10 de abril del 2014 con una magnitud de 6.2 grados en la escala de Richter, que estremeció a todo el pacifico de Nicaragua según estudios realizados por INETER. Su epicentro se localizó al suroeste del lago Xolotlán, específicamente a 5 km al este de Nagarote y a una profundidad hipocentral de 10 km (INETER, 2002). Este terremoto fue de tipo somero (hipocentro a poca profundidad) e intraplaca, ocasionado por la ruptura de una falla local que aunque activa no estaba documentada, y que aún se desconoce si tiene vinculo o no con las antiguas fallas geológicas de Managua.

1.2 Justificación.

Se considera que la ciudad de Managua es la de mayor desarrollo a nivel nacional en infraestructura, y que se encuentra ubicada en la zona de mayor actividad sísmica.

Hasta antes del terremoto de Mateare del 2014, se consideraba que la ciudad de Managua era la ciudad con mayor probabilidad de ser afectada por terremotos. Sin embargo este terremoto demostró que es importante caracterizar las propiedades dinámicas de los suelos en otras ciudades donde también existe peligro sísmico aunque no se halla documentado.

Por lo anterior, el área de estudio en esta investigación se ubica en el casco urbano del municipio de Mateare en el cual se tomaron 38 registros de Microtemores que posteriormente serán procesados para determinar los periodos de vibración del suelo. Por consiguiente se propuso una zonificación sísmica en el lugar estimado. Además se idealizo un modelo de velocidades de onda S en un sitio seleccionado de la ciudad (Parte Oeste de Mateare) para determinar el espectro de respuesta de diseño y se comparó con el espectro de diseño sugerido por el reglamento nacional de la construcción (RNC-07).

1.3 Planteamiento del Problema.

Toda Nicaragua, está constantemente amenazada por la ocurrencia de un eventual sismo, debido al ambiente sismo tectónico local y regional; lo que se ve evidenciado especialmente en la ciudad de Managua por los terremotos que la han afectado. Después de la experiencia vivida en Diciembre de 1972 ha quedado en evidencia la magnitud de las consecuencias que un eventual terremoto puede causar. La presencia del complejo sistema de fallas superficiales de la ciudad es sin duda la fuente sísmica más peligrosa.

Han sido pocos los estudios realizados para evaluar la respuesta sísmica de sitio, en diferentes regiones del país; aunque, en Managua se ha estudiado un poco más este fenómeno, debido a esta limitante no existe la suficiente información para conocer las características sísmicas de la ciudad de Mateare. Es por ello que en este trabajo investigativo el estudio será idealizado en el área urbana del municipio de Mateare ya que los suelos son vulnerables y no existe información sobre como responderán los suelos de la ciudad de Mateare ante cualquier evento sísmico, como se vivió en el pasado Abril del 2014 el terremoto que estremeció en gran parte a los distintos municipios de Managua, incluyendo el municipio de Mateare.

En el procesamiento de los datos se busca obtener resultados fiables de las características del suelo, en base a la interpretación de los resultados obtenidos, identificando los puntos importantes donde se presentan las variaciones del suelo. Con los valores obtenidos, mediante un análisis espectral, se hace una determinación de las características dinámicas de los suelos. Los resultados representan el tipo de reacción de los mismos cuando son sometidos a cierto tipo de evento sísmico, lo que origina valores importantes para el diseño de futuras estructuras y recomendaciones en su planeación y proyección.

1.4 Alcances y Limitaciones.

Con este estudio se pretende Proponer zonificación basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos en la ciudad de Mateare, que a su vez pueda ser eventualmente considerado como insumo para estudios previos e incrementar la seguridad de los diseños sismo resistentes de estructuras nuevas o de los reforzamientos de estructuras ya existentes, mediante la cuantificación de algunos parámetros de interés a la ingeniería sísmica, y de la descripción de su distribución dentro de la región de estudio. La cuantificación se consigue por medio de mediciones directas de ciertos parámetros, y por la estimación numérica de otros. El estudio presentará una visión bastante amplia e inclusiva en cuanto a la determinación de Espectro de respuesta comparado con sismos ya ocurridos así como el de Managua de 1972 entre otros.

Por otro lado, dado que en algunos sitios (Enacal) ya existe información de las propiedades geotécnicas en general de los suelo, generados de pozos excavados para suministro de agua potable, estas fueron usadas para aproximar las propiedades de los suelos en otros sitios por medio del espectro de respuesta de diseño y función de transferencia. En cuanto el análisis de respuesta de sitio se hace usando el acelerograma del terremoto ocurrido en Managua en 1972, como registros de entrada, e incluyendo otros terremotos ocurridos en países extranjeros. Por último es importante mencionar que los datos de microtemores para la determinación espectral fueron colectados en campo.

2. OBJETIVOS.

2.1 Objetivo General.

- **Proponer espectro de diseño y zonificación basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos en el área urbana de la ciudad de Mateare.**

2.2 Objetivos Específicos.

- **Determinar los periodos fundamentales de vibración de los suelos.**
- **Modelar las velocidades de ondas S basado en método lineal equivalente.**
- **Determinar el espectro de respuesta para registros de sismos seleccionados y compararlo con el espectro de diseño sugerido en el RNC-07.**
- **Proponer espectros de diseño para el área urbana de la ciudad de Mateare.**

3. DESCRIPCION DEL ÁREA DE ESTUDIO.

3.1 Área de Estudio.

El sitio de estudio está ubicado en la ciudad del municipio de Mateare, departamento Managua, la cual fue fundada en 1898 según el Censo Nacional de 1995 la población de Mateare era de 24680 habitantes. Mateare se encuentra ubicada en las coordenadas 12°14'N 86°25'O.

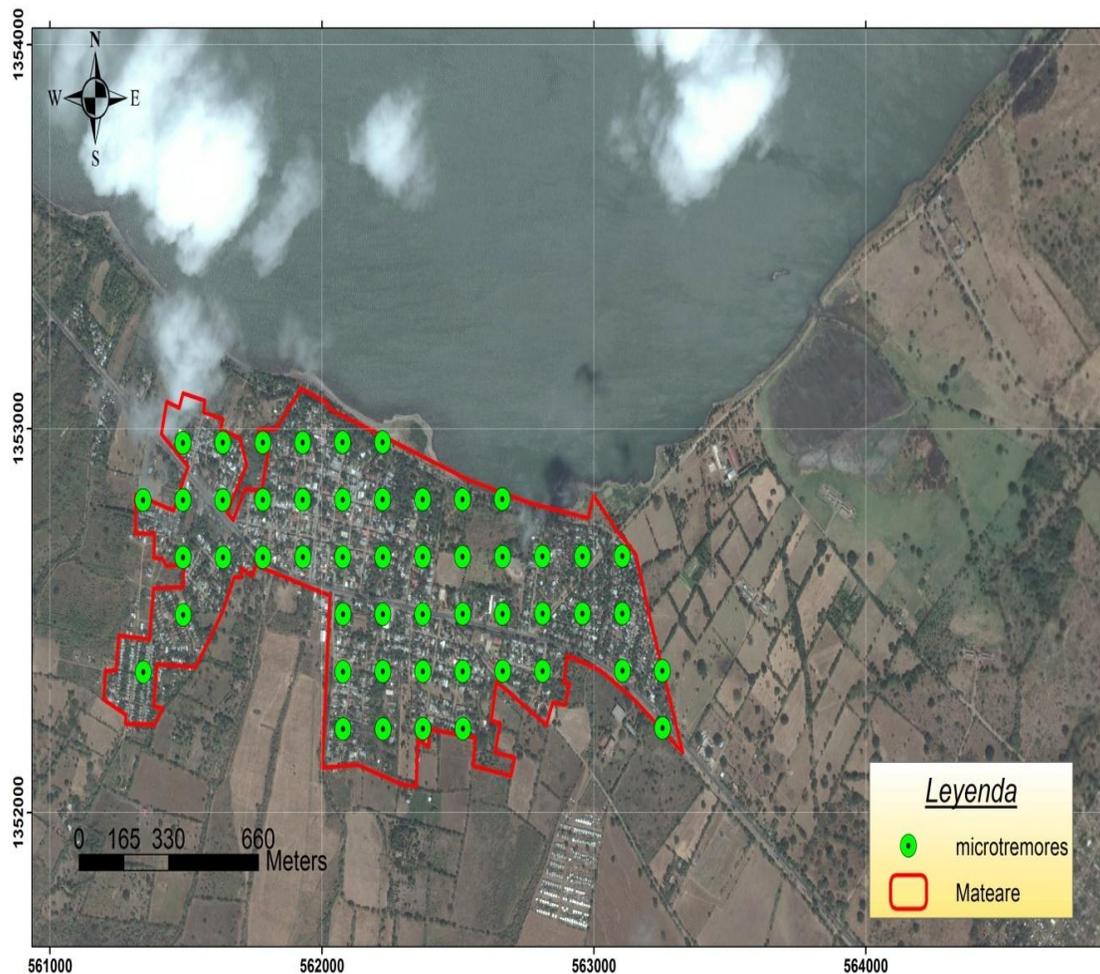


Figura 3.1 Área de estudio y ubicación de medición de Microtremores.

3.2 Geología de Mateare, Managua.

3.2.1 Litología y Estratigrafía (Valle los Brasiles, Mateare).

En esta zona el acuífero está constituido por depósitos aluviales y volcánicos de edad desde el Plioceno, hasta el Reciente. Tratase principalmente de tobas, cenizas, lapilli, pómez, lavas y escorias, a las que se sobreponen, localmente, gravas, arenas, arcillas y limos.

Los depósitos volcánicos más antiguos pertenecen a la formación Las Sierras, de edad Plio-Pleistoceno y constituyen la formación basal sobre la que se han depositados todos los otros depósitos. Los depósitos aluviales, más recientes, prevalecen en la parte occidental de la cuenca, a lo largo de la falla de Mateare (entre las alturas de La Sierra y la costa del Lago de Managua, donde se encuentra la ciudad de Mateare) y de la costa del lago de Managua al Norte de Sabana Grande-Cofradía. Están constituidos generalmente de arenas, de finas a gruesas, pero no faltan lentes arcillosos y limosos, que pueden constituir niveles confinantes para las aguas subterráneas (Estudio de fuentes, Mateare).

Desde su origen el Valle Los Brasiles, comenzó a ser rellenada con piroclastos sueltos a muy consolidados (polvo volcánico, cenizas, lapilli, escorias, pómez, tobas, tobas aglomeráticas, aglomerados tobáceos, aglomerados, e ignimbritas), y Depósitos Coluviales, Fluviales y Aluviales sueltos a algo consolidados (piroclastos re trabajados, areniscas tobáceas, brechas sedimentarias, conglomerados, fanglomerados, lahares y flujos de lodo). La secuencia de rocas que forman el relleno del Valle se reúne en dos grupos:

➤ Grupo Las Sierras.

Compuesto de materiales piro clásticos depositados en ambientes continentales lacustre o de agua someras. En su parte basal son tobas aglomeráticas, con pumicitas que se interdigital con areniscas de la Formación El Salto. Hacia arriba siguen aglomerados tobáceos con pumicita subordinada e intercalaciones delgadas de areniscas. Continúan tobas y aglomerados de basaltos y bombas.

El techo de este grupo consiste de gruesas capas de tobas intercaladas de lapillo. Se estima un espesor total de 650 metros.

➤ **Grupo Managua.**

Es la secuencia geológica más reciente del área de Managua. Su espesor total es menor de los 10 metros en Managua. Consiste en secuencias de depósitos piroclástico proveniente principalmente de dos grupos de volcanes: Grupo Apoyeque con los volcanes Apoyeque, Jiloá, Chiltepe y otros menores ubicados a unos 15 km al Noroeste de Managua. Grupo Masaya-Apoyo a unos 20km al Sureste de la Ciudad.

Los productos provenientes de volcanes ubicados en el área de Managua: Asososca, Nejapa y Tiscapa, se distribuyen en áreas relativamente pequeñas, muy cercana a los aparatos volcánicos. Se describen a continuación secuencia estratigráfica, desde el techo a la base del Grupo de Managua. Esta descripción está basada en estudios realizados por Woodward-Clyde (1975) y GHI (1973).

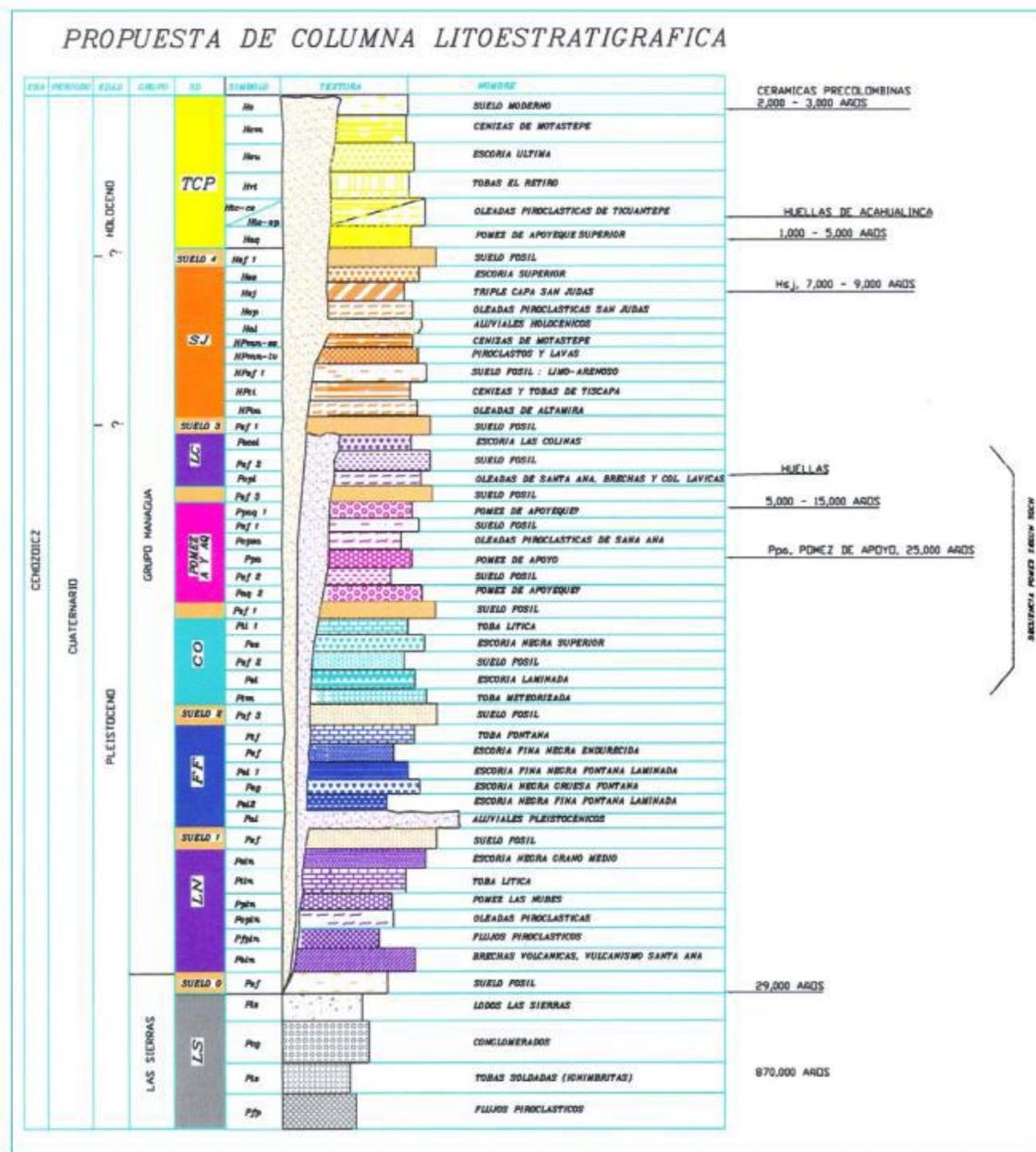


Figura 3.2 Estratigrafía de Managua. Tomado de Hodgson, 2000.

3.2.2 Estructura Geológica.

De acuerdo a la orientación que presentan las fallas y los lineamientos, se reconocen tres direcciones estructurales preferenciales.

Ellas son:

➤ **Sistema Noroeste-Sureste**

Este sistema está estructuralmente ligado a los procesos que produjeron la formación de la Depresión Nicaragüense. En general, las fallas de este sistema son del tipo normal y tienen fuerte expresión topográfica.

La falla más importante perteneciente a este sistema, sobre el borde Occidental, es la falla de Mateare, fácilmente reconocida por su excelente expresión topográfica, consistente en una escarpa bien conservada. Su desplazamiento vertical se estima en unos 200-300 metros. Su traza puede ser seguida a lo largo de unos 37 kilómetros, siendo una de las fallas más largas de este sistema. Otras fallas pertenecientes a este sistema, cortan transversalmente la Caldera de Apoyeque.

➤ **Sistemas N-S y NE-SW**

Estos sistemas son de edad más reciente que el sistema antes descrito, ellos se disponen en forma casi perpendicular u oblicuamente al sistema antes aludido, consiste generalmente de fallas más o menos paralela y de desplazamiento normal, aunque algunas presentan desplazamiento de rumbo.

➤ **Sistema Norte-Sur**

A este sistema corresponde la falla que controla el alineamiento Ticomo-Miraflores. Esta falla segmenta a la cadena Volcánica Cuaternaria en los frentes, que son: Frente Volcánico N-O (Volcán Cosigüina-Volcán Momotombo), y Frente Volcánico S-E (Caldera de Masaya-Volcán Madera).

3.3 Marco Geológico-Estructural Regional.

Fisiográficamente, Managua se ubica dentro de la cordillera volcánica y en la porción central de la Depresión o Graben Nicaragüense, un graben un poco profundo de más de 300 km de extensión y 70 km de ancho, con dirección NO-SE, que cruza el territorio nacional en el sector occidental, paralelamente a la costa del pacífico y a la fosa Mesoamericana. Se extienden desde Guatemala hasta el norte de Costa Rica (Arce, 1973) y es rellenado por una espesa secuencia de depósitos volcánicos, volcanos clásticos, aluviales y lacustres (Woodward-Clyde Consultants, 1975). En su parte media encontramos la cadena volcánica activa de Nicaragua y los grandes lagos: Xolotlan y Cocibolca.

La apertura del graben inicia a finales del terciario (Mio-Plioceno) continuando hasta la actualidad (McBirney y Williams, 1965). A partir de finales del cuaternario (Plioceno), en las porciones más estrechas del graben (McBirney y Williams, 1965) inicia el vulcanismo que dio origen a la cadena volcánica Centroamérica, cuya porción nicaragüense se extiende desde el volcán Cosigüina hasta el volcán Maderas, comprendiendo un gran número de volcanes activos entre ellos, San Cristóbal, Telica, Cerro Negro, Momotombo, Masaya y Concepción. La parte comprendida entre el Volcán San Cristóbal y el Momotombo se denomina Cordillera de los Maribios. Entre el escarpe de Mateare y el Volcán Maderas, la cadena se denomina Cordillera del Pacífico (Hernández, 2009).

3.3.1 Fallas Dentro del Graben de Managua.

Falla Mateare: Define el límite oeste del Graben de Managua. Es un segmento de falla de alrededor de 52km de largo con un rumbo N20-30° W y un escarpe entre 300 a 500 m. La falla proyecta 2 ramales antes de alcanzar el lago de Managua: Uno bajo el lago hacia el volcán Momotombito y otro paralelo a la costa del lago hacia el volcán Momotombo (Martínez, 1994).

Falla Cofradía: Se extiende desde la zona este de la comarca Cofradía hasta el margen oriental del Municipio de Nindirí donde su expresión superficial se disipa al encontrarse con la Caldera de Masaya (Segura, 1984). La Falla Cofradía es una falla normal de orientación N-S que limita por el E el graben de Managua y tiene una longitud de 40 Km (Rauno P. y Rubí C. et al., 2006).

Falla Estadio: Localizada en el margen oeste del antiguo centro de Managua, pasa por el Estadio Nacional de Béisbol y se prolonga hacia el noreste del Lago Xolotlán (Sultan, 1931; Woodward-Clyde, 1975).

Falla Tiscapa: (Velasco, 1973) considera a las fallas Tiscapa, Escuela y Ciudad Jardín como parte un sistema de fallas normales y fracturas dispuestas en echelón al que se denomina sistema Tiscapa. Se le considera causante del terremoto de 1972 (Niccum & Lloyd, 1973).

Falla Aeropuerto: Fue cartografiada por (Kuang, 1973). Debe su nombre por su paso por el extremo Occidental del Aeropuerto Internacional, hacia el norte alcanza la costa del Lago Xolotlán. La Falla Aeropuerto es una falla normal oblicua con una longitud de 152 km y un rumbo promedio de N30E (Cowan H. y Machette N. et al., 2000).

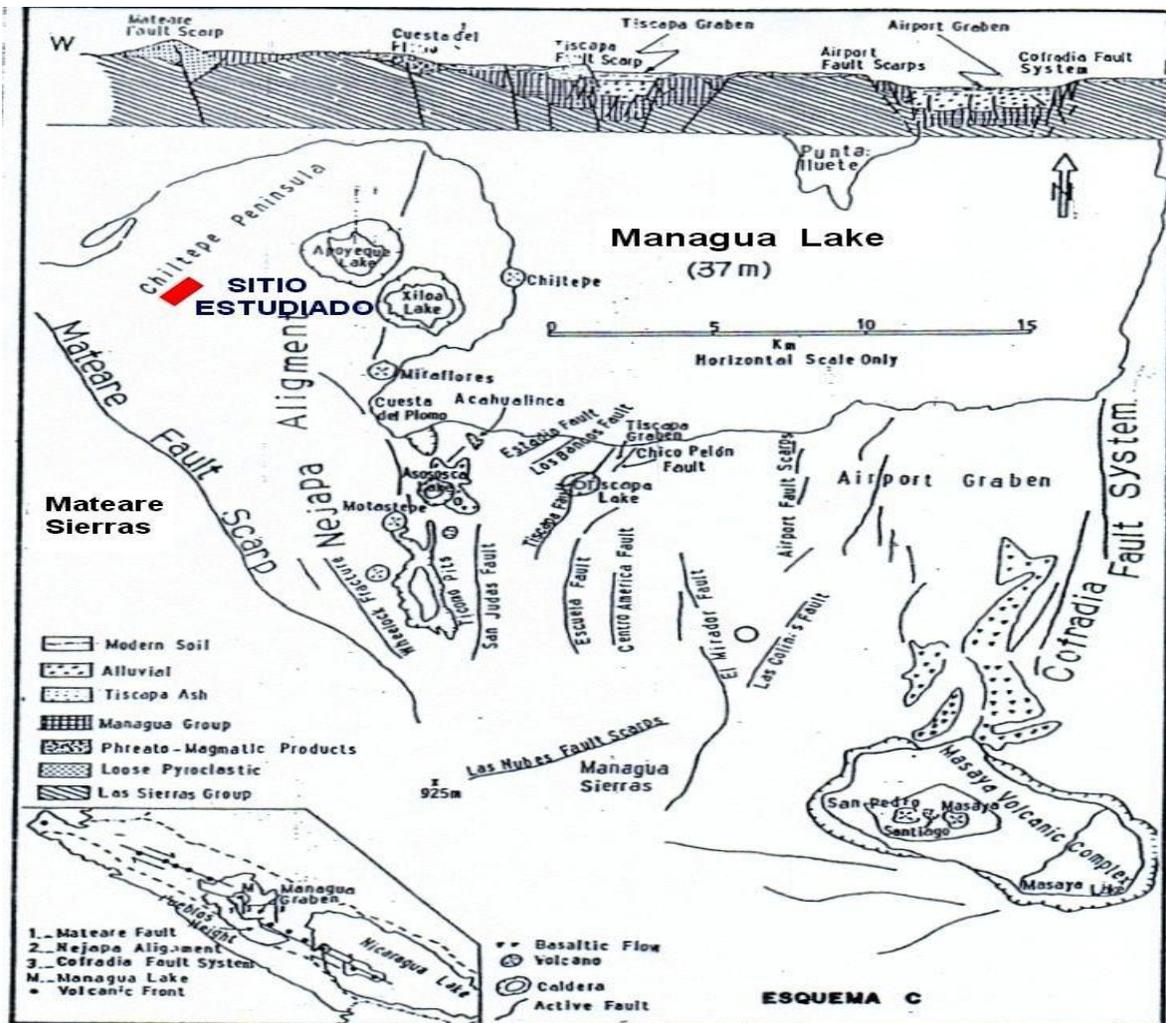


Figura 3.3 Fallas Principales afectando a la Ciudad de Managua y sus alrededores (INETER, Geodesia).

Las zonas sísmicas son áreas específicas en el país donde se produce el movimiento continuo de las placas tectónicas que da lugar a terremotos, medianos o fuertes, con suficiente fuerza para dañar las construcciones, tanto en áreas pequeñas, ciudades o el país entero. En Nicaragua se han diferenciado claramente tres grandes zonas relacionadas con la generación de estos terremotos: zona de subducción, zona sísmica ante arco y zona sísmica tras arco (Cartilla de la Construcción, 2007).

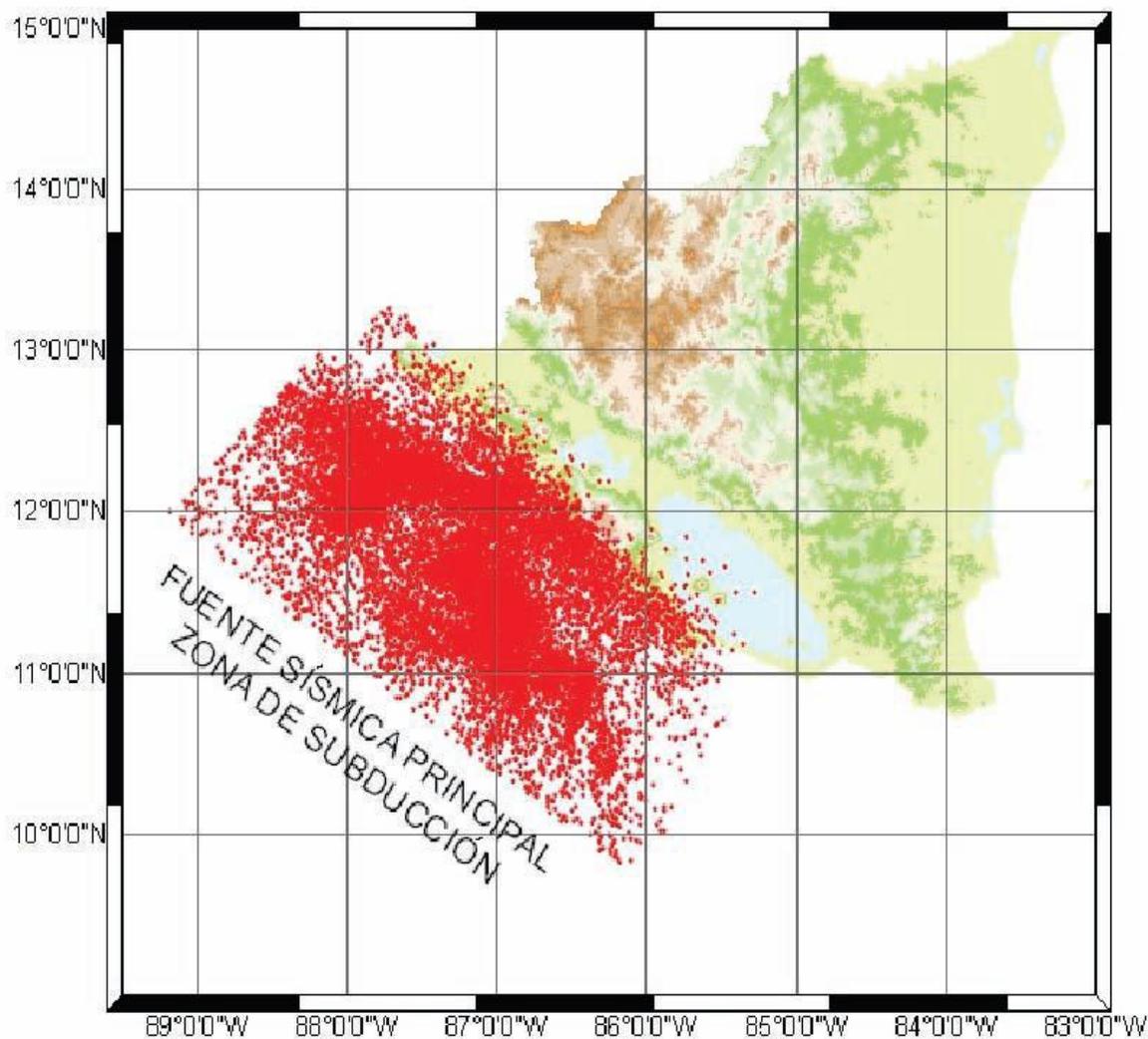


Figura 3.4 Zona de subducción o fuente sísmica principal. (INETER).

4. MARCO TEORICO.

4.1 Definiciones.

4.1.1 Periodos de Vibración.

El período fundamental del suelo (T_0), es uno de los parámetros dinámicos más importante de los suelos, pues definen el comportamiento de estos ante cargas dinámicas (i.e. sísmicas). En numerosas ocasiones se ha demostrado en terremotos que han ocurrido alrededor del mundo que el periodo fundamental de los suelos está relacionado a los daños observados en edificaciones, debido al llamado fenómeno de resonancia en el cual tanto el suelo como la estructura coinciden en su forma de oscilar, por lo que ésta última se ve sometida a mayores esfuerzos y desplazamientos, los cuales pueden conducirla al colapso de existir efecto de sitio (Bermúdez y Franco, 2002, Castrillo 2014).

Una forma económica de calcular el T_s , sin tener que recurrir a costosas perforaciones y ensayos de laboratorios, es el registro de sismos en diferentes sitios de la ciudad, mediante la instalación de una red local de acelógrafos durante algunos meses. A menudo se carece de suficientes instrumentos y el número de sismos necesarios para poder describir el Mapa de T_s de una ciudad, es por esto que en la actualidad la herramienta más usada en el cálculo de T_s en microzonificaciones sísmicas, es el uso de las vibraciones ambientales sin obviar la instrumentación sísmica local.

Las vibraciones del suelo se encuentran divididas en dos categorías: movimientos periódicos y movimientos no periódicos.

Los movimientos periódicos: son aquellos que se repiten en un intervalo regular de tiempo. Un movimiento es periódico y la forma más sencilla de su movimiento es la armónica simple en cuyo desplazamiento varía sinusoidalmente respecto al tiempo. Los movimientos no periódicos: son los que no se repiten y pueden resultar de cargas impulsivas como explosiones o impactos, y de cargas transitorias de larga duración como sismos (Kramer 1996).

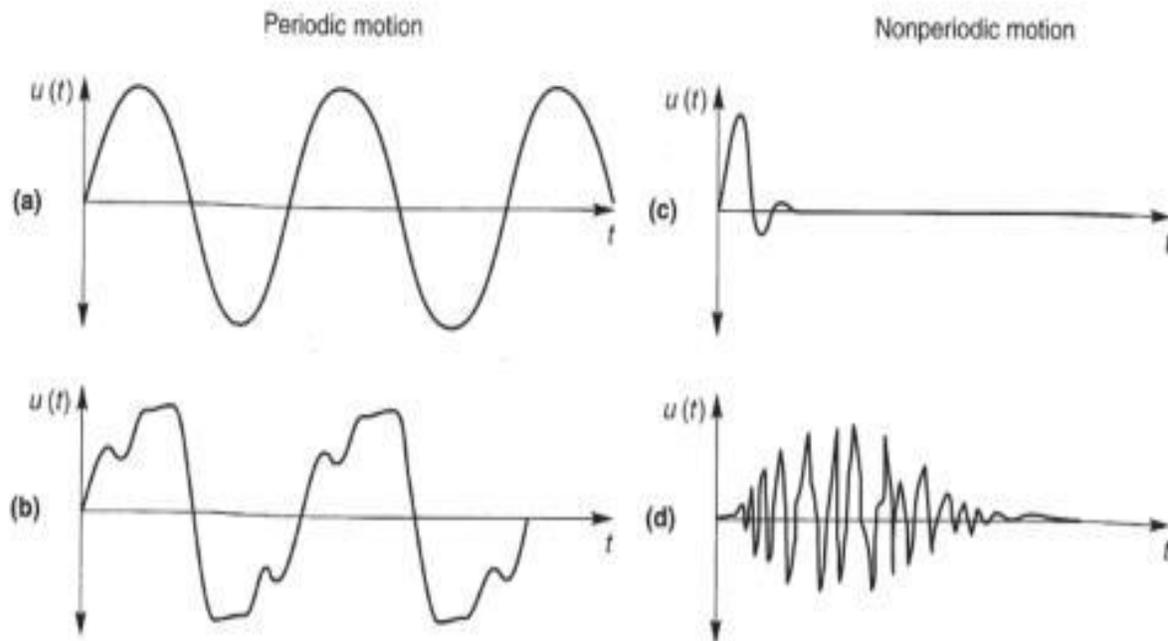


Figura 4.1 *Movimiento periódico y no periódico: (a) movimiento armónico simple; (b) movimiento periódico general; (c) movimiento transitorio de impacto; (d) movimiento transitorio de sismo (Kramer, 1996).*

4.1.2 Microtremores.

Los Microtremores, también llamado ruido ambiental, Microtrepidaciones, microtemblores o ruido sísmico de fondo, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas del suelo y roca por fuentes naturales o artificiales. Existe un amplio rango de contribuciones al ruido de fondo existente que incluyen la presencia de mareas, presión atmosférica, efectos diurnos principalmente asociados con la variación de la temperatura y la actividad inducida por el hombre. La suma de estos tipos de ruido afecta de manera importante en la calidad de los registros sísmicos, de allí que cuando se procede a instalar una estación sísmica es importante evitar la influencia de las fuentes de ruido sísmico, las estaciones sísmicas ya establecidas con el tiempo sufren de incremento del ruido debido a las actividades realizadas por el hombre y a las expansiones de las ciudades.

El ruido es el término genérico usado para denotar las vibraciones ambientales del suelo causadas por distintas fuentes como las ondas de la marea, vientos turbulentos y sus efectos en los árboles o edificios, maquinaria industrial, carros, trenes o actividades del ser humano, Claramente clasificar todos estos tipos de ruido no es una tarea fácil. Gutenberg (1958) estableció una lista de los diferentes tipos de fuente de acuerdo a su frecuencia. Asten (1978) y Henstridge (1984) obtuvieron las mismas conclusiones.

Estos análisis muestran que el ruido básicamente tiene dos diferentes orígenes: naturales y culturales, y difieren en el contenido de frecuencia. Esta diferencia induce a estos autores a distinguir entre microsismos y Microtremores, correspondiendo respectivamente a fuentes naturales y culturales de relativas altas y bajas frecuencias. Basado en el resumen de Gutenberg (1958) y Asten (1978) se puede concluir como una aproximación, que las frecuencias bajas (menores a 1 Hz) son naturales (condiciones meteorológicas), frecuencia intermedias (de 1 a 5 Hz) son naturales y culturales (ruido de la ciudad), y altas frecuencias las fuentes son esencialmente culturales.

Los Microtremores comenzaron a estudiarse desde el siglo pasado para la caracterización de suelos y estructuras. (Omori, 1909) fue el pionero en realizar estos estudios empleando un péndulo inclinado y concluyó que existían vibraciones naturales en el suelo que no correspondían a las sísmicas o pulsaciones oscilatorias. Posteriormente, en los años cincuenta, aparecieron diversas metodologías lideradas por los japoneses sobre el origen y utilización de los Microtremores para el estudio de las propiedades dinámicas del suelo. Actualmente, el desarrollo y mejora de estas metodologías ha permitido aplicarlas en estudios geotécnicos y de estructuración para la estimación de efectos de sitio y modelos de velocidad.

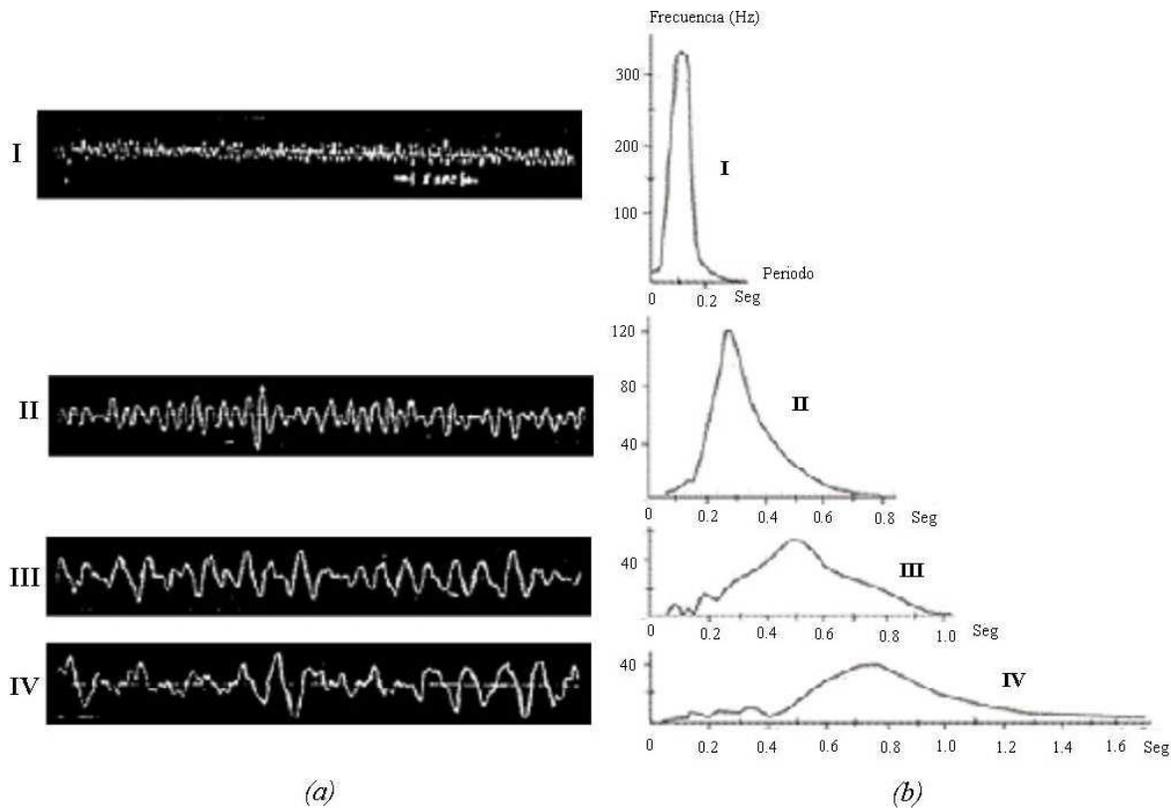


Figura 4.2 Comportamiento de Microtremores dependiendo del tipo de suelo (Omori, 1909).

4.1.2.1 Características de Microtremores.

Entre las características principales de los Microtremores destacan:

- Las amplitudes de los registros de Microtremores obtenidos durante el día son entre 2 y 10 veces más grandes que aquéllos registrados durante la noche, lo que sugiere que las amplitudes de los Microtremores son dependientes de la hora del día en que se realiza su medición y de las fuentes de vibración alrededor del punto de medición.
- Los Microtremores se presentan en un rango de frecuencia entre 0.001 a 30 Hz, aunque la banda de interés está entre 0.1 a 10 Hz, es decir, en el cual la energía se transmite como ondas Rayleigh y cuyos modos y velocidades de propagación se pueden estimar con arreglos instrumentales.

- En general, las características espectrales de los Microtremores pueden correlacionarse con las condiciones geológicas locales (Kanai y Tanaka, 1961). Por ejemplo, los periodos predominantes menores a 0.2 segundos son característicos de rocas duras, mientras que, periodos predominantes superiores a 0.2 segundos son típicos de depósitos más blandos.

4.1.3 Microzonificación sísmica.

Los estudios de microzonificación sísmica consisten en estudios multidisciplinarios, que en general abarcan unos pocos kilómetros delimitados por la zona urbana existente de una ciudad y su posible expansión. Se consideran los efectos que un sismo tendría en la zona, tomando en cuenta los efectos de sitio y las microzonas sísmicas. Los resultados finales quedan representados en un mapa de microzonificación sísmica, donde el área de estudio queda dividida en sectores de diferente riesgo potencial, también llamados zonas de riesgos sísmicos, que se etiquetan de acuerdo con su peligrosidad, en orden ascendente.

Con esto se tendrá la información necesaria para inferir los efectos de un terremoto sobre las edificaciones, dentro de una ciudad (Kilic, Ozener y Atilla Ansal, 2006).

4.1.4 Efecto de Sitio.

Los efectos de sitio son modificaciones en amplitud, duración y contenido frecuencial que experimentan las ondas sísmicas cuando llegan a la superficie. Entre más blando sea el tipo de suelo que exista bajo la estación, mayor será la amplificación (Chopra 2001).

Existen varias técnicas para estimar el nivel de amplificación del suelo o efecto de sitio. Los resultados que se presentan aquí fueron obtenidos luego de dividir las componentes horizontales entre la componente vertical (técnica H/V). Esto da como resultado gráficos similares a los mostrados abajo en los que si el suelo es muy firme o se trata de roca sólida, los valores pico estarían ubicados hacia la

izquierda (períodos cortos inferiores a 0.4 s). Si el suelo es blando, los valores máximos se estarían ubicados hacia la derecha (períodos largos mayores a 0.4 s).

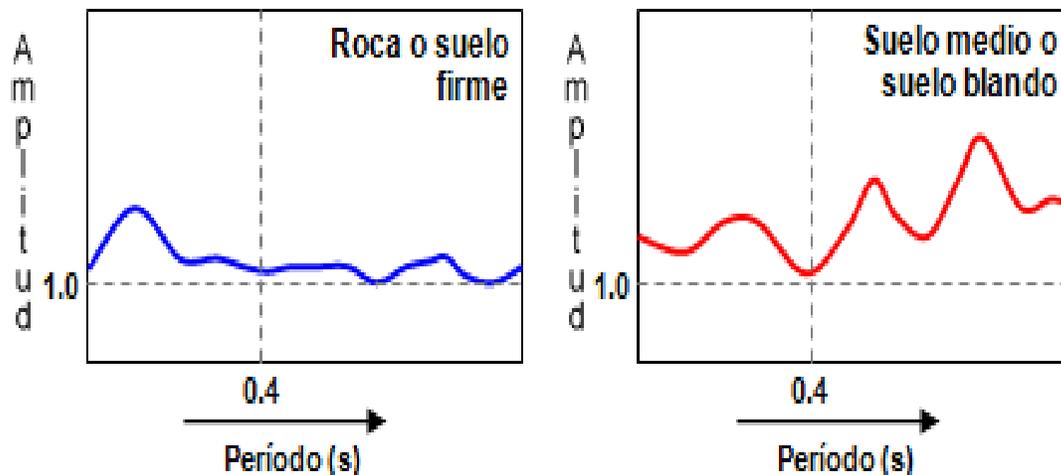


Figura 4.3 Amplitud vs periodo (Chopra, 2001 4ta Edición).

4.1.5 Velocidad de Onda de Corte.

En el suelo se producen 2 tipos de ondas principales, de compresión y de corte. Cuando se producen vibraciones en el suelo, la velocidad de propagación de las ondas de compresión es 70% más rápida que las de corte, en consecuencia las de compresión se registran en un inicio y es por esa razón que se llaman ondas primarias (P) y las de corte ondas secundarias (S) (Kramer, 1996).

Las velocidades de onda de corte son un parámetro muy importante para el análisis del comportamiento dinámico del suelo. Así mismo es una de las principales provisiones sísmicas en la construcción ya que las propiedades elásticas de los suelos en la superficie tienen un rol fundamental en la respuesta sísmica de sitio. Las normas internacionales National Earthquakes Hazard Reduction Programs (NEHRP) y el Eurocode 8 (EC8) han considerado fundamental la velocidad de onda de corte en sitios con alta actividad sísmica para el diseño sismo resistente de las estructuras.

Tabla 4.1 Clasificación de sitio y tipo de suelo en los primeros 30m de profundidad, según la NEHRP.

Clase de sitio	Descripción	Vs (m/s)
A	Roca dura.	>1500
B	Roca.	760-1500
C	Suelo muy denso.	360-760
D	Suelo suave.	180-360
E	Perfil de suelo.	<180
F	Suelo que requieren evaluación de sitio específica.	

Tabla 4.2 Clasificación de suelo en los primeros 30m de profundidad, según el EUROCODE 1998.

Clase de Sitio	Descripción.	Parámetros	
		Vs30 (m/s)	Nspt
A	Roca	>800	-
B	Depósitos con arena densa y grava	360-800	>50
C	Depósitos densos o medio densos de arena y grava	180-360	11-50
D	Depósitos de material suelto y cohesivas medias de suelo.	<180	<15
E	Perfil de suelos con capas superficiales aluviales.		
S1	Depósitos con alto índice de plasticidad.		
S2	Depósitos de suelos con licuefacción.		

4.1.6 Propagación de Ondas Sísmicas.

Las ondas sísmicas son un tipo de onda elástica fuerte en la propagación de perturbaciones temporales del campo de tensión que generan pequeños movimientos en los suelos. Las ondas sísmicas pueden ser generadas por movimientos telúricos naturales, los más grandes de los cuales pueden causar daños en zonas donde hay asentamientos urbanos. Existe toda una rama de la sismología que se encarga del estudio de este tipo de fenómenos físicos. Las ondas sísmicas pueden ser generadas también artificialmente como por ejemplo mediante el uso de explosivos o camiones. (Zúñiga, 2011).

Cuando una falla libera energía por debajo de la superficie de la tierra, las ondas de cuerpo viajan alejándose del foco de todas las direcciones. Debido a que el suelo se encuentra compuesto por distintos materiales geológicos, las ondas sufren cambios en su comportamiento en las fronteras entre estratos. La respuesta del movimiento del suelo puede predecirse si se asocia con la teoría de propagación vertical de ondas de corte a través de la teoría visco elástica lineal (Zúñiga, 2011).

Las ondas sísmicas se dividen en dos categorías:

- Ondas de cuerpo.
- Ondas superficiales.

4.1.6.1 Ondas de Cuerpo (P y S).

Las ondas de cuerpo viajan en el interior de la tierra, siguiendo caminos curvos, debido a la densidad y composición variada del interior de la tierra. Éstas se clasifican en dos grupos: ondas primarias (P) y ondas secundarias (S).

- **Ondas P. (primarias).**

Son las primeras en llegar a los sismógrafos por tanto las más veloces. Dependen de la compresibilidad del medio (como el sonido): ondas de compresión, Se transmiten por sucesivas compresiones y descompresiones del medio, con cambios de volumen, como los sólidos, líquidos y gases se pueden comprimir, se propagan por todos los medios. El movimiento de vibración de las partículas es paralelo a la dirección de propagación, lo que implica mayor velocidad (Zúñiga, 2011).

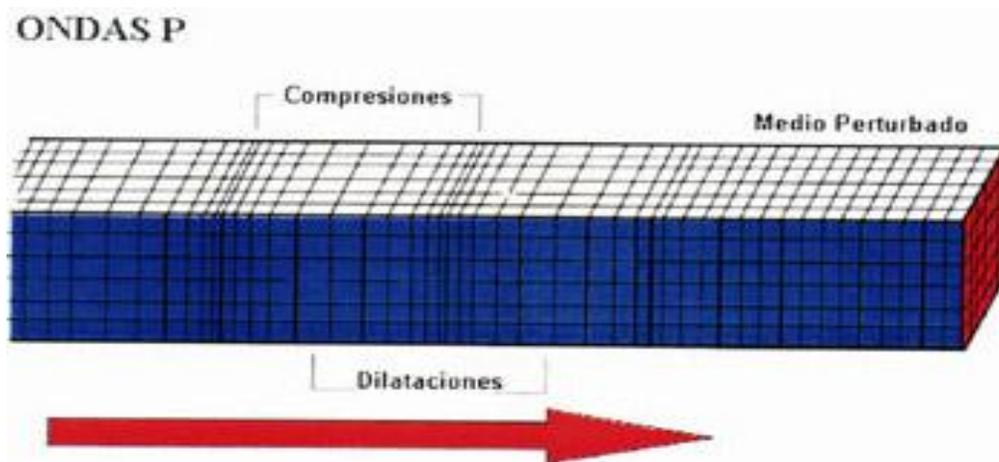


Figura 4.4 Propagación de Ondas P (Bolt, 1988).

- **Ondas S. (secundarias).**

Son las segundas en llegar a los sismógrafos por tanto menos veloces que las P. Dependen de la elasticidad (rigidez) de las rocas: ondas de cizalladura. Se transmiten por una deformación cizallante (\downarrow) que no hace variar el volumen. Como los sólidos tienen propiedades elásticas no así los líquidos y los gases, sólo se propagan en medio sólido. El movimiento de vibración de las partículas es perpendicular a la dirección de propagación, lo cual supone un mayor recorrido (menor velocidad).

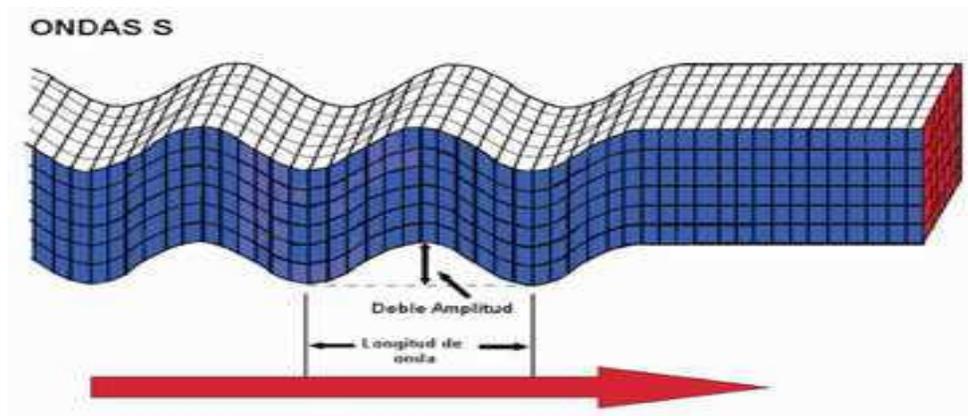


Figura 4.5 Propagación Ondas Secundaria (Bolt, 1988).

4.1.6.2 Ondas Superficiales.

Cuando las ondas de cuerpo llegan a la superficie, se generan las ondas superficiales, las cuales se propagan por la superficie de discontinuidad de la interfaz de la superficie terrestre (tierra-aire y tierra-agua). Debido a su baja frecuencia, las ondas superficiales provocan que las estructuras entren en resonancia con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por consiguiente las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales, las ondas Love y las Rayleigh. Las ondas Love son aquellas que presentan un movimiento horizontal de corte en la superficie. La velocidad de las ondas Love es un 90% de la velocidad de las ondas S y ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh (Zúñiga, 2011).

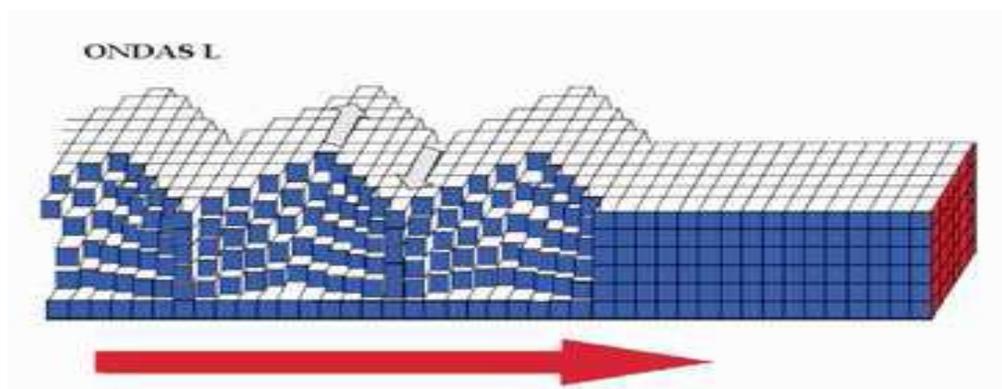


Figura 4.6 Ondas tipo LOVE (Bolt, 1988).

Las ondas Rayleigh, también denominadas ground roll, presentan un movimiento elíptico retrógrado sobre el suelo; similar al de las ondas marinas. Son ondas más lentas que las ondas de cuerpo y su velocidad de propagación es casi un 70% de la velocidad de las ondas S.

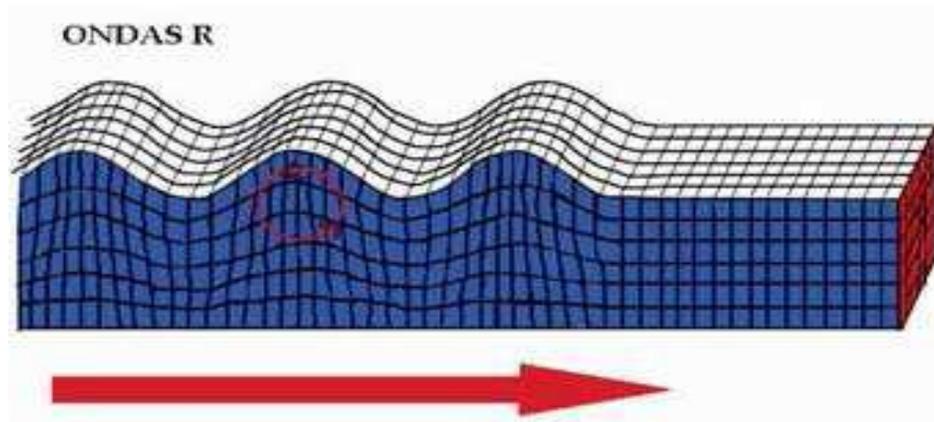


Figura 4.7 *Propagación de Ondas Rayleigh (Bolt, 1988).*

4.1.7 Espectros de Respuesta.

En 1932 M.A. Biot introdujo el concepto de espectro de respuesta, el cual fue desarrollado por G.W. Housner para caracterizar de una manera práctica el movimiento del suelo y sus efectos en las estructuras (Chopra, 1995). Actualmente el concepto de espectro de respuesta en ingeniería sísmica es una herramienta útil, se define como la máxima respuesta de un sistema de un grado de libertad de cada componente de un movimiento en específico del suelo en función de la frecuencia natural (o período fundamental) y el radio de amortiguamiento del sistema de 1GDL (Kramer, 1996).

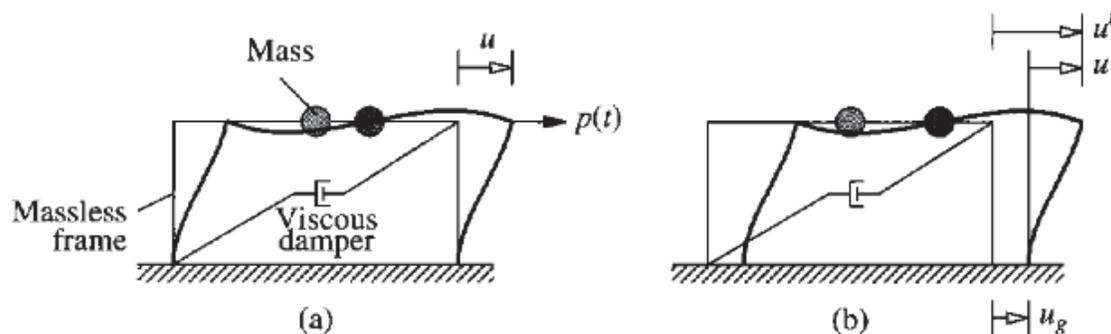


Figura 4.8 Sistema de un grado de libertad: (a) Fuerza aplicada $P(t)$; (b) fuerza inducida por un terremoto (Chopra, 1995).

4.1.7.1 Tipos de Espectros.

4.1.7.1.1 Espectro Elástico de Respuesta.

El espectro de diseño debe satisfacer ciertos requisitos, ya que está pensado para diseñar nuevas estructuras o para evaluar la seguridad sísmica de las estructuras existentes, a fin de que puedan resistir a sismos futuros. Con este propósito, el espectro de respuesta para un movimiento del terreno registrado durante un sismo pasado es inapropiado. La variación en el espectro de respuesta, es característica de esa excitación particular. El espectro de respuesta para otro movimiento del terreno registrado en el mismo sitio durante un sismo diferente también es irregular, pero los picos y los valles no se presentan necesariamente en los mismos periodos.

Del mismo modo, no es posible predecir la variación del espectro de respuesta en todos sus detalles para un movimiento del terreno que puede producirse en el futuro. Así, el espectro de diseño debe consistir en un conjunto de curvas suaves o en una serie de líneas rectas con una curva para cada nivel de amortiguamiento. (Chopra, 2001).

El concepto de Espectro de Respuesta fue introducido por M.A. Biot en 1932, y fue ampliamente usado por G.W. Housner. Es un concepto práctico que caracteriza los movimientos sísmicos y el efecto sobre las estructuras. El espectro de Respuesta se encuentra sumando los máximos en valor absoluto, de la respuesta dinámica para todos los sistemas estructurales posibles de un grado de libertad con el mismo amortiguamiento, para una componente particular de un sismo, por ejemplo la Norte-Sur o Este-Oeste. El espectro de Respuesta es función del período de vibración T del sistema, y del amortiguamiento.

Existen diferentes tipos de espectros de respuesta según la reacción que se quiera comparar: espectro de respuesta de velocidad, espectro de respuesta de deformación. El más habitual en cálculos sísmicos es el espectro elástico de respuesta, que relaciona la aceleración.

$$UT(t) = -[2\zeta w u(t) + w^2 u(t)] \quad (4.1)$$

ζ = factor de amortiguamiento.

w = periodo natural.

$U(t)$ = desplazamiento.

4.1.7.1.2 Espectro de Respuesta Inelástico.

Son similares a los anteriores pero en este caso se supone que el oscilador de un grado de libertad exhibe comportamiento no-lineal, es decir que la estructura puede experimentar deformaciones en rango plástico por acción del terremoto. Este tipo de espectros son muy importantes en el diseño sísmico resistente, dado que por razones prácticas y económicas la mayoría de las construcciones se diseñan bajo la hipótesis que incursionarán en campo plástico. Como ejemplo, podemos mencionar los espectros de ductilidad (recordemos que ductilidad de desplazamientos es la relación entre el desplazamiento máximo que experimenta la estructura y el desplazamiento de fluencia). Estos espectros representan la ductilidad requerida por un terremoto dado en función del periodo de vibración de la estructura y se grafican usualmente para distintos niveles de resistencia. También, se construyen espectros de aceleración, desplazamiento de fluencia o desplazamiento último de sistemas inelásticos, en donde se consideran distintos niveles de ductilidad o distintos tipos de comportamiento histerético¹ de la estructura (Chopra, 2001).

4.1.7.1.3 Espectro para Diseño Sísmico.

Un espectro para el diseño sísmico (Chopra, 2001). Es un valor utilizado en los cálculos de la ingeniería sísmica que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta.

Tratándose de estructuras del Grupo B, a_0 se seleccionara del mapa de isoaceleraciones del anexo C del presente reglamento, mientras que $d = 2.7 a_0$, $T_a = 0.1$ seg, $T_b = 0.6$ seg, $T_c = 2$ seg y S es el factor de amplificación por tipo de suelo definido en el artículo 23. Para estructuras del Grupo A, las aceleraciones de diseño se multiplicarán por 1.5 y para el grupo C se tomaran igual al grupo B. Para el análisis estático equivalente y modal la aceleración a_0 se seleccionará del mapa de isoaceleraciones del anexo C del presente reglamento.

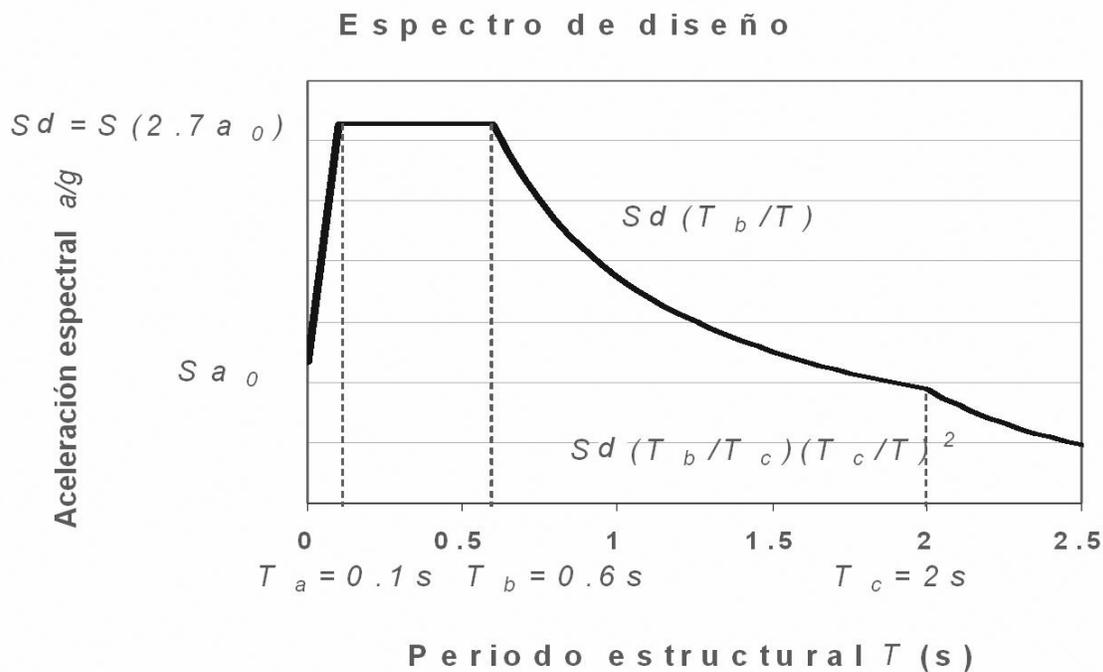


Figura 4.9 Espectro de Diseño Para Nicaragua (RNC-2007).

4.1.8 Función de Transferencia.

Para determinar la respuesta dinámica del terreno ante un sismo, es importante conocer la influencia de algunas propiedades, tales como la velocidad de onda de corte (V_s), el espesor (H) y la densidad (ρ) de cada capa de suelo, como también las características del movimiento de entrada (registro de aceleración en roca).

Una técnica importante para realizar este tipo de análisis de respuesta dinámica se basa en el uso de funciones de transferencia (FT), esta se puede determinar como la relación entre la transformada rápida de Fourier (FFT) del registro de aceleración en superficie y la FFT del registro de aceleración en roca. De esta forma la FT determina como cada frecuencia en el movimiento en la roca (entrada) es amplificado o atenuado por el depósito de suelo (Chopra 2001).

El cálculo de la función transferencia se efectúa llevando la señal de roca a superficie, pasándola estrato por estrato utilizando características más representativas de cada uno de estos como son: densidad, velocidad de ondas de corte (que varía en forma inversamente proporcional con la densidad del suelo), porcentaje de amortiguamiento y espesor (este último afecta en forma proporcional al periodo de vibración de cada estrato), el modulo G (cortante), que depende de factores como: deformación del suelo, esfuerzo efectivo, relación de vacíos, grado de saturación, relación de consolidación, esfuerzo cortante, características granulares y estructura del suelo; debido a la resistencia que cada medio ofrece a las ondas con una frecuencia determinada, estas se ven afectadas por la impedancia.

$$FT(w) = \frac{2A_1}{A_n + B_n} \text{ (respecto a basamento rocoso).} \quad (4.2)$$

Dónde: A_n y B_n = componentes de amplitud del estrato N.

$$FT(w) = \frac{2A_1}{2A_n} \text{ (respecto a afloramiento).} \quad (4.3)$$

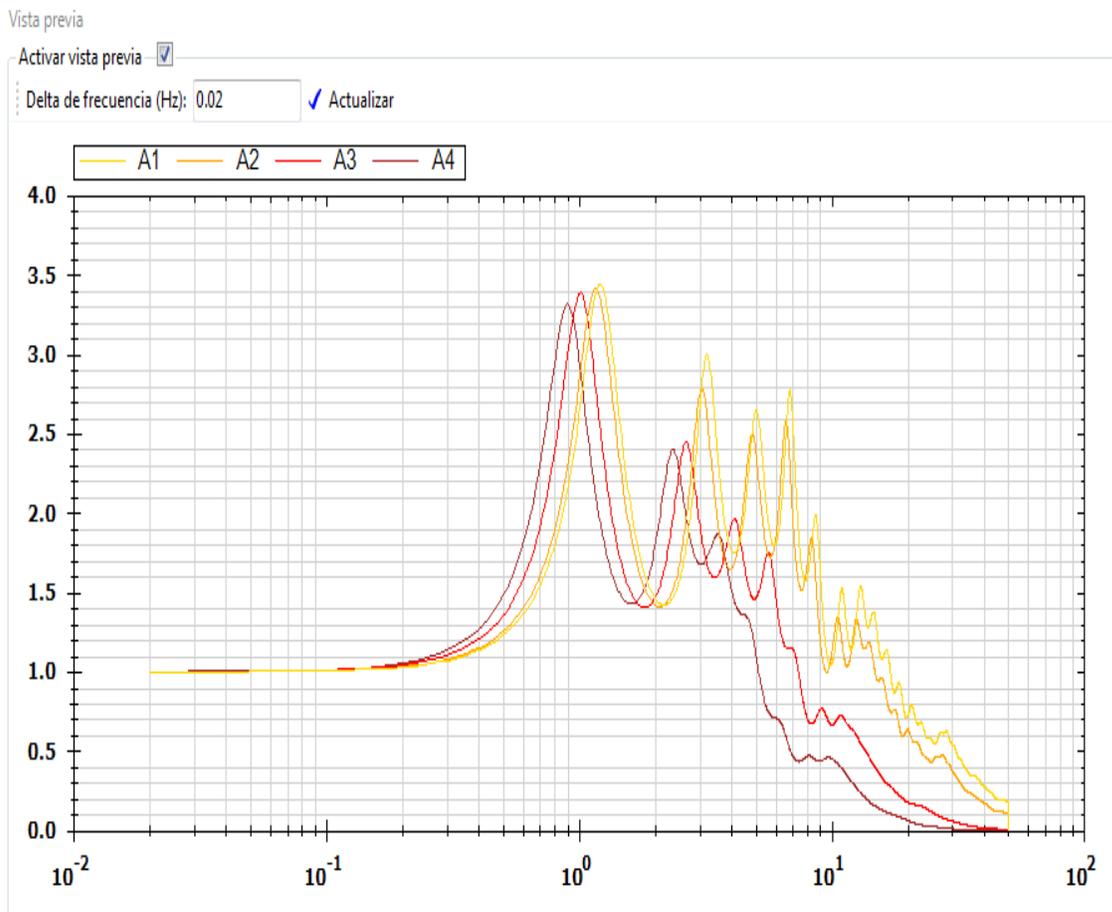


Figura 4.10 *Grafica de la Función de Transferencia (Chopra, 1995).*

4. 2 Métodos.

4.2.1 Método Para el Análisis de Microtrepidaciones.

Para el análisis de Microtrepidaciones se han propuesto tres técnicas que son: Interpretación directa de la transformada de Fourier o del Espectro de Auto Correlación también llamada Amplitudes espectrales, cálculo de los espectros relativos de amplificación de las estaciones en suelo blando versus una estación en suelo firme o técnica de Kagami y cálculo de los espectros entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio o técnica de Nakamura. (Nakamura, 1989)

La metodología de Nakamura (1989) está basada en la suposición que el cociente espectral entre las componente horizontal y vertical de las Microtrepidaciones es un aproximación de la función de transferencia de los suelos (L. García, 1998).

4.2.1.1 Métodos de Relaciones Espectrales REHV (Métodos Empíricos).

La Técnica de Nakamura (1989). Consiste en realizar el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical. Está técnica parte del principio que los Microtremores se propagan como ondas Rayleigh en un estrato único blando sobre un semiespacio infinito (Lermo y Chavez-Garcia, 1993). De acuerdo con Nakamura, se supone que el movimiento de la componente vertical no es amplificado por la capa de suelo blando. Asumiendo que las fuentes locales no afectarán el movimiento de los Microtremores en el basamento, es posible calcular el Efecto de Sitio, como un cociente espectral entre las componentes horizontales sobre la componente vertical en la superficie.

El método asume que:

- Las Microtrepidaciones consisten en ondas Rayleigh, propagándose en una capa que está encima de un espacio infinito.
- El movimiento es totalmente debido a fuentes locales y todas las fuentes profundas son despreciadas.

- Las fuentes locales no afectan el movimiento de las Microtrepidaciones en la base del estrato de suelo. Considerando un estimativo de los efectos de sitio de interés, estarían dados por:

$$Se = \frac{Hs(w)}{Hb(w)} \quad (4.4)$$

Donde:

Se= representa el espectro de los efectos de sitio.

Hs (w)= es el espectro de la onda horizontal en superficie.

Hb (w)= es el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento.

Puesto que las ondas internas de las Microtrepidaciones contienen ondas de superficie, es necesario corregirlas removiendo los efectos de este tipo de ondas. Nakamura asume que el efecto de las ondas Rayleigh (As) está incluido en el espectro de ondas verticales superficiales (Vs) y no en la base del movimiento (Vb) y consecuentemente este puede ser definido como:

$$As(w) = \frac{Vs(w)}{Vb(w)} \quad (4.5)$$

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

$$Sw = \frac{Se(w)}{As(w)} = \frac{Hs}{\frac{Hb}{Vb}} \quad (4.6)$$

Nakamura demostró experimentalmente, usando registros de Borehole y Microtrepidaciones que:

$$\frac{Hb(w)}{Vb(w)} = 1 \quad (4.7)$$

De lo anterior se encuentra:

$$S_w(w) = \frac{H_s(w)}{V_s(w)} = N_s(w) \quad (4.8)$$

De esta manera, Nakamura concluyó que la relación o cociente espectral entre la componente horizontal y vertical del movimiento en un mismo sitio puede ser usada como un estimativo de los efectos de sitio para ondas internas. La técnica de Nakamura es muy atractiva, ya que elimina los efectos de fuente, patrón de radiación y directividad que se presentan en los sismos.

4.2.2 Métodos de Análisis de Respuesta Sísmica de Sitio.

La respuesta sísmica de sitio puede ser evaluada a través del uso de métodos teóricos y empíricos. Los métodos empíricos permiten determinar amplificaciones y periodos dominantes de vibración del suelo, por medio del uso de registro de datos sísmicos del sitio de interés a través de acelerógrafos u otro registrador sísmico.

Los métodos teóricos permiten desarrollar un análisis de la respuesta de sitio basado en una descripción detallada de los estratos que conforman el suelo y las fuentes sísmicas.

4.2.2.1 Método Lineal Equivalente (Método Numérico).

La evaluación numérica de respuesta sísmica de sitio está sustentada en la teoría de propagación de ondas en una dimensión originalmente formulada por Haskell (1953). Esta teoría, sin embargo, se limita a la idea de que los estratos son de espesor uniforme en la dirección horizontal, por tanto no considera el efecto de variación lateral del suelo (heterogeneidad).

Para considerar este efecto se requiere del uso de algoritmos más avanzados tales como los métodos de elemento finito o diferencia finita. Por tanto, en esta sección la evaluación numérica de respuesta sísmica de sitio se considera asumiendo la teoría de propagación de ondas en una dimensión presentada previamente.

En la siguiente figura se presentan resultados típicos de la variación del módulo de corte G normalizado y la razón de amortiguamiento, D , con el nivel de deformación. Se observa que a mayor deformación, el módulo de corte disminuye y la razón de amortiguamiento aumenta. Diferentes suelos tiene diferentes curvas, pero, en general, es posible agruparlos de acuerdo a granulometrías según, arcillas, limos, arenas y gravas.

En el desarrollo matemático anterior se ha considerado que G y D son constantes, pero la evidencia empírica muestra claramente la dependencia de estos parámetros con el nivel de distorsión angular. Consecuentemente, se ha desarrollado el método lineal equivalente, el cual básicamente consiste en asumir inicialmente valores de G y D , con los cuales se realiza el cálculo. En este cálculo se determina el nivel medio de las distorsiones angulares (usualmente $0.65g_{max}$) y con ésta se re evalúan los parámetros G y D . De haber coincidencia con los valores adoptados se concluye el cálculo. De lo contrario se vuelve a repetir el análisis con los nuevos valores de G y D . Este proceso iterativo se realiza hasta obtener coincidencia de valores de G y D adoptados, con el nivel de distorsión angular resultante (Verdugo L, 2009).

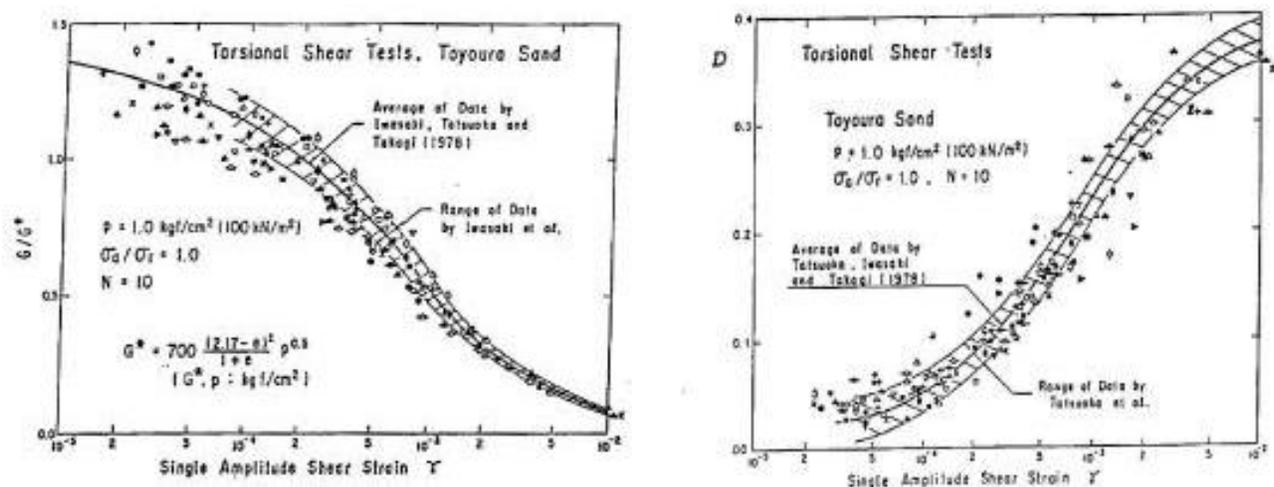


Figura 4.11 Curvas típicas de módulo de corte y razón de amortiguamiento (Verdugo L, 2009).

El módulo de rigidez (G_r) está dado por:

$$G_r = \frac{G_{sec}}{G_{max}} \quad (4.9)$$

Donde;

$$G_{max} = \rho(V_s^2) \quad (4.10)$$

$$G_{sec} = \frac{\tau_c}{\gamma_c} \quad (4.11)$$

Donde, τ_c y γ_c representan la amplitud por el esfuerzo cortante y la deformación por corte, respectivamente (Kramer, 1996). Las curvas del módulo de rigidez y amortiguamiento deben ser seleccionadas para cada una de las capas de los estratos que conforman el modelo del suelo. Estas curvas permiten cuantificar como cada estrato está actuando cuando están expuestos a la energía de propagación de terremoto.

5. METODOLOGIA.

Para la realización de esta investigación se usó la siguiente metodología:

En primer término; se recopiló toda la información necesaria, relacionada al área de estudio y respecto a las técnicas que se aplicarían (estudios geológicos, geofísicos, geotécnicos, litología, vialidad, etc.). Con el fin de contar con una base que ayudara a tener un mejor juicio al momento de interpretar nuestros resultados.

Seguidamente para obtener los datos de ruido sísmico ambiental que permitiera cumplir con los objetivos del Proyecto se usó la siguiente metodología de campo y o procesamiento.

5.1 Obtención de Datos de Ruido Ambiental.

Método de cocientes espectrales (H/V) con un total de 38 mediciones de microtemores, localizados con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (G.P.S.), siguiendo las recomendaciones del proyecto SESAME (Site Effectss Assessment Using Ambient Excitations), para la implementación de la técnica de relación espectral H/V sobre vibraciones ambientales (SESAME *op cit.*), a saber, un tiempo mínimo de grabación de 15 a 20 minutos de acuerdo a la frecuencia natural mínima esperada del suelo (0,7 a 0,5 Hz); para esto se usó un sismógrafo triaxial Gemini 2 con sensores de 1 Hz de frecuencia natural y utilizando una frecuencia de muestreo de 100 Hz y una duración de 30 minutos equivalente a 1800 segundos, de manera que se garantizara una suficiente cantidad de ventanas de datos para su posterior análisis con una distancia de aproximadamente 200 metros entre sí.

- Se colocaba el sensor preferiblemente sobre asfalto y en caso contrario, sobre suelos duros no saturados de agua. Por otra parte, se evitaba grabar cerca de estructuras como edificios, muros altos, árboles (alejado de raíces), tuberías, alcantarillas, así mismo en caso de estaciones cercanas a un fuerte tránsito vehicular y peatonal, ya que esto tiende a interferir la señal de la exploración que se está ejecutando en el punto de estudio.

5.2 Procesamiento y Análisis de Datos de Campo.

Se utilizaron dos tipos de procesamiento de acuerdo a los datos a analizar:

En el caso de datos de microtremores se utilizó la técnica de cocientes espectrales (Nakamura) haciendo uso de las rutinas computacionales incluidas en el software **Geopsy**.

Para los cálculos de espectros de respuesta y la correspondiente convolución de la señal sísmica para el cálculo de respuesta de sitio se usó el software **DEEPSOIL V6.0**.

5.3 Divulgación de Resultados.

Los resultados de este trabajo de investigación se divulgaron por medio de tesis monográfica.

Los estudios geológicos fueron brindados por ENACAL-Managua, ya que con estos perfiles geológicos de los pozos existentes en la ciudad del municipio de Mateare, se obtuvo el perfil de Vs para obtener los estratos y así proponer espectros de respuesta.

6. ANALISIS DE RESULTADOS.

6.1 Periodos Fundamentales del Suelo.

6.1.1 Adquisición de Datos Geofísicos (Microtremores).

Una vez establecidos los puntos de medición, se procedió a trasladarse a los mismos, para posteriormente iniciar los registros de las microtrepidaciones. Al ubicar las estaciones, con la ayuda de un sistema de posicionamiento global (G.P.S.). La toma de registros de campo se hizo aplicando el método HVSR (Método de Nakamura o Razón Espectral H/V).

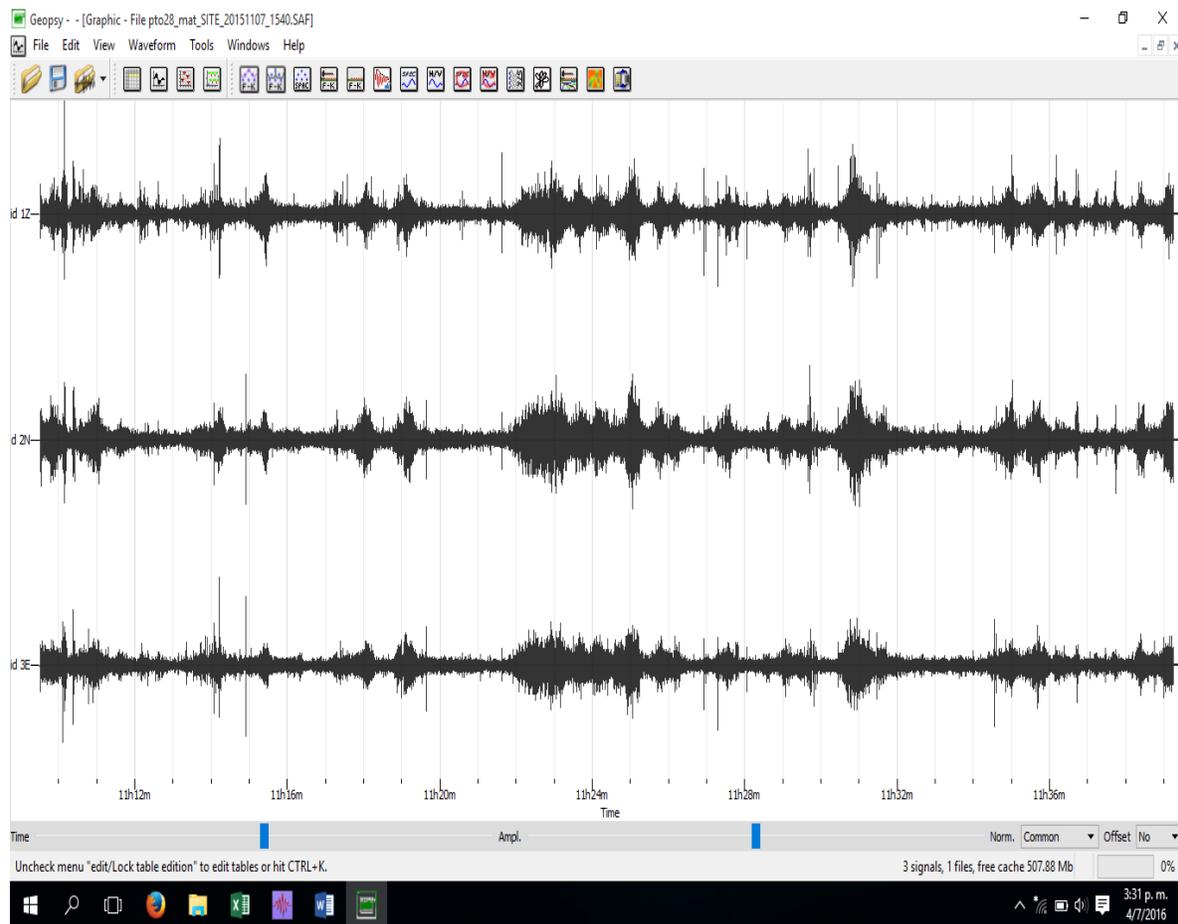


Figura 6.1 La figura muestra la forma de ondas de uno de los registros adquiridos. La componente superior representa la vertical la de en medio la componente norte, y la inferior la componente este.

Estos registros son procesados en el computador, se analizaron los registros tomados en 38 puntos del casco urbano de la ciudad de Mateare con una distancia de aproximadamente 200 metros entre sí. El tiempo que se estableció de 30 minutos para la adquisición de datos de cada punto fue para determinar la frecuencia natural del suelo; de manera que se garantice una suficiente cantidad de ventanas de datos para su posterior análisis, se colocaba el sensor preferiblemente sobre asfalto y en caso contrario, sobre suelos duros no saturados de agua. Por otra parte, se evitaba grabar cerca de estructuras como edificios, muros altos, árboles (alejado de raíces), tuberías, alcantarillas, así mismo en caso de estaciones cercanas a un fuerte tránsito vehicular y peatonal, ya que esto tiende a interferir la señal de la exploración que se está ejecutando en el punto de estudio.

6.1.2 Análisis de Periodos fundamentales del suelo.

A partir de los datos de ruido sísmico ambiental obtenidos a través del sismógrafo en la parte urbana del municipio de Mateare, se procedió a determinar los valores de períodos y amplitudes relativas de cada sitio de medición a través del gráfico de la relación H/V obtenido mediante el software utilizado (GEOPSY).

Para el procesamiento se utilizó tipo de suavizado de Konno y Omachi, con constante de suavizado de 40, y un suavizado de tipo coseno del 5 %.

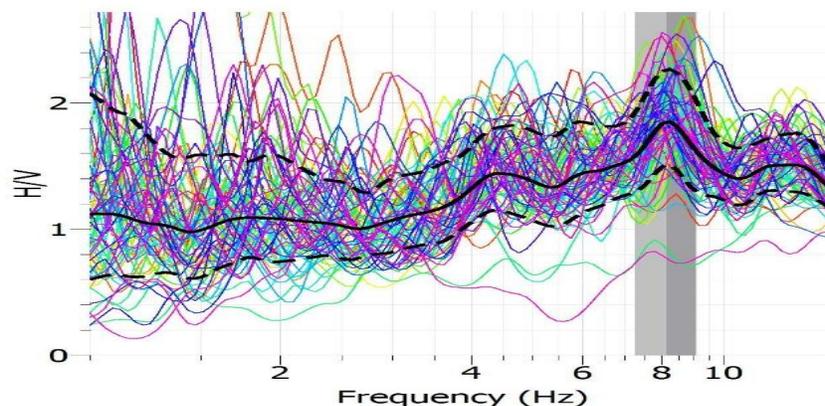


Figura 6.2 Relación Espectral H/V vs Frecuencia Hz. (punto 10).

En la figura anterior se puede apreciar la relación H/V para el punto 10. En este caso el período natural T_n fue de 0.12 seg, y una amplitud de la relación H/V de 1.85. De esta misma manera, se procedió para determinar el período natural de cada uno de los puntos levantados en el área de estudio.

Es importante enfatizar, que en muchas oportunidades determinar el pico que representa al período fundamental fue complicado de estimar, debido a que el mismo no se podía distinguir claramente en la curva, como consecuencia de un posible bajo contraste de velocidad entre los sedimentos de la terraza y la roca basamento (Konno, 1998), y en otros casos, la relación H/V mostraba más de un pico debido a posibles configuraciones complejas de varias capas en el subsuelo, y en consecuencia, a diversos contrastes de impedancia (Bard, 1998).

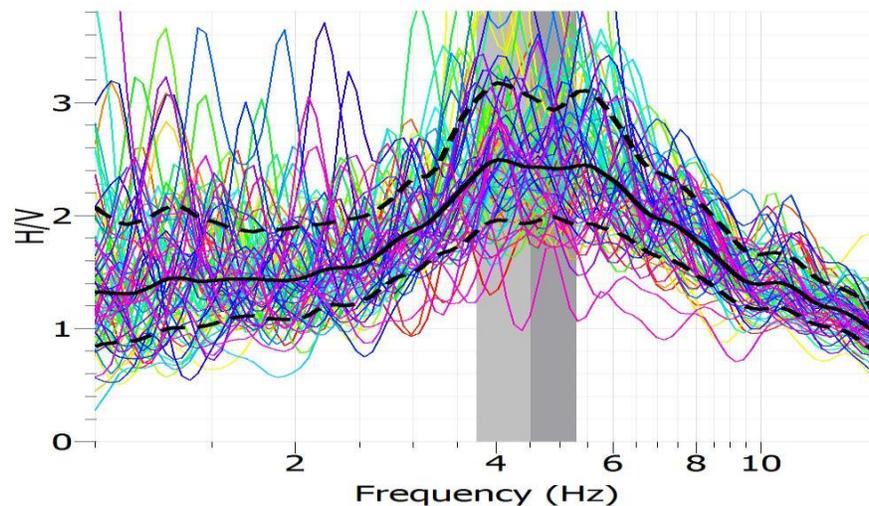


Figura 6.3 Curva de *Relación Espectral H/V vs Frecuencia Hz. (punto 28).*

Se puede observar en la figura 6.3 que el pico predominante no es claro, esto sucede cuando no hay una interfaz clara entre los suelos que están generando los picos, en otras ocasiones cuando hay picos empinados es debido a que los suelos son rígidos y de espesores pequeños, es lo contrario si los picos no son tan empinados, es decir si el pico es expansivo significa que los suelos no son rígidos

y de espesores grandes. El periodo natural para la figura que se muestra anteriormente fue de T_n 0.22 seg, y una amplitud H/V de 2.43.

Tabla 6.1 Resultados de T_n y Amplitud (Obtenidos del GEOPSY).

punto	Y	X	T (seg)	Amp.
1	1352736	561960.7	0.073569	1.74892
2	1352691	562132.7	0.033279	1.4169
3	1352663	562290.1	0.159805	1.55932
5	1352756	562454.9	0.247521	1.3047
6	1352785	562246.5	0.211157	1.09144
8	1352845	561949.7	0.20318	1.64659
10	1352965	561850.5	0.122535	1.84668
11	1353053	561916.5	0.796629	5.56684
12	1353023	562022.7	0.263304	1.49436
15	1352839	562544.5	0.248019	1.69163
17	1352489	562006.7	0.810261	3.25445
18	1352372	562077.5	0.260138	1.1335
19	1352249	562038.5	0.064898	2.14767
20	1352232	562146.6	0.760242	1.71049
21	1352372	562148.7	0.056394	1.85208
23	1352436	562321.3	0.289582	1.46711
25	1352290	562478.2	0.078099	2.81461
27	1352792	561469.3	0.650715	2.54585
28	1352803	561381	0.221358	2.4292
29	1352741	561457.8	0.062863	1.96782
30	1352556	561379.6	0.200563	2.06221
31	1352536	562525.9	0.116141	1.991
32	1352377	562678.3	0.111185	1.54051
33	1352222	562594.3	0.080917	2.19964
34	1352401	562515.5	0.117663	1.82656
35	1352818	561659.2	0.775074	1.34763
36	1352941	561645.8	0.103385	2.07353
38	1352513	562841.7	0.865434	2.84397

6.1.3 Familia de Curvas.

Una vez que se encontraron los resultados de registro de ruido ambiental, (Tabla 5.1) en donde se muestran los periodos y la relación espectral H/V para cada uno de los puntos, se analizaron uno por uno para encontrar la familiaridad que existe entre cada uno, con respecto a esto se formaron 2 grupos de familias, llamados zona 1 (15 puntos), zona 2 (13 puntos). Siendo así los 28 puntos que conforman este análisis, ya que se debió eliminar algunos puntos debido a no tener un pico predominante muy claro.

Tabla 6.2 zonas según (T_n) de vibración en la parte urbana de Mateare.

Zona 1	Zona 2
Punto 1	Punto 5
Punto 2	Punto 11
Punto 3	Punto 15
Punto 4	Punto 17
Punto 6	Punto 18
Punto 7	Punto 19
Punto 8	Punto 20
Punto 10	Punto 21
Punto 12	Punto 25
Punto 13	Punto 27
Punto 23	Punto 31
Punto 28	Punto 32
Punto 29	Punto 37
Punto 30	
Punto 36	

El objetivo de la principal caracterización de familia de curvas, es ver cuantas formas distintas de vibrar posee el área comprendida de análisis, esto es para poder mostrar más exactamente las zonas de propiedades dinámicas del suelo similares a través de una zonificación Sísmica. La cual es determinada una vez que se han identificado las zonas que existen en el área, en este caso fueron 2 zonas en donde de allí se partirá para proponer la zonificación en el área urbana del municipio de Mateare departamento de Managua. La Zona 1 presenta periodos dominantes entre 0.15 seg – 0.28 seg, la zona 2 su periodo dominante esta entre un rango de 0.28 seg – 0.40 seg, de esta manera se compone la familia de curvas en el área urbana de Mateare.

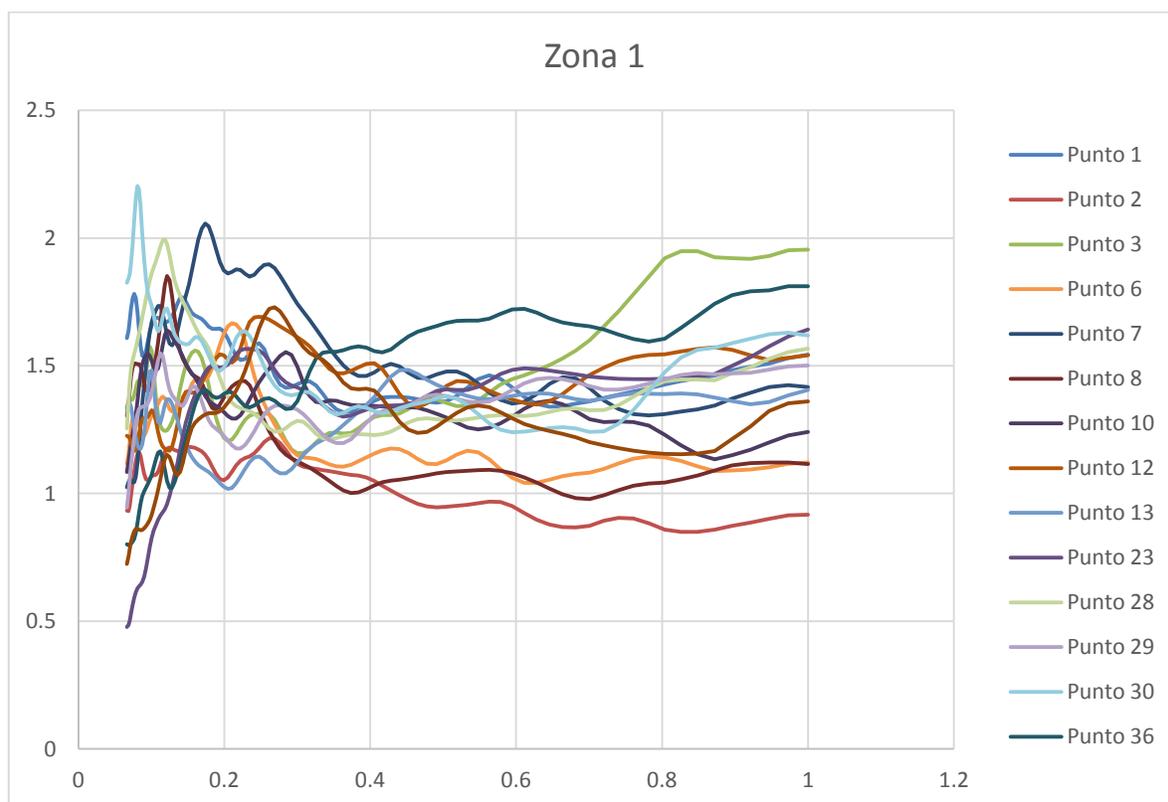


Figura 6.4 *Curvas de la Zona 1.*

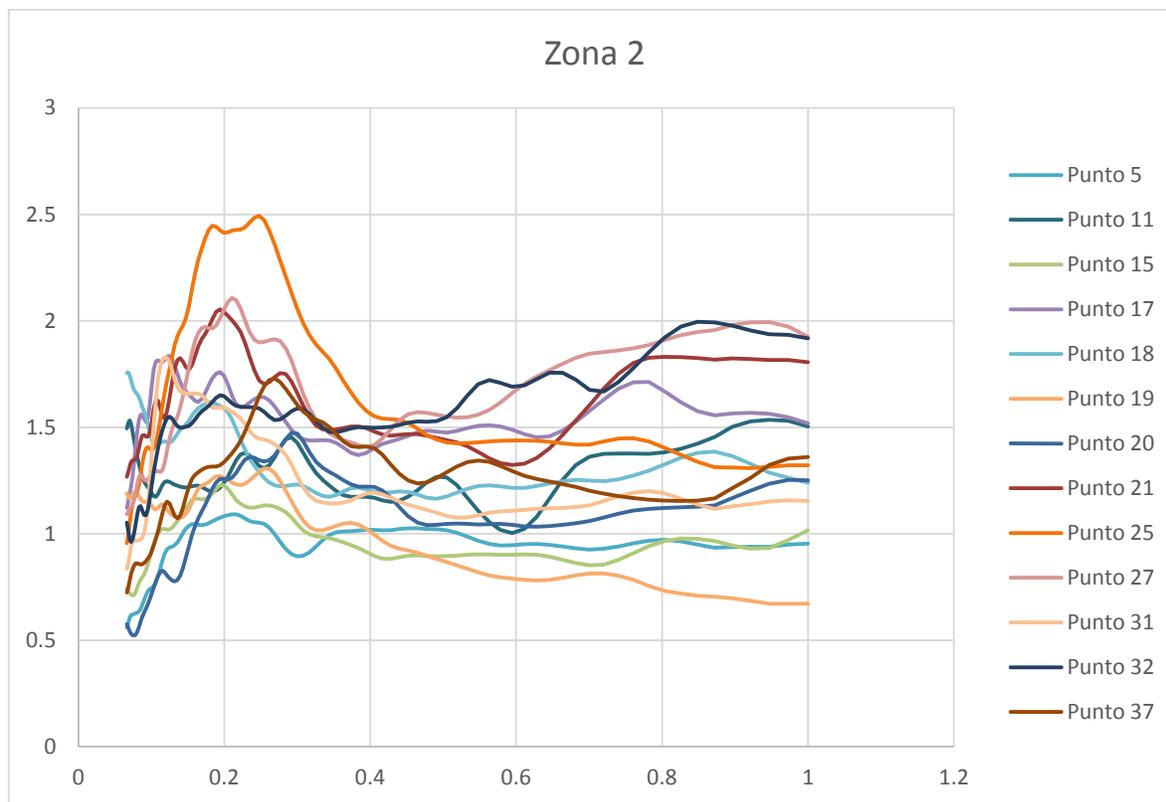


Figura 6.5 *Curvas de la Zona 2.*

Tomando en consideración los criterios SESAME que establecen, que un pico claro H/V se da cuando $A_0 > 2$ podemos ver claramente que la mayoría de curvas de ambas zonas no muestran un contraste de impedancia claramente definido de acuerdo a este criterio.

En esta zona el acuífero está constituido por depósitos aluviales y volcánicos de edad desde el Plioceno, hasta el Reciente. Tratase principalmente de tobas, cenizas, lapilli, pómez, lavas y escorias, a las que se sobreponen, localmente, gravas, arenas, arcillas y limos.

Los depósitos volcánicos más antiguos pertenecen a la formación Las Sierras, de edad Plio-Pleistoceno y constituyen la formación basal sobre la que se han depositado todos los otros depósitos. Los depósitos aluviales, más recientes, prevalecen en la parte occidental de la cuenca, a lo largo de la falla de Mateare (entre las alturas de La Sierra y la costa del Lago de Managua, donde se

encuentra la ciudad de Mateare) y de la costa del lago de Managua al Norte de Sabana Grande-Cofradía. Están constituidos generalmente de arenas, de finas a gruesas, pero no faltan lentes arcillosos y limosos, que pueden constituir niveles confinantes para las aguas subterráneas (Estudio de fuentes, Mateare).

6.1.4 Propuesta de Zonificación Sísmica del Ciudad de Mateare.

Utilizando como datos de entrada las familias de curvas agrupadas anteriormente se insertaron esta información en un software de interpolación (Arcmap) y este nos produjo la agrupación espacial de zonas con periodos fundamentales de vibración del suelo que eran similares para el área de estudio.

Se puede observar (figura 6.6) que el área ha quedado dividida en dos zonas:

Zona 1: Presenta periodos de vibración entre 0.15 a 0.28 s, en esta área las edificaciones de 1 a 3 pisos podrían coincidir con la manera de vibrar del suelo. Por lo que se sugiere especial cuidado al edificar este tipo de obras.

Zona 2: Presenta periodos de vibración entre 0.28 a 0.40 s, en esta área las edificaciones de 3 a 5 pisos podrían coincidir con la manera de vibrar del suelo. Por lo que se sugiere especial cuidado al edificar este tipo de obras.

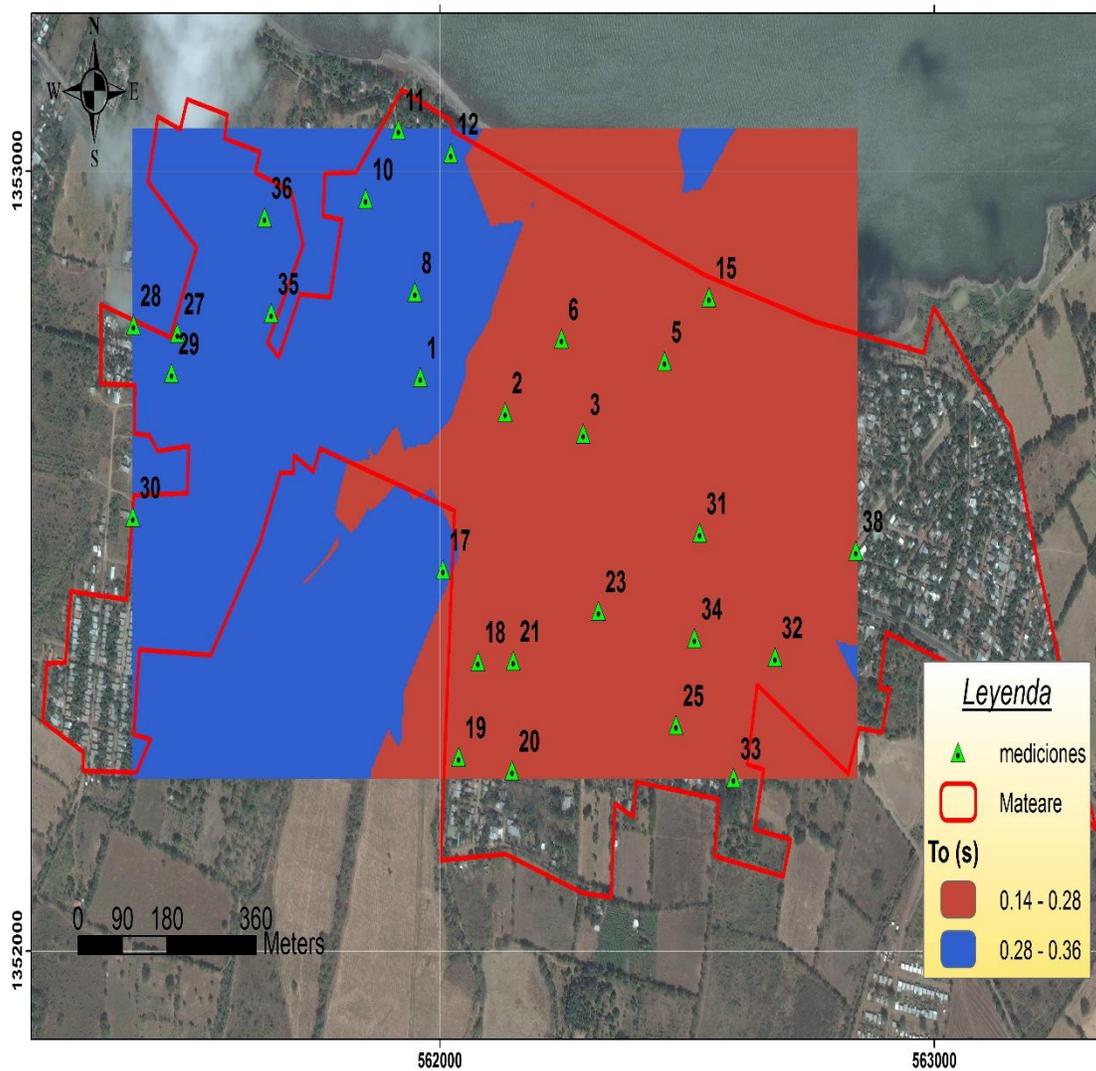


Figura 6.6 Propuesta de Zonificación Sísmica Para Zona Urbana de Mateare.

Como se observa en la figura 6.6 el área de estudio, quedo comprendida por 2 zonas, las cuales según el software (Arcmap) vibran con periodos naturales de:

Zona 1: 0.14-0.28 segundo.

Zona 2: 0.28-0.38 segundo.

6.2 Modelo de Velocidades de Ondas de Corte Vs.

Se tomó como referencia para el modelamiento de Vs el punto 28 de los registros H/V, se encuentra en la zona 2 de la zonificación sísmica propuesta, el cual tiene por coordenadas en Y: 1352803 y en X: 561381, este se encuentra en la parte Oeste de la zona urbana del municipio de Mateare, departamento de Managua. Donde se obtuvo el periodo fundamental con la curva de razón espectral H/V de 0.221 segundos y amplitud relativa espectral de 2.429.

6.2.1 Proceso Para la Comparación de Curva Teórica Respecto A la Curva de Razón Espectral H/V.

1. Se importaron los datos obtenidos de la curva empírica de razón espectral H/V (punto 28 de medición de razón espectral) promedio previamente procesadas en Excel.
2. Se propuso un modelo de velocidad para el sitio de estudio, tomando como referencia los datos de los perfiles geológicos de los pozos existentes de Mateare (ver anexos 3), estableciendo así un modelo de velocidad cortante con sus espesores. Luego se calculó la respuesta teórica de este modelo la cual se comparó con la curva de razón H/V del mismo sitio.
3. Finalmente se hace la comparación entre la curva teórica, la cual es la función de transferencia que se obtiene de los resultados de DEEPSOIL de los registros del sismo de Managua de 1972, exportados a Excel. Con la función de transferencia de los resultados de la razón espectral H/V del punto 28 del área de estudio, obtenidos de Geopsy.

6.2.2 Análisis de la Comparación de Curva Teórica con la Curva de Relación Espectral H/V.

El modelamiento se realizó usando un perfil inicial basado en los datos de perfiles geológicos de pozos y el modelo se fue mejorando observando la comparación entre la FTT con la FTE.

El modelamiento del perfil en DEEPSOIL se aproxima bastante a los perfiles litológicos de los pozos de Enacal (Ver anexos 3), por ejemplo el pozo 1 de 10 a 55 pies registra arena media, con limos y granos de piedra triturada. El pozo 2 de 15 a 65 pies registra cascajo y arena gruesa compacta. El pozo 3 de 60 a 71 pies registra piedra cantera. Y el pozo 4 registra de 40 a 45 pies arena con algunas gravas.

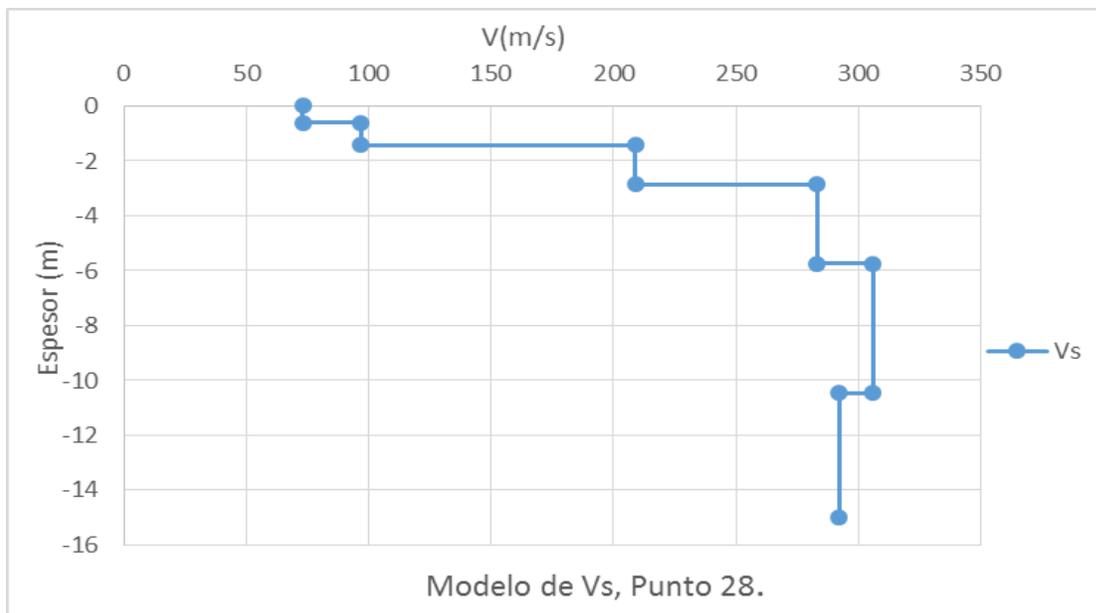


Figura 6.7 Perfil de velocidades de ondas S obtenidas a partir de los datos litológicos y con el modelamiento.

La variación de la profundidad de nuestros resultados con respecto a los perfiles litológicos, se podría explicar por el hecho que el sitio de medición no se localizó en el sitio exacto donde se encuentran los pozos.

Basados en modelamiento unidimensional de propagación de ondas, se determinó numéricamente como responderían los suelos de la zona de estudio. La función de transferencia empírica (FTE) medida en uno de los sitios del área estudio se comparó con la función de transferencia teórica (FTT) obtenida del modelamiento. Se puede observar en la siguiente figura que en general la FTT se asemeja a la FTE, principalmente en frecuencias medias (5Hz) la coincidencia de ambas funciones es apreciable. En el caso de las frecuencias más altas la respuesta

obtenida con la FTT sobrepasa la respuesta real, esto se podría deber al hecho de que superficialmente existen capas muy delgadas de suelos que no siempre pueden ser observadas con las mediciones, es decir que las longitudes de ondas observadas no logran muestrear estas capas dadas su pequeño espesor.

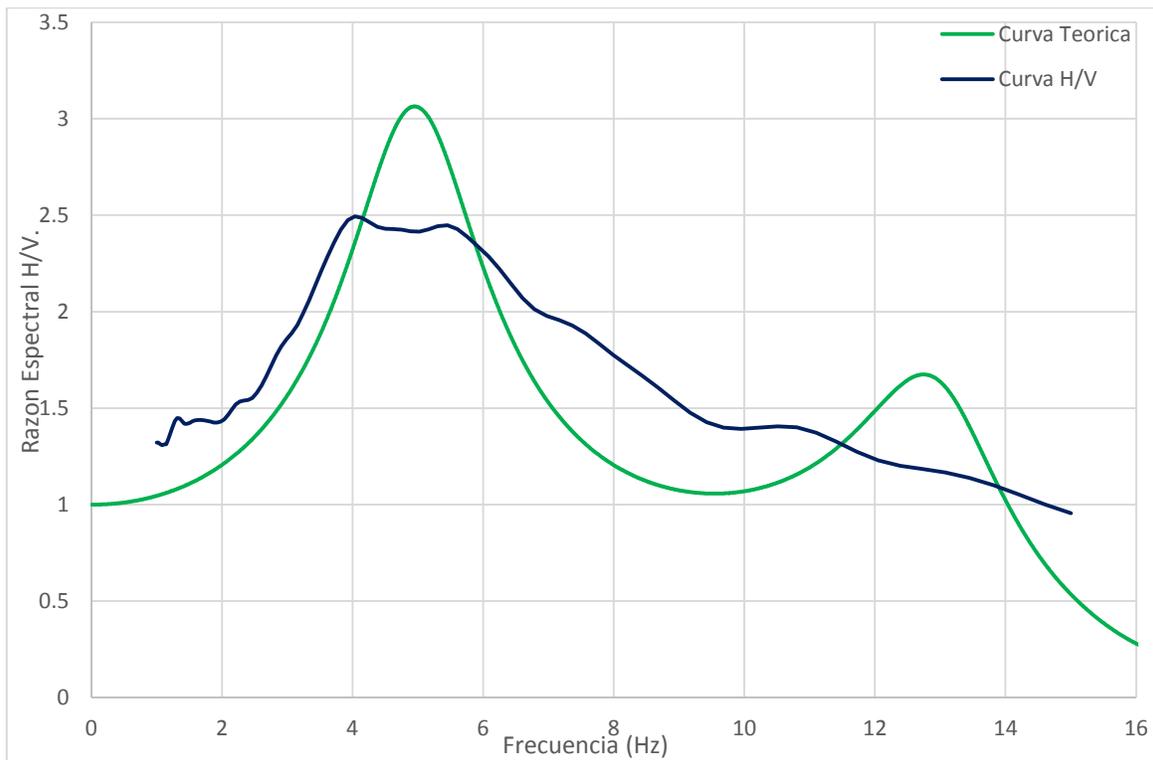


Figura 6.8 Comparación Curva Teórica Respecto a Curva H/V del Punto 28 (Parte Oeste de la Ciudad de Mateare).

6.3 Espectro de Respuesta.

Se obtuvo el modelo de velocidades de ondas de corte en el sitio Oeste del municipio de Mateare, punto 28 (zona 2) de mediciones de microtemores se procedió a evaluar la respuesta sísmica de sitio, a través del software DEEPSOIL V6.0, el cual se hizo el análisis con el método lineal equivalente.

Dada la inexistencia de datos de dinámica de suelos en laboratorios geotécnicos, se utilizaron las propiedades dinámicas provistas en la base de datos del software de acuerdo a los tipos de suelos del sitio según los datos litológicos.

6.3.1 Procesamiento de Análisis de Espectro de Respuesta (DEEPSOIL).

1. Se introdujeron los estratos del modelo (ver figura 6.7), en este caso fueron 6 estratos, los estratos se obtuvieron mediante los perfiles geológicos de pozos existentes (Ver anexos 3). El análisis se realizó con el estrato 3 el cual tiene una profundidad de 1.44 m y una velocidad promedio de 209 m/s.

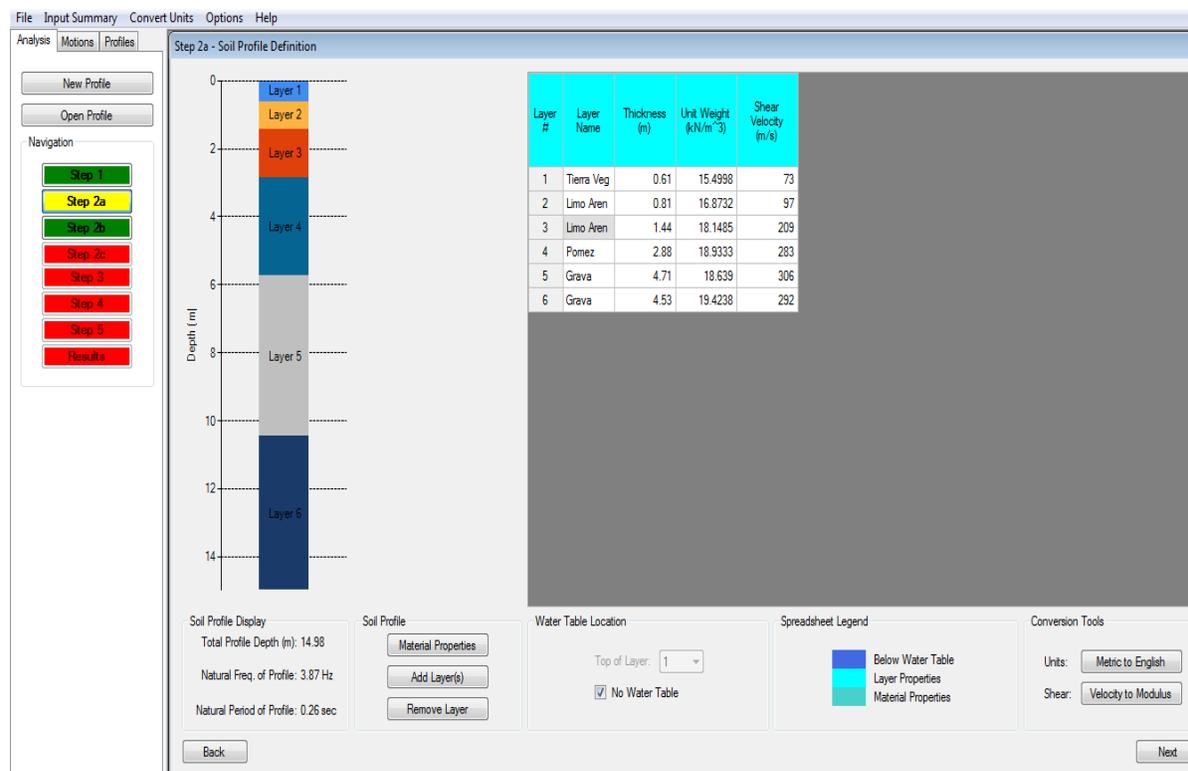


Figura 6.9 Número de Estratos de Modelo (DEEPSOIL V6.0).

2. Se escogen las propiedades dinámicas del suelo con el cual se realizara el análisis y velocidades de estrato rocoso, 980 m/s.
3. Por último se definieron los distintos eventos sísmicos con los cuales se realizó el análisis, para este caso se usaron 5 diferente sismo: El de Managua 1972, Chichi, ImperialValley, Northridge, Whittiernarrows, y se corrió el programa para generar los espectros.

6.3.2 Interpretación de los Espectros de Respuesta.

Dado que en Nicaragua los sismos más devastadores corresponden a terremotos locales utilizamos sismos de este tipo para la determinación de los espectros de respuesta mediante el software DEEPSOIL. De los resultados de DEEPSOIL se observa que efectivamente los sismos utilizados tienen contenidos de frecuencias altas, por ejemplo en el terremoto de Managua 1972 se observan contenidos de frecuencias en el rango de 5-8 Hz.

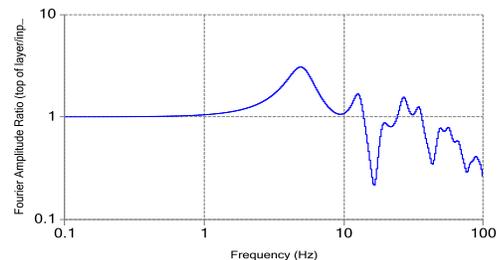
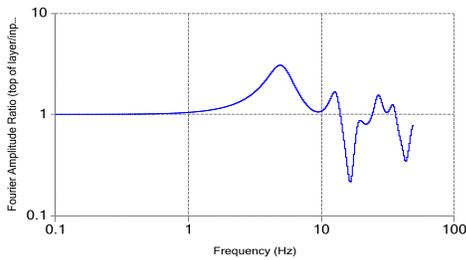
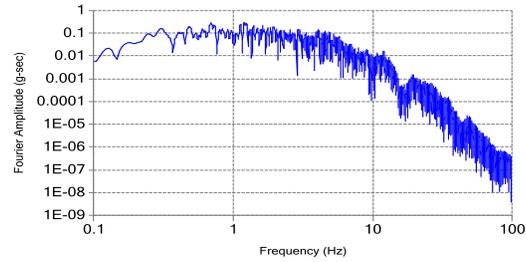
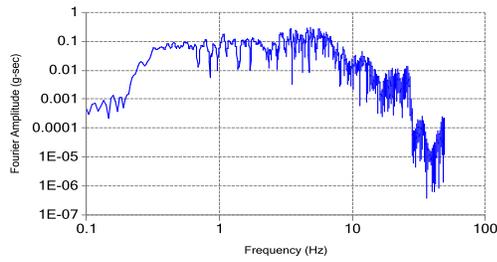


Figura a)

Figura b)

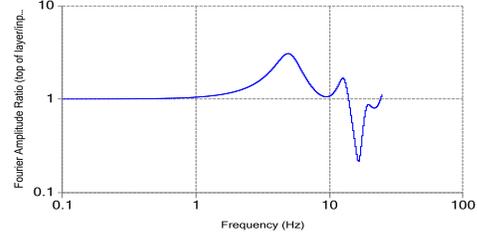
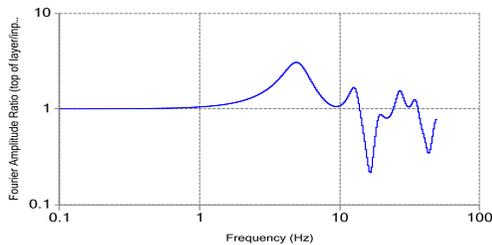
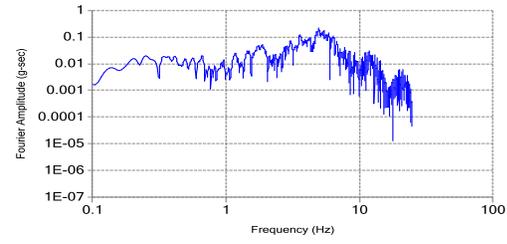
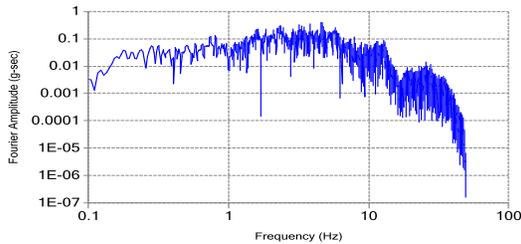


Figura c)

figura d)

Figura 6.10 figura a) Función de Transferencia de Managua 1972. Figura b) Función de transferencia de Chichi. Figura c) Función de transferencia de Imperial Valley. Figura d) Función de transferencia de Northridge. (Extraídas de DEEPSOIL)

Los terremotos locales afectarían mayormente los estratos superficiales de los suelos de Mateare, como se observa en nuestro análisis, en los estratos de la zona 1 (Fig. 6.4) y estratos de la zona 2 (Fig. 6.5). Mientras que el caso de los sismos con frecuencias más bajas afecta estratos a mayor profundidad.

En general los sismos de Managua, Chichi, ImperialValley, Northridge, presentan características de amplitudes espectrales y contenidos de frecuencias naturales similares, debido a su naturaleza de contenido de frecuencia de medias a altas (5-10 Hz).

En el caso del registro del terremoto de Whittierarrows tiene predominancia de frecuencias altas de 20 Hz lo cual coincide con uno de los picos de la función de transferencia. Esto a su vez genera la amplitud espectral en una frecuencia similar, además este sismo tiene otra componente de energía de aproximadamente de 10 Hz y coincide con otro pico máximo de la función de transferencia de 10 Hz, por esta razón se muestra ver dos picos máximos en el espectro de respuesta en este sismo.

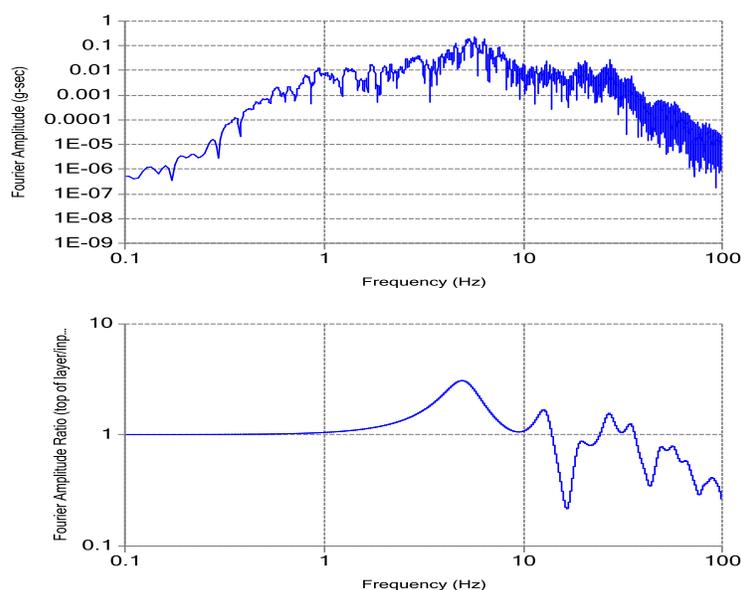


Figura 6.11 Función de Transferencia, Whittierarrows. (DEEPSOIL).

Tabla 6.3 Características De Los Sismos Estudiados.

Nombre del Sismo.	Fecha	X	Y	Magnitud (Escala de Richter).
Terremoto de Managua 1972.	23/ Dic / 1972	12°18' N	12°03' E	6.2 °
Terremoto de ChiChi.	21/ Sep. /1999	23.88° N	120.75° E	7.3 °
Terremoto ImperialValley.	18/ Mayo/ 1940	32.73° N	115.5° W	6.9 °
Terremoto Northridge.	17/ Ene/ 1994	34°12' N	118°32' W	6.7 °
Terremoto Whittiernarrows.	01/ Oct/ 1987	34°06' N	118°08' W	5.9 °

Tabla 6.4 Resultados del Análisis De Los Sismos (Obtenidos Por Deepsoil).

Sismo.	Amplitud Espectral. (g)	Periodo de la F.Transferencia (s)
Managua 1972.	2.06	0.20
ChiChi.	0.72	0.21
ImperialValley.	1.20	0.18
Northridge.	2.48	0.17
Whittiernarrows.	1.82	0.18

6.3.3 Comparacion de Espectros de Respuesta.

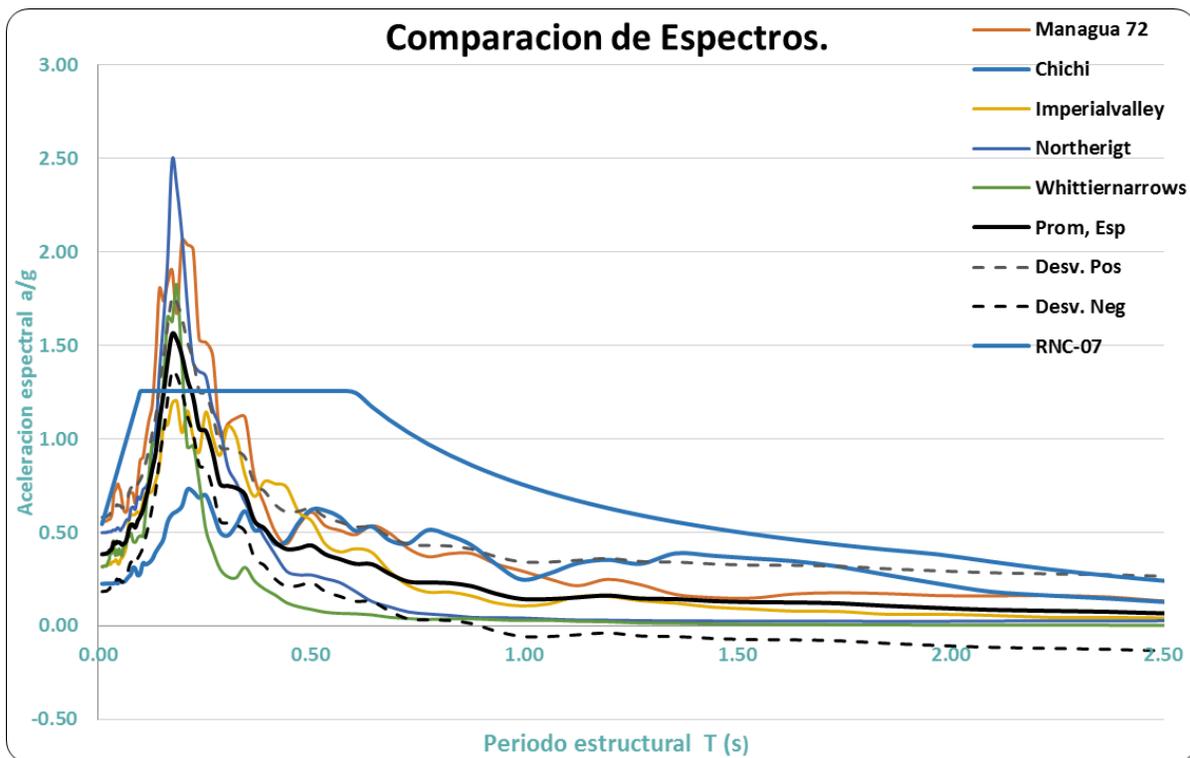


Figura 6.12 Comparación de Espectros de respuesta con Espectro de Diseño del RNC-07.

En la figura anterior se observa la comparación de los espectros de respuesta obtenidos (Sismos Históricos) con el espectro de diseño del Reglamento Nacional de Construcción (RNC-07). Para graficar el espectro de diseño se utilizó un factor de amplificación por tipo de suelo (S), con un valor obtenido de Vs del modelamiento realizado. De lo anterior encontramos que para el municipio de Mateare el factor S es 1.50 debido a que cae dentro de la del tipo de suelo II y en la zona sísmica C. Suelo firme con velocidades de 350 hasta 760 m/s.

Tabla 6.5 Factores de amplificación por tipo de suelo, *S*.

Zona Sísmica	Tipo de Suelo		
	I	II	III
A	1.0	1.8	2.4
B	1.0	1.7	2.2
C	1.0	1.5	2.0

Como se puede apreciar casi todos los espectros de respuesta sobrepasan el espectro de diseño sugerido por el RNC-07. Esto indica que para Mateare el espectro de diseño del RNC-07 no es adecuado, por lo que en este trabajo monográfico propusimos dos espectros alternativos:

- 1) Espectro de diseño basado en el análisis de espectros de respuesta y tomando el factor de amplificación promedio ($S= 1.67$).

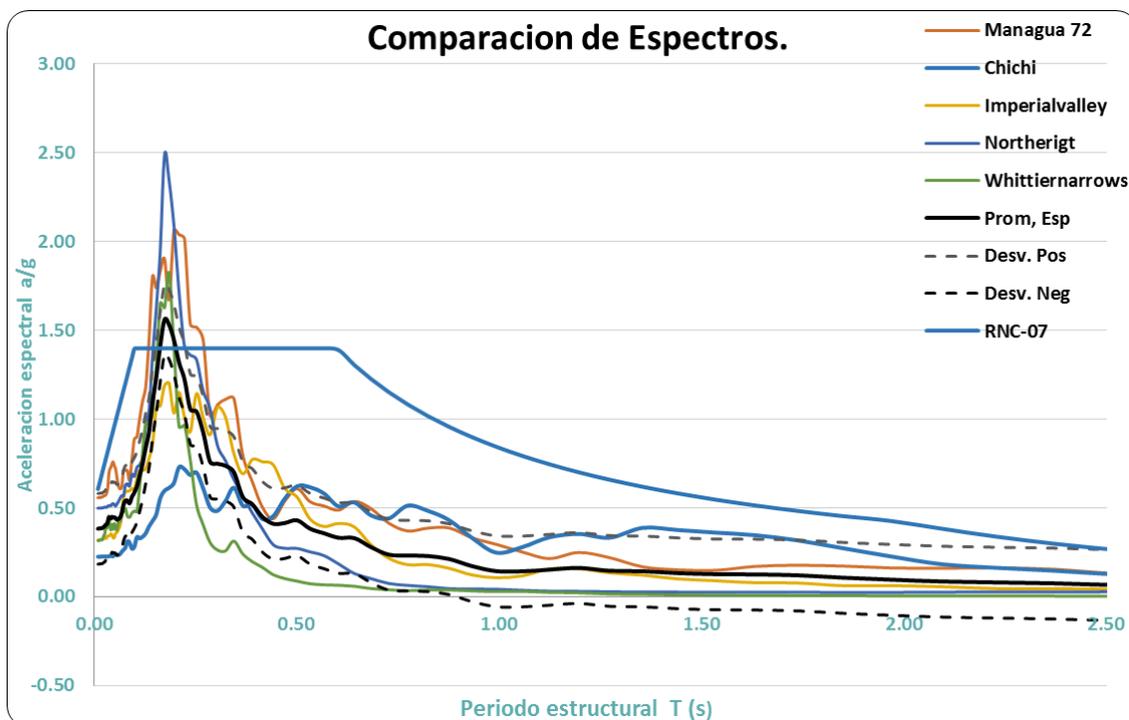


Figura 6.13 Comparación de Espectros de respuesta con Espectro de Diseño Promedio.

En este caso se puede observar que los valores de las ordenadas espectrales del espectro promedio son bastante similares a las del espectro de diseño mandado por el del RNC-07. Varios de los sismos analizados sobrepasan las aceleraciones espectrales del espectro de respuesta promedio. Lo que indica que para la ciudad de Mateare este espectro de diseño aun no es adecuado.

- 2) Espectro de diseño basado en el análisis de espectros de respuesta y tomando el factor de amplificación basado en el evento de máxima aceleración espectral ($S= 2.12$).

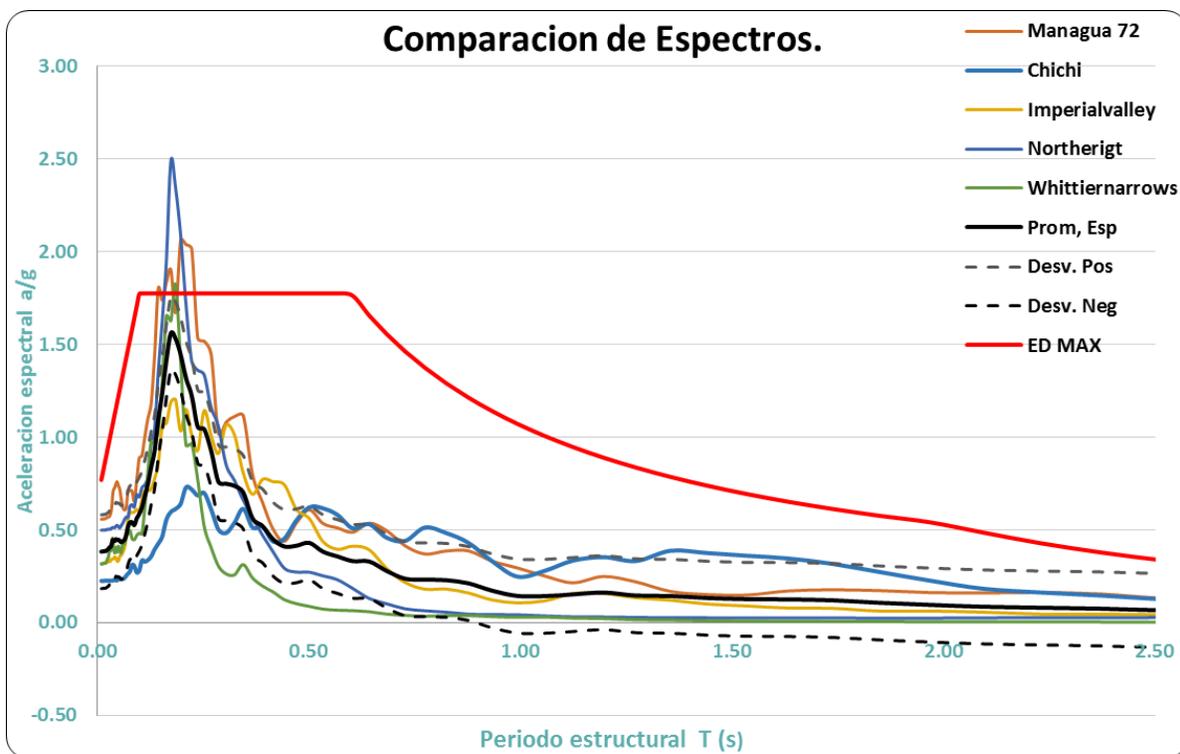


Figura 6.14 Comparación de Espectros de respuesta con Espectro de Diseño Máximo.

En este espectro de diseño (figura 6.14) se observa que varios de los sismos analizados caen dentro de la envolvente de este. Tales como el sismo de Chichi, ImperialValley, Whittiernarrows. Lo que significa que este espectro de diseño puede ser más adecuado para el diseño de futuras estructuras en la ciudad de Mateare.

Por otro lado, como se puede apreciar en la (figura 6.14) el espectro de respuesta del sismo de Northerigt presenta mayor aceleración espectral que los demás sismos analizados, esto podría deberse a que en Mateare los sismos originados por fallas locales es decir con frecuencias altas afectan mayormente a los suelos más superficiales, Para casi todos los registros de sismos excepto el terremoto de Northerigt, se ve que el espectro de diseño calculado para el evento máximo abarca las aceleraciones espectrales dentro de la envolvente.

De este análisis, es claro que es recomendable que las futuras edificaciones en Mateare sean diseñadas para soportar amplitudes espectrales similares a las mostradas en el espectro de diseño máximo propuesto en este trabajo monográfico pues es más conservador y abarca aceleraciones espectrales de sismos severos como el de 1972 en Managua. Además se podría utilizar el espectro de diseño promedio, con la observación que la selección de uno u otro espectro de diseño requeriría el criterio ingenieril y el análisis de la estructura específica a construir así como el estudio y análisis del sitio específico donde se construirá la obra.

7. CONCLUSIONES.

A partir de nuestros análisis en este trabajo monográfico podemos resumir los hallazgos más importantes en los siguientes enunciados:

La utilización de microtemores ha sido muy útil para la zonificación sísmica, la propuesta de Nakamura (1989) para estimar la función de transferencia empírica del suelo no requiere de instrumentación ni procesamiento sofisticado, permitiendo en muchos casos la diferenciación de materiales del subsuelo, tanto por sus características físicas como por su espesor.

Mediante el registro de ruido ambiental se determinó que en el casco urbano del municipio de Mateare los periodos fundamentales de los distintos sitios analizados vibran entre 0.14 seg hasta 0.38 s aproximadamente, lo cual permitió diferenciar picos de frecuencias cuyos comportamientos son bastante similares, partiendo de esta familiaridad y periodos se propusieron 2 zonas de vibración las cuales son:

- Zona 1: Presenta periodos de vibración entre 0.16 a 0.26 s, en esta área las edificaciones de 1 a 3 pisos podrían coincidir con la manera de vibrar del suelo. Por lo que se sugiere especial cuidado al edificar este tipo de obras.
- Zona 2: Presenta periodos de vibración entre 0.26 a 0.38 s, en esta área las edificaciones de 3 a 5 pisos podrían coincidir con la manera de vibrar del suelo. Por lo que se sugiere especial cuidado al edificar este tipo de obras.

Basados en la FTE y los datos litológicos de pozos se modelo la estructura de velocidades de corte (V_s). La FTT se comparó con la FTE y se observó que los resultados están en acuerdo para frecuencias medias. En el caso de las frecuencias más altas la respuesta obtenida con la FTT sobrepasa la respuesta real, esto se podría deber al hecho de que superficialmente existen capas muy delgadas de suelos que no siempre pueden ser muestreadas con las mediciones, es decir que las longitudes de ondas observadas no logran muestrear estas capas dadas su pequeño espesor. De acuerdo al modelamiento se identificó una capa

con características de impedancia alta alrededor de 12 m de profundidad, esto se aproxima bastante a los datos litológicos de la zona.

Se obtuvieron espectros elásticos de respuesta de sitio de acuerdo a las propiedades dinámicas del suelo y de varios acelerogramas con características similares al del terremoto de Managua 1972. De este análisis podríamos decir que las futuras edificaciones en Mateare, podrían ser diseñadas para soportar amplitudes espectrales similares a las experimentadas durante terremotos similares al de Managua de 1972 o el de Northridge (2.06 g hasta 2.48 g) y un periodo fundamental de 0.17 hasta 0.21 segundos.

De la comparación de los espectros de respuesta con el espectro de diseño del RNC-07 encontramos que este último subestima las aceleraciones espectrales para la ciudad de Mateare. Por esta razón, se proponen dos espectros de diseño alternativos al espectro de diseño del RNC-07. Uno fue llamado espectro de diseño promedio y el otro espectro de diseño máximo. El uso de uno u otro para diseñar requiere el criterio del ingeniero así como el análisis del sitio específico donde se construirá.

8. RECOMENDACIONES.

Con base en los resultados determinados en el presente estudio y teniendo en cuenta las conclusiones más relevantes del mismo se plantean las siguientes recomendaciones:

Se recomienda estudiar con objetividad las características geotécnicas del área acompañado de perforaciones, que permitan la recopilación de datos geotécnicos empleados para verificar los valores como: consolidación pesos unitarios húmedos y secos, número de golpes (prueba de penetración estándar), densidades, composición y profundidad de los estratos que conforman el subsuelo, con el fin de obtener información más directa para la estimación de las propiedades dinámicas de los suelos, ya que se conoce que los suelos son heterogéneos y están formados por varios estratos, y así con ello calibrar con mayor eficiencia los diferentes modelos geofísicos.

Usar métodos sismológicos que utilizan ruido sísmico como señal significativa, ya que son adecuados, naturalmente, en zonas urbanas y en sitios con nivel alto de ruido sísmico. Estos métodos pueden ser: H/V o técnica de Nakamura, SPAC (por Spatial Autocorrelation: Aki, 1957), ReMi (por Refraction Microtremor: Louie, 2001), la sísmica de dispersión de ondas superficiales (Shapiro et al., 2005), .Todos intentan conocer las propiedades dispersivas del medio, mediante un registro adecuado de ondas superficiales y de ahí inferir la estructura de velocidades.

Para futuros estudios se recomienda aplicar la Técnica de Nakamura sobre las mediciones de ruido sísmico ambiental, ya que es una alternativa que brinda muy buenos resultados y es un proceso rápido, sencillo y económico, que facilita conocer la función de transferencia empírica de un sitio. Estos datos pueden usarse para futuros proyectos de microzonificación. Esto complementado con otros métodos geofísicos que ayuden a determinar velocidades de ondas de corte V_s a profundidades mayores a los 30 m.

Se recomienda expandir la aplicación de esta metodología en otras ciudades de Nicaragua utilizando distintos registros de terremotos para una evaluación más completa del escenario sísmico, que permita de esta manera la caracterización de rigidez del suelo en la dirección horizontal.

Después de realizar el mapa de zonificación sísmica, se recomienda continuar con el mapa de microzonificación sísmica para elaborar planes de manejo de uso del terreno y enfatizar lugares para realizar trabajos de detalle que consideren: la geología, geofísica y geotecnia, de igual manera plasmar el mapa de riesgo sísmico, que diagnostica la vulnerabilidad física y social de la ciudad en un posible desastre sísmico.

Se recomienda que los resultados de esta investigación sean considerados en el momento que se hagan estudios futuros y que sirvan como un aporte esencial para el análisis de respuesta de sitio y amenaza sísmica en el área. Esto sirve a la hora del diseño sismo-resistente de nuevas estructuras y puede ser utilizado en la etapa de diseño para reducir el riesgo sísmico frente a posibles futuros terremotos.

9. BIBLIOGRAFIA.

A. Alfaro, Navarro. M, Sanchez. J, Pujades. L.G (2010). Microzonificación Sísmica de Barcelona Utilizando el Método de Nakamura.

Asten, M., & Henstridge, J. (1984). Array estimators and the use of microseisms for Reconnaissance of sedimentary basins.

Castrillo, E. N., (2012). Local Site Effect Characterization in the Downtown Area of Managua City Based on Long Period Microtremors.

Chopra, A. K. (1995). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering (1a Ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Chopra, A.K. (2001). Dinámica de Estructuras. (4ta Edición).

Escorcía, K. J., & Ochoa, A. R. (2013). Análisis de respuesta sísmica de sitio y su efecto en el comportamiento dinámico de estructuras en el área urbana de la ciudad de Managua. (Tesis de Ingeniería), Universidad Centroamericana, Managua, Nicaragua.

Faccioli, E., Santoyo, E., & T., León J. (1973). Microzonation criteria and seismic response studies for the city of Managua.

García L. (1998). Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico.

Gutenberg, B. (1958). Microseisms. *Advan. Geophys*, 5, 53-92.}

Hernández, R. O. (2009). Reevaluación del efecto de sitio y propuesta de clasificación de terrenos con fines de diseño sísmico para Managua, Nicaragua. (UNAN-Managua).

Hodgson, G. (1983). Generalidades de la geología de Nicaragua. Primer Seminario de Hidrología, ANGPA. Managua, Nicaragua.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, Dirección general de Geofísica, INETER; (2002).

Kanai K. y Tanaka T. (1961). On microtremores. Tokyo, Japón. Editorial: Univ. Tokyo.

Kilic, H., Ozener, P. T., & Atilla Ansal, M. Y. (2006). Microzonation of Zeytinburnu region with respect to soil amplification: A case study.

Kramer S., Geotechnical Earthquake Engineering, Ed. Prentice Hall, 1996.

Lermo y Chaves-Garcia. (1993). Bulletin of the Seismological Society of America, (vol.83).

MTI. (2007). Reglamento Nacional de Construcción. Managua, Nicaragua.

Nakamura, Y. (1989). A Method for Dynamic Estimations of sub subsurface using microtremor on the ground suerface.

Omori, F. (1909). On micro-tremor. Bull imperial Earth investigation Committe of Tokio, Vol. II

Pinilla, C (2012) "Correlación entre el Perfil de Velocidad de Propagación de Ondas de Corte y el Espectro de Respuesta en Suelos", Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres, SINAPRED; (2005).

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. (2007). XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Sitio Web (www.smis.org.mx).

Verdugo, R. (2008), "Amplification Phenomena Observed in Downhole Array Records Generated on a Subductive Environment", *Physics of Earth and Planetary Interiors* 175(2009) 63-77.

Woodward-Clyde, C. (1975). *Investigation of active faulting in Managua Nicaragua Andvicinity*. Managua, Nicaragua.

ANEXOS.

Anexos 1: Levantamientos de Datos de Microtremores.



Imagen de Calle Este del Parque Central en Zona Urbana de Mateare Donde se Realizó Medición del punto 2 de Microtremores.

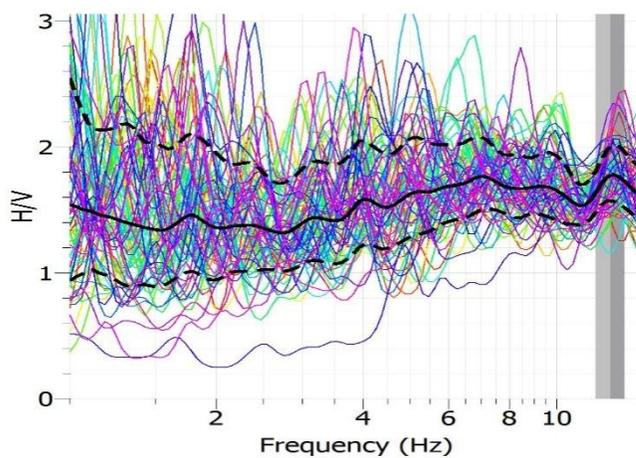


Imagen Calle Norte del Parque Central en Zona Urbana de Mateare, Medición del punto 8 de Microtremores.

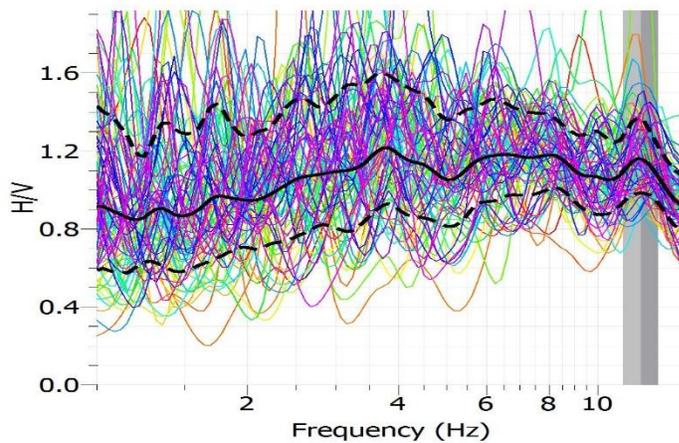


*Equipo de Medición Para Microtremores, sismógrafo triaxial Gemini-2 con
sensores de 1 Hz de frecuencia natural.*

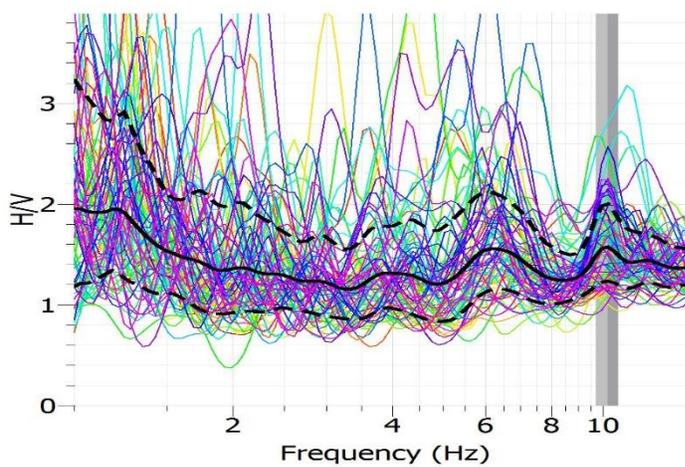
**Anexos 2: Algunos Gráficos de Curvas Procesadas, De Razón Espectral H/V
(Extraídas Desde Geopsy).**



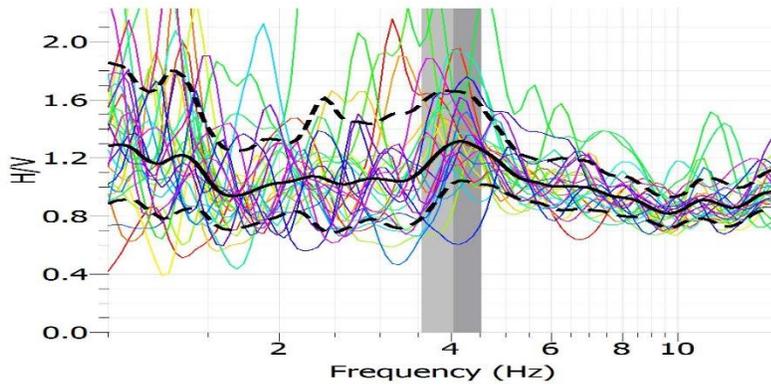
Punto 1.



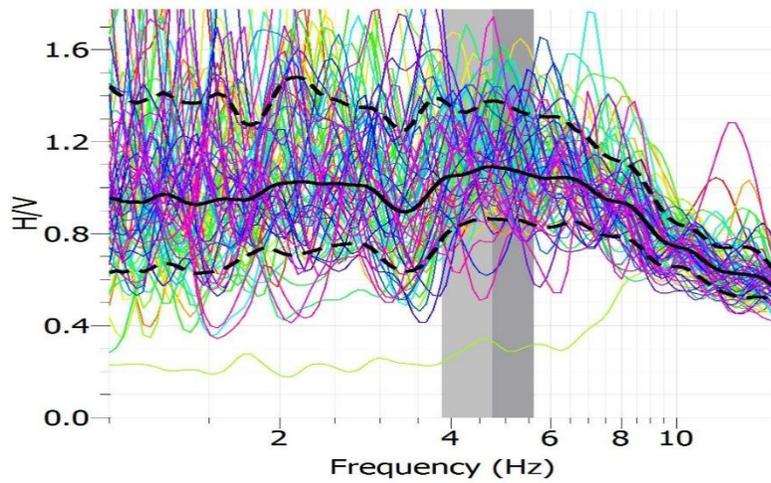
Punto 2.



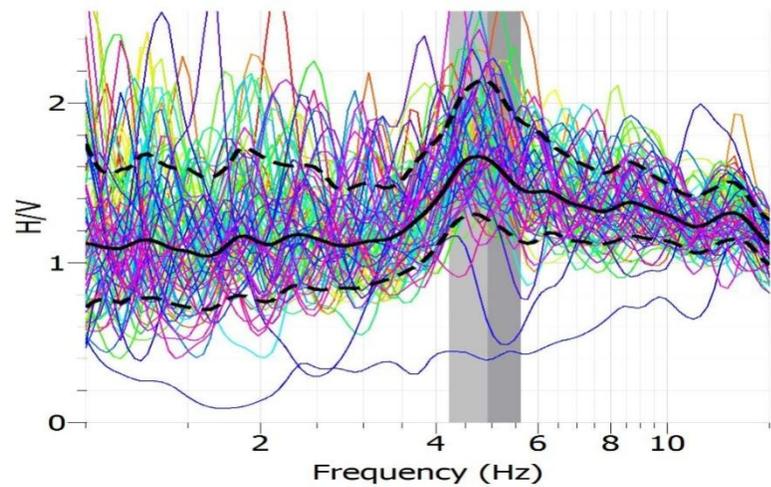
Punto 3.



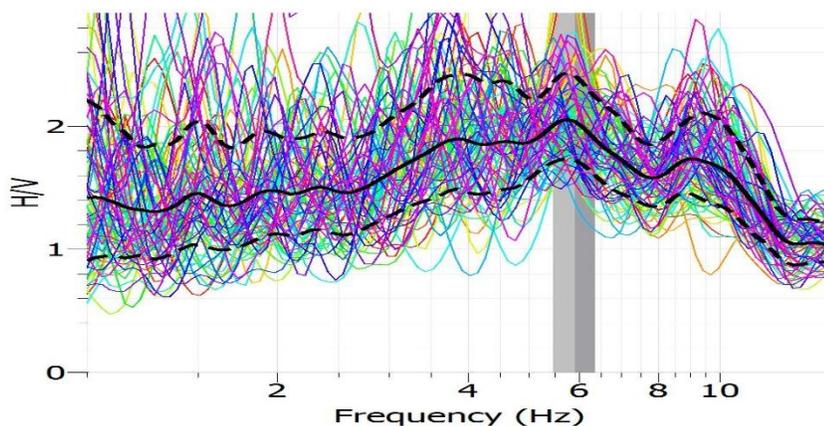
Punto 5.



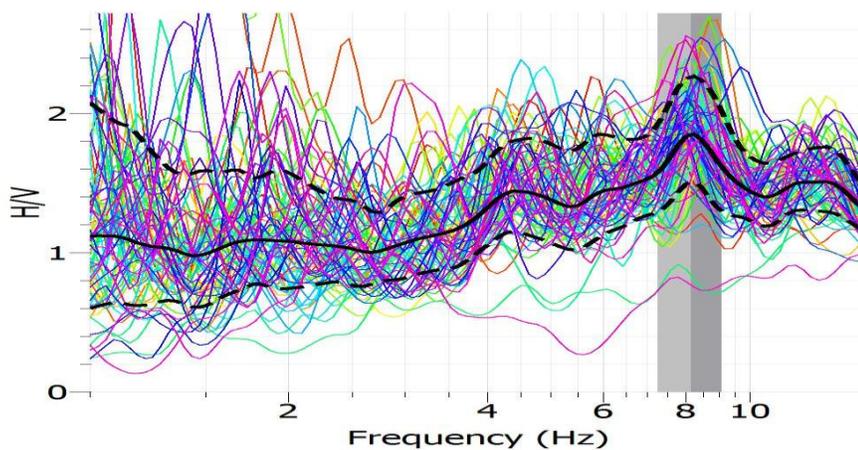
Punto 6.



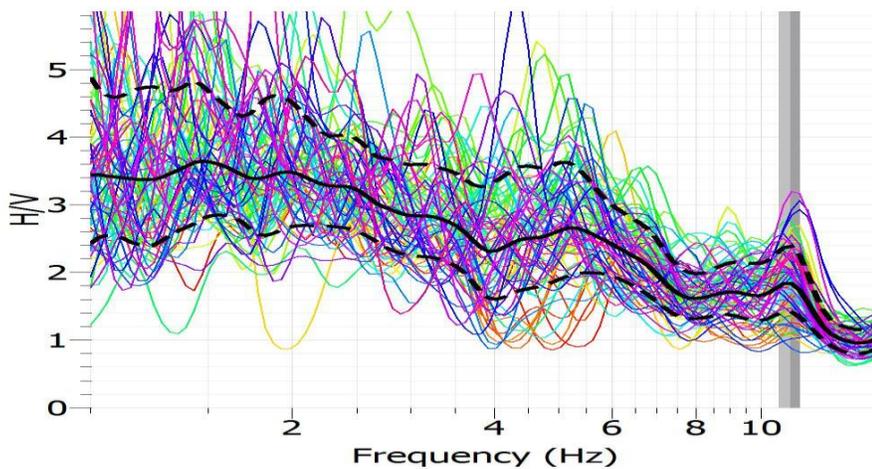
Punto 8.



Punto 9.

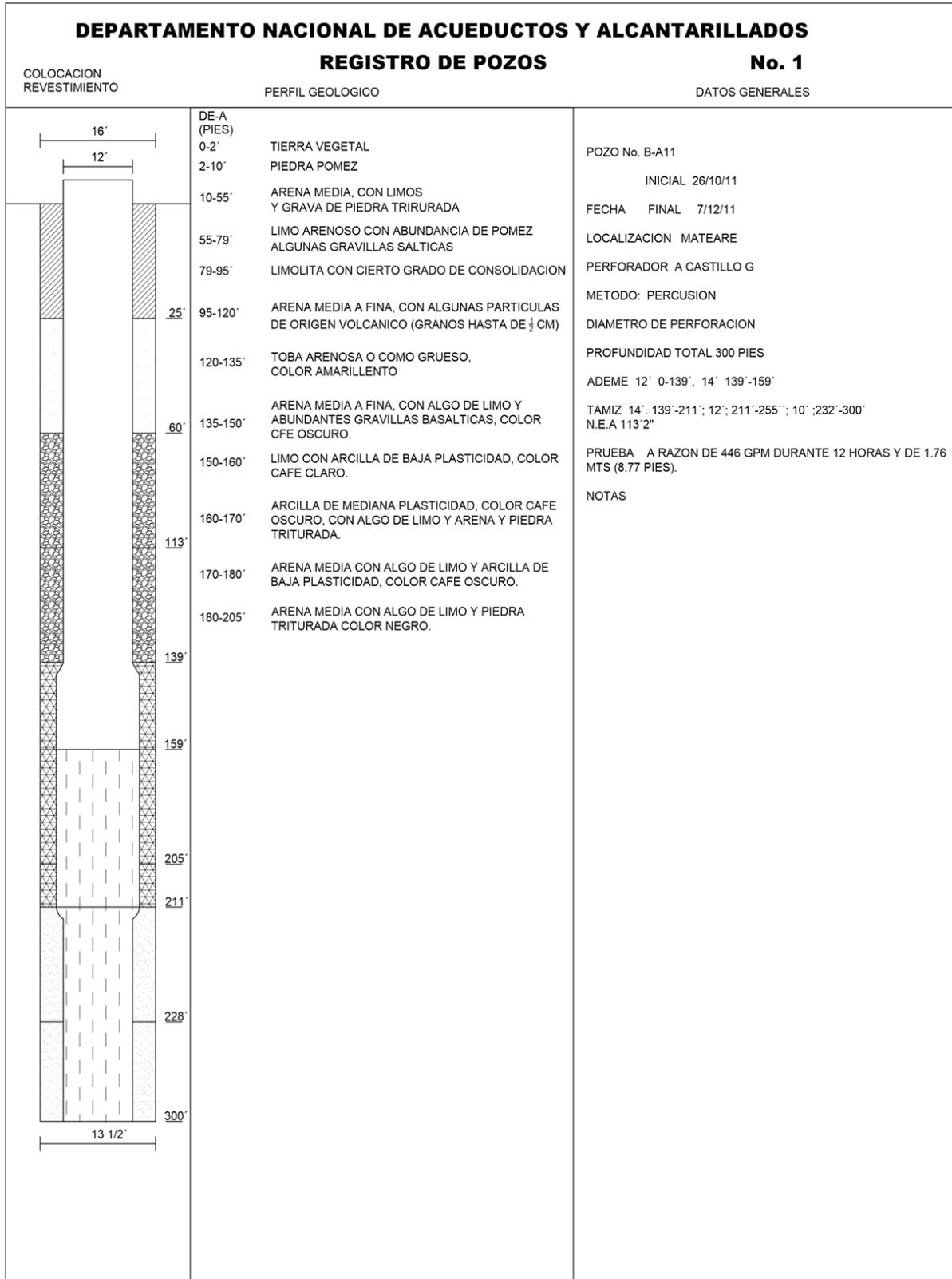


Punto 10.

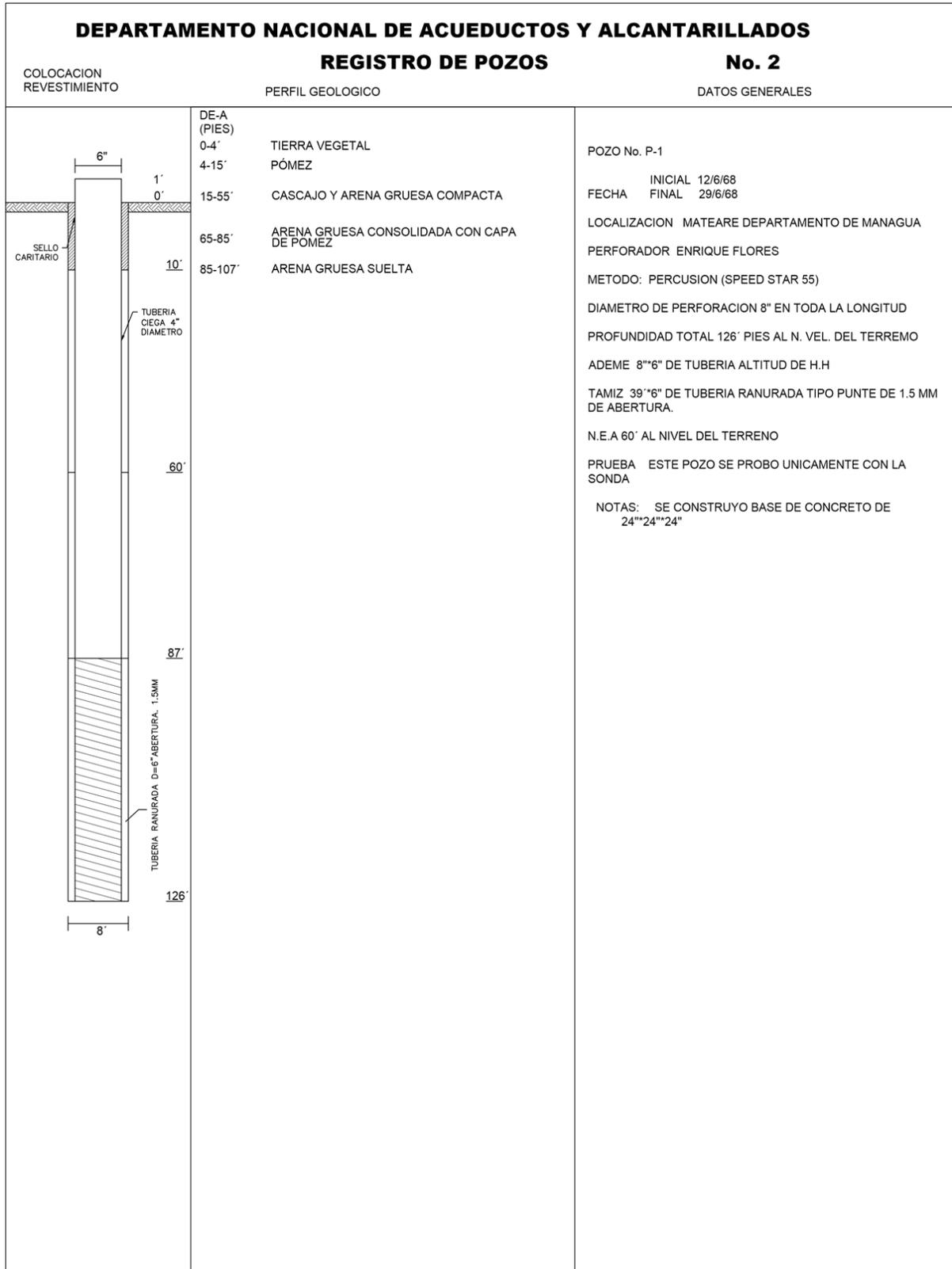


Punto 11.

Anexos 3: Perfil Geológicos de Pozos Existentes de Mateare.



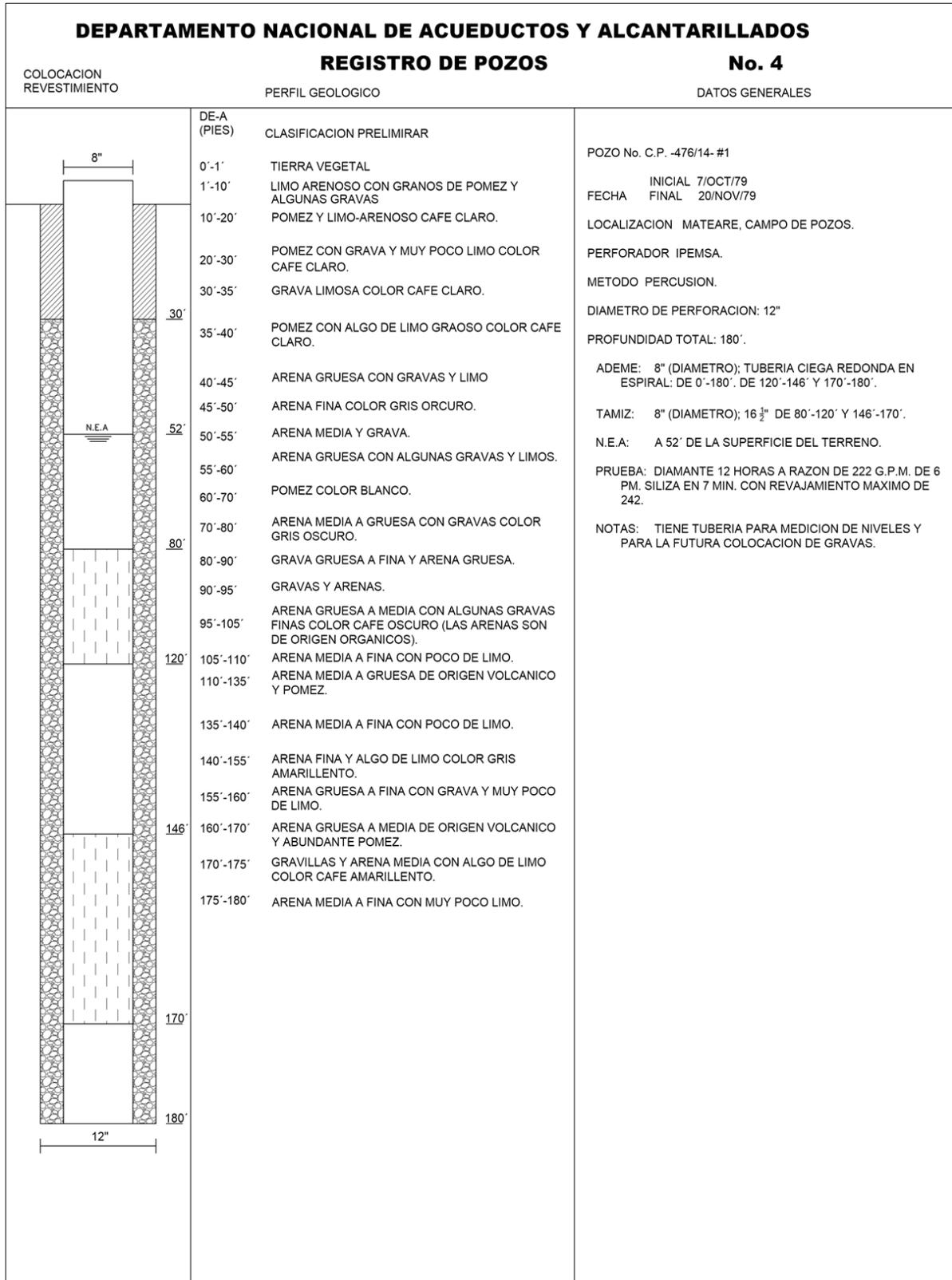
Perfil Geológico, Pozo 1.



Perfil Geológico, Pozo 2.

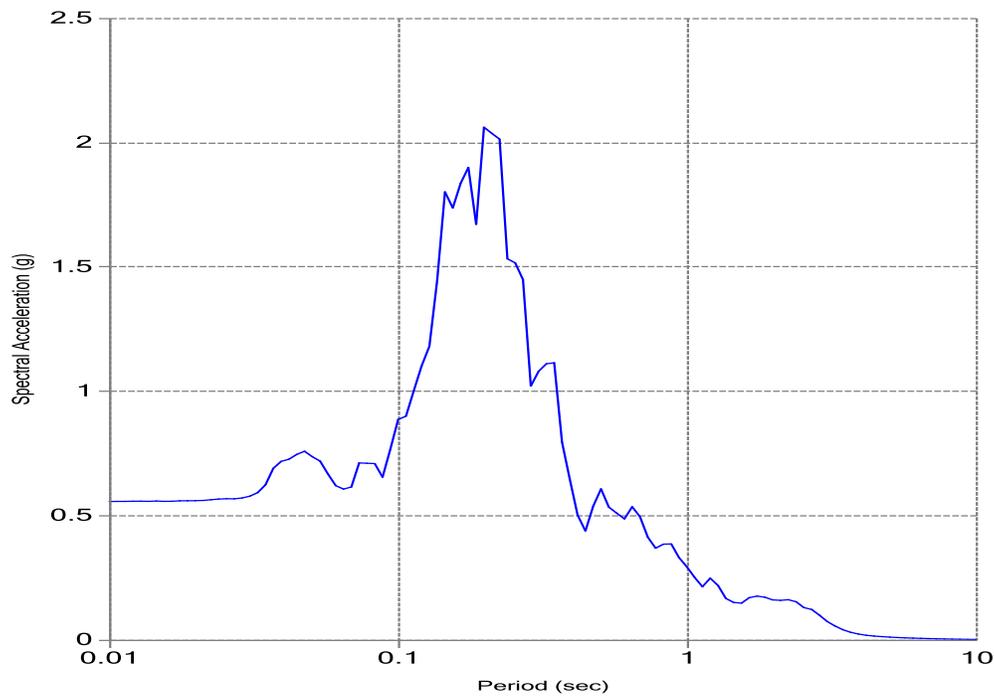
DEPARTAMENTO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS																																								
COLOCACION REVESTIMIENTO	REGISTRO DE POZOS	No. 3																																						
PERFIL GEOLOGICO	DATOS GENERALES																																							
	<table border="0"> <tr> <td>DE-A (PIES)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0'-9'</td> <td>PIEDRA POMEZ</td> </tr> <tr> <td>9'-31'</td> <td>CASCAJO DE PIEDRA POMEZ</td> </tr> <tr> <td>31'-44'</td> <td>ARENA Y PIEDRA POMEZ</td> </tr> <tr> <td>44'-46'</td> <td>TALPETATE</td> </tr> <tr> <td>46'-48'</td> <td>BARRO</td> </tr> <tr> <td>48'-51'</td> <td>ARENA Y PIEDRA POMEZ</td> </tr> <tr> <td>51'-54'</td> <td>ARENA CAFE</td> </tr> <tr> <td>54'-58'</td> <td>ARENA NEGRA.</td> </tr> <tr> <td>58'-60'</td> <td>ARENA CAFE.</td> </tr> <tr> <td>60'-71'</td> <td>PIEDRA CANTERA .</td> </tr> <tr> <td>71'-76'</td> <td>CASCAJO.</td> </tr> <tr> <td>76'-83'</td> <td>ARENA Y PIEDRA POMEZ.</td> </tr> <tr> <td>83'-91'</td> <td>TALPETATE.</td> </tr> <tr> <td>91'-104'</td> <td>BARRO CON ARENA.</td> </tr> <tr> <td>104'-120'</td> <td>TALPETATE.</td> </tr> <tr> <td>120'-154'</td> <td>ARENA Y PIEDRA POMEZ.</td> </tr> <tr> <td>154'-162'</td> <td>BARRO.</td> </tr> <tr> <td>162'-181'</td> <td>TALPETATE.</td> </tr> </table>	DE-A (PIES)		0'-9'	PIEDRA POMEZ	9'-31'	CASCAJO DE PIEDRA POMEZ	31'-44'	ARENA Y PIEDRA POMEZ	44'-46'	TALPETATE	46'-48'	BARRO	48'-51'	ARENA Y PIEDRA POMEZ	51'-54'	ARENA CAFE	54'-58'	ARENA NEGRA.	58'-60'	ARENA CAFE.	60'-71'	PIEDRA CANTERA .	71'-76'	CASCAJO.	76'-83'	ARENA Y PIEDRA POMEZ.	83'-91'	TALPETATE.	91'-104'	BARRO CON ARENA.	104'-120'	TALPETATE.	120'-154'	ARENA Y PIEDRA POMEZ.	154'-162'	BARRO.	162'-181'	TALPETATE.	<p>POZO No. I-1=D-1</p> <p>INICIAL 27 DE JULIO DE 1965 FECHA FINAL 7 AGOSTO DE 1965</p> <p>LOCALIZACION MATEARE, INTERSECCION CALLE CENTRAL Y LA CALLE NORTE. MANAGUA</p> <p>PERFORADOR: SABINO ORDOÑEZ.</p> <p>METODO: ROTATIVO.</p> <p>DIAMETRO PERFORADO: 0- 18"; CON BROCA DE 12.1/4"</p> <p>PROFUNDIDAD TOTAL 158 PIES.</p> <p>ADEME 106 DE H.N. DE 6" DE DIAMETRO.</p> <p>TAMIZ 52" DE H.G. RANURAS TIPO PUENTE ABERTURAS DE 2MM.</p> <p>N.E.A 53' AL BROCAL.</p> <p>PRUEBA</p> <p>NOTAS: SE DESARROLLO POR MEDIO DE GRAVA Y PISTONEO POR ESPACIO DE 8 HORAS. SE COLOCO SELLO DE CEMENTO EN LONGITUD DE 30'.</p>
DE-A (PIES)																																								
0'-9'	PIEDRA POMEZ																																							
9'-31'	CASCAJO DE PIEDRA POMEZ																																							
31'-44'	ARENA Y PIEDRA POMEZ																																							
44'-46'	TALPETATE																																							
46'-48'	BARRO																																							
48'-51'	ARENA Y PIEDRA POMEZ																																							
51'-54'	ARENA CAFE																																							
54'-58'	ARENA NEGRA.																																							
58'-60'	ARENA CAFE.																																							
60'-71'	PIEDRA CANTERA .																																							
71'-76'	CASCAJO.																																							
76'-83'	ARENA Y PIEDRA POMEZ.																																							
83'-91'	TALPETATE.																																							
91'-104'	BARRO CON ARENA.																																							
104'-120'	TALPETATE.																																							
120'-154'	ARENA Y PIEDRA POMEZ.																																							
154'-162'	BARRO.																																							
162'-181'	TALPETATE.																																							

Perfil Geológico, Pozo 3.

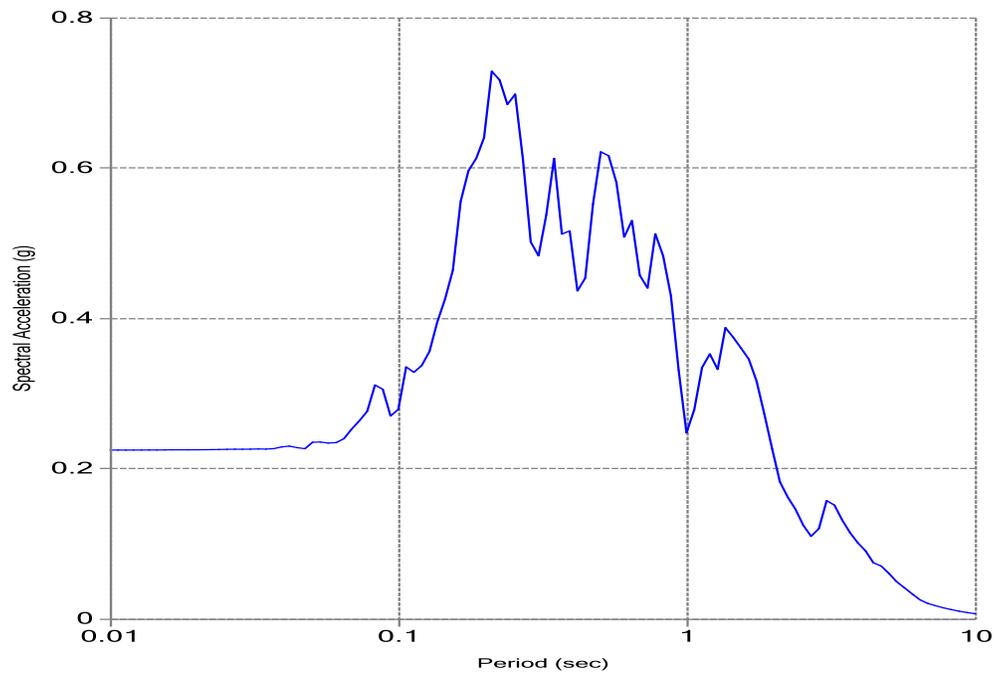


Perfil Geológico, Pozo 4.

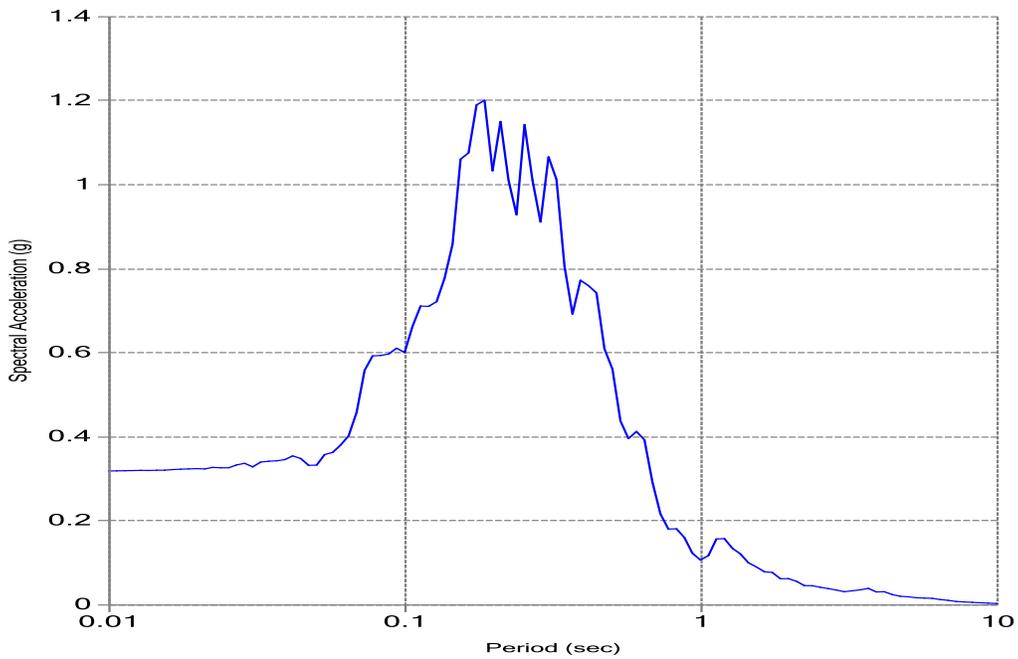
**Anexos 4: Espectros de Respuesta considerando el modelo de suelos
obtenido.**



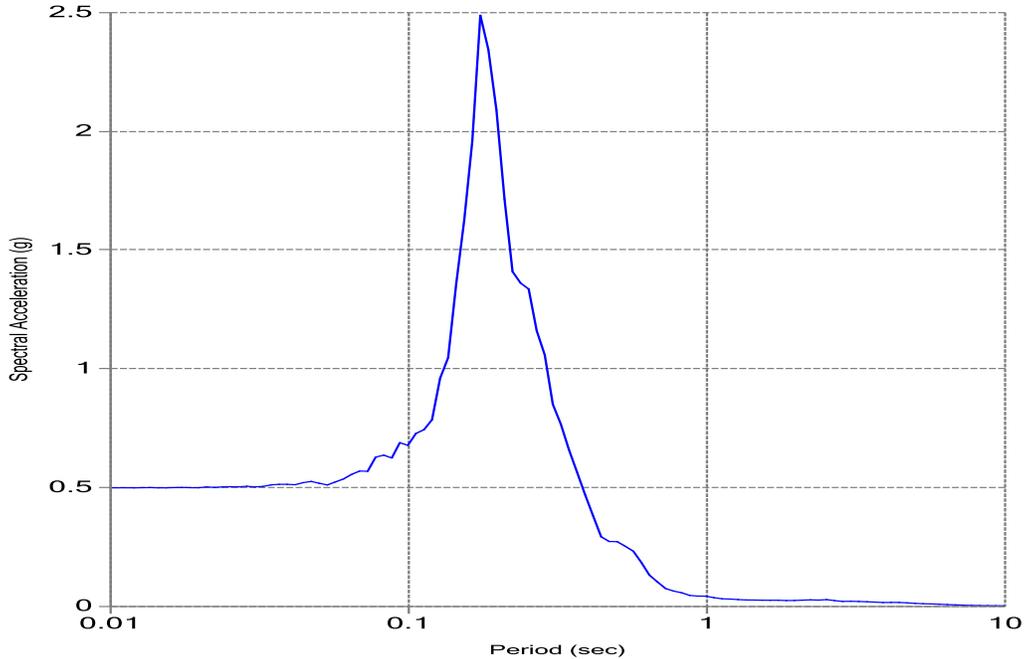
Espectro de Respuesta Usando Registros del Sismo de Managua 1972.



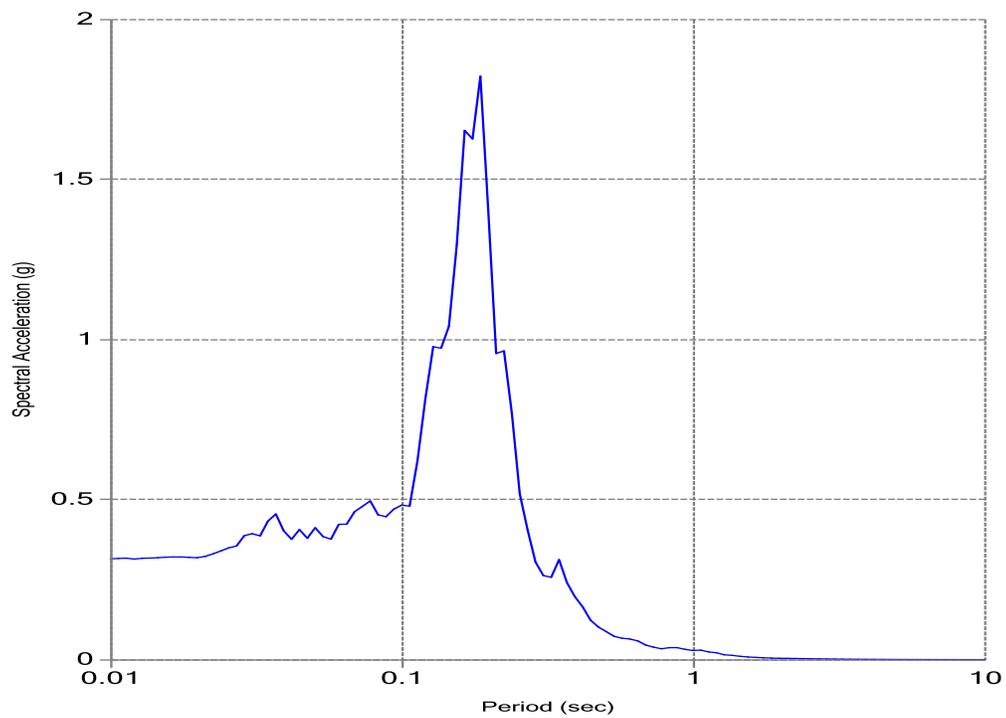
Espectro de Respuesta Usando los Registros del Sismo ChiChi.



Espectro de Respuesta, Utilizando los Registro del Sismo ImperialValley.



Espectro de Respuesta Usando Registros Sísmico de Northridge



Espectro de Respuesta Usando Registros Sísmico de Whittiernarrows.