



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Recinto Universitario “Rubén Darío”.

Facultad De Ciencias e Ingeniería.

Departamento de Física.

Estimación de Modelos de Velocidad de Onda de Cizalla (V_s) y Parámetros Dinámicos de los Suelos en la Ciudad de Managua, Nicaragua en el período del 2018 al 2020.

Tesis de Seminario de Graduación presentada como requisito final para optar al título de:

Licenciado en Física con Mención en Geofísica.

Presentado por:

Br. Roger Ulises Guevara Soza (15049126).

Br. Alexander de Jesús Trujillo Espinoza (15048862).

Br. Bryan José Bermúdez Aguirre (15040964).

Tutor: Msc. Xochilt Esther Zambrana Areas.

Asesor: Ph.M. Nadir Castrillo.

Managua, Noviembre del 2020.

DEDICATORIA

A Dios por sus grandiosas bendiciones, por brindarme sabiduría y entendimiento y por darme las fuerzas de seguir siempre adelante y nunca rendirme, logrando superar muchos retos y obstáculos a lo largo de mi actividad académica.

A mis padres Lorenzo de Jesús Trujillo Torrez y Marfa Auxiliadora Espinoza Aguirre, por el apoyo incondicional, que a pesar de las dificultades siempre me animan a luchar por mis metas y mis sueños, acompañándome en todo momento y en cada una de mis dificultades.

A mis hermanos, primos y tíos que me han dado su apoyo aconsejándome y ayudando en momentos difíciles, mil gracias a todos.

Alexander de Jesús Trujillo Espinoza.

DEDICATORIA

A Dios por sus infinitas bendiciones, ya que sin su fuerza y protección no habría podido llegar hasta acá. También por darme sabiduría, entendimiento y una gran perseverancia que me han acompañado todo este trayecto para poder alcanzar mis metas.

De igual manera a mis padres César Augusto Bermúdez Alaniz y Alba Luz Aguirre Machado que me han apoyado en todo momento de forma incondicional, a través de todo un camino largo, con buenas y malas etapas; y que siguen creyendo en mí para que tenga un futuro mejor y siga creciendo como profesional, pero en especial como persona de bien.

También al resto de mis familiares, amistades y docentes que me han acompañado a lo largo de esta etapa, así como en las anteriores. Aportando con su conocimiento y enriquecedoras experiencias que me han servido de guía.

Bryan José Bermúdez Aguirre.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios primeramente por darme la vida, la sabiduría y la fuerza durante las distintas etapas de mi carrea, dándome la perseverancia y paciencia, sobre todo por guiarme por el mejor camino y superar los obstáculos a lo largo de mi etapa universitaria.

En especial a mis padres Roger Antonio Guevara Rugama y Juana Paula Soza Angulo, quienes son mi mayor inspiración, por su apoyo, gracias porque siempre están motivándome a cumplir mis metas y mis sueños y por acompañarme en todos los momentos, superando las dificultades de la vida.

A mi hermano que espero siga mis pasos y a los que están conmigo motivándome para ser una mejor persona y un buen profesional.

La Fe no hace que las cosas sean fáciles, hacen que sean posibles. Lucas 1:37.

Roger Ulises Guevara Soza.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer primeramente a Dios por brindarnos las fuerzas y sabiduría y la perseverancia para lograr alcanzar nuestras metas.

A nuestros padres y familiares por el apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios.

A la Universidad Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) por permitir haber sido parte de su población estudiantil, también así al departamento de Física de la facultad de Ciencias e Ingeniería por su colaboración y brindarnos la oportunidad de facilitar las condiciones y estar al pendiente de nosotros como estudiantes para poder culminar nuestra carrera además por el apoyo en nuestras prácticas de campo. También, se les agradece enormemente a los profesores que estuvieron constantemente y trabajando arduamente para transmitirnos los conocimientos en el campo de la Geociencia, por su paciencia para poder instruirnos en el camino correcto.

También queremos agradecer a nuestra tutora MSc. Xóchilt Zambrana por brindarnos su tiempo, apoyo y por compartir sus conocimientos, por estar atentamente en el proceso de la investigación brindando sus aportes, comentarios y sugerencias para así tener buenos resultados en nuestro trabajo de seminario de graduación.

VALORACIÓN DE TUTOR.



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
2020: "AÑO DE LA EDUCACION CON CALIDAD Y PERTINENCIA"

Managua, Nicaragua 10 de noviembre 2020.

Dr. Noel Zelaya
Director
Departamento de Física.
Facultad de Ciencias e Ingenierías.

Estimado Dr. Zelaya:

El motivo de la presente es para comunicarle que he dirigido y revisado el trabajo del Seminario de Graduación elaborado por los Bachilleres: *Alexander de Jesús Trujillo Espinoza, Bryan José Bermúdez Aguirre y Roger Ulises Guevara Soza*, de la Carrera de Física en Mención en Geofísica del Departamento de Física de la UNAN-Managua. Dicho trabajo lleva por título: *Estimación de Modelos de Velocidad de la Onda de Corte (Vs) y parámetros dinámicos de los suelos en la ciudad de Managua, Nicaragua*.

Dado lo anterior, ratifico que el trabajo realizado contiene conocimientos que son científicamente aceptados y técnicamente prácticos, enmarcados en el tema de investigación, por lo cual otorgo mi aprobación para que los estudiantes procedan a la pre- defensa y defensa final de graduación.

Agradeciendo su amable atención, me despido, deseándoles muchos éxitos en su labor.

Atentamente

Msc. Noehilt Zambrana
Docente Titular
Departamento de Tecnología
Facultad de Ciencias e Ingenierías

Cc:
Msc. Marlon Díaz. Decano. Facultad de Ciencias e Ingenierías
Msc. Elim Campos. Director Departamento de Tecnología.

¡A la libertad por la Universidad!

Rotonda Universitaria Rigoberto López Pérez, 150 metros al Este. | Recinto Universitario "Rubén Darío"
Cod. Postal 663 - Managua, Nicaragua | Telf.: 2278 6769 / Ext. 6008 | www.unan.edu.ni

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo conocer modelos de vibración del suelo o efecto de sitio en el municipio de Managua, esto está enfocado a conocer las características y respuestas ante un evento sísmico, el área de estudio corresponde a una zona de mucha peligrosidad sísmica, ya que se encuentra sobre el Graben de Managua, el cual lo atraviesan diversas fallas geológicas, que en varias ocasiones se ha visto afectada por terremotos de magnitud 6.0-6.2. En el área de estudio se seleccionaron puntos aleatorios de medición, en los cuales se levantaron datos de campo para la aplicación de la técnica de Nakamura a partir del ruido ambiental, la cual brinda una información eficaz para la caracterización de los suelos.

La aplicación del coeficiente espectral H/V se obtiene como resultado las funciones de transferencia empírica (FTE), el cual se seleccionó un total de 96 puntos en el municipio de Managua, donde se muestra el procedimiento para la determinación de los periodos predominantes (T_0) y las Amplificaciones relativas (A) del suelo. Posteriormente se estimaron modelos de velocidad con sus parámetros Dinámicos y físicos del subsuelo: espesores de capa, velocidad de onda de corte V_s , velocidad de onda V_p y Densidades. Luego se obtiene el modelo de onda de corte V_s de los modelos sísmicos, se consultó el reglamento de la construcción nicaragüense (RCN-07) para estimar los tipos de suelos.

Palabras Claves:

Ruido ambiental, Efecto de sitio, Peligrosidad sísmica, Periodo y Amplitud.

INDICE

CAPITULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. LOCALIZACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO.....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS	6
CAPITULO II	7
2.1. MARCO REFERENCIAL	7
2.1.1. Antecedentes.....	7
2.1.2. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1.2.1. Tectónica Regional.....	11
2.1.2.2. Sismicidad del Margen Pacífico de Nicaragua.....	13
2.1.2.2.1. Sismicidad en la Zona de Wadatti-Benioff.....	13
2.1.2.2.2. Sismicidad de Focos Someros Continentales.....	13
2.1.2.3. Geología Regional de Nicaragua.....	15
2.1.2.3.1. La Planicie de la Costa del Pacífico.....	15
2.1.2.3.2. Provincia de la Depresión o Graben.....	15
2.1.2.3.3. Provincia Central.....	16
2.1.2.3.4. Provincia del Norte.....	16
2.1.2.3.5. La Provincia de la Planicie Costera del Atlántico.....	16
2.1.2.4. Geología de Managua.....	18
2.1.2.4.1. Fallas del Graben de Managua.....	19
2.1.2.4.2. Peligrosidad Sísmica de Managua.....	22

2.1.2.4.3.	Sismicidad histórica de Managua.....	22
2.1.2.5.	Métodos Sísmicos.....	25
2.1.2.5.1.	Fundamentos Físicos del Método Sísmico.....	25
2.1.2.6.	Ondas sísmicas.	27
2.1.2.6.1.	Ondas de cuerpo.	28
2.1.2.6.2.	Ondas P.	28
2.1.2.6.3.	Ondas S.	29
2.1.2.6.4.	Ondas superficiales.	29
2.1.2.6.4.1.	Ondas Rayleigh (R).....	30
2.1.2.6.4.2.	Ondas Love (L).....	30
2.1.2.7.	Parámetros Dinámicos del Suelo.....	31
2.1.2.7.1.	Amplificación.	31
2.1.2.7.2.	Período.	32
2.1.2.7.3.	Frecuencia.	32
2.1.2.7.4.	Fenómeno de Resonancia.....	32
2.1.2.8.	Microremores.	33
2.1.2.8.1.	Características de Microremores.	33
2.1.2.8.2.	Efecto de Sitio	34
2.1.2.8.3.	Función de Transferencia.....	35
2.1.2.8.4.	Técnica de Nakamura.	36
2.1.2.8.5.	Razón Espectral Relativa a un Sitio de Referencia.	37
2.1.2.9.	Velocidad de la Onda de Corte (V/s) (Clasificación por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07).....	38
2.2.	HIPÓTESIS.....	40
	CAPITULO III.....	41

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO.....	41
3.1.1. Tipo de estudio.	41
3.1.2. Área de estudio.	41
3.1.3. Universo y Muestra.....	43
3.1.4. Matriz de Operacionalización de las variables independientes (MOVI).	44
3.1.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	45
3.1.6. Procedimiento para la recolección de datos.	46
3.1.7. Plan de procesamiento y análisis.....	48
Capítulo IV.....	50
4.1 Análisis y Discusión de Resultados	50
Capítulo V	76
5.1 CONCLUSIONES	76
5.2 Recomendaciones	80
BIBLIOGRAFIA	82
ANEXOS.....	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.....	3
Figura 2. Mapa tectónico de Centroamérica y Nicaragua.....	12
Figura 3. Actividad sísmica de Nicaragua, en el periodo del 2000 al 2020.....	14
Figura 4. Mapa de Provincias Geológicas de Nicaragua	17
Figura 5. Mapa de zonas de fallas geológicas.	21
Figura 6. Imagen del palacio nacional después del terremoto de 1931	23
Figura 7. Vista aérea del centro de Managua después del terremoto de 1972	24
Figura 8. Habitantes de las ciudades afectadas por el terremoto.....	24
Figura 9. Trayectoria del tiempo mínimo en medios no homogéneos.....	26
Figura 10. Esquema de reflexión y refracción	27
Figura 11. Propagación de las Ondas Longitudinales.....	28
Figura 12. Propagación de las Ondas Transversales	29
Figura 13. Propagación de las Ondas Rayleigh	30
Figura 14. Propagación de las Ondas Love	31
Figura 15. Frecuencia de la onda sísmica	32
Figura 16. Clasificación de los microtemores según el periodo y las fuentes de microtemores.....	33
Figura 17. Mapa del área de estudio	42
Figura 18. Acelerómetro McSEIS.MT NEO.....	45
Figura 19. Brújula Suunto MC-2 NH	47
Figura 20. GPS marca Garmin Etrex 10 para localización de datos	47
Figura 21. Configuración de los datos de entrada del programa Wavemic2009v4e.....	50
Figura 22. Registro de vibración ambiental y espectro de Fourier en las componentes del movimiento del suelo N-S, E-W Y U-D,	51
Figura 23. Gráfico ejemplos de la función de transferencia empírica (FTE).....	52
Figura 24. Gráfico ejemplo del promedio de la (FTE) en el punto 28 en el cual se obtiene la amplificación y el periodo dominante del suelo.....	53
Figura 25. Modelo de velocidad P24.....	55
Figura 26. Modelo de velocidad del P16.....	56
Figura 27. Modelo de velocidad del P28.....	57

Figura 28. Interpretación geológica de Modelo de velocidad del punto 24.....	58
Figura 29. Interpretación geológica de modelo de velocidad de punto 16.	59
Figura 30. Interpretación geológica de modelo de velocidad de punto 28.	60
Figura 31. Modelo de velocidad de punto 33.	62
Figura 32. Interpretación geológica de modelo de velocidad de punto 33.	63
Figura 33. Modelo de velocidades P44.	65
Figura 34. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 44.	66
Figura 35. Modelo de velocidades P93.	68
Figura 36. Modelo de velocidades P94.	69
Figura 37. Modelo de velocidades P95.	70
Figura 38. Modelo de velocidades P96.	71
Figura 39. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 93.	72
Figura 40. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 94.	73
Figura 41. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 95.	74
Figura 42. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 96.	75
Figura 44. Puntos de mediciones de Microtremores de la UNAN-Managua	91
Figura 45. Puntos de mediciones de Microtremores de la zona Aeropuerto	92
Figura 46. Puntos de mediciones de Microtremores de las piedrecitas Managua,	93
Figura 47. Mapa de los puntos de medición de difrentes punto de managua,	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Vértices del área de estudio.	2
Tabla 2. Tabla factores de amplificación por tipo de suelo (MTI, 2007).....	39
Tabla 3. Operacionalización de variables.....	44
Tabla 4. Especificaciones técnicas del equipo McSEIS-MT NEO.	46
Tabla 5. Coordenadas UTM de los puntos de medición de Microtremores en la ciudad de Managua con el Método de Nakamura.....	90

CAPITULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Nicaragua es un país que está ubicado en una zona de interacción de placas tectónicas que a su vez están se encuentran sobre el llamado cinturón de fuego, cuyos movimientos relativos generan esfuerzos en la corteza terrestre que a su vez se derivan sistemas de fallas activas y alta ocurrencia de terremotos, que a consecuencia de estos se han generado llegando a causar daños en la infraestructura y consecuencias en la población expuesta. La sismicidad del país ha sido comprobada por la ocurrencia de numerosos terremotos entre los cuales se destacan los sismos de 1931 y 1972; estos con un alto poder destructivo y lo cual ocasiona consecuencias para la población y la economía del país. Se ha considerado una alta peligrosidad sísmica a la que está sometida Managua y su población, es muy importante que en la ciudad se elaboren planes de contingencia, de mitigación y de protección, que permitan enfrentar las catástrofes naturales con mayor eficiencia, por un evento sísmico con características desastrosas.

El territorio del municipio de Managua pertenece a la cuenca sur del Lago Xolotlán (Lago de Managua) y tiene un área total aproximada de 267 km², con un área urbana de aproximadamente 174 km². Es la ciudad más extensa de Nicaragua, con una población aproximada de 1 049 105 (INIDE, 2017); lo que corresponde al 41% de la población total del país.

En nuestro trabajo de investigación se realizara un estudio en el municipio de Managua, que aproximadamente abarca un área de 180 km², con el propósito de conocer y estudiar los comportamiento dinámico del suelo, para así evaluar el grado de peligro ante un evento sísmico y se puedan mitigar posibles daños y con esto brindar información base del suelo tales, como; periodos y frecuencias de vibración, amplificaciones del suelo, que sea útil para las futuras edificaciones que se den en el área de estudio. Para realizar este estudio se hará uso de la Técnica de Nakamura para determinar si hay efecto de sitio en la zona y de esta manera estimar modelos de velocidad del subsuelo.

1.1.1. LOCALIZACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

La Ciudad de Managua se encuentra ubicada en el occidente de Nicaragua, en la costa sureste del Lago Xolotlán (*ver figura 1*), cuenta con una extensión de 267,2 km². El caso urbano de Managua se localiza en las hojas topográficas Managua, número 2952-III, y Nindirí 2952-II, a escala 1:50000, editadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER, 1998).

El área de estudio se limita al norte con el Lago Xolotlán, al noroeste con el municipio de Ciudad Sandino, al suroeste el municipio de El Crucero, al sureste los municipios de Ticuantepe y Nindirí, y al noreste con el municipio de Tipitapa. Dentro de la zona de estudio se encuentran los lugares, Tiscapa, Nejapa, UNAN-Managua, el antiguo estadio nacional Denis Martínez, Carretera Sabana Grande.

Para acceder al municipio de Managua, las principales vías de accesos al área de estudio son cuatros, por el norte se puede entrar por la Garita de la carretera Norte, al oeste por la proveniente del occidente las Piedrecitas, por el sureste la carretera hacia Masaya y al sur por la carretera Sur proveniente del Municipio El Crucero.

	Coordenadas		N° de Vértices
	Oeste	Norte	
Vértices de área de estudio de la Ciudad de Managua	577511	1343407	1
	576979	1341229	2
	579690	1339729	3
	581965	1339583	4
	584095	1339099	5
	585886	1340019	6
	587919	1342439	7
	587725	1344134	8
	583998	1343725	9
	580948	1343456	10

Tabla 1. Vértices del área de estudio.

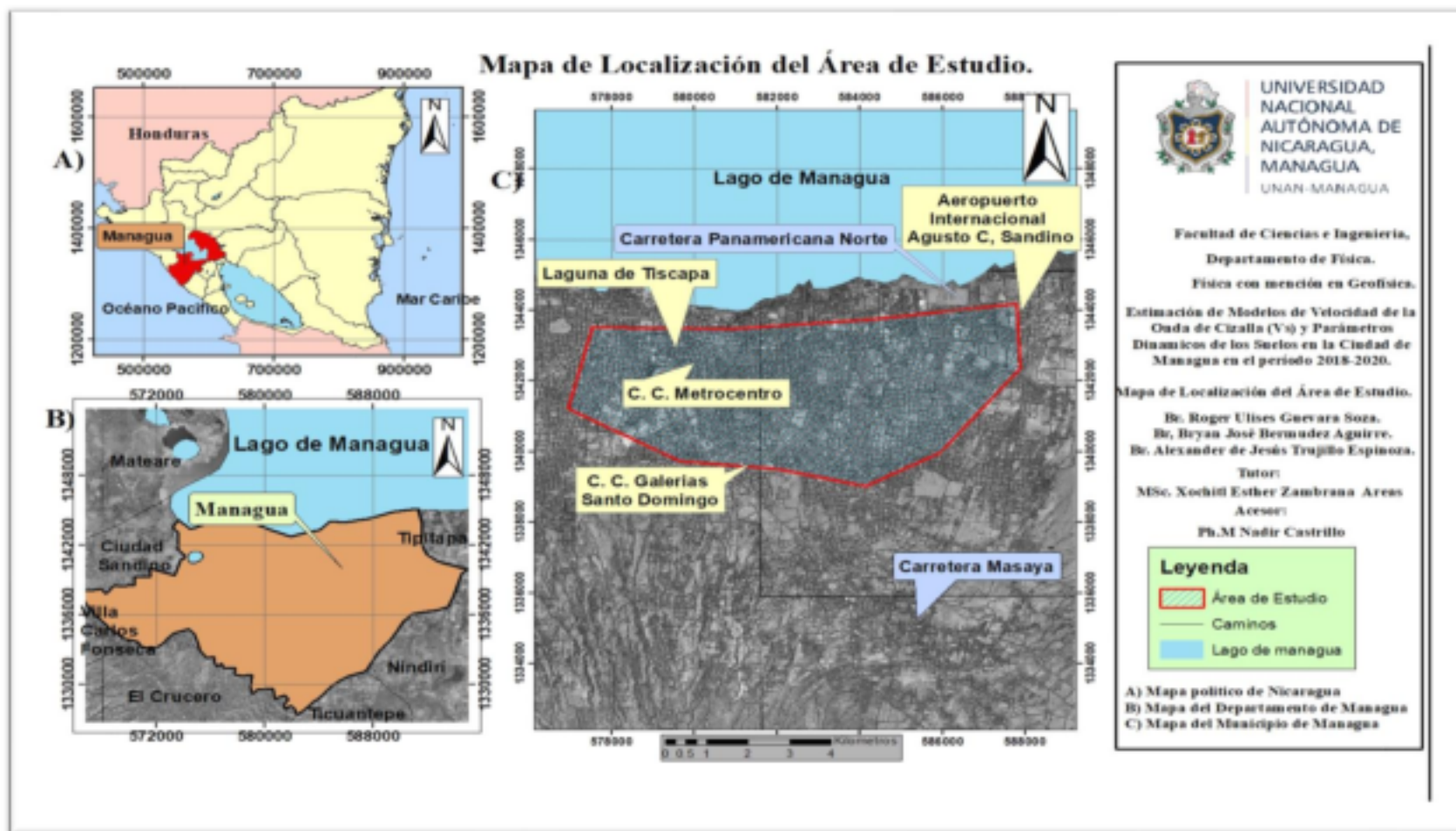


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio: A) Mapa político de Nicaragua. B) Mapa de localización del área de estudio: C) Mapa de la zona de estudio del Municipio de Managua (*Base Cartográfica Digital, INETER-2003*).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Históricamente, la región del Pacífico de Nicaragua ha sido golpeada por repetidos sismos producto de erupciones volcánicas, el movimiento de subducción de la placa Coco en la placa Caribe, y los sismos locales que se han producidos en distintas ciudades y municipios de la Región.

Managua, ubicada dentro de esta zona y con una población aproximada de 1 049 105 (INIDE, 2017) es la principal ciudad con alto riesgo sísmico, debido a las fallas geológicas locales que se presenta a lo largo y ancho de toda la capital, las que ocasionan sismos locales someros de intensidad baja y fuertes, los que han llegado a destruir casi por completo a la ciudad, como en el terremoto de 1972, donde la ciudad se vio resumida a escombros y se produjeron alrededor de 10 000 muertos.

La ciudad se encuentra situada dentro del Graben Managua. Este grabe de aproximadamente 40 km de ancho, se abre a lo largo de dos zonas distintas de fallamiento normal, denominados: Sistema Falla Mateare, al Oeste, y el Sistema Falla Las Nubes, al sur. Todas las fallas presentan un rumbo promedio de NE-SW por su longitud y desplazamiento. En el área céntrica de Managua existen cinco fallas principales: Falla Estadio, Falla Los Bancos, Falla Tiscapa, Falla Escuela y Falla Centroamérica.

Por tal razón, es necesaria información que muestre las características sísmicas en zonas de mayor riesgo en la ciudad, como precedente para el diseño sismorresistente y futuros estudios sísmicos a realizarse en estos sitios; de manera que el plano estructural de los edificios proyectados a construirse considere estas características, garantizando seguridad. Se requiere entonces conocer las propiedades del suelo y su comportamiento, tanto dinámico como estático, desde el punto de vista geofísico y geológico, mediante modelos de velocidad de onda de corte.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Nicaragua es un país de constante actividad sísmica y volcánica, que se ve afectado por dos fuentes generadoras de sismos, como lo es la zona de subducción y los sismos que se generan por fallas geológicas superficiales o someras. También es uno de los países con mayor densidad de fallamiento local. Existen una serie de factores que agudizan la susceptibilidad de una región a sufrir daños ante la ocurrencia de terremotos, tales como una falta de planificación urbana, un elevado crecimiento demográfico y desarrollo subnormales en áreas propensas a la acción de fenómenos como deslizamientos y el riesgo sísmico.

Los terremotos a diferencia de otras catástrofes naturales, se caracterizan por que no es el evento sísmico en sí el que origina la pérdida de vidas humanas, sino la inadecuada planificación que causa el colapso de las edificaciones, mismas que provocan heridos y pérdidas humanas. Esto ocurre a menudo en áreas con alto riesgo sísmico como Managua.

Para poder disminuir los riesgos sísmicos es necesario acatar las normas de construcción y tomar en cuenta las características físicas del suelo, así como proporcionar información para que el crecimiento urbano se realice de forma ordenada.

Por su aporte científico al mundo académico y/o estudiantil para conocer sobre unas de las técnicas Geofísicas. Dado que esta investigación permitirá ampliar y profundizar los conocimientos sobre la metodología que se empleará, así como el conocimiento de lo que se puede lograr cuando hacemos un estudio Geofísico y los beneficios que obtenemos para fortalecer nuestros conocimientos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General:

- Definir modelos de velocidad de la onda de cizalla (V_s), y parámetros dinámicos de los suelos en la ciudad de Managua, Nicaragua.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Analizar datos de microtemores mediante el método geofísico de la Técnica del Cociente Espectral H/V o Técnica de Nakamura.
- Estimar frecuencias, periodos y amplitudes de vibración de los suelos y estimar efecto sitio en el área de investigación.
- Calcular perfiles sísmicos de velocidad de la onda de cizalla mediante el modelado geofísico por método directo y obtener modelos geológicos del subsuelo en 1-D (una dimensión) de la zona de estudio.

CAPITULO II

2.1.MARCO REFERENCIAL.

2.1.1. Antecedentes.

La ciudad de Managua cuenta con diversos estudios investigativos de tipo ingenieril, geotécnico y geológico. Las investigaciones realizadas en el área están enfocadas al estudio de análisis y simulación de amenazas sísmicas existentes en dicho municipio.

En este trabajo tomamos como base las investigaciones de mayor relevancia realizadas en áreas de Managua, entre las que figuran:

Zambrana, X., (2020), Presentó una investigación sobre **“Peligro sísmico por Efecto de Sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua”**, orientada a conocer las características y respuesta sísmica de los suelos en sus modos de vibrar ante un evento sísmico. Como resultado se estimaron modelos de velocidad de la onda sísmicas del subsuelo siendo la velocidad promedio de $V_s=351.466$ m/s. En base a esos valores fue posible clasificar el suelo en este sitio según el reglamento Nacional de la Construcción (RNC-07) como suelos moderadamente blandos (Tipo III).

Zambrana, X., (2019), Elaboró un estudio de **“Peligro Sísmico de la Falla Geológica Aeropuerto, Margen Este de la ciudad de Managua, Nicaragua”**, aplicando métodos de exploración sísmica tales como; Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), mediciones de microtemores utilizando las técnicas de SPAC y Nakamura. Con este estudio se determinaron las características dinámicas (velocidades, periodos, amplificaciones) de los suelos en la zona de Falla Aeropuerto; así como que las características sísmicas de los suelos presentes en la zona de Falla Aeropuerto pueden generar efectos inducidos por sismos como el fenómeno de la licuefacción, hundimientos y levantamientos del terreno, debido a la presencia de sedimentos no consolidados y el nivel del agua subterránea muy somero en sitio.

Gonzales, E., López, K. & Moscoso, K. (2017), Elaboraron el **“Análisis de los Períodos Dominantes de Vibración entre Suelo y Estructura en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN- Managua”**, para analizar los períodos dominantes de vibración entre el suelo y estructura de las principales edificaciones del Recinto Universitario Rubén Darío (RURD, UNAN-Managua) mediante la aplicación de la técnica de Nakamura, según los resultados obtenidos el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) presenta efecto de sitio o amplificación sísmica. Por otra parte, debido a la existencia de la Falla Zogaib localizada al oeste del sitio de estudio, el área se encuentra en una zona altamente sísmica.

García, A., & López, N., (2014), Llevaron a cabo un estudio de **“Microzonificación sísmica en el sector Noreste del área urbana de la Ciudad de Managua”**, proponiendo una microzonificación sísmica en el sector noreste de la ciudad de Managua; usando los métodos sísmicos; análisis de microtemores, MASW y SPAC. Al evaluar los 43 sitios en el sector noreste de la ciudad de Managua se obtuvo una robusta correspondencia de funciones empíricas de y para los sitios estudiados se propone una zonificación, basada en los periodos de vibración de las zonas estudiadas.

Castillo, W. & Zepeda, E. (2013), Desarrollaron su tesis del **“Análisis Comparativo de la Respuesta Sísmica de Sitio No-Lineal Y Lineal equivalente en el Área Urbana de Managua, Nicaragua”**, evaluando la respuesta sísmica de sitio No-lineal y sus diferencias con respecto al método lineal equivalente aproximado en el área urbana de la ciudad de Managua, Nicaragua. Obteniendo los rangos de frecuencia junto con los modelos de referencia y características dinámicas de los suelos, también se obtuvieron parámetros de periodos y amplitudes para la determinación de espectro según el suelo.

Cisneros, L. & Gonzales, A. (2013), Efectuaron un estudio de **“Análisis comparativo de respuesta sísmica de sitio usando los registros STP y modelo Vs obtenido por medio de la geofísica en el área urbana de la ciudad de Managua”**, analizando las diferencias entre los modelos Vs obtenidos a partir de correlaciones empíricas basadas en el modelo STP respecto a modelos obtenidos con el método geofísico usado en estudios de respuesta sísmica, utilizando los espectros elásticos de respuesta resultante, se cuantificaron las diferencias porcentuales basadas en las aceleraciones espectrales respecto a los modelos de referencia.

Escorcia, K & Ochoa, A. (2013), Ejecutó una investigación sobre el **“Análisis de respuesta sísmica de sitio y su efecto en el comportamiento dinámico de estructuras en el área urbana de la ciudad de Managua”**, analizando la respuesta sísmica de sitio en localidades con diferencias, marcadas en las condiciones de suelo dentro de la ciudad de Managua y evaluar sus implicaciones en el comportamiento dinámico de sus estructuras, con aplicación del método de MASW fue posible determinar las curvas de dispersión apropiadas cuyas longitudes permitieron resolver los modelos de velocidades.

Martínez, M., (2012), Realizó un trabajo monográfico acerca del **“Análisis morfoestructural del Graben de Managua sus alrededores”** donde explica el análisis de la geometría y dinámica de las fallas geológicas del graben de Managua y determinaron que las estructuras están constituidas por semi-graben, denominado Aeropuerto y cuatro bloques tectónicos denominados. Mateare, Nejapa, Managua y Cofradía; los cuales están dispuestos en forma de escalones neotectónicos y se encuentran con respecto al plano horizontal unidades circundantes, vasculosos e inclinados.

Frischbutter, A., (2002), presentó una investigación de **“Structure of Managua graben, Nicaragua from remote sensing images”**, en donde describen el fallamiento del Graben de Managua, como resultado de varias interpretaciones de datos de sensores remotos combinados con datos sismológicos del terremoto de 1972, concluyendo en que la zona de fallas del lago de Managua es una estructura compuesta de importancia regional con dirección norte-sur.

INETER, (2000), auspiciado de la agencia Noruega para el desarrollo y a través del centro de prevención de los desastres naturales en América Central (CEPREDENAC), elaboró una recopilación de datos sobre estudios realizados en Managua, presentado como **“Microzonificación sísmica de Managua”**, en el cual se abordaron temas como la historia sísmica en Nicaragua, geología y tectónica, la amplificación del suelo en Managua, amenaza sísmica y la simulación numérica de terremotos.

Woodward-Clyde Consultants, (1975), producto de investigaciones posteriores al terremoto de 1972, presentó el trabajo de **“Estudio de Managua, con el informe Geológico de las Fallas Activas de Managua y sus Alrededores”**, en donde describieron las fallas principales a las cuales les asignaron sus respectivos nombres, parámetros y características.

Girard, G. y Van Wyk de Vries (2004), elaboraron una investigación sobre ***The Managua Graben and Las Sierras-Masaya volcanic complex (Nicaragua); pull-apart localization by an intrusive complex: results from analogue modeling***. En donde se detalla que El complejo volcánico Las Sierras-Masaya, Nicaragua, es un gran escudo de lava basáltica e ignimbrita con anidado calderas. El muy activo Graben Managua se encuentra en la parte norte del volcán. Y se especula que el graben y el volcán están vinculados tectónicamente, y que en el graben se inicia en respuesta de un campo de tensión regional modificado alrededor del complejo intrusivo denso y dúctil. Concluyendo que se está desarrollando una separación en Complejo volcánico Las Sierras-Masaya en respuesta al régimen de deformaciones regionales.

2.1.2. MARCO TEÓRICO.

2.1.2.1. Tectónica Regional.

Nicaragua está ubicada en la región de Centroamérica que desde el punto de vista geológico se localiza en frente de un borde convergente destructivo, formado por la subducción de la placa Coco debajo de la del Caribe. Dentro de los rasgos geotectónicos más característicos de la región está la faja volcánica del Cuaternario, con 1,100 km de longitud, que se extiende desde la frontera de México Guatemala, hasta la parte central de Costa Rica.

La Placa del Coco choca con la Placa del Caribe, y desciende abruptamente en un ángulo de 80 grados en dirección Noreste bajo el margen pacífico de la Placa Caribe. En el lugar donde se dobla la placa del Coco, se forma la zona de contacto y de fricción entre las dos placas, en la cual se generan sismos y grandes terremotos como se muestra en la figura 2.

América central se encuentra dividida según las investigaciones (Dengo G. , 1985) en tres grandes bloques tectónicos: el Bloque Chortis, Bloque Chorotega y Bloque Maya. El Bloque Chortis es limitado al norte por la zona de Falla Sinistral Motagua y Polochic, comprende el sur de Guatemala, Honduras y el norte de Nicaragua.

El Bloque Chorotega, está constituido por un basamento oceánico del Cretácico, con espesores de sedimentos marinos y volcánicos depositados durante el terciario; se extiende desde el sur de Nicaragua hasta el norte de Panamá. Constituye la mayor parte del sur, incluye la cuenca del sur de Nicaragua (Rivas) y la cuenca del Tempisque, incluido el interior parte de la Península de Nicoya es la base original del Neógeno a arco volcánico reciente y se extiende a Panamá al menos hasta el área de Bocas del Toro (Di Marco, 1995).



Figura 2. Mapa tectónico de Centroamérica y Nicaragua (Frischbutter, 2002).

2.1.2.2.Sismicidad del Margen Pacífico de Nicaragua.

La ocurrencia de sismos en Nicaragua obedece a su posición geográfica, debido que está ubicada dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, lo que la convierte en un país con alto grado de amenaza sísmica. La sismicidad en el país se origina por la convergencia de las placas Coco y Caribe, por actividad volcánica y por fallamiento local (Gonzales, López, & Moscoso, 2017).

2.1.2.2.1. Sismicidad en la Zona de Wadatti-Benioff.

La zona sísmica denominada zona de Wadatti-Benioff, es el contacto de la Placa Cocos al iniciar la subducción bajo la Placa Caribe, región donde alcanza una intensa actividad sísmica sobre todo en la parte central ubicada a unos 100 km desde el eje de la Fosa Mesoamericana.

En dicha zona la Placa tectónica de Coco subduce a la Placa del caribe cuya dirección de subducción entre las dos placas es de N31°E, y la velocidad relativa es de 8 a 9 cm por año, con un ángulo de buzamiento de 80°, decreciendo hacia la parte sur de Nicaragua hasta alcanzar los 60° en Costa Rica (Frischbutter, 2002).

Debajo de Managua, la placa subducida alcanza más de 200 km, en esta profundidad parte del material de la Placa Coco es fundido debido a las altas temperaturas del manto terrestre (Strauch, 2000).

2.1.2.2.2. Sismicidad de Focos Someros Continentales.

Esta zona se caracteriza por generar sismos de magnitudes moderadas y profundidad somera. La Placa de Cocos se hunde debajo de la Placa Caribe, fundiendo el material de la placa oceánica debido a las altas temperaturas, este material fundido asciende verticalmente en la mayoría de los casos, penetrando la Placa del Caribe, de esta manera se forma el arco volcánico nicaragüense, originado eventos volcánicos y sismos superficiales son llamados intraplacas. Así también, el fallamiento superficial genera este tipo de sismo de magnitud moderada como sucedió en los terremotos históricos de 1931 y 1972 originados por fallas activas en la Ciudad de Managua. (Strauch, 2000).

Mapa de sismicidad de Nicaragua 2000 al 2020.

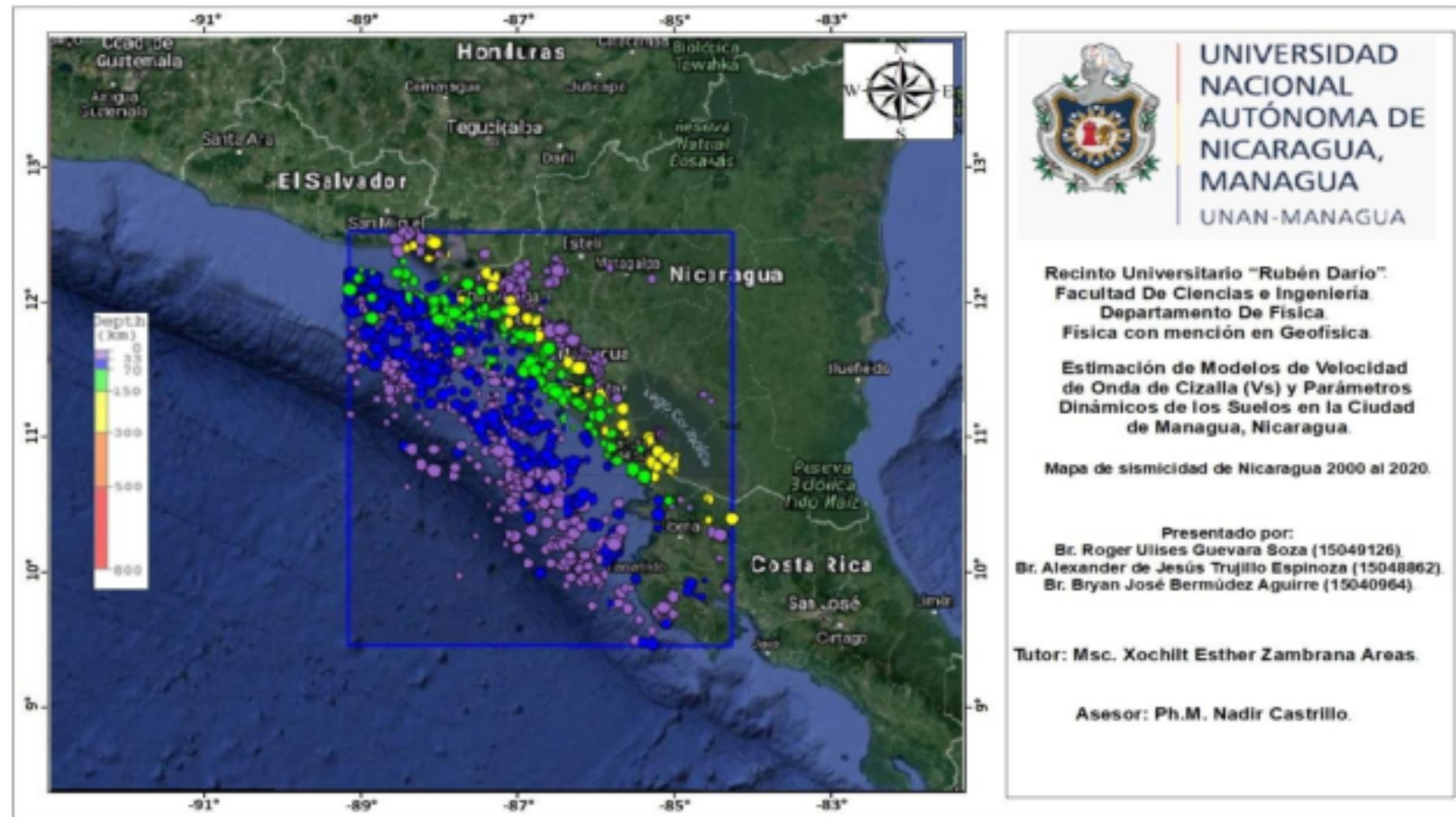


Figura 3. Actividad sísmica de Nicaragua, en el periodo del 2000 al 2020, donde se muestran los epicentros y profundidad de cada sismo, (Seismic Monitor IRIS; <https://ds.iris.edu/seismon/>).

2.1.2.3. Geología Regional de Nicaragua.

La geología aparentemente empezó en Nicaragua durante la era del Paleozoico culminado con la actividad volcánica del cuaternario. Durante el Paleozoico medio interior y el mesozoico en América Central se conformaban dos grandes provincias geológicas bien definidas, la septentrional en el Norte y la meridional en el Sur, culminando ambas en el Norte y Sur de Nicaragua.

Nicaragua se encuentra dividida en cinco provincias geológicas y fisiográficamente importantes. Los investigadores pioneros como McBirney y Williams (1965) dividieron en un comienzo Nicaragua en 4 provincias y posteriormente Hodgson (1978) agrega una provincia geológica más. Estas provincias se describen a continuación:

2.1.2.3.1. La Planicie de la Costa del Pacífico.

Constituye una franja estrecha que tiene de 10 a 35 km de ancho que limitada a lo largo de la costa del Pacífico, desde Corinto en el Norte hasta la frontera sur con Costa Rica, litológicamente se caracteriza por sedimentos de edad cretácica con aporte de material volcánico depositados en una cuenca de subsidencia de ambiente nerítico y deltaico, alcanzando un espesor aproximado de 820m (Kuang, 1971). Estas rocas se organizan básicamente en cinco formaciones geológicas como: Formación Rivas (Cretáceo superior), Formación Brito (Eoceno), Formación Masachapa (Oligoceno), Formaciones El Fraile y Tamarindo (Mioceno) y Formación El Salto (Plioceno). (Hodgson, 2000).

2.1.2.3.2. Provincia de la Depresión o Graben.

Esta provincia separa a la provincia geológica de la costa del Pacífico de la provincia Central. Es de edad Cuaternaria y morfológicamente comprende las tierras bajas de Nicaragua, tiene un ancho de 40 a 70 km. El fallamiento en la Depresión nicaragüense consiste principalmente de fallas laterales izquierda orientadas NE que definen el fallamiento en dominó, en lugar de fallas laterales derechas orientadas NW (McBirney & Williams, 1965).

La segmentación del arco volcánico nicaragüense, al igual que la deformación del frente volcánico de Centroamérica, es el resultado de la subducción oblicua entre las Placas Cocos y Caribe, propusieron que la subducción oblicua por debajo de Nicaragua, produce una compleja deformación cortical (Kuang, 1971). El casco urbano de la ciudad de Managua, área donde se realiza el estudio, se encuentra en esta provincia.

2.1.2.3.3. Provincia Central.

La Provincia Geológica Central, geográficamente conocida como las Tierras Altas del Interior comprende básicamente las siguientes regiones geológicas; La Provincia Volcánica del Coyoil, incluyendo las mesetas ignimbríticas que se extienden en dirección NO-SE, desde la frontera con Honduras, hasta el Departamento del Río San Juan. La Provincia Volcánica de Matagalpa, La Provincia de Pre-Matagalpa, La Región del SE, que ocupa la parte del antiguo canal interoceánico (Dengo G. , 1973).

2.1.2.3.4. Provincia del Norte.

Geográficamente cubre el departamento de Nueva Segovia, así como parte de Jinotega y de Zelaya. Al Este está cubierto por rocas volcánicas de Matagalpa y sedimentos de la cuenca de la Mosquitia El margen Oeste está limitado aproximadamente por el sistema de fallas de Matiguás siguiendo el alineamiento NO-SE de la cordillera Amerrisque. La estructura comprende rocas metamórficas, rocas sedimentarias plegadas y deformadas, el conjunto está cortado por rocas plutónicas de la orogénesis laramídica (Del Guidice, 1960).

2.1.2.3.5. La Provincia de la Planicie Costera del Atlántico.

La provincia de la Costa Atlántica se encuentra limitada al Sur y Noroeste por la provincia volcánica terciaria, al Oeste parcialmente por la plataforma paleozoica y mesozoica y al Este por el mar Caribe. La región de tierra firme se caracteriza por terrenos bajos, llanos y ondulados, entrecortados por pantanos y lagunetas, cubiertos por depósitos de grava y arena, sobresaliendo ventanillas de la formación Matagalpa y Pre-Matagalpa y cubiertos por extensas áreas forestales de pino. (Hodgson, 2000).



Figura 4. Mapa de Provincias Geológicas de Nicaragua (Modificado de Hodgson, 1978).

2.1.2.4. Geología de Managua.

Diferentes autores han realizado estudios acerca de la geología del Graben de Managua y sus alrededores entre los que destacan: McBirney, A y Williams, H. (1965); Kuang, J. (1971); Bice, D. (1985); Girard, G. y Van Wyk de Vries (2005); Kutterolf, S et al. (2007). Todos estos autores coinciden con que la geología del área de estudio está constituida por depósitos volcanoclásticos, los cuales fueron originados en un ambiente volcánico explosivo; con edades comprendidas desde el Terciario tardío hasta el Cuaternario.

Según el trabajo más actualizado sobre la estratigrafía para el área de Managua, elaborado por Kutterolf, S. et al. (2007). El subsuelo del área urbana de Managua y sus alrededores, está constituida por tres formaciones que son: Formación La Sierra, Formación Managua y Formación Chiltepe.

Entre las posibles fuentes volcánicas de estos depósitos están los aparatos volcánicos más cercanos a Managua como: la Caldera Masaya, Caldera Apoyeque; los Cráteres Nejapa, Asososca y Tiscapa, las estructuras de colapso como Valle Ticomio; conos de escoria como Cerro Motastepe, Cerro Chiltepe y Loma Chico Pelón, que ahora son remanentes de la antigua actividad volcánica en el área de Managua. (Martínez González, 2012).

La más antigua, la Formación Las Sierras, está constituida principalmente por rocas piroclásticas de los períodos Pleistoceno relativamente consolidados de gran espesor, usualmente es de color gris y a menudo presenta fracturas rellenas de carbonato de calcio, y se considera representa el basamento de la región. (Kutterolf et. al., 2007).

El segundo paquete de rocas, de edad más reciente, se conoce como Formación Managua, cubre al anterior y está constituido por productos volcánicos y materiales sedimentarios transportados recientes, a los que se les ha asignado la época de Holoceno. Este apilamiento de materiales piroclásticos y sedimentarios, descansa sobre materiales más antiguos, depositados durante el Período Terciario Superior (Plioceno) y se reconocen con el nombre de Formación El Salto, compuesta principalmente por areniscas y limonitas según (Velasco, 1973).

La tercera agrupación de rocas, la Formación Chiltepe, se trata de una secuencia de depósitos volcanoclásticos, que está separada de la subyacente Formación Mateare, por una discordancia regional de más de ~ 17 mil años. Se atribuye a la erupción más joven y violenta del complejo volcánico Chiltepe (Kutterolf et. al., 2007).

La ciudad de Managua y sus alrededores, se ubica dentro de una depresión tectónica denominada Graben de Managua, localizada sobre una activa cordillera volcánica cuaternaria, que atraviesa el territorio nacional de Sureste a Noroeste y representa el límite de una estructura deprimida regional, llamada Depresión de Nicaragua

2.1.2.4.1. Fallas del Graben de Managua.

En Managua se encuentran dos conjuntos de fallas según su orientación, las fallas con dirección N-S, que son de tipo normal, generalmente tienen forma de arco, con dirección paralela a estructuras mayores relacionadas a colapsos volcánicos. Las fallas con dirección NE-SW, presentan desplazamientos laterales izquierdos. Existen fallas con dirección NW-SE pero son poco comunes, estas se pueden localizar en la parte central y al Este de Managua. Las principales fallas geológicas del área de Managua son:

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 (Castro & Pérez, 2016).

Falla Nejapa: McBirney (1955), fue el primero en denominarla con el nombre de falla Nejapa. Martínez, M. (2012) pudo constatar que se trata de un lineamiento que posee una orientación general N-S, además de proponer que la Falla Nejapa se prolonga hacia el sur hasta coincidir con el límite sur de la Falla Mateare.

Falla Asososca-Acahualinca: Woodward-Clyde Consultants (1975), la describen como un escarpe lineal, de dirección N25°E a N35°E que se extiende desde la Laguna de Nejapa hasta el borde oriental de la Laguna de Acahualinca, dando una longitud de 1.2 Km.

Falla San Judas: Fue llamada con este nombre por Kuang, J. (1973) y ha sido descrita como una falla con desplazamiento normal, orientada en dirección N-S y una longitud de 4.6 km; que se caracteriza por un gran escarpe en forma de arco.

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 (Woodward-Clyde Consultants Inc., 1975).

Falla Los Bancos: Esta falla se encuentra paralela a la Falla Estadio, recibe este nombre porque pasa por el Banco Central, Banco de Nicaragua y Banco de América. Martínez M. (2012) identificó esta falla, como una estructura lineal orienta en dirección general NE-SW; con una longitud total de 3.8 km dentro del área de estudio.

Falla Tiscapa: En conjunto las fallas Tiscapa, Escuela y Ciudad Jardín son consideradas como parte un sistema de fallas normales y fracturas que se denomina sistema Tiscapa (Castro & Pérez, 2016). Fue causante del terremoto de 1972.

Falla Chico-Pelón: Esta falla se encuentra paralela a la Falla Tiscapa, fue descubierta a raíz del terremoto de 1972 que destruyó parte de la ciudad de Managua; Kuang, J. (1973) y Woodward-Clyde Consultants (1975), la describen como una falla de tipo normal, con desplazamiento lateral izquierdo y longitud de 4.9 km.

Falla Zogaib: Ha sido descrita por Kuang, J. (1973) y Woodward-Clyde Consultants (1975), como una falla normal, con un desplazamiento total de 40 m y una longitud verificada de 2.7 km.

Falla Aeropuerto: Fue cartografiada por J. Kuang en 1973. Debe su nombre por su paso por el extremo Occidental del Aeropuerto Internacional, hacia el norte alcanza la costa del Lago Xolotlán (Paiz & Bendaña, 2015).

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. 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 (Paiz & Bendaña, 2015).



Figura 5. Mapa de zonas de fallas geológicas (Base Cartográfica Digital, INETER-2003).

2.1.2.4.2. Peligrosidad Sísmica de Managua.

La Ciudad de Managua se encuentra ubicada dentro de la Cordillera Volcánica de los Maribios entre los volcanes Apoyeque al NO y la Caldera de Masaya al SE, en la zona de relevo de la Cadena volcánica Nicaragüense, ubicada entre el lineamiento del volcán Cosigüina hasta el Volcán Apoyeque, y el lineamiento del volcán Masaya hasta el volcán Concepción. Esta zona de relevo ha sido definida por McBirney y Williams (1965), como una fosa tectónica o Graben.

Según Woodward-Clyde Consultants (1975) la Depresión o Graben de Managua está limitada por la Falla Cofradía al este y el lineamiento Miraflores-Nejapa al oeste. Hacia el norte el graben se pierde dentro del lago y hacia el sector suroeste el graben es limitado por la Falla Mateare y la Falla Las Nubes, mientras hacia el sur el límite se encuentra dentro de las calderas de Las Sierras.

2.1.2.4.3. Sismicidad histórica de Managua.

Mediante registros históricos y actividad reciente se ubican 3 principales sismos en estas fallas en el siglo XX. Estos son:

- El sismo del 31 de marzo de 1931, ocurrido en la Falla Estadio (Magnitud 5.6): Origeno ruptura superficial y el tipo de fracturas asociadas indican desplazamiento de rumbo sinistral. Fallecieron alrededor de 1000 personas y la mayoría de viviendas fueron destruidas (Montero P., 1990).

A pesar que el terremoto de Marzo de 1931 reveló la existencia de una falla geológica que atraviesa el Estadio Nacional, no estimulo la realización de estudios técnicos; por lo que la publicación de Sultan en 1931 es la fuente científica de mayor importancia de dicho evento.



Figura 6. Imagen del palacio nacional después del terremoto de 1931
(<https://www.lavozdelsandinismo.com/nicaragua/2014-04-15/los-20-terremotos-mas-devastadores-en-nicaragua/>).

- El sismo del 4 de enero de 1968, dentro del sistema de la Falla Centroamérica (Magnitud 4.6): Presento una profundidad de 5 km en su hipocentro, dentro de la Colonia Centroamérica al menos 500 viviendas fueron dañadas y evacuadas, mas no ocasiono pérdidas humanas.
- El terremoto del 23 de diciembre de 1972, dentro del sistema de la Falla Tiscapa (Magnitud 6.2): Presento un desplazamiento sinistral en el movimiento de las fallas, y con un hipocentro de apenas 5 km. A raíz de dicho evento fallecieron 10000 personas, siendo el área más afectada el centro de la ciudad y hacia el este (Montero P., 1990). Al ser uno de los desastres más importantes ocurridos luego de la adopción de la teoría de las placas tectónicas, alentó una gran cantidad de estudios sobre este. El centro de Managua fue completamente destruido por un sismo de magnitud 6.2 (INETER, 2000).



Figura 7. Vista aérea del centro de Managua después del terremoto de 1972
(<https://webserver2.ineter.gob.ni/sis/manafoto/>).

El efecto de este sismo fue tan devastador que la ciudad, que contaba con 450 mil personas, tuvo un total de 10 mil muertos, es decir, el 2.5 por ciento de la población (INETER, 2000).

- El terremoto del 10 de abril de 2014, dentro del complejo de fallas entre los volcanes Momotombo-Apoyeque (Magnitud 6.2): En la tarde del Jueves, 10 de abril de 2014, a las 17:23 horas, INETER registró un terremoto de magnitud 6.2 en el Lago de Managua, con epicentro cerca de la Isla Momotombito, a unos 30 km de Managua. El evento fue sentido en todo el país, muy fuerte en los departamentos Managua y León (INETER, 2014).



Figura 8. Habitantes de las ciudades afectadas por el terremoto
(<https://webserver2.ineter.gob.ni/boletin/2014/04/>).

A raíz de este sismo registrado el 10 de Abril, INETER dio alerta a las ciudades y comarcas cercanas al área epicentral ante posible replicas que sucedieron minutos, horas, días y semanas después del terremoto. Causo destrucción en muchas viviendas cercanas a la zona epicentral (Nagarote, Ciudad Sandino, Puerto Momotombo y muy poco en Managua), en su mayoría por mala construcción, pero fueron sismos con suficiente fuerza para ocasionar daños por la baja profundidad de los hipocentros (≤ 50 km). (Boletín Mensual "Sismos y Volcanes de Nicaragua", 2014).

2.1.2.5. Métodos Sísmicos.

Los métodos sísmicos de exploración geofísica utilizan el hecho que las ondas elásticas viajan a distinta velocidad en diferentes rocas. El principio se basa en generar ondas en un punto y determinar en números los tiempos de llegada a otros puntos de la onda, la cual es reflejada o refractada por las discontinuidades entre las diferentes formaciones rocosas (Parasnis, 1986).

2.1.2.5.1. Fundamentos Físicos del Método Sísmico.

Según Enrique del Valle Toledo, la propagación de movimientos ondulatorios se rige por dos principios fundamentales que son el principio de Huygens y el principio de Fermat (Sismología Terrestre, 1987):

- Principio de Huygens: Todo punto frente a una onda se comporta como un nuevo centro generador de ondas.
- Principio de Fermat: El movimiento ondulatorio entre dos puntos sigue la trayectoria del tiempo mínimo.

Dichos principios están muy ligados con los conceptos de onda y trayectoria. Se entiende por frente de onda al lugar geométrico de todos los puntos que tienen el mismo estado de vibración o igual tiempo de viaje. La trayectoria indica la dirección y sentido de la propagación movimiento ondulatorio, siendo perpendicular al frente de onda (Toledo, 1987).

Aclarando el principio de Huygens mediante estos conceptos, se conoce que, en un medio homogéneo e isotrópico, los desplazamientos de una onda serán proporcionales al incremento de tiempo y la velocidad del medio.

$$\textbf{Ecuación 1: } V = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ m/s}$$

En medios no homogéneos o anisótropos, los desplazamientos dependerán de la distribución de las velocidades (Revuelta, 2015). Al variar las velocidades, los desplazamientos serán diferentes para iguales intervalos de tiempo, cambiando la forma de los frentes de onda subsecuentes. Utilizando el principio de Huygens se pueden construir los frentes de onda, para cualquier tipo de distribución de velocidades, que es de gran relevancia a la hora de analizar medios no homogéneos.

De acuerdo al principio de Fermat, la trayectoria entre dos puntos no necesariamente es en línea recta, pues solo es posible en un medio homogéneo e isotrópico. Para cualquier otro tipo de medio, la trayectoria seguirá por el camino de más alta velocidad, siendo dependiente de la distribución de velocidades (Toledo, 1987).

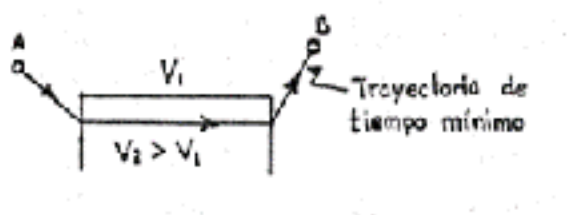


Figura 9. Trayectoria del tiempo mínimo en medios no homogéneos (Toledo, 1987).

La aplicación del principio de Fermat es de gran utilidad para explicar casos en los cuales se reciben ondas elásticas en un punto, que pudieran interpretarse como varios movimientos, pero que solo corresponden a diferentes trayectorias originadas en la misma fuente. Cuando los movimientos se propagan en medios estratificados, las trayectorias sufren variaciones que pueden ser explicadas a partir de los principios de Huygens y de Fermat (Parasnis, 1986).

La reflexión y refracción de ondas se producen cuando una onda alcanza una superficie de discontinuidad, es decir, el límite entre dos medios de diferentes propiedades y se ve obligada

a cambiar de dirección. Concretamente se divide en dos partes, siendo una reflejada hacia el medio original y otra refractada hacia el siguiente medio.

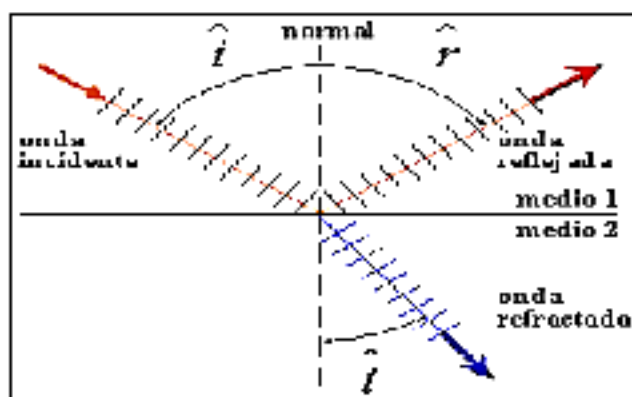


Figura 10. Esquema de reflexión y refracción (Revuelta, 2015).

La reflexión se produce con el mismo ángulo de incidencia. En el caso de la refracción, las ondas sufren un cambio de velocidad de propagación por discurrir por un medio distinto al anterior. Para los fenómenos de reflexión y refracción de ondas elásticas, se puede deducir mediante los principios antes mencionados la Ley de Snell (Toledo, 1987):

Ecuación 2: $\sin i = \sin r$ (*Ley de Reflexion de Snell*)

Luego, analizando ambos medios de forma simultánea (V_1 la velocidad de propagación en el medio 1, y V_2 en el medio 2), se obtiene que:

Ecuación 3: $\frac{\sin i}{\sin t} = \frac{V_1}{V_2}$ (*Ley de Refracción de Snell*)

2.1.2.6. Ondas sísmicas.

Las ondas sísmicas son perturbaciones temporales de un campo, que generan movimiento en un medio. En los sismos, se propagan dos tipos de onda, las ondas corporales y las ondas superficiales. Desde el punto de vista geofísico las ondas sísmicas pueden ser generadas artificialmente para estudiar los efectos de propagación en el medio perturbado.

2.1.2.6.1. Ondas de cuerpo.

Las ondas de cuerpo son las que viajan a grandes distancias a través de rocas, en el interior de la tierra, y su amplitud se atenúa poco a poco conforme aumenta la distancia con respecto al foco. Estas se clasifican en ondas P (Ondas primarias), también llamadas primarias o de dilatación, y en ondas S (Ondas secundarias) (Gonzales, López, & Moscoso, 2017).

2.1.2.6.2. Ondas P.

Las ondas P son longitudinales o de compresión. Estas ondas causan que el suelo se comprima y se dilate en la dirección de la propagación y son capaces de viajar a través de cualquier material. Estas ondas desarrollan velocidades típicas de 330m/s en el aire, 1,450 m/s en el agua y cerca de 5,000m/s en el granito y son 1.73 veces más rápidas que las ondas S (Alvarez & Ortega, 2014).

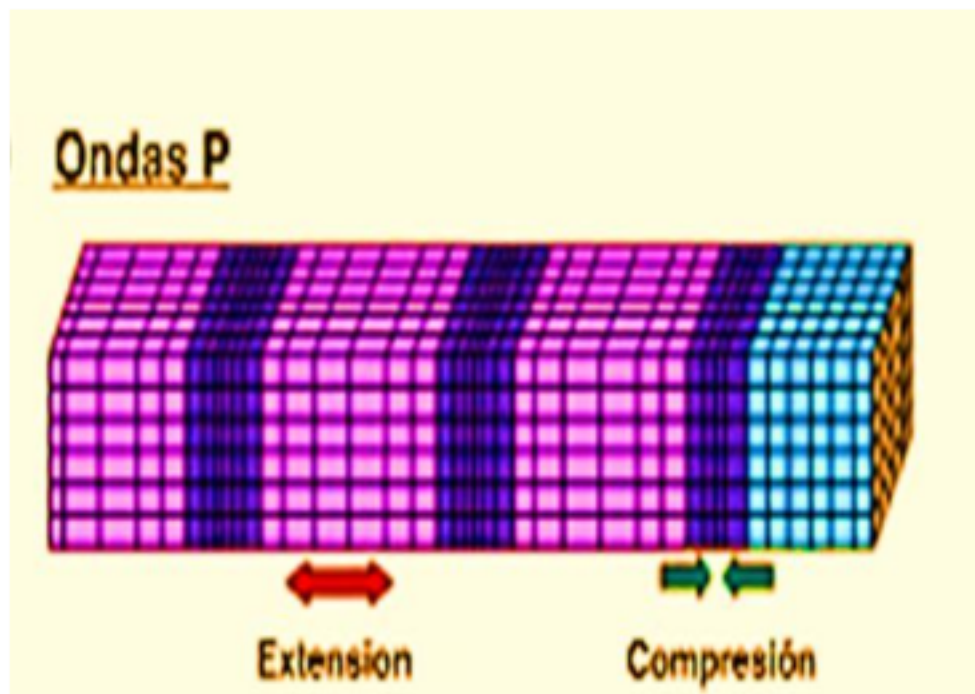


Figura 11. Propagación de las Ondas Longitudinales (P) (Sáez Arias, 2016).

2.1.2.6.3. Ondas S.

Las ondas S son de corte o transversales. Son aquellas cuyo desplazamiento es perpendicular a la dirección de propagación. Dependen del módulo de corte y de la densidad del medio. Este tipo de onda solamente puede viajar a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte (Olivares & Quintana, 2014).

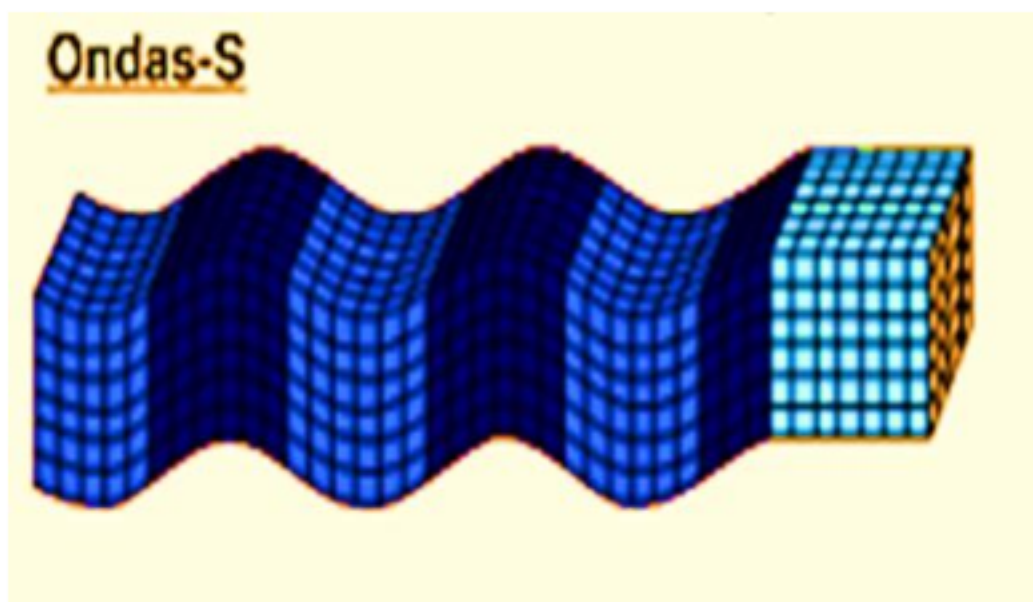


Figura 12. Propagación de las Ondas Transversales (S) (Sáez Arias, 2016).

2.1.2.6.4. Ondas superficiales.

Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra. Se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad y son, por ende, las ondas sísmicas más destructivas. Éstas se clasifican en dos tipos: las ondas Rayleigh (R) y las ondas Love (L).

2.1.2.6.4.1.Ondas Rayleigh (R).

Son ondas superficiales que viajan como ondulaciones similares a aquellas encontradas en la superficie del agua (olas), produciendo un movimiento elíptico retrogrado del suelo. Su velocidad de propagación es aproximadamente un 70% de la velocidad de las ondas S (Castro & Pérez, 2016).

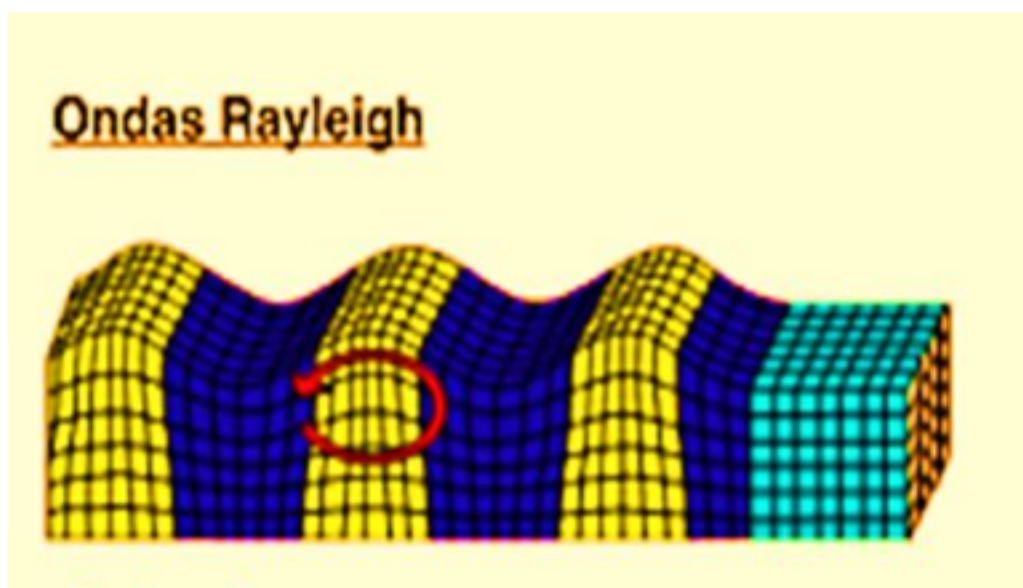


Figura 13. Propagación de las Ondas Rayleigh (Sáez Arias, 2016).

2.1.2.6.4.2.Ondas Love (L).

Son ondas superficiales, y se denominaron de esta manera por A.E.H. Love, quién creó un modelo matemático de las ondas en 1911. Las ondas Love se propagan con un movimiento de las partículas perpendicular a la dirección de propagación, y la amplitud de las mismas decrece rápidamente conforme aumenta la profundidad (Castro & Pérez, 2016).

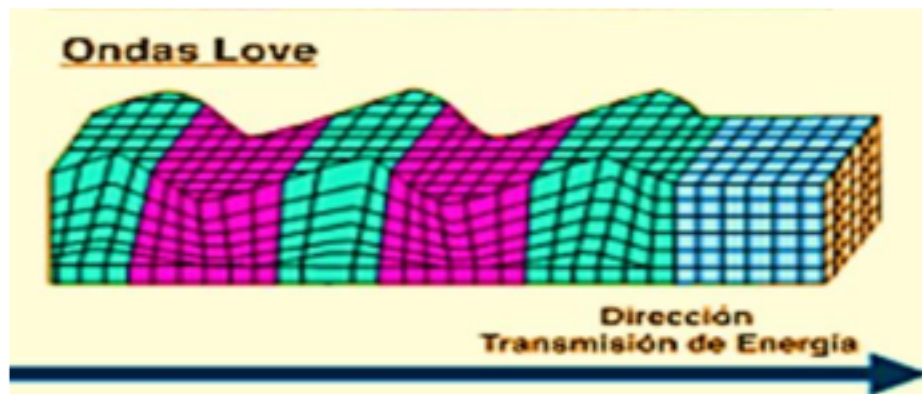


Figura 14. Propagación de las Ondas Love (Sáez Arias, 2016).

2.1.2.7. Parámetros Dinámicos del Suelo.

La determinación de características dinámicas del suelo utilizando vibración ambiental fue grandemente impulsada gracias a la técnica de Nakamura (Nakamura, 1989) que en la actualidad constituye una poderosa herramienta para determinar los espesores de los sedimentos (Seht y Wohlenerg, 1999) y ha demostrado ser una de las técnicas más baratas y convenientes para estimar confiablemente las frecuencias predominantes de los depósitos de los suelos blandos. Por otra parte, su utilización también ha sido bastante controvertida, pero hay consenso en que la técnica es capaz de determinar bien los periodos predominantes del movimiento del suelo, pero no identifica bien los factores de amplificación (Bard, 1997).

2.1.2.7.1. Amplificación.

La amplificación surge cuando las ondas sísmicas van viajando por una superficie sólida y luego llegan a una zona menos sólida la cual puede ser relleno o zonas arenosas entonces la onda puede desplazarse fácilmente, amplificándose, haciendo que se sienta el terreno más fuerte que en otras zonas y que los edificios colapsen.

También puede ser una señal electromagnética, es una medida de la variación máxima del desplazamiento u otra magnitud física que varía periódicamente en el tiempo. La amplificación es la distancia entre el punto más alejado de una onda y el punto de equilibrio.

2.1.2.7.2. Período.

El periodo es el tiempo en que tarda en vibrar el suelo cuando se produce un movimiento sísmico. se define como periodo de una oscilación u onda (T), en el tiempo transcurrido entre dos puntos equivalentes de la onda. es el menor lapso que separa dos instantes en los que el sistema se encuentra exactamente en el mismo estado: mismas posiciones, mismas velocidades, mismas amplitudes.

2.1.2.7.3. Frecuencia.

En física la frecuencia es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso. La frecuencia se puede medir en diversas unidades, de forma habitual se mide en Hertz (Hz) e indica el número de veces que un fenómeno se repite por segundo, también se utilizan las revoluciones por minuto (rpm).

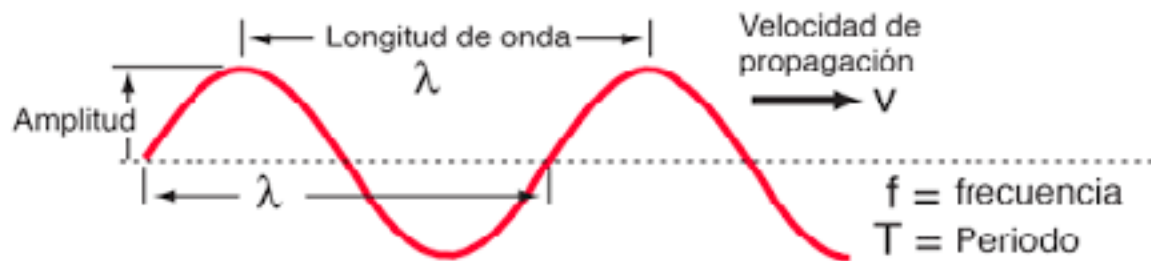


Figura 15. Frecuencia de la onda sísmica, (<https://lh3.googleusercontent.com/proxy>).

2.1.2.7.4. Fenómeno de Resonancia.

La resonancia es la situación en la que un sistema mecánico, estructural o acústico vibra en respuesta a una fuerza aplicada con la frecuencia natural del sistema con una frecuencia próxima. La frecuencia natural es aquella a la que el sistema vibraría si lo desviáramos de sus posiciones de equilibrio y lo dejáramos moverse libremente, si se excita un sistema mediante la aplicación continua de fuerzas externas con esa frecuencia, la amplitud de la oscilación va creciendo y puede llevar a la destrucción del sistema.

2.1.2.8. Microtremores.

Los Microtremores, también llamado ruido ambiental, microtemblores o ruido sísmico de fondo, son vibraciones aleatorias inducidas en las masas del suelo y roca por fuentes naturales o artificiales. 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, actividades del ser humano, etc. (Castro & Pérez, 2016).

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 en sus conclusiones demuestra la existencia vibraciones naturales en el suelo que no correspondían a las sísmicas o pulsaciones oscilatorias.

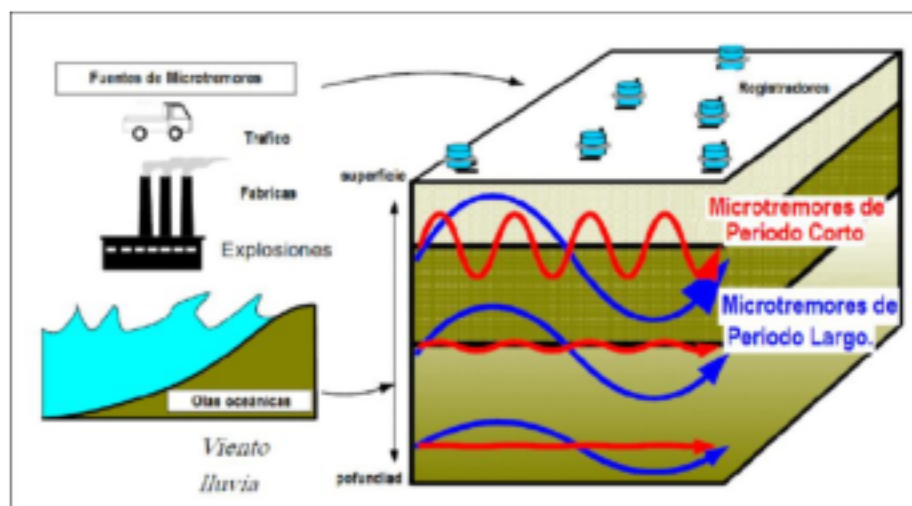


Figura 16. Clasificación de los microtremores según el periodo y las fuentes de microtremores, (<https://www.researchgate.net/profile/Kelly>).

2.1.2.8.1. Características de Microtremores.

Entre las características principales de los Microtremores destacan:

- Son dependientes de la hora del día en que se realiza su medición y de las fuentes de vibración cercanas: Prueba de ello es que 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 (Castro & Perez, 2016).

- 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 (Castro & Perez, 2016).

2.1.2.8.2. Efecto de Sitio

El efecto de sitio o respuesta de sitio, muchos autores lo describen como la respuesta que tiene un lugar ante un evento sísmico, influenciado por las condiciones geológicas y topográficas locales y en gran medida de la primera decena de metros del subsuelo. Este fenómeno fue reconocido desde principios de la sismología y documentado por los japoneses en el siglo XVIII.

Los efectos de sitio, son el resultado del movimiento del terreno debido a la incidencia de ondas sísmicas en un punto dado, el cual depende naturalmente de los parámetros asociados a la fuente sísmica que las originó y de la atenuación de la energía sísmica conforme se propaga desde la fuente al sitio de interés (Chaves-García et al., 2014). Si el área de estudio está constituida por materiales sueltos o blandos, el movimiento sísmico se verá afectado en amplificación.

De esta manera entendemos que los efectos de sitio son la consecuencia de las modificaciones que sufren las ondas sísmicas por la presencia de depósitos blandos, es decir los materiales que componen el suelo y que no está consolidado. De observaciones durante sismos de origen tectónico o debido a explosiones nucleares, se ha llegado a la conclusión que las propiedades geotécnicas, geológicas y topográficas de los estratos más superficiales de la corteza terrestre, cuyos espesores son de decenas o centenas de metros, tienen gran influencia en las características de los movimientos sísmicos esperados para un sitio. Estos estratos determinan, en gran medida, la amplitud, contenido de frecuencias y duración del movimiento (Torres, 2013).

La respuesta sísmica de sitio, se define como la modificación de la señal sísmica debida a la influencia de las propiedades geotécnicas, geológicas y topográficas de las capas de suelos más superficiales de la corteza terrestre en las características de los movimientos sísmicos

esperados para un sitio. Esta modificación consiste en la amplificación del movimiento del suelo debido a la presencia de suelos o depósitos no compactos (Zambrana, 2019).

2.1.2.8.3. 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 A. , 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 módulo 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 (Chopra A. K., 1995).

$$\textbf{Ecuación 4: } FT(w) = \frac{2A_1}{A_n + B_n} \text{ (respecto a basamento rocoso)}$$

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

$$\textbf{Ecuación 5: } FT(w) = \frac{2A_1}{2A_n} \text{ (respecto a afloramiento)}$$

2.1.2.8.4. Técnica de Nakamura.

La Técnica de Nakamura (1989). Consiste en realizar el cociente espectral entre la componente horizontal y vertical. Esta técnica parte del principio que los microtemores se propagan como ondas Rayleigh en un estrato único blando sobre un semiespacio infinito. 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 microtemores 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:

- Los Microtemores 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 los Microtemores en la base del estrato de suelo. Considerando un estimativo de los efectos de sitio de interés, estarían dados por:

$$\text{Ecuación 6: } S_e = \frac{H_s(w)}{H_b(w)}$$

Donde:

S_e = representa el espectro de los efectos de sitio.

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

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

Puesto que las ondas internas de los Microtemores contienen ondas de superficie, es necesario corregirlas removiendo los efectos de este tipo de ondas. Nakamura asume que el efecto de las ondas Rayleigh (A_s) está incluido en el espectro de ondas verticales

superficiales (V_s) y no en la base del movimiento (V_b) y consecuentemente este puede ser definido como:

$$\textbf{Ecuación 7: } A_s(w) = \frac{v_s(w)}{v_b(w)}$$

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

$$\textbf{Ecuación 8: } S_w = \frac{S_s(w)}{A_s(w)} = \frac{\frac{H_s}{v_s}}{\frac{H_b}{v_b}}$$

Nakamura demostró experimentalmente que:

$$\textbf{Ecuación 9: } \frac{H_b(w)}{v_b(w)} = 1$$

De lo anterior se determina:

$$\textbf{Ecuación 10: } S_w(w) = \frac{H_s(w)}{v_s(w)} = N_s(w)$$

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.

2.1.2.8.5. Razón Espectral Relativa a un Sitio de Referencia.

La técnica cociente o razón espectral estándar (SSR), fue introducida por Borchardt (1970). Esta consiste en dividir el espectro de amplitud de Fourier del sitio en estudio entre el espectro de amplitud de Fourier de una estación de referencia, teniendo como hipótesis que el registro en terreno firme (estación de referencia) es representativo del campo incidente en la interfaz entre el basamento (capa base) y estratos de terreno blando (estación de interés).

$$\textbf{Ecuación 11: } S_j^r = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^j \frac{A_{ij}(f)}{A_{rj}(f)}$$

Donde, la respuesta del sitio de referencia r ($i=r$) debe ser insignificante, $S_r(f)=0$, y el efecto de trayectoria es similar para todos los sitios, cuando la distancia entre las estaciones es más corta que la distancia epicentral, de tal manera que el efecto de sitio debido a la respuesta del sitio de referencia del j -ésimo evento S_j^r , corresponde a la división del espectro de amplitud del movimiento del terreno debido al el evento registrado en la estación de interés (A_{ij}), entre el espectro de amplitud del movimiento del terreno debido al el evento registrado en la estación de referencia (A_{rj}).

Como vemos, para utilizar esta técnica es necesario contar con dos registros sísmicos simultáneos: uno en el sitio de interés y el otro en el sitio de referencia. En ocasiones esto no es posible, ya sea por una falla instrumental en alguna de las estaciones, o por la escasa instrumentación sísmica que impide la obtención de registros en los sitios de interés.

Luego se tiene: **Ecuación 12:** $\frac{S_{HB}}{S_{VB}} \cong 1$

Por lo tanto, la función de transferencia modificada de Nakamura se expresa como:

$$\textbf{Ecuación 13: } S_M = \frac{S_{HS}}{S_{VS}}$$

Es decir, la función de transferencia se puede obtener con una única medida en la superficie. El fundamento teórico de esta técnica se ha cuestionado, pero estudios experimentales muestran que, utilizando esta técnica, para suelos blandos se muestra un pico claro que esta correlacionado con la frecuencia de resonancia fundamental.

2.1.2.9. Velocidad de la Onda de Corte (V/s) (Clasificación por el Reglamento Nacional de la Construcción RNC-07).

Según el artículo 25 del Reglamento Nacional de la construcción (RNC – 07) establece que para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debido a las características del terreno, los suelos se dividirán en cuatro tipos, de acuerdo con las siguientes características (MTI, 2007):

- Tipo I: Afloramiento rocoso con $V_s > 750$ m/s.
- Tipo II: Suelo firme con $360 < V_s \leq 750$ m/s.
- Tipo III: Suelo moderadamente blando con $180 \leq V_s \leq 360$ m/s.
- Tipo IV: Suelo muy blando con $V_s < 180$ m/s.

Siendo V_s la velocidad promedio de la Onda de Corte calculada a una profundidad no menor de 10 m que se determinara como:

$$\text{Ecuación 14:} \quad V_s = \frac{\sum_{n=1}^N h_n}{\sum_{n=1}^N \frac{h_n}{V_n}}$$

Donde:

- h_n = espesor del n-ésimo estrato
- V_n = velocidad de ondas de corte de n-ésimo estrato
- N = número de estratos

Si no se dispone de estos mapas de microzonificación, se utilizaron los siguientes factores de amplificación 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

Tabla 2. Tabla factores de amplificación por tipo de suelo (MTI, 2007).

Para suelos muy blandos (tipo IV) es necesario construir espectros de sitio específicos, siguiendo los requisitos establecidos en el Título de este Reglamento. Los suelos propensos a licuarse no se incluyen en ningún de los casos anteriores.

2.2. HIPÓTESIS

El área de estudio se ubica dentro del Graben de Managua, esta ciudad es de alta peligrosidad sísmica, debido que está en una estructura geológica y fosa tectónica. Se caracteriza porque está asentada en un paquete de rocas de edad reciente constituido por productos volcánico, materiales sedimentarios y suelos pocos consolidados, por lo tanto, estos suelos no prestan las condiciones necesarias para que durante cualquier evento sísmico pueda darse la posible la amplificación de las ondas sísmicas o el efecto de sitio en el subsuelo, de forma que el diseño estructural de los edificios proyectados a construirse consideren estas propiedades del suelo y su comportamiento.

Determinar el parámetro dinámico de los suelos nos permite estimar la las frecuencias, periodos y amplitudes predominantes de los depósitos de los suelos blandos y determinar los espesores de los sedimentos para el diseño sismo-resistente de futuras construcciones en el área de Managua.

CAPITULO III

3.1. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1.1. Tipo de estudio.

El tipo de estudio de esta tesis basándose en la metodología de (Bonilla & Rodrigues,2005), se define como exploratorios y explicativos, ya que se encarga en examinar el problema que genera el ruido y determinar los fenómenos para conocer las distintas propiedades del suelo así como su comportamiento, obteniendo los modelos de velocidad de las ondas sísmicas, para la estimación de la profundidad y espesores de los suelos blandos, estos es gracias a las fuentes naturales y artificiales inducida en la superficie terrestre, de la cual podemos obtener la propagación de las ondas de cuerpo en diferentes direcciones debido que tienen la misma cantidad de energía. Todo esto nos lleva a la interpretación de los detalles de vibración de la tierra, para el desarrollo de conclusiones y recomendaciones del tema tomando en cuenta como base los objetivos.

El enfoque de esta investigación es carácter cuantitativo debido que se basa desde la elaboración de la hipótesis y pretende comprobar, justificar esto en base al marco teórico previamente elaborado. Esta forma de investigar, pretende demostrar que este trabajo es científico y que cumplen con las reglas que este método exige en vez de comprender las distintas características que se encuentran en la realidad y que pueden definir de lo teórico.

3.1.2. Área de estudio.

El área de estudio se ubica en el municipio de Managua; en las zonas de la Unan-Managua, Aeropuerto, Las Piedrecitas y el casco urbano de la ciudad capital de Managua, departamento Managua con un área que se aproxima a los 180 km².



Figura 17. Mapa del área de estudio (Base Cartográfica Digital, INETER-2003).

3.1.3. Universo y Muestra.

El universo de esta investigación la conforma el área de la ciudad urbana, de Managua con un área de 180 km² y la muestra está constituida por los datos de ruido ambiental obtenidos mediante las prácticas de campo realizadas en las clases de **Prácticas de Especialización I** y **Prospección Geofísica II**, también por datos brindados por la tutora Msc. Xochilt Esther Zambrana Areas en el período 2018-2020, aplicando la técnica de Nakamura. Los datos fueron levantados de forma aleatoria, ya que es una ciudad de alta peligrosidad sísmica, que tiene una gran cantidad de diferentes sistemas de fallas que se encuentran en dirección de Norte a sur, por lo que los datos obtenidos en cada estación sísmica se levantaron de manera independiente para estimar, los periodos y amplitudes de las estaciones.

3.1.4. Matriz de Operacionalización de las variables independientes (MOVI).

Objetivos Específicos.	Variable conceptual.	Subvariables o Dimensiones.	Variable Operativa o Indicador.	Técnicas de Recolección de datos e Información.
Analizar datos de micro temores mediante el método geofísico de la Técnica del Cociente Espectral H/V o Técnica de Nakamura.	Microtemores. Técnica de Nakamura.	Vibración ambiental o Ruido sísmico. Función de transferencia empírica.	Vibración en la superficie del suelo debido a ondas. Modelo matemático que a través de un cociente relaciona las respuestas.	Fichas de recolección de datos de campo.
Estimar frecuencias, periodos y amplitudes de vibración de los suelos y estimar efecto sitio en el área de investigación.	Parámetros Dinámicos del suelo. Efecto de sitio.	Frecuencia. Periodo. Amplitud.	Numero de repeticiones por unidad de tiempo. Tiempo que tarda en vibrar el suelo. Comportamiento dinámico del suelo.	Adquisición de datos con el equipo Mic SEIS-MTNEO. Uso de Software: Wavemic2009v4.exe, FouSpcMicGv4.exe.
Calcular perfiles sísmicos de velocidad de la onda de cizalla mediante el modelado geofísico por método directo y obtener modelos geológicos del subsuelo en 1-D (una dimensión) de la zona de estudio.	Modelos de velocidad v_s y v_p .	Tipo de suelo. Espesor de capa. Velocidad de propagación.	Propiedades según su textura. Existencia de depósitos sobre la superficie. Velocidad de perturbación del medio.	Uso de software;. RayHVSH6v3e2.exe Visiooffice2019.

Tabla 3. Operacionalización de variables.

3.1.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Para poder llevar a cabo esta investigación se realizó el análisis de mediciones de Microtemores mediante la Técnica del Cociente Espectral H/V o Técnica de Nakamura. Se llevaron a cabo mediciones de prueba en 96 sitios dispersos en Managua, ubicados principalmente en las áreas de expansión de la ciudad. Para estimar las frecuencias, los períodos y las amplitudes de vibración de los suelos, con el propósito de ubicar estaciones de medición donde se presente el Efecto de sitio y obtener un modelo del subsuelo en 1-D.

El equipo utilizado para la adquisición de datos fue el McSEIS-MT NEO, el cual es un acelerómetro digital, que contiene tres sensores internos y se le puede añadir tres sensores externos de periodo largo, además, se le integra un sistema de posicionamiento global (GPS). Este instrumento no requiere ninguna fuente sísmica artificial como martilleo o caída de peso, pero adquiere vibración propagada en la superficie del suelo, es decir onda de superficie, generada por ruidos de tráfico y vibración industrial, fenómenos naturales como las olas del mar a la orilla del mar. Con el objetivo de obtener periodos fundamentales de vibración y una estimación de las ampliaciones locales en los terrenos.



Figura 18. Acelerómetro McSEIS.MT NEO, (<https://www.oyo.co.jp/english/wp-content/uploads/>).

Entre las especificaciones del equipo Mc SEIS-MT NEO están:

Componentes	Rango
Resolución de sensores	1 μ G
Sensibilidad	> 1500
Impedancia de entrada	1M Ω
Respuesta frecuente	0.1 – 200Hz
Temperatura de operación	-20 - 55°C
Rango dinámico	120 Db
Sensibilidad del sensor	2.0V/G
Rango del sensor	+/- 4G

Tabla 4. Especificaciones técnicas del equipo McSEIS-MT NEO.

3.1.6. Procedimiento para la recolección de datos.

El levantamiento de los datos se realizó mediante análisis de mediciones de Microtemores mediante la técnica del cociente espectral H/V o Técnica de Nakamura para estimar frecuencias, períodos y amplitudes de vibración de los suelos, con el fin de identificar estaciones de medición donde pueda presentarse efecto de sitio. Para ello fueron proporcionados datos de Microtemores para el desarrollo de este trabajo por la tutora de esta tesis Msc. Xochilt Zambrana. Estos datos fueron levantados como práctica de campo en la clase de práctica de Prácticas de Especialización I y Prospección Geofísica II en el año 2019 en la etapa de trabajo de campo del proyecto y como práctica de la asignatura.

Para el trabajo de Campo se realizó el siguiente procedimiento:

- Se investigó la información referente a las características geológicas y los estudios geotécnicos previos realizados en el sitio y sus alrededores.
- Los puntos de medición se ubicaron en función de las zonas de interés dentro de la ciudad (zonas cercanas a fallas importantes, áreas de expansión de la ciudad, etc.). En este punto fue de importancia el uso de la brújula marca Suunto MC-2 NH para la dirección de los perfiles de medición.



Figura 19. Brújula Suunto MC-2 NH (<https://machay.es/es/espelologia/1406-brujula-suunto-mc-2-nh-6417084042316.html>)

- c) La adquisición de registros de microtemores se obtuvo mediante el equipo acelerómetro McSEIS-MT NEO, el cual se le acoplan tres sensores externos de periodo largo. El sensor sísmico que registra el movimiento del suelo en la componente N-S fue orientado con respecto al norte geográfico y de forma perpendicular a este se ubicó el sensor EW y la componente UD.
- d) Una vez estacionado el equipo se adquirió las coordenadas geográficas UTM de cada estación con un GPS, marca Garmin Etrex 10.



Figura 20. GPS marca Garmin Etrex 10 para localización de datos (<https://www.google.com/url?sa=i&url>).

- e) Se programó la medición en el acelerómetro McSEIS-MT NEO utilizando un computador portátil y una memoria (Micro SD), incorporando el tiempo de duración de la medición por cada estación de 10 a 15 minutos. Consecuentemente se insertó la memoria en el acelerómetro para la obtención y almacenamiento del registro.

3.1.7. Plan de procesamiento y análisis.

Los datos registrados se transfieren a un ordenador portátil para su análisis, visualizando los registros con ayuda del programa Wavemic2009v4e.exe del Doctor Kiminobu Eto, desarrollado en 2004. Para visualizar las formas de onda de cada registro se pretende configurar las características del archivo de texto de cada punto de medición tomando en cuenta el número de datos del registro, al proporcionar el nombre de cada estación e incorporar los datos de las componentes N-S; E-W; U-D del movimiento del suelo.

Luego del análisis de las formas de ondas de cada registro de microtemores se busca estimar la transformada de Fourier (espectros de Fourier) de las componentes verticales y horizontales del movimiento de suelo mediante el programa FouSpcMicGv4.exe, también desarrollado en 2004 por el Dr. Kiminobu Eto, para la obtención de las curvas espectrales de cada registro de medición. Con este programa también se pretende calcular la Función de Transferencia Empírica (período y amplitud), para obtener el valor promedio de las mismas, que, según Nakamura, es la función de transferencia aproximada del suelo.

A la hora de modelar velocidades de onda, se pretenden modelos unidimensionales para un medio estratificado y este aproxima un pico de período dominante de la Función de Transferencia Empírica (FTE) con la Función de Transferencia Teórica (FTT), por modelado directo.

Se elaboró para el sitio de investigación una clasificación dinámica de los suelos tomando en cuenta el modo de vibrar de los puntos de cada estación desde P1 hasta P96. Esta clasificación dinámica se realiza analizando los valores de período y amplificación del suelo en cada registro de medición.

Para la obtención de los modelos de velocidad de los puntos anteriormente mencionados se utilizó el método del modelado directo, este consiste en proponer un modelo inicial con parámetros similares de nuestra área de estudio, los cuales son: espesor, velocidad de corte, velocidad de onda P y densidad; haciendo uso del programa RayHVSH (Kiminobu Eto,

2004), el cual genera una curva teórica de la función de transferencia Empírica (FTE) que es estimada en base a los parámetros iniciales del modelo y se compara con una curva de FTE que es calculada para el punto de medición. En la modelación del subsuelo se trata tener una aproximación de una curva teórica estimada en relación a la función de transferencia Empírica (FTE) calculada y aproximar un pico que es el período predominante de vibración del suelo.

Finalmente, se utilizaron herramientas de Microsoft Office 2013 como Word, Excel y Power Point para la redacción técnica y presentación de esta investigación, además se empleó software ArcGis para la realización de mapas en el trabajo.

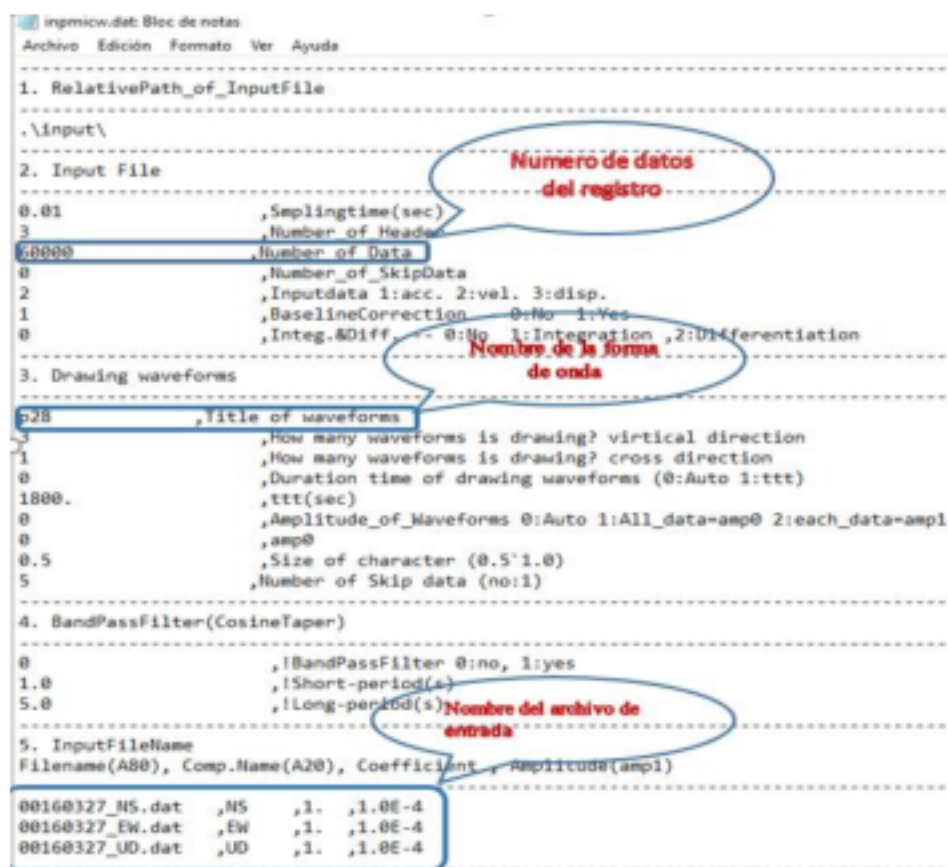
Capítulo IV

4.1 Análisis y Discusión de Resultados

4.1.1.1 Registro de Microtemores

Mediante el programa japonés WSvemic2009v4e.exe del doctor Kiminobu Eto desarrollado en el 2004, se logró observar la forma de onda de microtemores la cual se organizaron los datos y se seleccionó los rangos de datos de los registros que no estuviesen contaminados por ruido ambiental que afecten la estabilidad de las señales.

Para lograr visualizar la forma de onda de los registros se modificó los parámetros del archivo de texto de cada uno de los puntos medidos tomando en cuenta el número de datos de los registros, donde se le dio nombre de cada una de las estaciones y añadiendo los datos de las coordenadas N-S, E-W, U-D, del movimiento del suelo (*figura 21*).



The image shows a screenshot of the 'WSvemic2009v4e' program's configuration window. The window has a menu bar with 'Archivo', 'Edición', 'Formato', 'Ver', and 'Ayuda'. The configuration is organized into sections separated by dashed lines. Annotations in red text with blue circles point to specific fields:

- Numero de datos del registro:** Points to the 'Number of Data' field, which is set to '00000'.
- Nombre de la forma de onda:** Points to the 'Title of waveforms' field, which is set to 'p28'.
- Nombre del archivo de entrada:** Points to the 'InputFileName' section, which contains a table of input files.

```
ingmicw.dat: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda

-----
1. RelativePath_of_InputFile
-----
.\input\

2. Input File
-----
0.01          ,Smplngtime(sec)
3             ,Number of Header
00000         ,Number of Data
0             ,Number of SkipData
2             ,Inputdata 1:acc. 2:vel. 3:disp.
1             ,BaselineCorrection 0:No 1:Yes
0             ,Integ.&Diff. 0:No 1:Integration 2:Differentiation
-----
3. Drawing waveforms
-----
p28           ,Title of waveforms
3             ,How many waveforms is drawing? virtual direction
1             ,How many waveforms is drawing? cross direction
0             ,Duration time of drawing waveforms (0:Auto 1:ttt)
1800.         ,ttt(sec)
0             ,Amplitude of Waveforms 0:Auto 1:All_data=amp0 2:each_data=ampl
0             ,amp0
0.5           ,Size of character (0.5~1.0)
5             ,Number of Skip data (no:1)
-----
4. BandPassFilter(CosineTaper)
-----
0             ,!BandPassFilter 0:no, 1:yes
1.0           ,!Short-period(s)
5.0           ,!Long-period(s)
-----
5. InputFileName
-----
Filename(A80), Comp.Name(A20), Coefficient, Amplitude(amp1)
00160327_N5.dat ,N5 ,1. ,1.0E-4
00160327_EW.dat ,EW ,1. ,1.0E-4
00160327_UD.dat ,UD ,1. ,1.0E-4
-----
```

Figura 21. Configuración de los datos de entrada del programa Wavemic2009v4e.

Después de un análisis de las formas de ondas de los registros de microtremores se calculó la transformada de Fourier o espectro de Fourier de las componentes verticales y horizontales del movimiento del suelo usando el programa FouSpcMicGv4.exe del Doctor Kiminobu Eto desarrollado en el 2004 obteniendo como resultado curvas espectrales para cada uno de los registros obtenido de las mediciones, a continuación, se muestra uno de los registros sísmico de microtremores, (figura 22).

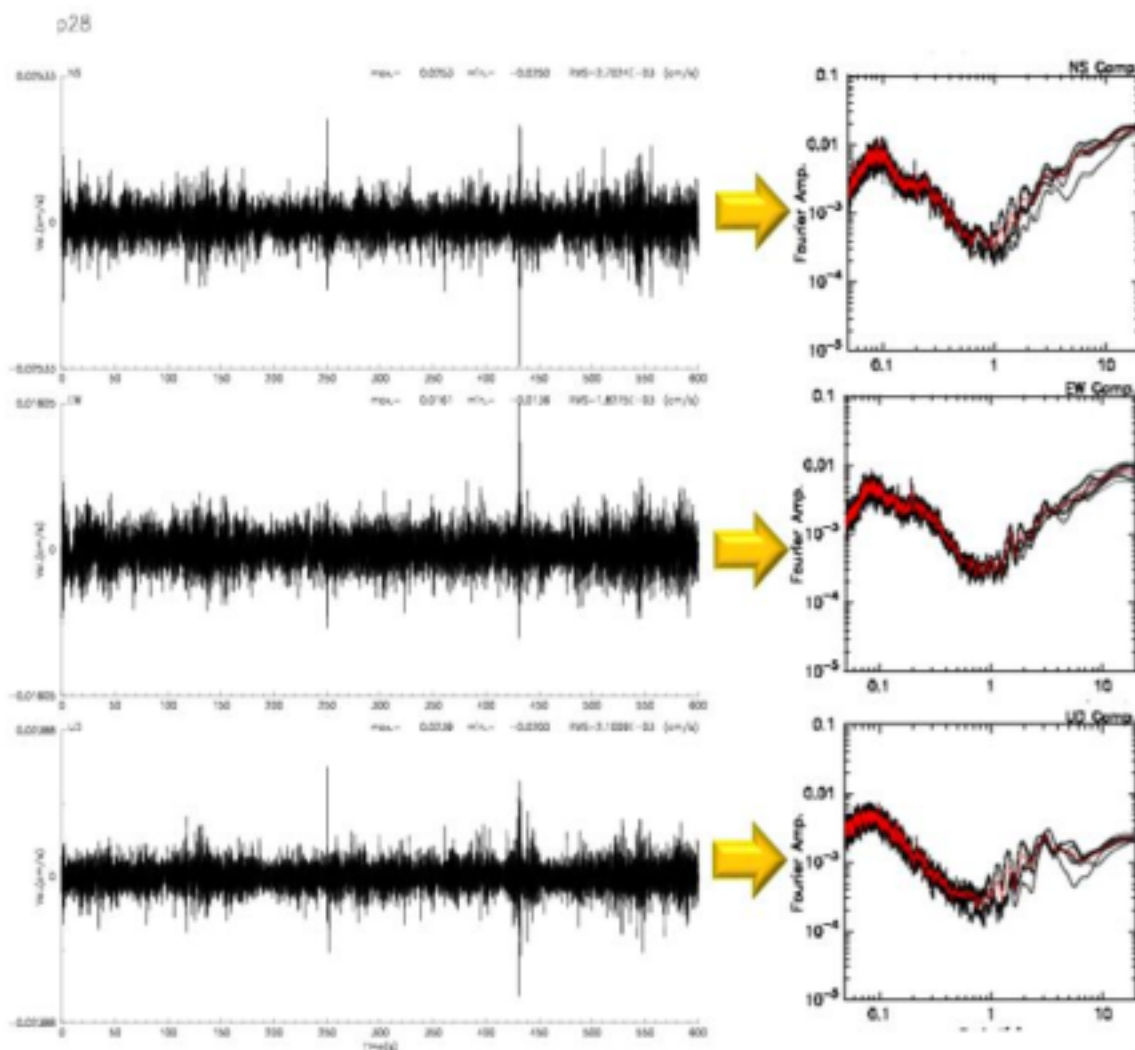


Figura 22. Registro de vibración ambiental y espectro de Fourier en las componentes del movimiento del suelo N-S, E-W Y U-D, (Punto 28).

4.1.1.2 Determinación de la Función De Transferencia Empírica

Una vez ya obtenido la transformada de Fourier se calculó la relación espectral de las componentes horizontales y verticales, esto fue posible realizarse con el programa FouSpeMicGv4.exe (Kiminobu Eto, 2004), donde se obtuvo el promedio de la (FTE), dando como resultado la función de transferencia aproximada del suelo.

A continuación, se muestran los resultados al aplicar la técnica de Nakamura en diferentes puntos de medición (punto 26, 27, 28, 29), *figura 23*.

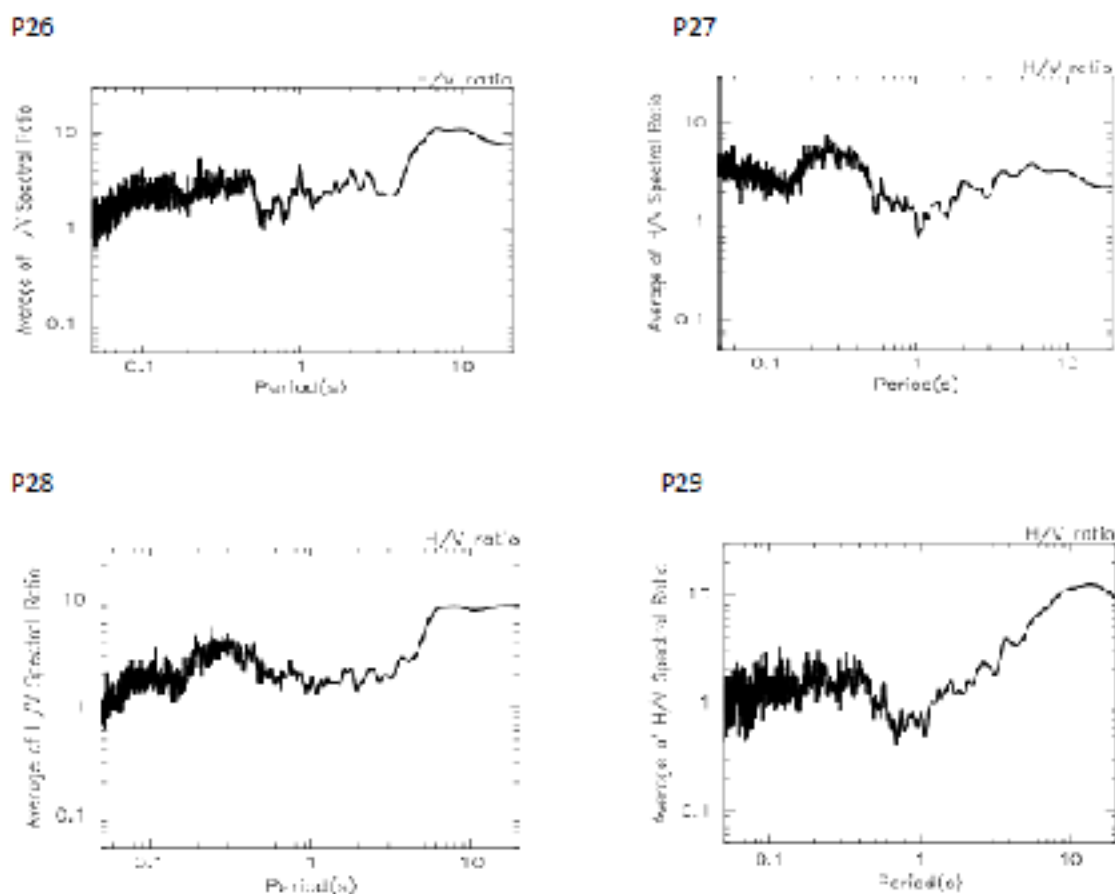


Figura 23. Gráfico ejemplos de la función de transferencia empírica (FTE) obtenidas en los puntos P26, P27, P28, P29.

Una vez obtenido las curvas se tomó los valores de los periodos picos predominantes que sobresalen en la curva, de manera que mediante la intersección del eje de las abscisas el periodo, y del eje de las ordenadas la amplitud, (figura 24).

P28

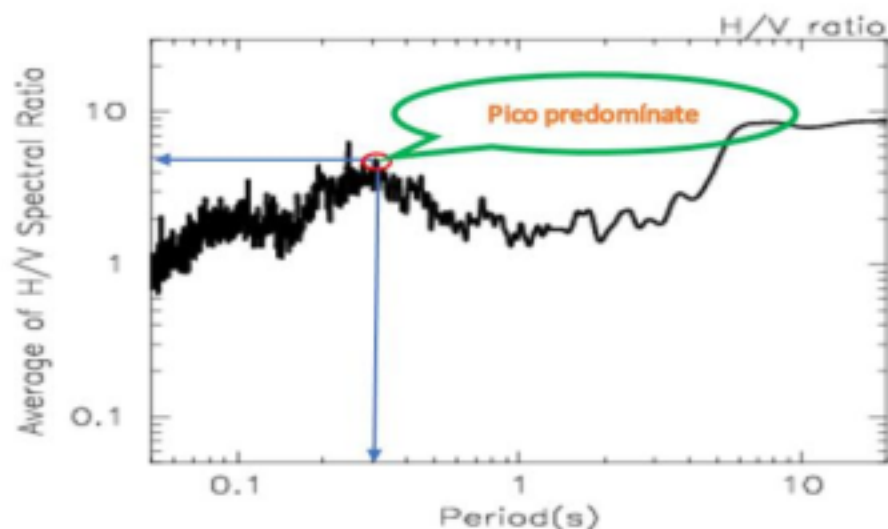


Figura 24. Gráfico ejemplo del promedio de la (FTE) en el punto 28 en el cual se obtiene la amplificación y el periodo dominante del suelo, $T_0=0.3$ s y $A=5$.

4.1.2.1.1 UNAN-MANAGUA.

En la zona del Recinto Unan-Managua se obtuvieron 31 puntos de registros de microtemores, mediante el análisis de cada punto de medición, se logró agrupar los datos en dos familias de curvas de Funciones de Transferencia Empírica (FTE). se muestra la primera familia de curvas de Función de Trasferencia Empírica (FTE) de registro de microtemores, con presencia de efecto de sitio conformadas por 23 curvas con periodos de 0.1-0.3 s, amplificaciones de 5-10 veces y frecuencia de 3.3-5 Hz y luego la segunda familia de curvas de Función de Trasferencia Empírica (FTE) de registro de microtemores, con presencia de efecto de sitio conformadas por 8 curvas con periodos de 0.32-0.7 s, amplificaciones de 5-10 veces y frecuencia de 1.48-8 Hz.

4.1.2.2 Determinación de modelo de velocidades Vs y Vp.

4.1.2.2.1 UNAN- MANAGUA

De los 31 puntos de registros de Microtemores en la zona del Recinto UNAN-Managua estudio fueron seleccionados dos puntos para determinar el perfil de velocidad del subsuelo en el cual se obtiene información de los espesores de capas, densidades, profundidades y velocidades de las ondas sísmicas P (Vp) y S (Vs), correspondientes a los puntos 24 y 16. El modelo de velocidad obtenido en el punto 24 pertenece a la 1ra Familia de curvas y el perfil de velocidad para el punto 16 pertenece a la 2da familia de curvas.

Para la obtención de los modelos de velocidad de los puntos anteriormente mencionados se utilizó el método del modelado directo, este consiste en proponer un modelo inicial con parámetros similares del área de estudio en la que se trabajó. En la modelación del subsuelo se trata de obtener una aproximación de una curva teórica estimada en relación a la función de transferencia Empírica (FTE) calculada y aproximar un pico que es el período predominante de vibración del suelo.

Para el ajuste de esta curva se modificaron algunos de sus parámetros hasta tener la mayor aproximación de los picos predominantes de esta con los de la curva de FTE que se obtuvo en campo. Las figuras 23 y 24, muestran en color rojo el modelo teórico (FTT) y en color negro, verde y azul la curva calculada (FTE) del punto 24 y 16 respectivamente. Además de una tabla de valores que se muestra a la derecha con los parámetros del modelado (profundidad, espesor, Vs, Vp y densidad) en el que se pueden apreciar 10 estratos.

La siguiente figura muestra los modelos de velocidades Vs y Vp del punto 24.

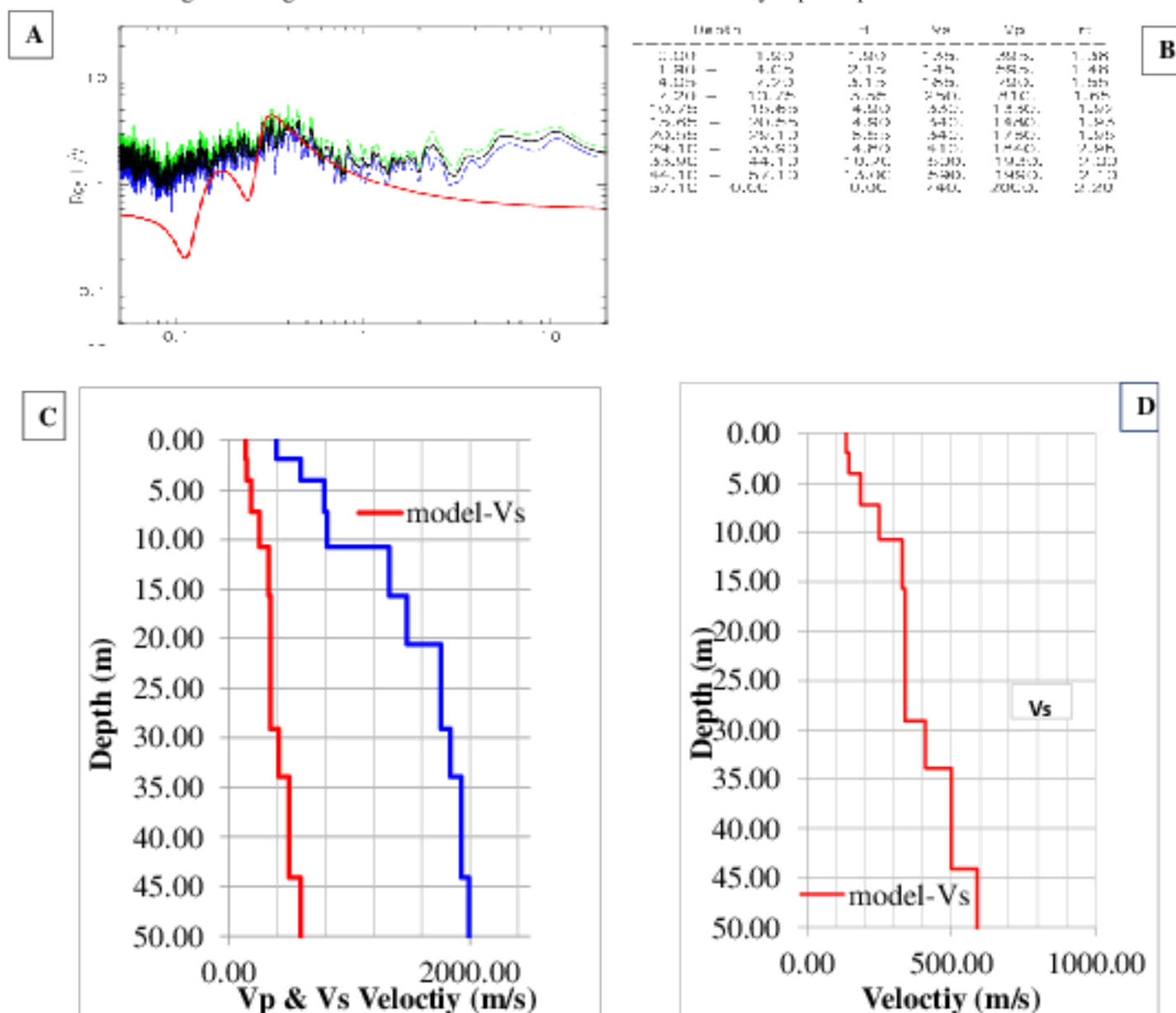


Figura 25. Modelo de velocidad P24.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre periodos de 0.1 -0.30 segundos (1er Familia de Curvas), el modelo corresponde a la estación de medición P24 y alcanza una profundidad de 57.10m. A) Curva teórica de la función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (VS).

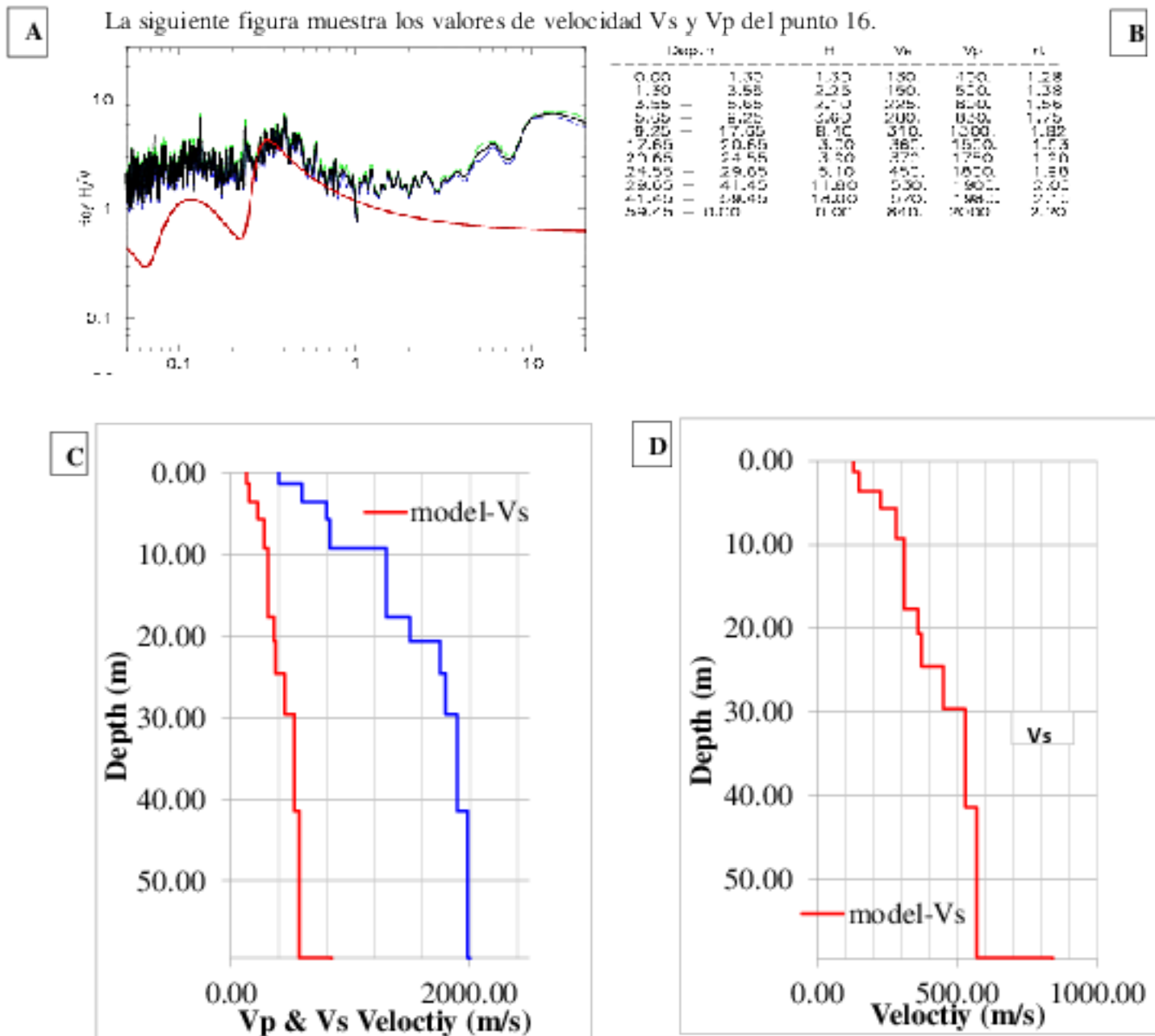


Figura 26. Modelo de velocidad del P16.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre períodos de 0.32 -0.7 segundos (2da Familia de Curvas), el modelo corresponde a la estación de medición P16 y alcanza una profundidad de 59.45m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 28.

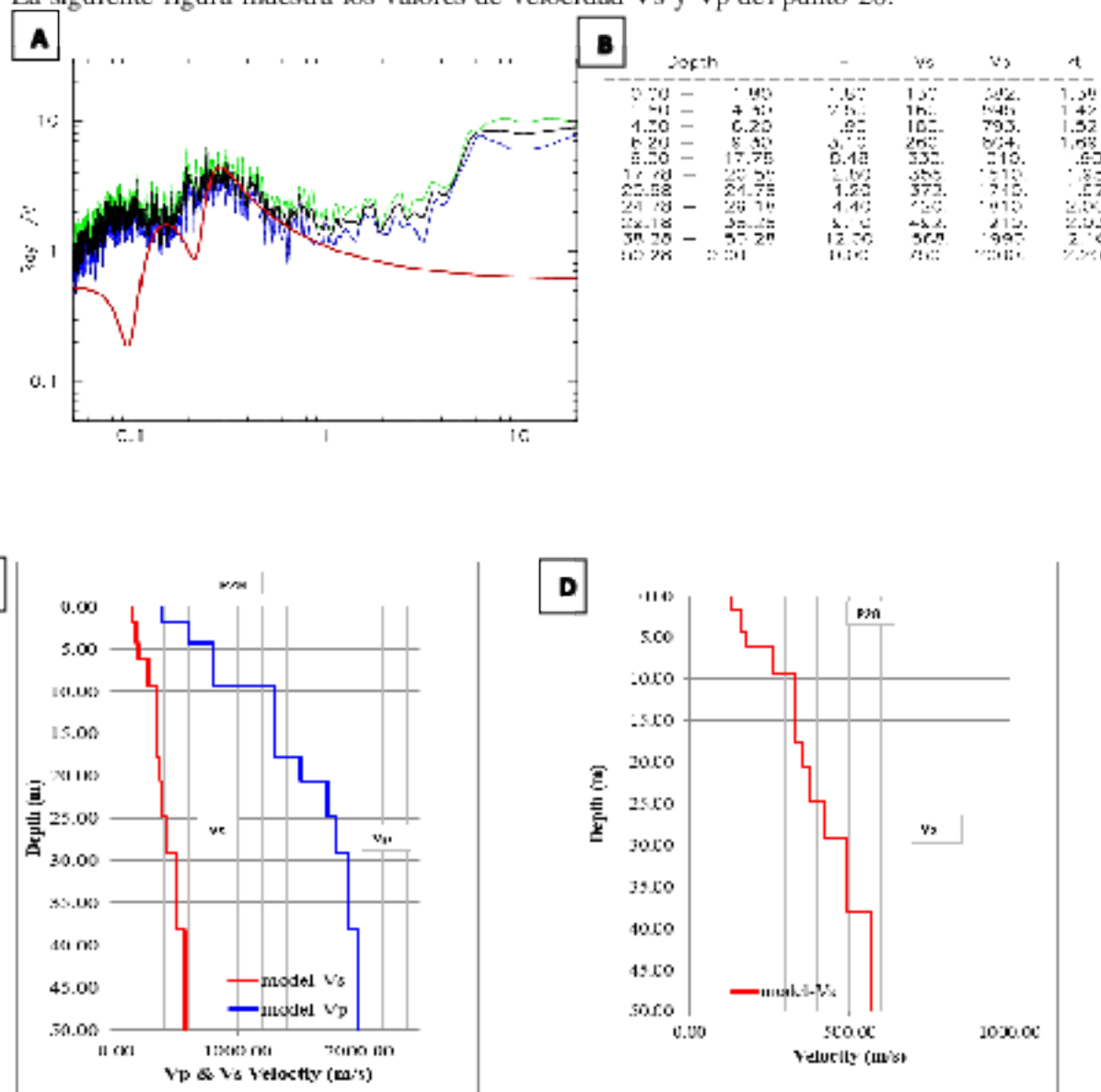


Figura 27. Modelo de velocidad del P28.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre periodos de 0.32 -0.7 segundos (2da Familia de Curvas), el modelo corresponde a la estación de medición P28 y alcanza una profundidad de 50.28m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs) para el punto 28.

4.1.2.3 INTERPRETACIÓN DE MODELO GEÓLOGICO UNAN-MANAGUA.

Para la interpretación de los modelos de velocidad en el contexto geológico de la zona, se toma en consideración el artículo 25 del Reglamento Nacional de la construcción (RNC – 07) donde establece que para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debido a las características del terreno, los suelos se dividen en cuatro tipos.

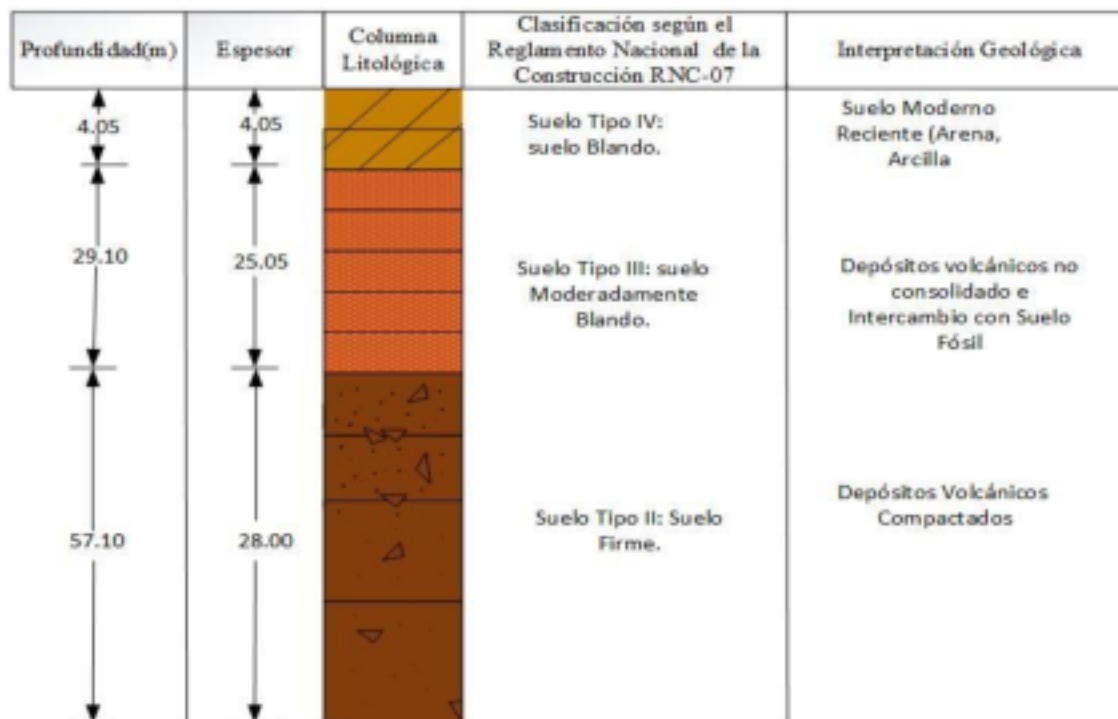


Figura 28. Interpretación geológica de Modelo de velocidad del punto 24.

En la figura 28 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 57 m y el rango de velocidades mínima-máxima es alrededor de 135-740 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 4.05 m y un Vs cercano a 145 m/s, en relación al valor de velocidad esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente (compuesto principalmente de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 340 m/s y un espesor de 25.05 m; dicha capa se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados. La tercera y más profunda capa del modelo alcanza los 57.10 m en profundidad y posee un espesor de 28.0 m; y con un Vs de hasta 740 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme (formado por depósitos volcánicos compactados).

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 16.

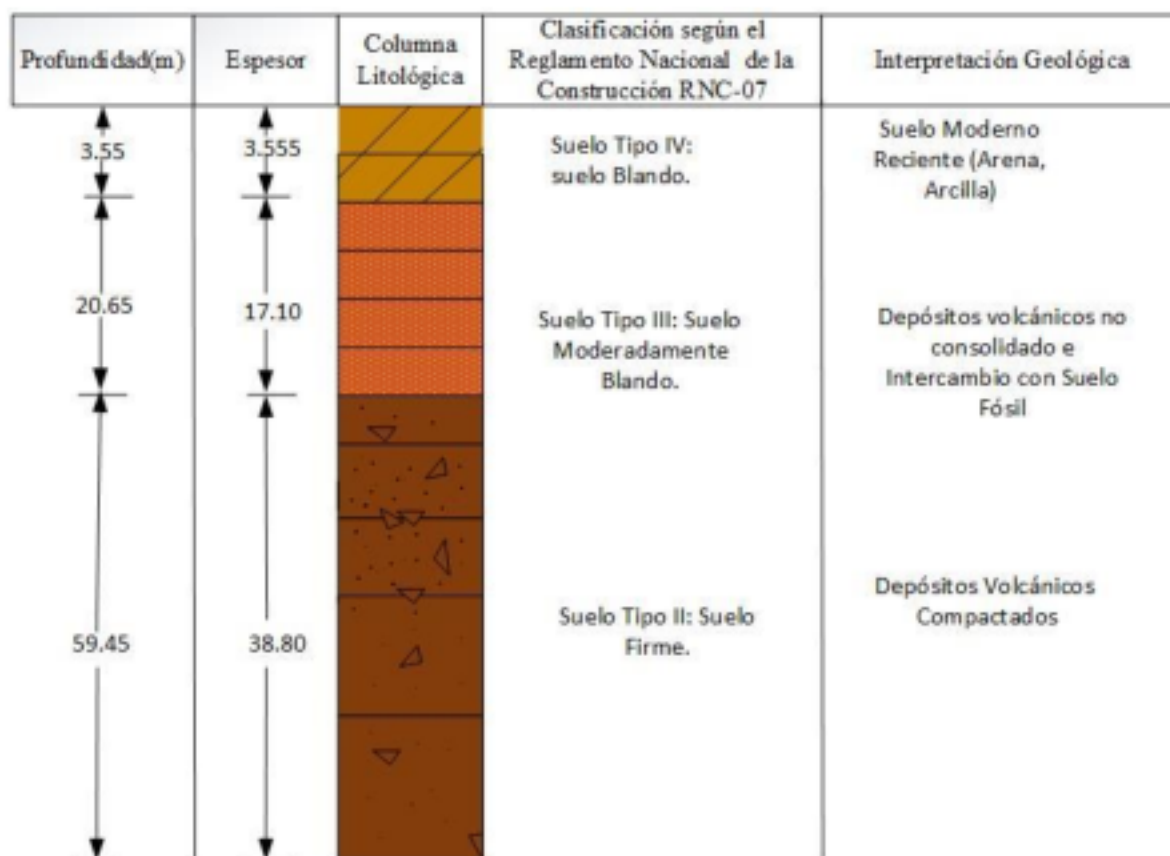


Figura 29. Interpretación geológica de modelo de velocidad de punto 16.

En la figura 29 corresponde al resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 59 m y el rango de velocidades entre 130-840 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 3.55 m y un Vs cercano a 150 m/s, la cual en relación al valor de velocidad puede ser interpretada como suelo moderno reciente (compuesto principalmente de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 360 m/s y un espesor de 17.10 m; dicha capa se puede interpretar como suelo moderadamente blando (conformado por depósitos volcánicos no consolidados). La última capa del modelo alcanza los 59.45 m en profundidad y posee un espesor de 38.0 m; y con un Vs de hasta 840 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme (formado por depósitos volcánicos compactados).

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 28.

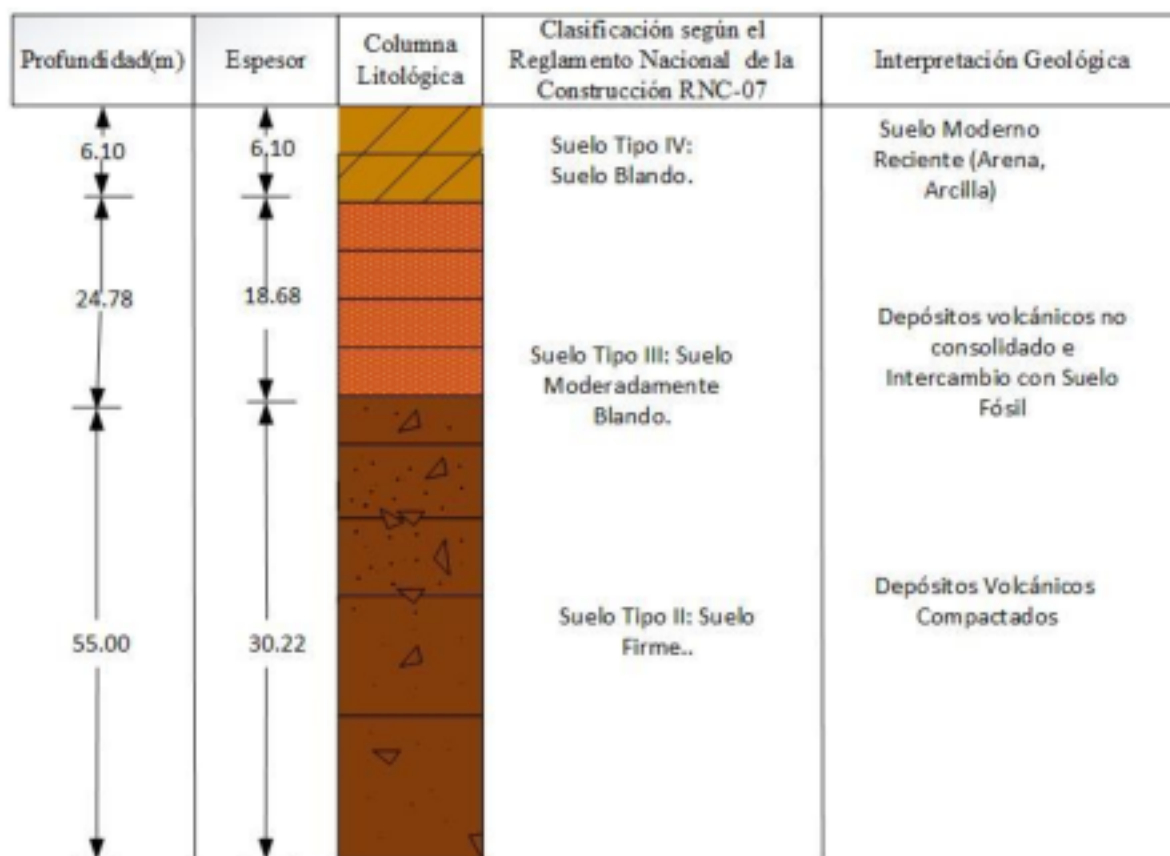


Figura 30. Interpretación geológica de modelo de velocidad de punto 28.

En la figura 30 corresponde al resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 55 m y el rango de velocidades entre 130-750 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 6.10 m y un Vs máximo de 180 m/s, la cual en relación al valor de velocidad puede ser interpretada como suelo blando o moderno reciente (compuesto de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 355 m/s y un espesor de 18.68 m; dicha capa se puede interpretar como suelo moderadamente blando (conformado por depósitos volcánicos no consolidados). La tercera capa del modelo alcanza los 55.00 m en profundidad y posee un espesor de 30.22 m; y con un Vs de hasta 750 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme (formado por depósitos volcánicos compactados).

4.1.2.4. AEROPUERTO

En la Zona Aeropuerto se analizaron 11 puntos de registros de microtemores, seleccionándose un punto para determinar el perfil de velocidad del subsuelo en el cual se obtiene información de los espesores de capas, densidades, profundidades y velocidades de las ondas sísmicas P (V_p) y S (V_s), correspondientes al punto 33. En la modelación del subsuelo se obtiene una aproximación de una curva teórica estimada en relación a la función de transferencia Empírica (FTE) calculada y se aproxima un pico que es el período predominante de vibración del suelo.

Para el ajuste de esta curva se modificaron algunos de sus parámetros hasta tener la mayor aproximación de los picos predominantes de esta con los de la curva de FTE que se obtuvo en campo. La figura 31, muestra en color rojo el modelo teórico (FTT) y en color negro, verde y azul la curva calculada (FTE) del punto 11. Además de una tabla de valores que se muestra a la derecha con los parámetros del modelado (profundidad, espesor, V_s , V_p y densidad) en el que se pueden apreciar 5 estratos.

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 28.

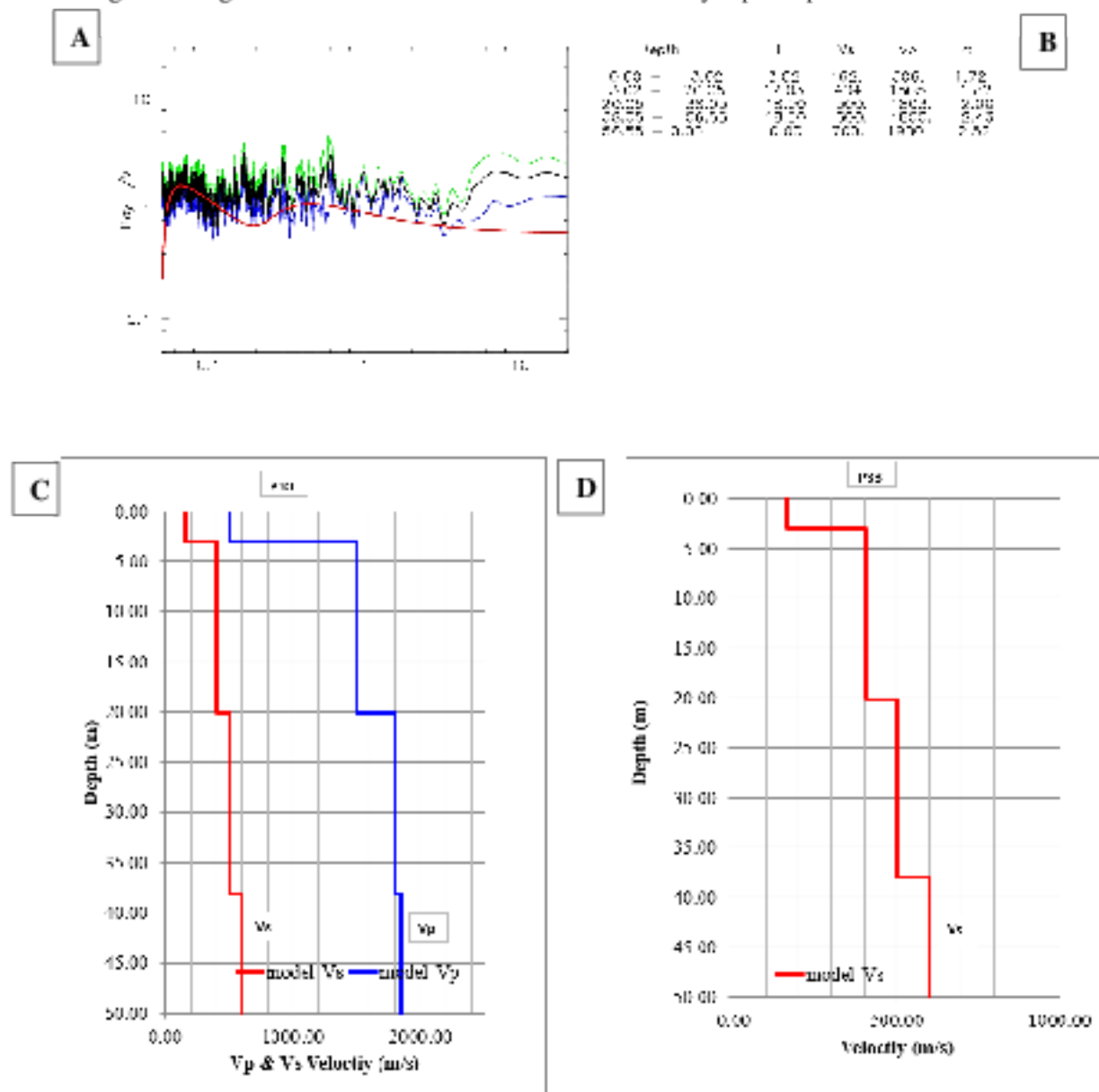


Figura 31. Modelo de velocidad de punto 33.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre períodos de 0.02 - 0.5 segundos, el modelo corresponde a la estación de medición P33 y alcanza una profundidad de 56.55 m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

4.1.2.5. INTERPRETACIÓN DE MODELO GEOLÓGICO AEROPUERTO.

Obtenidos los modelos Vs para la Zona Aeropuerto, se realiza una columna estratigráfica basada en la clasificación según el RNC-07, considerando las diferentes Vs entre las capas para determinar su composición.

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 33.

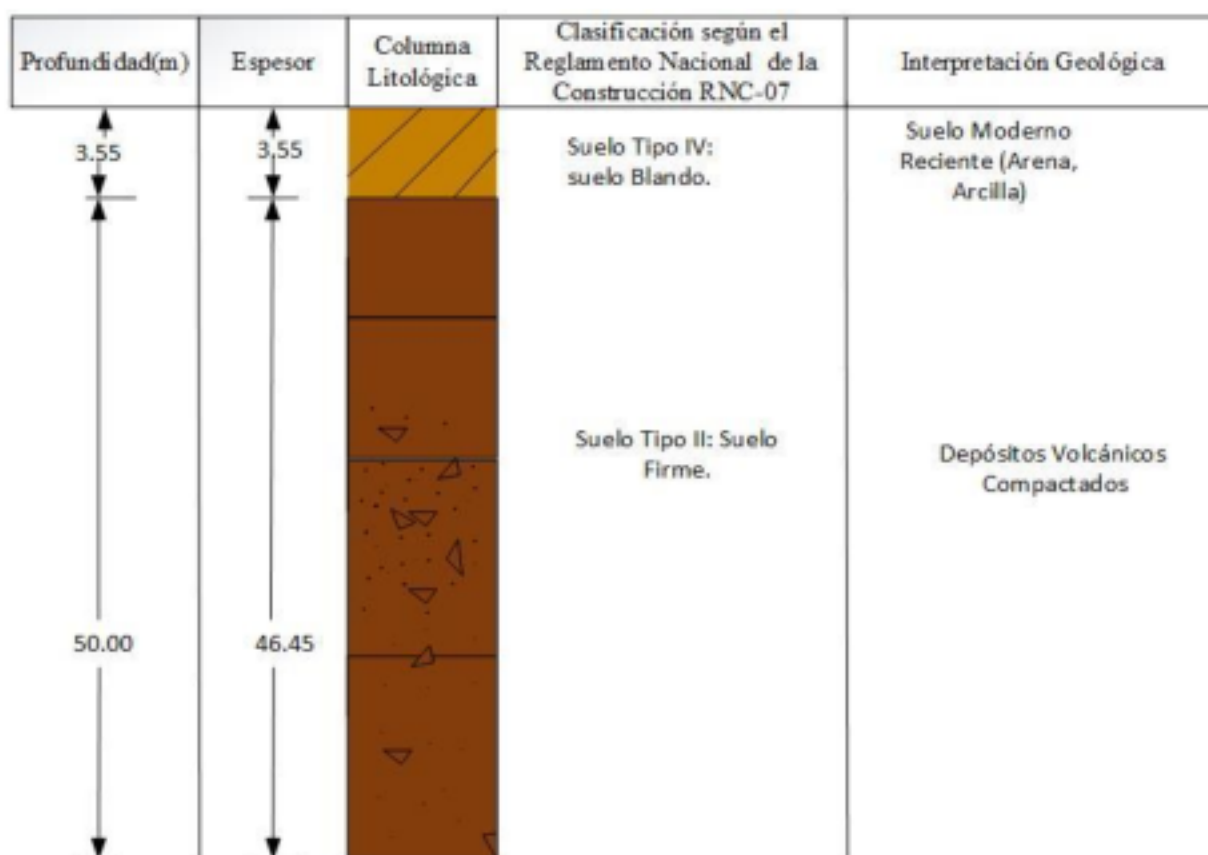


Figura 32. Interpretación geológica de modelo de velocidad de punto 33.

La **Figura 32** corresponde al resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 56 m y el rango de velocidades entre 162-700 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 3.55 m y un Vs máximo de 162 m/s, la cual en relación al valor de velocidad puede ser interpretada como suelo blando o de sedimentos aluviales (compuesto de arena y arcilla). La segunda capa del modelo alcanza los 56.00 m en profundidad y posee un espesor de 46.45 m; y con un Vs de hasta 700 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme (formado por depósitos volcánicos compactados).

4.1.2.6. LAS PIEDRECITAS

En la Zona Las Piedrecitas se analizaron 30 puntos de registros de microtemores, se seleccionó un punto para determinar el perfil de velocidad del subsuelo en el cual se obtiene información de los espesores de capas, densidades, profundidades y velocidades de las ondas sísmicas P (V_p) y S (V_s), correspondientes al Punto 44. Para la obtención de los modelos de velocidad de los puntos anteriormente mencionados se utilizó el método del modelado directo, este consiste en proponer un modelo inicial con parámetros similares del área de estudio en la que se trabajó.

Para el ajuste de esta curva se modificaron algunos de sus parámetros hasta tener la mayor aproximación de los picos predominantes de esta con los de la curva de FTE que se obtuvo en campo. La Figura 33, muestran en color rojo el modelo teórico (FTT) y en color negro, verde y azul la curva calculada (FTE) del punto 44. Además de una tabla de valores que se muestra a la derecha con los parámetros del modelado (profundidad, espesor, V_s , V_p y densidad) en el que se pueden apreciar 10 estratos.

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 44.

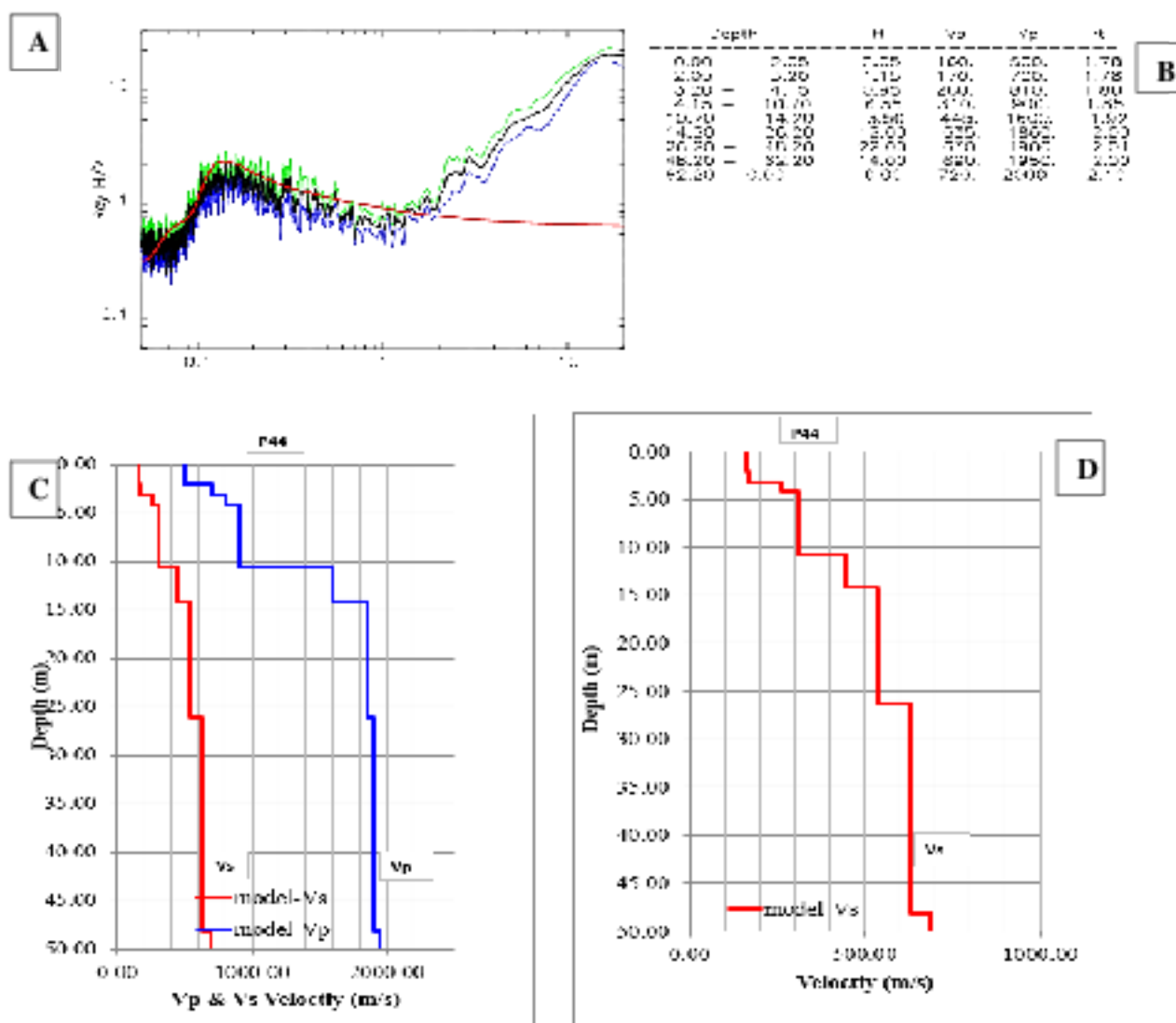


Figura 33. Modelo de velocidades P44.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre períodos de 0.1 -0.8 segundos, el modelo corresponde a la estación de medición P44 y alcanza una profundidad de 62.20 m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

4.1.2.7. INTERPRETACIÓN DE MODELO GEOLÓGICO LAS PIEDRECITAS.

Obtenidos los modelos Vs para la Zona de estudio Las Piedrecitas, se realiza una columna estratigráfica basada en la clasificación de capas según el RNC-07, considerando las diferentes Vs entre las capas y estudios previos en el sitio para determinar su composición.

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 44.

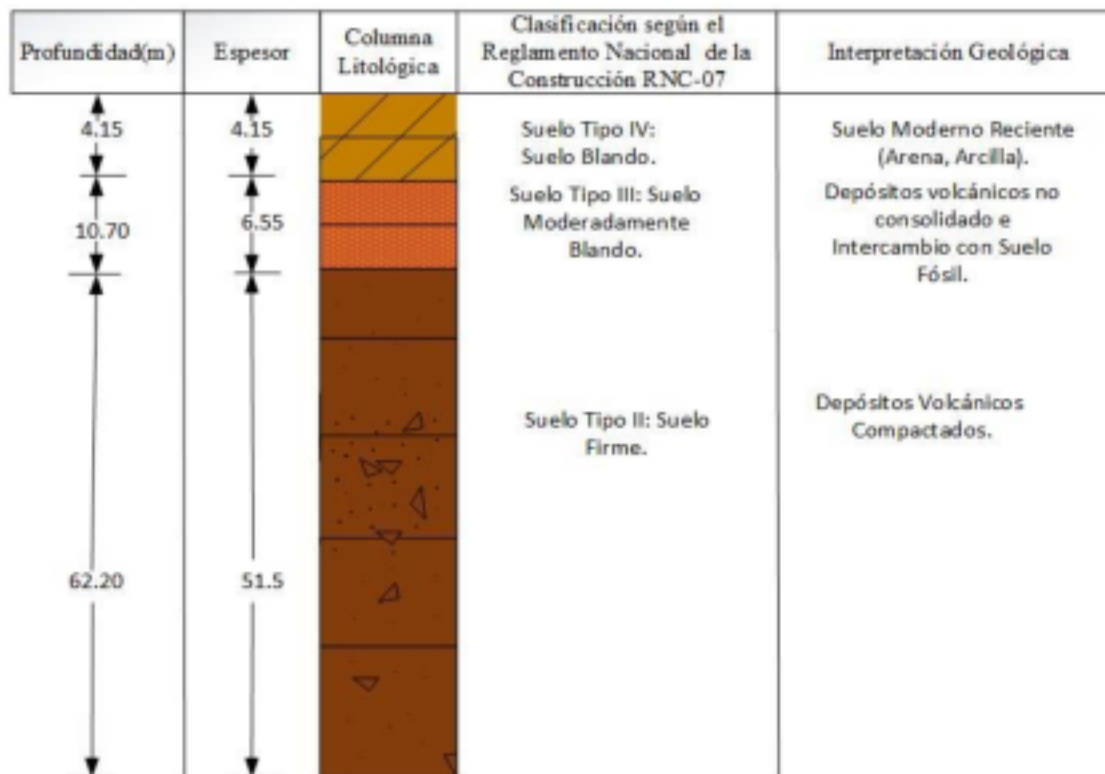


Figura 34. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 44.

En la Figura 34 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 62 m y el rango de velocidades mínima-máxima es alrededor de 160-720 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 4.15 m y un Vs cercano a 170 m/s, en relación al valor de velocidad esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente (compuesto principalmente de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 310 m/s y un espesor de 6.55 m; dicha capa se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados. La tercera y más profunda capa del modelo alcanza los 62.20 m en profundidad y posee un espesor de 51.5 m; y con un Vs de hasta 720 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme (formado por depósitos volcánicos compactados).

4.1.2.8. MANAGUA

Fueron seleccionados 24 puntos de forma aleatoria correspondientes a distintas zonas de Managua para determinar el perfil de velocidad del subsuelo, en el cual se obtiene información de los espesores de capas, densidades, profundidades y velocidades de las ondas sísmicas P (V_p) y S (V_s). Para la obtención de los modelos de velocidad de los puntos anteriormente mencionados se utilizó el método del modelado directo, este consiste en proponer un modelo inicial con parámetros similares del área de estudio en la que se trabajó. Se obtiene una aproximación de una curva teórica estimada en relación a la función de transferencia Empírica (FTE) calculada y se aproxima un pico que es el período predominante de vibración del suelo, para los puntos 93, 94, 95 y 96.

Para el ajuste de las curvas se modificaron algunos de sus parámetros hasta tener la mayor aproximación de los picos predominantes de esta con los de la curva de FTE que se obtuvo en campo. Las figuras 35, 36, 37 y 38 muestran en color rojo el modelo teórico (FTT) y en color negro, verde y azul la curva calculada (FTE) del punto 93, 94, 95 y 96 respectivamente. Además de una tabla de valores que se muestra a la derecha con los parámetros del modelado (profundidad, espesor, V_s , V_p y densidad) en el que varían entre 8-10 estratos.

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 93.

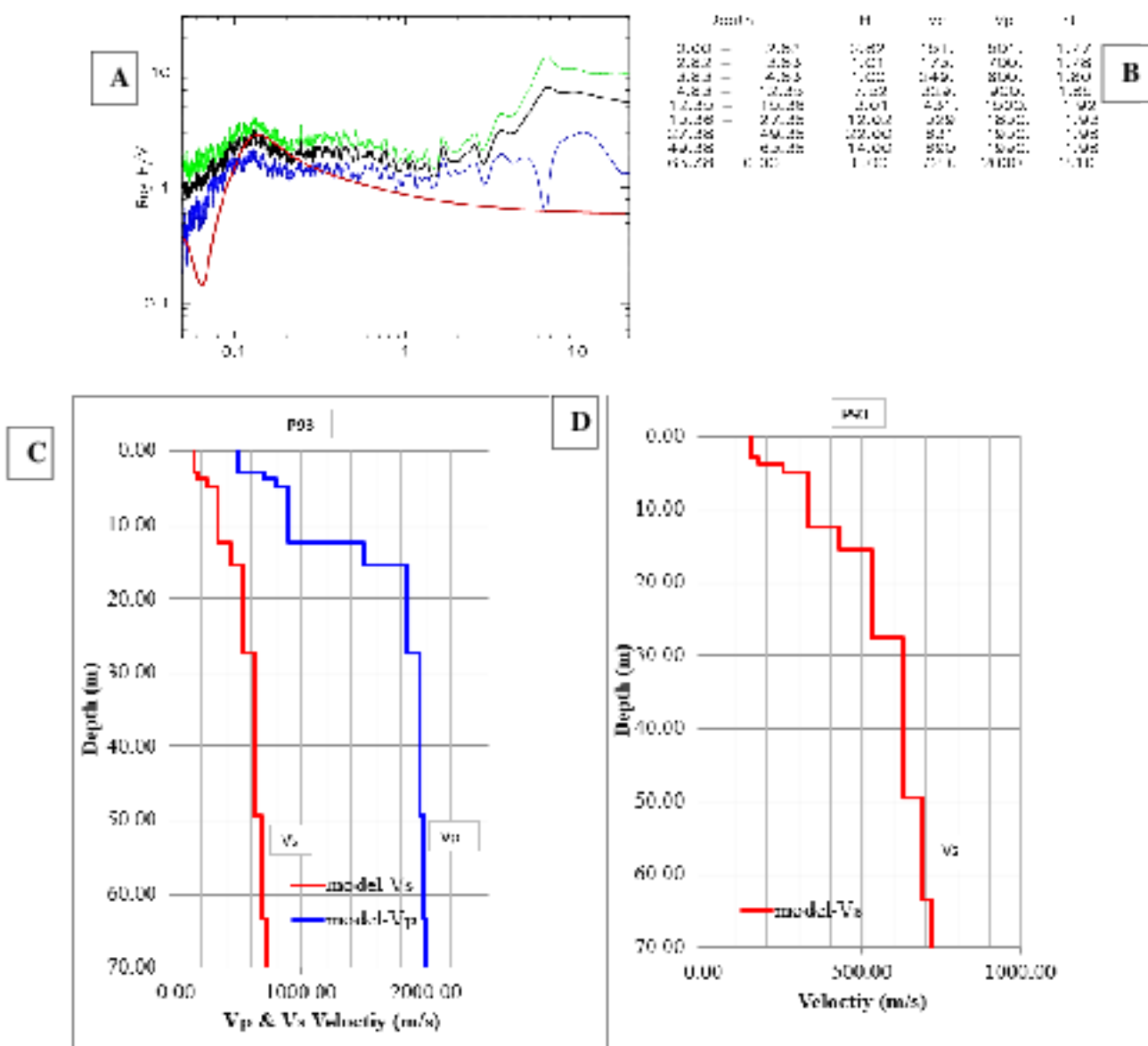


Figura 35. Modelo de velocidades P93.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre períodos de 0.32 - 0.7 segundos, el modelo corresponde a la estación de medición P1 y alcanza una profundidad de 63.32 m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 94.

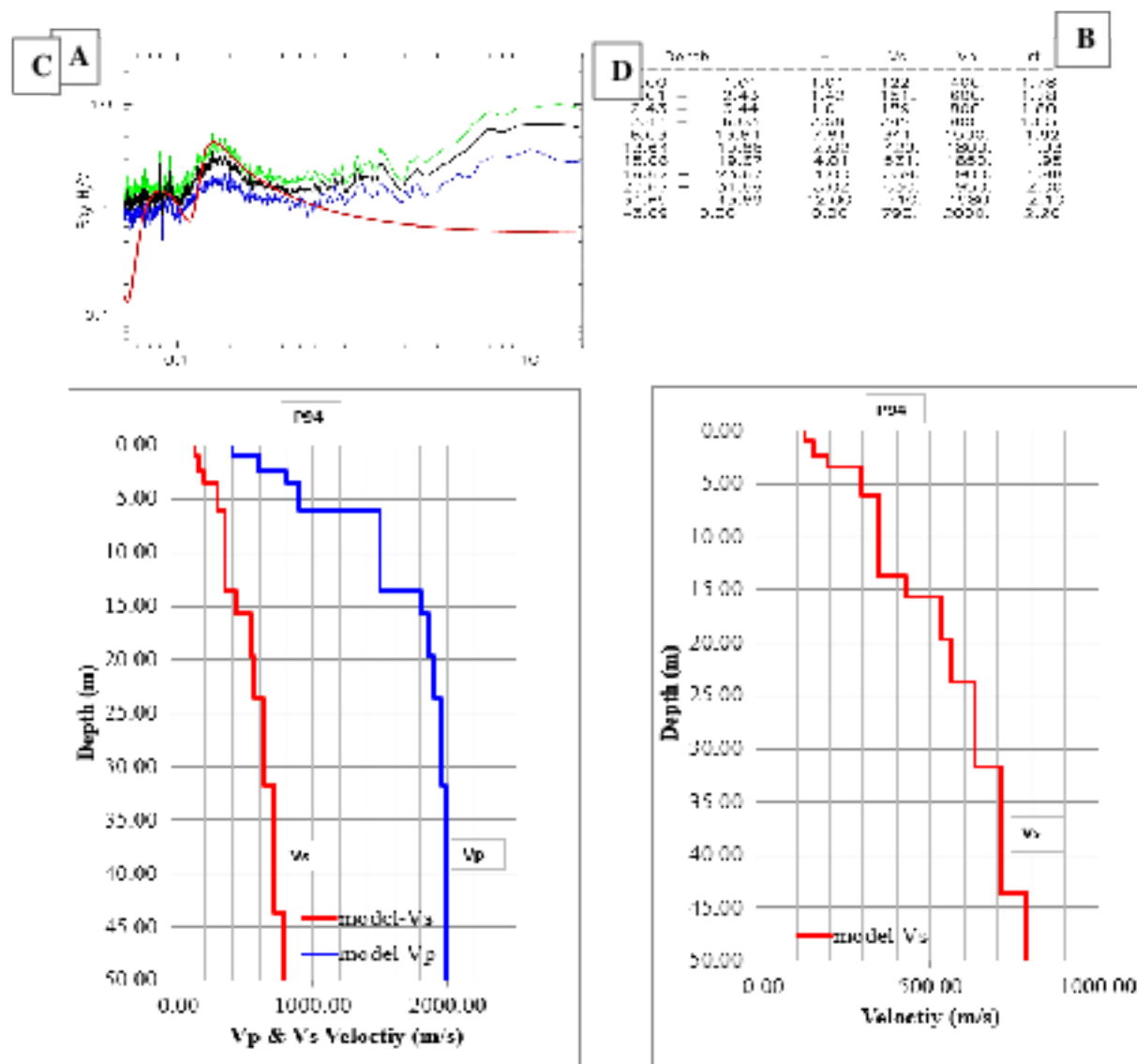


Figura 36. Modelo de velocidades P94.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre periodos de 0.32 - 0.7 segundos, el modelo corresponde a la estación de medición P95 y alcanza una profundidad de 43.69 m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

P95 MANAGUA

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 95.

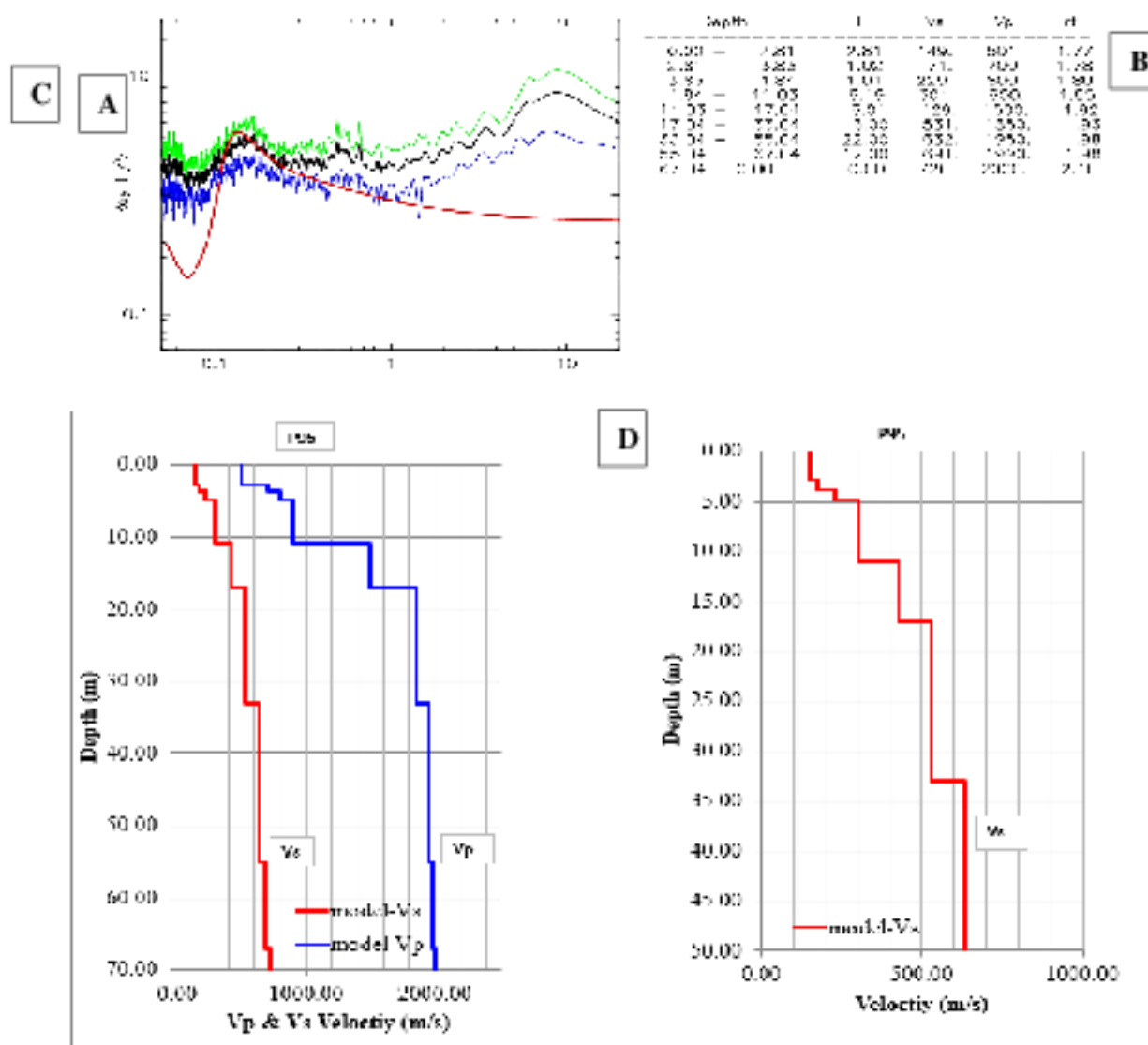


Figura 37. Modelo de velocidades P95.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre periodos de 0.32 - 0.7 segundos, el modelo corresponde a la estación de medición P96 y alcanza una profundidad de 67.04 m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

La siguiente figura muestra los valores de velocidad Vs y Vp del punto 96.

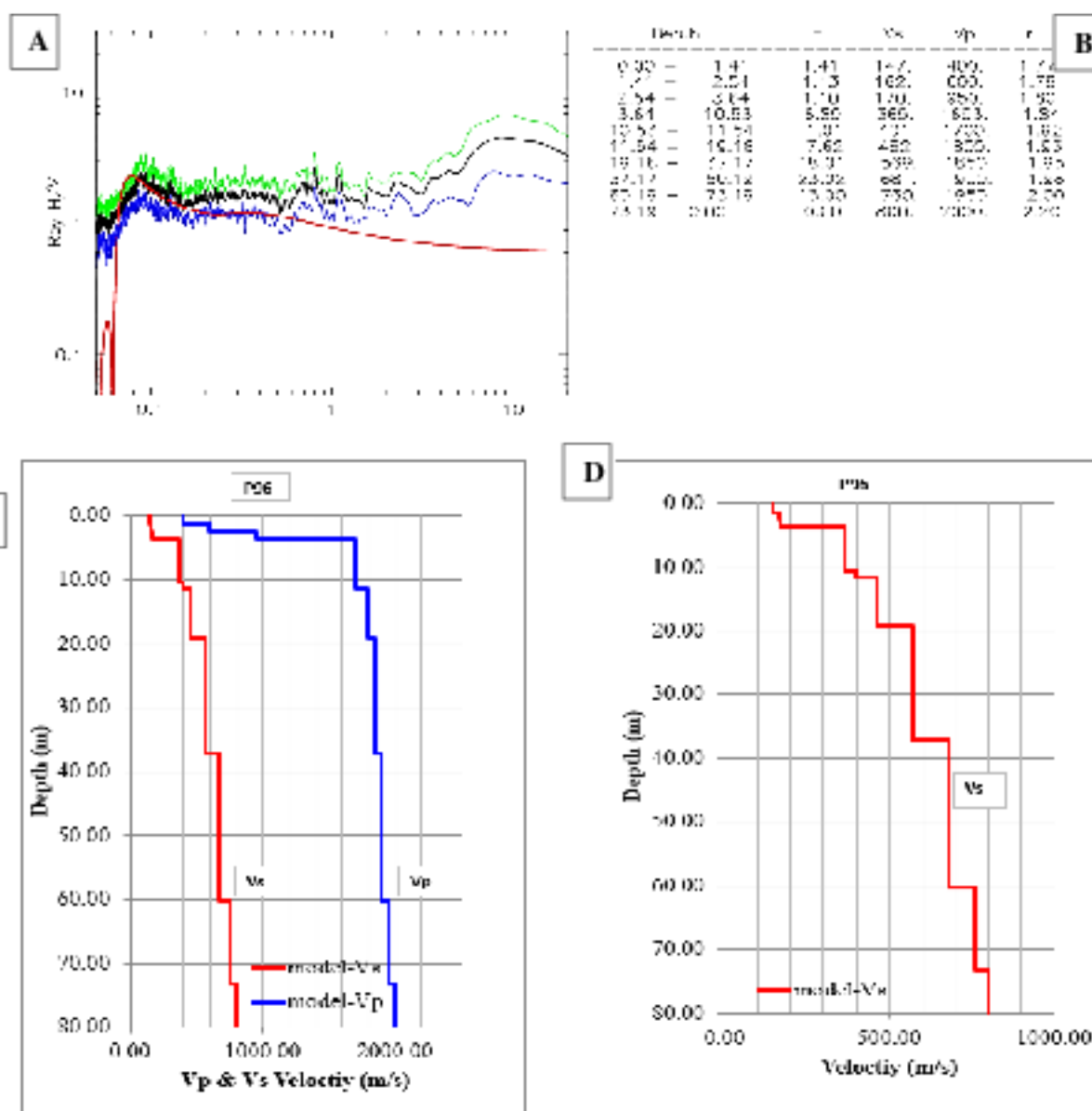


Figura 38. Modelo de velocidades P96.

Modelo estratigráfico teórico encontrado para la familia de curvas entre periodos de 0.32 - 0.7 segundos, el modelo corresponde a la estación de medición P4 y alcanza una profundidad de 73.19 m. A) Función de transferencia empírica (Color rojo) y curva de FTE calculada para el punto de medición (Colores negro, azul y verde). B) Parámetros dinámicos y físicos del modelo del subsuelo. C) Modelo de Velocidad de la Onda Vp y Vs y D) Modelo de velocidad de la onda de corte (Vs).

4.1.2.9. INTERPRETACIÓN DE MODELO GEOLÓGICO ZONA MANAGUA.

Una vez realizados los modelos Vs para la Zona Managua, se elaboran una columna estratigráfica para cada modelo basada en la clasificación de capas según el RNC-07, considerando las diferentes Vs entre las capas y estudios geológicos previos para determinar su composición.

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 93.

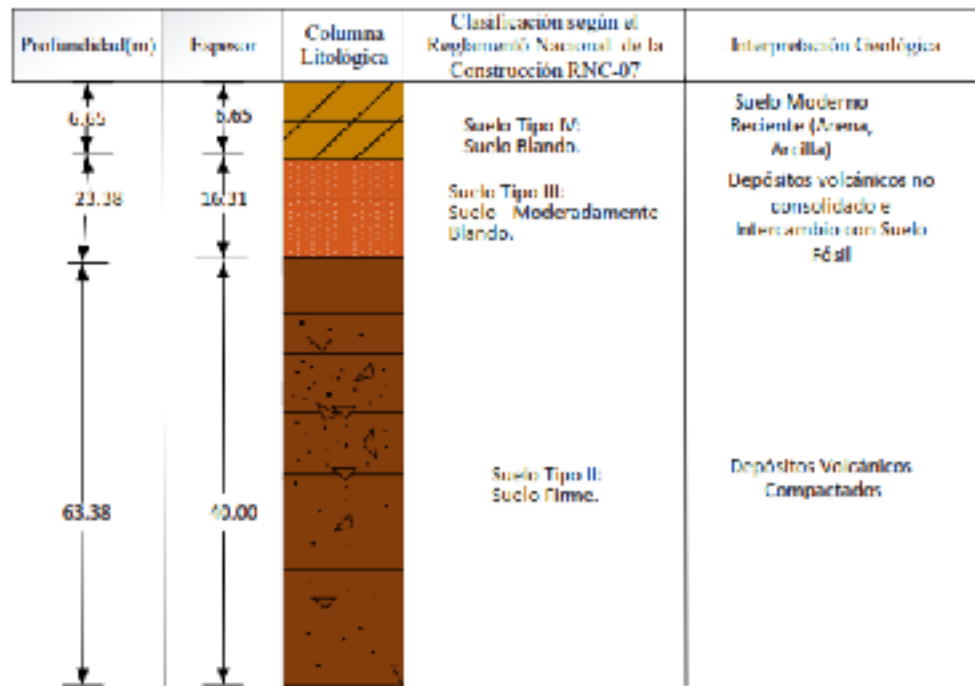


Figura 39. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 93.

En la Figura 39 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 63 m y el rango de velocidades mínima-máxima es alrededor de 151-720 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 6.65 m y un Vs cercano a 173 m/s, en relación al valor de velocidad esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente. La segunda capa presenta un Vs cercano a 329 m/s y un espesor de 16.31 m; dicha capa se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados e intercambio con suelo fósil. La tercera y más profunda capa del modelo alcanza los 63.38 m en profundidad y posee un espesor de 40.0 m; y con un Vs de hasta 720 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme, formado por depósitos volcánicos compactados.

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 94.

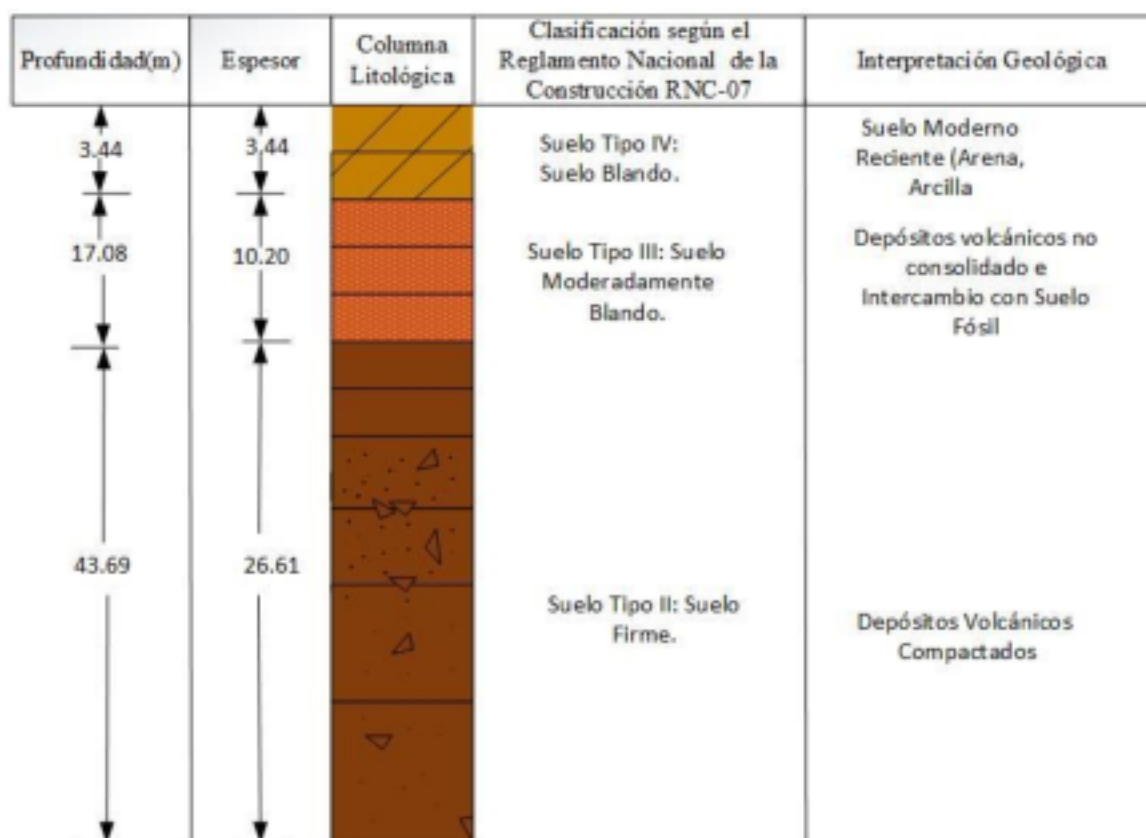


Figura 40. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 94.

En la Figura 40 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 43 m y el rango de velocidades mínima-máxima es alrededor de 122-790 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 3.44 m y un Vs cercano a 151 m/s, en relación al valor de velocidad esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente (compuesto de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 341 m/s y un espesor de 10.20 m; capa que se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados. La tercera capa del modelo alcanza los 43.69 m en profundidad y posee un espesor de 26.61 m; y con un Vs de hasta 790 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme.

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 95.

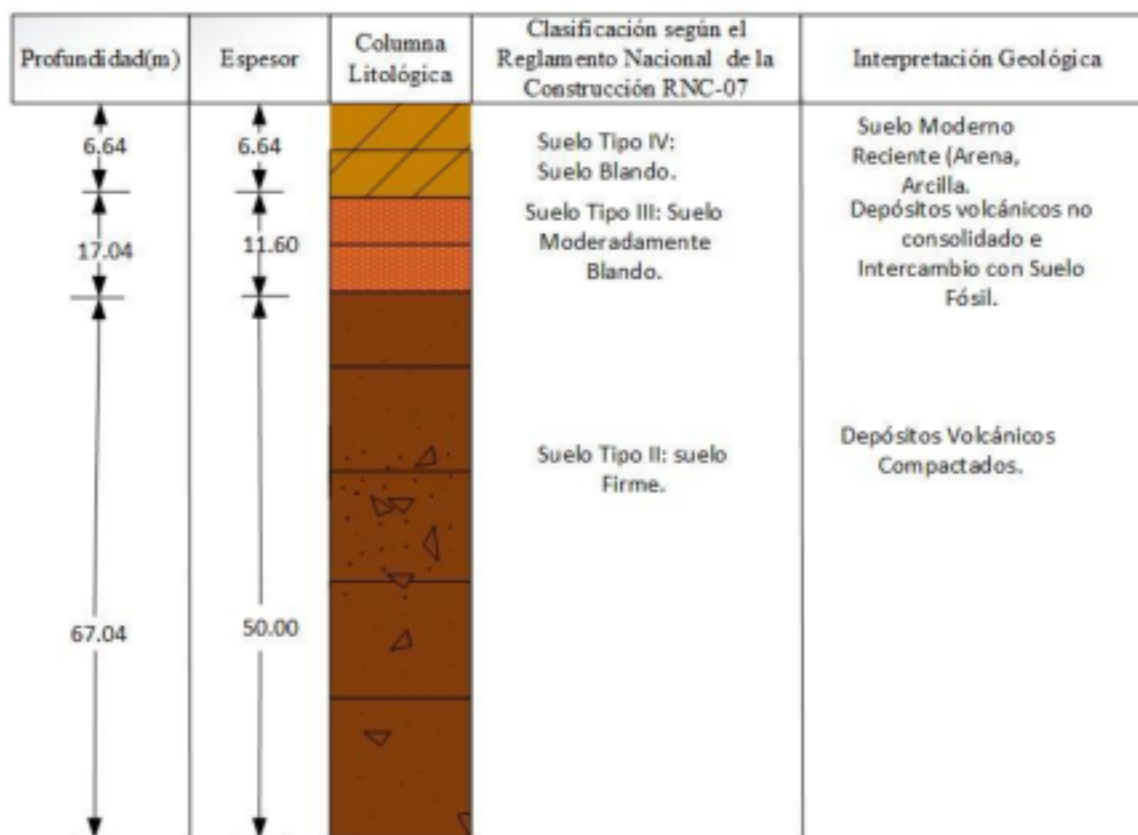


Figura 41. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 95.

En la Figura 41 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 67 m y el rango de velocidades es alrededor de 149-720 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 6.64 m y un Vs cercano a 171 m/s, esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente (compuesto principalmente de arena y arcilla). La segunda capa presenta un Vs cercano a 300 m/s, una profundidad de 17.04 m y un espesor de 11.60 m; dicha capa se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados. La capa más profunda del modelo alcanza los 67.04 m en profundidad y posee un espesor de 50.0 m; y con un Vs de hasta 720 m/s en su máximo, puede ser clasificada como suelo firme formado por depósitos volcánicos compactados.

La siguiente figura muestra la columna litológica del punto 96.

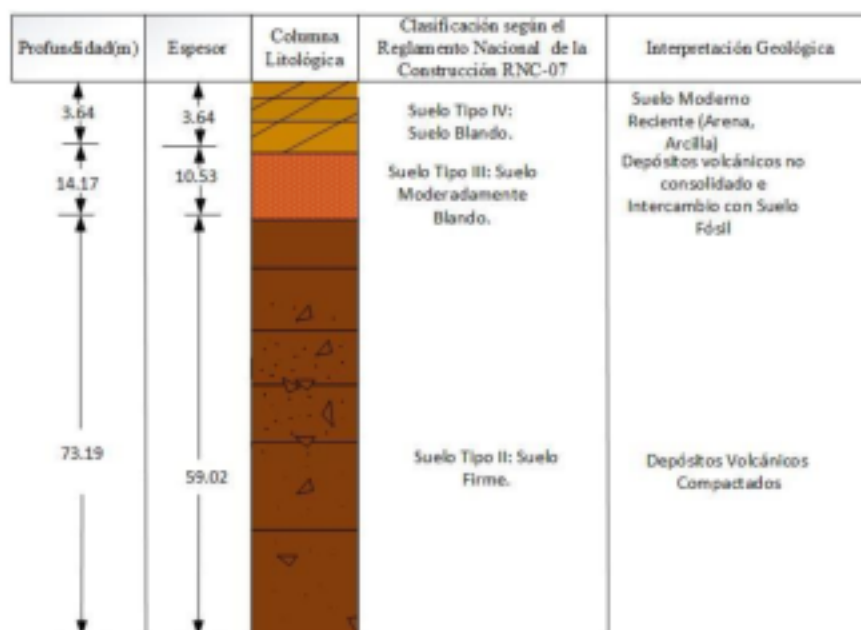


Figura 42. Interpretación geológica de modelo de velocidad de Punto 96.

En la Figura 42 se presenta el resultado estructural de Vs del modelo, donde la profundidad máxima es aproximadamente 73 m y las velocidades mínima-máxima es alrededor de 147-800 m/s. La primera capa del modelo tiene un espesor de 3.64 m y un Vs cercano a 170 m/s, en relación al valor de velocidad esta capa puede ser interpretada como suelo moderno reciente o aluvial. La segunda capa presenta un Vs cercano a 360 m/s y un espesor de 10.53 m; dicha capa se puede interpretar como depósitos volcánicos no consolidados. La última capa del modelo alcanza los 73.19 m en profundidad y posee un espesor de 59.02 m; y con un Vs de hasta 800 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme.

Capítulo V

5.1 CONCLUSIONES

A partir de nuestros análisis en este trabajo de seminario de graduación, podemos concluir los resultados más importantes a continuación:

- De manera general, es importante destacar que según los resultados obtenidos el Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) presenta efecto de sitio o amplificación sísmica. El peligro sísmico por efecto de sitio o el fenómeno de amplificación de ondas sísmicas del movimiento del suelo se presenta por la ubicación en áreas constituidas por depósitos de gran potencia de sedimentos blandos y poco compactados.

Mediante las mediciones de microtemores y la aplicación de la Técnica Nakamura, se determinaron las características dinámicas (velocidades, periodos, amplificaciones) del suelo del Recinto Universitario Rubén Darío. A su vez, con este estudio se obtuvieron las gráficas de Función de Transferencia Empírica (FTE), con las que se consiguieron los valores de los periodos dominantes de vibración del terreno en la zona universitaria.

- Los registros de microtemores y las funciones de transferencias empíricas (FTE) de los 31 puntos medidos en la zona, demuestran la existencia de efecto de sitio en toda el área de trabajo así mismo a partir de estos registros se estableció una clasificación de la dinámica de los suelos. Se encontraron dos diferentes formas de vibración de los suelos en el área de estudio, para los cuales se les clasifico en dos familias diferentes:
 - La Familia de Curvas 1, muestra periodos dominantes entre 0.1 a 0.3 s, puede llegar a tener una amplificación relativa hasta de 5-10 veces y una banda de frecuencia de los 3.3 a los 10 Hz. Está conformada por 23 curvas de FTE.
 - La Familia de Curvas 2, muestra periodos dominantes entre 0.32 a 0.7 s, puede llegar a tener una amplificación relativa hasta de 5-10 veces y una banda de frecuencia de 1.4 a los 8 Hz. Está conformado por 8 curvas de FTE.

- Se realizó una interpretación geológica determinando el tipo de suelo según el reglamento nacional de la construcción (RNC-07) en las distintas capas del modelo. Agrupándose en 3 capas principales:
 - La primera capa, que tiene un V_s cercano a 150 m/s, la cual en relación al valor de velocidad puede ser interpretada como suelo moderno reciente, compuesto principalmente de arena y arcilla.
 - La segunda capa, que presenta un V_s cercano a 360 m/s y se clasifica como suelo moderadamente blando, conformado por depósitos volcánicos no consolidados.
 - La tercera capa, con un V_s de hasta 840 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme, formado por depósitos volcánicos compactados.

- De los resultados obtenidos en la zona del aeropuerto, la mayoría de los datos presentan efecto de sitio, ya que, de los datos obtenidos, el punto P34 no presenta efecto de sitio debido presenta una amplitud igual a $A_0=2$ (veces), al igual que los demás sitios se aplicó la técnica de Nakamura donde se determinó los parámetros dinámicos (velocidad, periodo y amplitudes), del suelo. Esta zona presenta periodos dominantes entre los 0.02 a 1.00 s, con una amplificación relativa de 2-12 veces, y una frecuencia de 1 Hz hasta los 50 Hz.

- La interpretación geológica del sitio se determinó el tipo de suelo según el reglamento nacional de la construcción (RNC-07) en las diferentes capas del modelado con una agrupación de 3 capas principales.
 - La primera capa, presenta una $V_s=162$ m/s con una $V_p=506$ m/s, y un espesor=3.02 m, y se clasifica como suelo moderno reciente (arena, Arcilla).
 - La segunda capa, con una $V_s=404$ m/s, con una $V_p=1505$ m/s, y un espesor=20.05 m, esta capa está compuesta por sedimentos duros o suelos firmes.
 - La tercera capa, tiene una $V_s=500$ m/s, con una $V_p=1803$ m/s y un espesor=38.05 m, su clasificación está en base a los suelos firmes (Depósitos Volcánicos Compactados).

- En la zona de las piedrecitas el trabajo consistió en la aplicación del Método de la Relación Espectral H/V o Técnica de Nakamura, en 30 puntos espacios, con el propósito de estudiar las propiedades dinámicas de los suelos y determinar efecto de sitio en la zona de investigación. Se encontraron curvas con amplificaciones menor a 2 veces lo que significa que no hay efecto de sitio y curvas de 2 a 5 veces con efecto sitio, con periodos dominantes de 0,17 a 0,33 segundos, correspondiente a las frecuencias de 2.5 a 7.14 Hz. Como una descripción general del sitio, podemos decir que: La zona de investigación se caracteriza por presentar una morfología ondulada, compuesta por relleno de sedimentos recientes y materiales volcánicos.

- Se realizó una interpretación geológica determinando el tipo de suelo según el reglamento nacional de la construcción (RNC-07) en las distintas capas del modelo. Agrupándose en 3 capas principales:
 - La primera capa, que tiene un Vs cercano a 150m/s, la cual en relación al valor de velocidad puede ser interpretada como suelo moderno reciente, compuesto principalmente de arena y arcilla.
 - La segunda capa, que presenta un Vs cercano a 360 m/s y se clasifica como suelo moderadamente blando, conformado por depósitos volcánicos no consolidados.
 - La tercera capa, con un Vs de hasta 760 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme, formado por depósitos volcánicos compactados.

- En la Zona Managua, los resultados de los registros de microtemores y las funciones de transferencias empíricas (FTE) de los 24 puntos esparcidos en la zona, demuestran la existencia de efecto de sitio en toda el área de trabajo. Esta zona presenta periodos dominantes entre los 0.1 a 10.00 s, con una amplificación relativa de 2-6 veces, y una frecuencia de 2 Hz hasta los 10 Hz.

- Para la interpretación geológica en la Zona Managua se determinó el tipo de suelo según el reglamento nacional de la construcción (RNC-07) en las diferentes capas del modelado, agrupándose en 3 capas principales:

- La primera capa, que tiene un Vs cercano a 173 m/s y un espesor de 6.65, la cual en relación al valor de velocidad puede ser interpretada como suelo moderno reciente, compuesto de arena y arcilla.
 - La segunda capa, que presenta un espesor de 16.31 y un Vs cercano a 329 m/s y se clasifica como suelo moderadamente blando, conformado por depósitos volcánicos no consolidados e intercambio con suelo fósil.
 - La tercera capa, con 40 m de espesor y un Vs de hasta 720 m/s en su máximo, puede ser catalogada como suelo firme, formado por depósitos volcánicos compactados.
- También podemos decir que en los puntos que se encontró efecto de sitio corresponde a suelos no compactos, modernos que son sedimentarios y a la excepción de los puntos que se encontró que no hay efecto de sitio podemos decir que son zonas donde hay flujos de lava de erupciones volcánicas como la zona aeropuerto y las piedrecitas. Por lo tanto, los tipos de suelo varían un poco debido a estas causas, lo que hace que no todas las capas de suelo no sean del mismo espesor y cambie un poco el tipo de material.

5.2 Recomendaciones

- 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.
- Es de gran importancia actualizar y corregir el reglamento vigente, al tomar los diferentes nuevos estudios elaborados para los suelos de Managua se reforzará permitiendo las mejoras de diseños sismorresistente.
- Elaborar estudios estructurales a detalle en cada falla de Managua con el propósito de elaborar un modelo estructural completo del mismo, ya que hasta la fecha no se cuenta con esta información.
- Realizar estudios geofísicos como:
 - a) Método de tomografía eléctrica el cual se pueden obtener imágenes de resistividad eléctrica para detectar anomalías estructurales como fracturas y fallas geológicas, también para caracterizar capas litológicas.
 - b) Método de magnetometría el cual mide las variaciones del campo magnético terrestre local con el fin de localizar cambios en las propiedades magnéticas de los materiales. Esto significa que un análisis de los campos magnéticos locales sobre el terreno puede indicar la presencia de anomalías geológicas como fallas y fracturas.
 - c) Método gravimétrico consiste en la medición de las pequeñas variaciones en el campo de gravedad terrestre, como consecuencia de las distribuciones de masa presentes en el subsuelo (deficiencias y/o excesos de densidad). Con el propósito de profundizar en otros parámetros geotécnicos que no alcanza el método sísmico en el Graben de Managua.
- Se recomienda determinar aceleraciones espectrales para la obtención de valores máximos de respuesta de los suelos, los cuales servirán como base para el diseño sismo-

resistente de futuras construcciones en el área de Managua. Esto para complementar y profundizar los resultados de esta investigación.

- Es recomendable realizar estudios de períodos de vibración en la infraestructura de la universidad con el fin de conocer su comportamiento ante un evento sísmico y comparar la información generada en estudio para determinar el fenómeno de resonancia (similitud del periodo de vibración del suelo con respecto a las edificaciones), que pueden provocar daños en la infraestructura ante un evento sísmico de gran magnitud.

BIBLIOGRAFIA

Alvarez, E. A., & Ortega, C. A. (2014). Caracterización Sísmica de Sitio en la Zona del Distrito II de la Ciudad de Managua [tesis monográfica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua]. Repositorio Institucional UNAN-Managua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/6077>.

Castillo, W., & Zepeda, E. (2013). Análisis Comparativo de la Respuesta Sísmica de Sitio No Lineal y Lineal equivalente en el Área Urbana de Managua, Nicaragua [tesis monográfica, Universidad Centroamericana]. Repositorio Institucional UCA. <http://repositorio.uca.edu.ni/id/eprint/515>.

Castro, A. K., & Pérez, J. M. (2016). Espectro de diseño y zonificación sísmica basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana de la ciudad de Mateare [tesis monográfica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua]. Repositorio Institucional UNAN-Managua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/2764>.

Del Guidice, D. (1960). Apuntes sobre la geología del departamento de Nueva Segovia. Servicio geológico Nacional. Boletín Nº 3.

Dengo, G. (1973). Estructura geológica, historia tectónica y morfología de América Central. México (México): CRAT.

Dengo, G. (1985). Mid America: Tectonic setting for the pacific margin from southern Mexico to northwestern Columbia. The Ocean Basins and Margins, Vol 5, 123-180.

Di Marco, B. G. (1995). Late Cretaceous-early Tertiary paleomagnetic data and a revised. Florida: Geological Society of America Special Paper 295.

Frischbutter, A. (2002). Structure of Managua graben, Nicaragua from remote sensing images. Revista Geofísica Internacional, Vol.41, Num.2. Recuperado a partir de: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/geofisica/article/view/40097>.

García, A. (2017). Amenaza por inestabilidad de ladera ante un lahar en el sector de San. Managua.

Gonzales, E., López, K., & Moscoso, K. (2017). Análisis de los Períodos Dominantes de Vibración entre Suelo y Estructura en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua [tesis monográfica, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/2470>.

Hodgson, G. (2000). Geología regional de Nicaragua (Introducción al léxico estratigráfico de Nicaragua). Managua.

INETER. (2000). Microzonificación Sísmica de Managua. INETER-CEPREDENAC. Recuperado de: <https://webserver2.ineter.gob.ni/>.

INETER. (Abril de 2014). Boletín Mensual "Sismos y Volcanes de Nicaragua". 128. Recuperado de: <https://webserver2.ineter.gob.ni/>.

INIDE. (2017). Población Total Urbana y Rural por Año Calendario, Según Departamento y Municipio. Anuario Estadístico 2017, 56.

Kiminobu, E. (2004). Wave Fouspc and Rayhsvsh Programs. Japan: Tokyo soil Research, Co.,Ltd.,.

Kuang, J. (1971). Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua. Catastro e Inventario de Recursos Naturales. Informe 10.

Kutterolf, S., Freundt, A., Perez, W., Wehrmann, H., Schmincke, H.-U. (2007). Late Pleistocene to Holocene temporal succession and magnitudes of highly-explosive volcanic eruptions in west-central Nicaragua. Journal of Volcanology and Geothermal Research.

La Femina, P. (2002). Bookshelf faulting in Nicaragua: Geological Society of America.

Martínez González, M. Y. (2012). Análisis morfoestructural del Graben de Managua y sus alrededores [tesis monográfica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua]. Repositorio Institucional UNAN-Managua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/237>.

McBirney, A., & Williams, H. (1965). Volcanic history of Nicaragua. University of California.

Montero P., W. (1990). Análisis de amenaza sísmica para Managua-Nicaragua. Amenaza Sísmica en Nicaragua con Énfasis en Managua. Marco Institucional para su Prevención y Mitigación. INETER-OEA.

MTI. (2007). Reglamento Nacional de la Construcción de Nicaragua RNC-07. Ministerio de Transporte e Infraestructura. Recuperado a partir de: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/rnc-2007>.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics Estimation of subsurface using Microtremors on the Ground surface, Railway Technical Research Institute, Quarterly Report of RTRI, Vol. 30, No. 1.

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

Olivares, L., & Quintana, O. (2014). Análisis Lineal equivalente de la Respuesta Sísmica de Sitio en los recintos: Rubén Darío-Managua, FAREM-Chontales y FAREM-Carazo; de la UNAN-Managua [tesis monográfica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua]. Repositorio Institucional UNAN-Managua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/5509>.

Paiz, E., & Bendaña, R. (2015). Análisis de Amenaza Sísmica y Respuesta de Sitio considerando el potencial del Fallamiento Superficial en el Campus del Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la UNAN-Managua [tesis monográfica, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-Managua]. Repositorio Institucional UNAN-Managua. <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/1275>.

Parasnis, D. S. (1986). Seismic Methods. Principles of Applied Geophysics (pág. 250).

Revuelta, M. A. (2015). Determinación de la Amplificación Sísmica Local en el Campus mediante la Técnica de sismología de microtremores ReMi [tesis monográfica, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio Académico UPM. <http://oa.upm.es/38260/>.

Sáez Arias, M. A. (2016). Correlación Cruzada de Ruido Sísmico para la Obtención de Perfiles Profundos de Velocidad de Onda de Corte en la Cuenca de Santiago [tesis de

maestría, Universidad de Chile]. Repositorio Académico Universidad de Chile. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/138954>.

Strauch, W. (2000). Microzonificación Sísmica de Managua. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER). Recuperado de: <https://webserver2.ineter.gob.ni/>.

Toledo, E. d. V. (1987). Sismología Terrestre. Apuntes de Introducción a la Geofísica (págs. 83-96). Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado a partir de: https://scholar.google.es/scholar?cluster=2180761910200812438&hl=es&as_sdt=0,5.

Velásquez, G. (2015). La zonificación morfotectónica-volcánica en el análisis morfoestructural del relieve: el caso del municipio de Managua, Nicaragua. SciELO.

Woodward-Clyde Consultants Inc. (1975). Estudio de Managua, con el informe Geológico de las Fallas Activas de Managua y sus Alrededores. Managua.

Zambrana, X. (2019). Peligro Sísmico de la falla geológica Aeropuerto, Margen este de la ciudad de Managua, Nicaragua. Revista Compromiso Social, págs. 61-68. Recuperado a partir de: <https://revistacompromisosocial.unan.edu.ni/index.php/CompromisoSocial/article/view/47>.

ANEXOS

Coordenadas UTM de los puntos de medición de Microtremores en la ciudad de Managua con el Método de Nakamura.

Numero De puntos	F_0 (HZ)	A_0 (Veces)	T_0 (S)	Coordenadas UTM		Observaciones
				Este	Norte	
UNAN-MANAGUA						
1	2,5	5	0,4	579635	1338164	Hay Efecto de sitio
2	2,5	5	0,4	579549	1338143	Hay Efecto de sitio
3	5	5	0,2	579505	1338137	Hay Efecto de sitio
4	3,3	9	0,3	579395	1338209	Hay Efecto de sitio
5	5	9	0,2	579354	1338182	Hay Efecto de sitio
6	3,3	5	0,3	579310	1338212	Hay Efecto de sitio
7	3,3	4	0,3	579180	1338216	Hay Efecto de sitio
8	2,5	4	0,4	579243	1338186	Hay Efecto de sitio
9	5	6	0,2	579476	1338192	Hay Efecto de sitio
10	3,3	5	0,3	579187	1338294	Hay Efecto de sitio
11	5,88	6	0,17	579259	1338248	Hay Efecto de sitio
12	3,33	4	0,3	579360	1338284	Hay Efecto de sitio
13	3,33	5	0,3	579490	1338272	Hay Efecto de sitio
14	3,33	6	0,3	579528	1338270	Hay Efecto de sitio
15	3,33	6	0,3	579558	1338265	Hay Efecto de sitio
16	2,5	7	0,4	579528	1338270	Hay Efecto de sitio

17	5,6	6	0,18	579558	1338265	Hay Efecto de sitio
18	6,25	5	0,16	579643	1338249	Hay Efecto de sitio
19	4	5	0,25	579663	1338347	Hay Efecto de sitio
20	2,5	4	0,4	579571	1338345	Hay Efecto de sitio
21	2,5	5	0,4	579438	1338369	Hay Efecto de sitio
22	2,5	6	0,4	579374	1338378	Hay Efecto de sitio
23	5	7	0,2	579276	1338390	Hay Efecto de sitio
24	5	5	0,2	579199	1338400	Hay Efecto de sitio
25	3,33	4	0,3	579631	1338436	Hay Efecto de sitio
26	3,33	5	0,3	579523	1338448	Hay Efecto de sitio
27	4,35	7	0,23	579229	1338619	Hay Efecto de sitio
28	3,33	5	0,3	579358	1338598	Hay Efecto de sitio
29	5	3	0,2	579492	1338575	Hay Efecto de sitio
30	2	6	0,5	579647	1338557	Hay Efecto de sitio
31	2,5	4	0,4	579631	1338436	Hay Efecto de sitio
AEROPUERTO						
32	9,1	4	0,11	591804	1338316	Hay Efecto de sitio
33	8,3	4	0,12	591205	1339020	Hay Efecto de sitio
34	4,5	2	0,22	590816	1339476	Hay Efecto de sitio
35	1,4	4	0,7	590398	1339992	Hay Efecto de sitio
36	1,0	12	0,1	590398	1339992	Hay Efecto de sitio

37	50,0	4	0,02	589145	1341438	Hay Efecto de sitio
38	4,8	5,5	0,21	588786	1341658	Hay Efecto de sitio
39	10,0	3,5	0,1	588398	1341892	Hay Efecto de sitio
40	8,3	2,2	0,12	588832	1341411	Hay Efecto de sitio
41	20,0	2,1	0,05	588549	1341740	Hay Efecto de sitio
42	5,6	3,2	0,18	589648	1341396	Hay Efecto de sitio
LAS PIEDRECITAS						
43	4	4	0,25	575062	1341234	Hay Efecto de sitio
44	5,56	2	0,18	575044	1341179	No hay Efecto de sitio
45	2,86	2	0,35	575002	1341100	No hay Efecto de sitio
46	5	4	0,2	575011	1341046	Hay Efecto de sitio
47	5,26	3	0,19	574959	1340984	Hay Efecto de sitio
48	2,86	4	0,35	574937	1341020	Hay Efecto de sitio
49	3,33	4	0,3	574828	1341146	Hay Efecto de sitio
50	3,33	4	0,3	574871	1341061	Hay Efecto de sitio
51	5	1,6	0,2	574907	1341031	No hay Efecto de sitio
52	5,56	5	0,18	574954	1340968	Hay Efecto de sitio
53	10	3	0,1	574983	1340948	Hay Efecto de sitio
54	0,33	2	0,3	574941	1340898	No hay Efecto de sitio
55	7,14	1,5	0,14	574921	1340789	No hay Efecto de sitio
56	2,86	3	0,35	574868	1340714	Hay Efecto de sitio

57	5,88	2	0,17	574843	1340591	No hay Efecto de sitio
58	2,5	5	0,4	574796	1340497	Hay Efecto de sitio
59	3,33	3	0,3	574746	1340285	Hay Efecto de sitio
60	10	4	0,1	574775	1340288	Hay Efecto de sitio
61	7,69	4	0,13	574784	1340262	Hay Efecto de sitio
62	1,25	3	0,8	574853	1340245	Hay Efecto de sitio
63	7,69	3	0,13	574727	1340225	Hay Efecto de sitio
64	10	2	0,1	574673	1340119	No hay Efecto de sitio
65	5,56	2	0,18	574665	1340070	No hay Efecto de sitio
66	5,26	2	0,19	574705	1340165	No hay Efecto de sitio
67	5,56	2	0,18	574653	1340014	No hay Efecto de sitio
68	5,56	2	0,18	574641	1340022	No hay Efecto de sitio
69	5	3	0,2	574717	1340294	Hay Efecto de sitio
70	6,56	3	0,18	574734	1340302	Hay Efecto de sitio
71	5	2	0,2	574758	1340314	No hay Efecto de sitio
72	5,56	3	0,18	574756	1340277	Hay Efecto de sitio
MANAGUA						
73	2,0	4,8	0,5	578629	1344203	Hay Efecto de sitio
74	5,0	4,8	0,2	580992	1343732	Hay Efecto de sitio
75	3,3	5,5	0,3	579729	1343538	Hay Efecto de sitio
76	5,0	3,9	0,2	579560	1343120	Hay Efecto de sitio

77	3,3	4,9	0,3	578189	1342655	Hay Efecto de sitio
78	5,0	6,1	0,2	580095	1342207	Hay Efecto de sitio
79	5,0	5	0,2	578682	1341586	Hay Efecto de sitio
80	5,0	4,9	0,2	580095	1342105	Hay Efecto de sitio
81	10,0	4,6	0,1	5800997.2	1341943.05	Hay Efecto de sitio
82	5,0	3	0,2	581480.23	1342116.38	Hay Efecto de sitio
83	2,0	4,1	0,5	581979.97	1341009.34	Hay Efecto de sitio
84	2,0	3,2	0,5	582025.24	1343941.7	Hay Efecto de sitio
85	3,3	4,1	0,3	581957.61	1341603.6	Hay Efecto de sitio
86	3,3	3	0,3	582469.19	1343831.5	Hay Efecto de sitio
87	3,3	2,5	0,3	582507	1341971	Hay Efecto de sitio
88	3,3	1,8	0,3	582989	1342559	No hay Efecto de sitio
89	10,0	2,1	0,1	583939	1340898	Hay Efecto de sitio
90	5,0	2	0,2	584351	1342303	No hay Efecto de sitio
91	5,0	3,8	0,2	584832	1344074	Hay Efecto de sitio
92	10,0	3,3	0,1	584820	1343614	Hay Efecto de sitio
93	5,0	3,2	0,2	585361	1343042	Hay Efecto de sitio
94	5,0	3,6	0,2	585900	1341564	Hay Efecto de sitio
95	5,6	3,3	0,18	591198	1339025	Hay Efecto de sitio
96	10,0	2,3	0,1	590397	1339992	Hay Efecto de sitio

Tabla 5. Coordenadas UTM de los puntos de medición de Microtemores en la ciudad de Managua con el Método de Nakamura.

ANEXO 1.1

Mapa de puntos de medición de la UNAN-MANAGUA.



Figura 43. Puntos de mediciones de Microtremores de la UNAN-Managua (Base de datos Cartográfica, INETER-2003).

ANEXO 1.2

Mapa de puntos de medición del Aeropuerto.

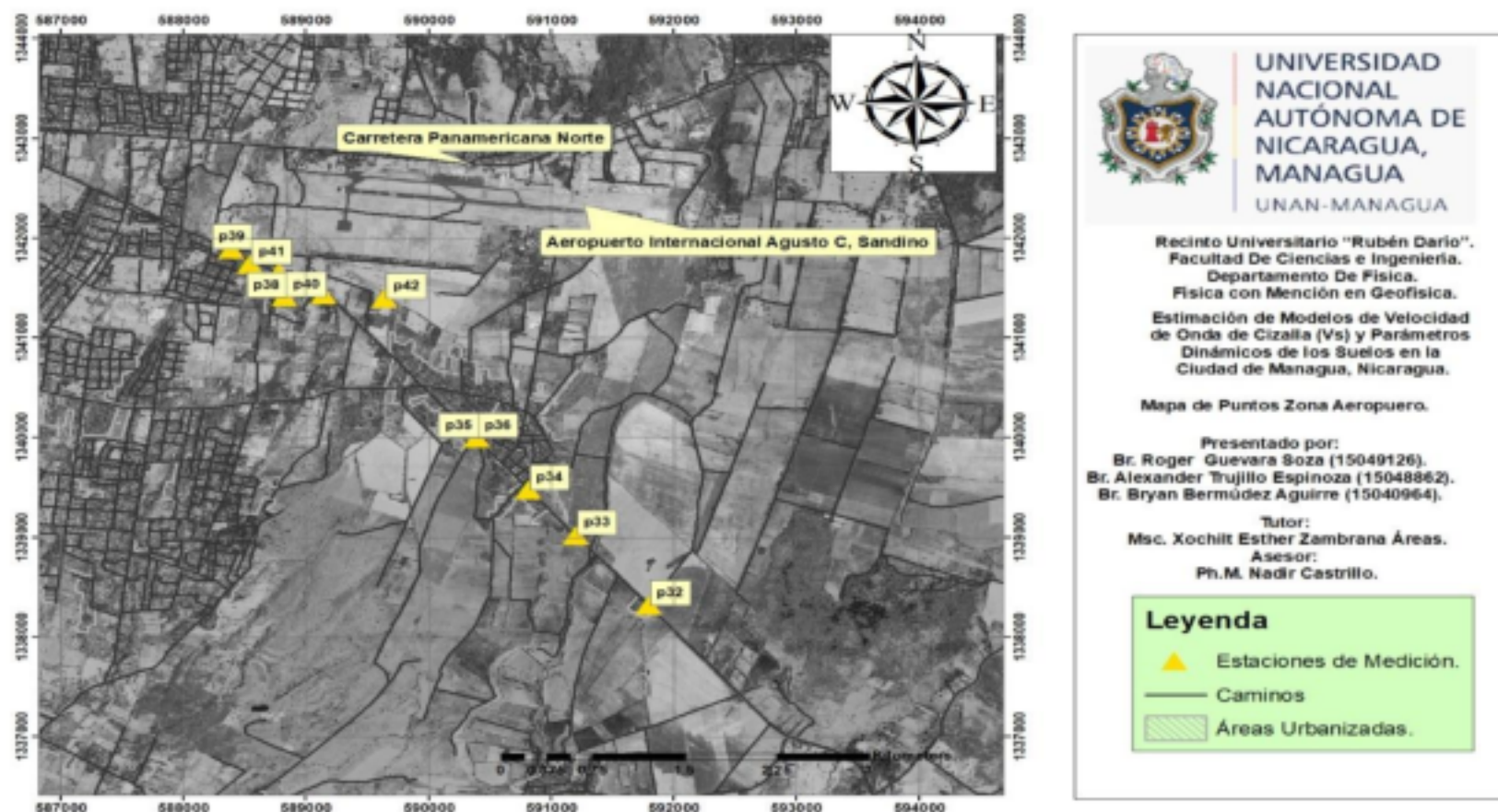


Figura 44. Puntos de mediciones de Microtremores de la zona Aeropuerto (Base de datos Cartográfica, INETER-2003).

ANEXO 13

Mapa de puntos de medición de las piedrecitas.

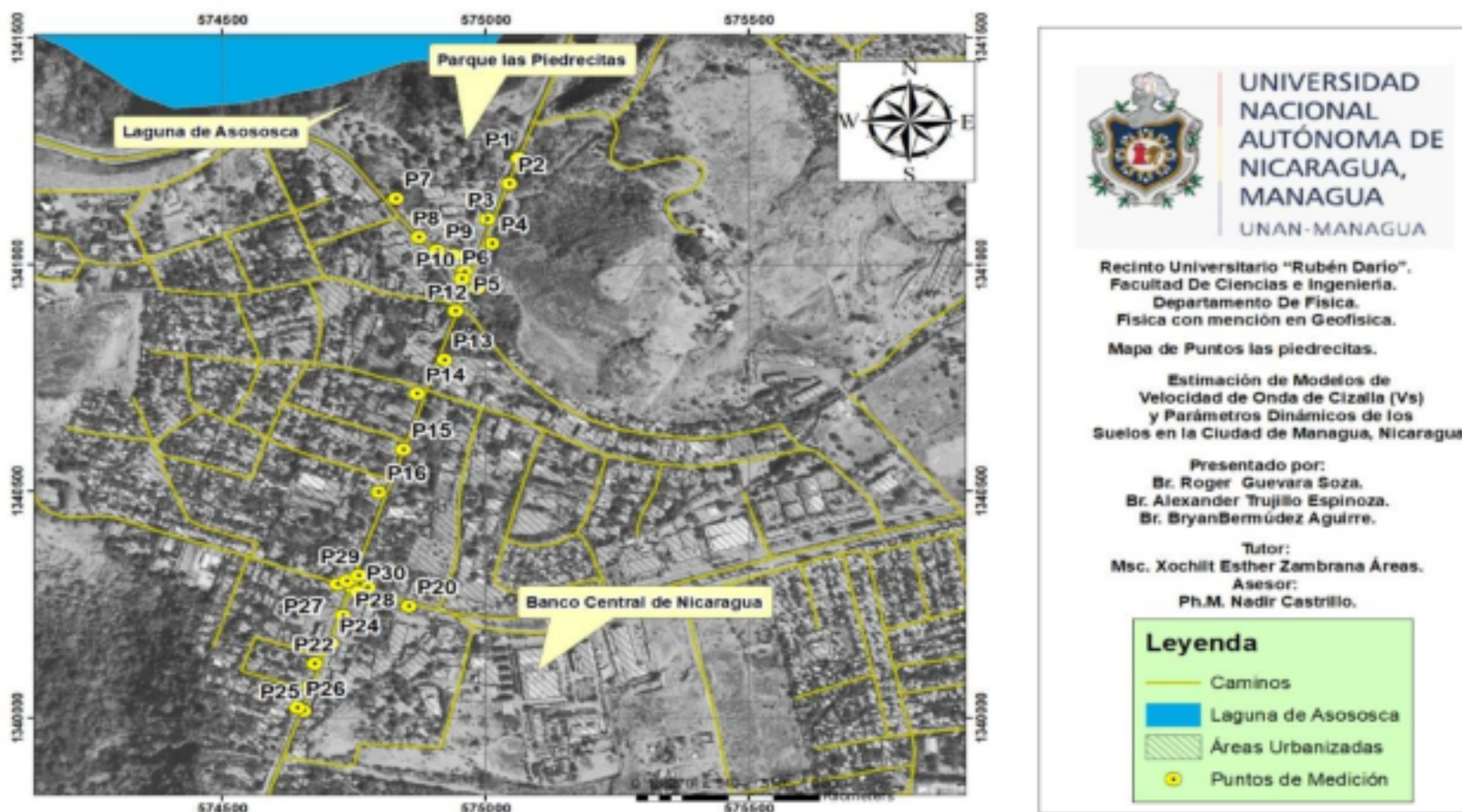


Figura 45. Puntos de mediciones de Microtremores de las piedrecitas Managua, (Base de datos Cartográfica, INETER-2003).

Anexo 1.4

Mapa de los puntos de medición de la Ciudad de Managua.

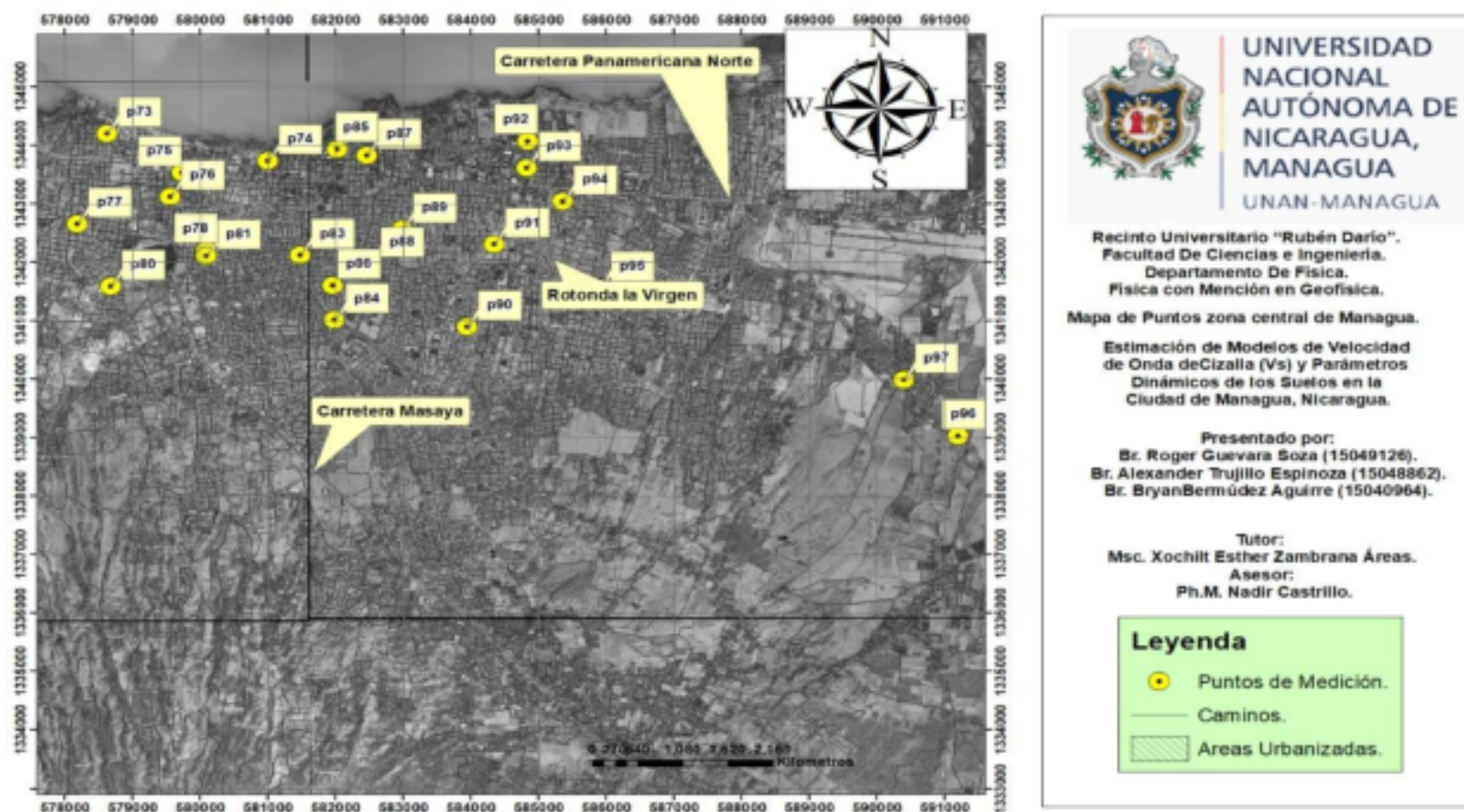
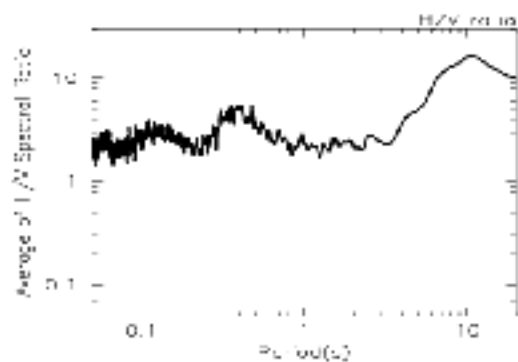


Figura 46. Mapa de los puntos de medición de diferentes puntos de Managua, (Base de datos Cartográfica, INETER-2003).

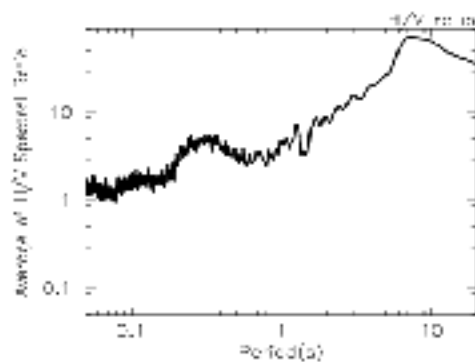
ANEXO 1.5

Curvas de función de transferencia empírica H/V.

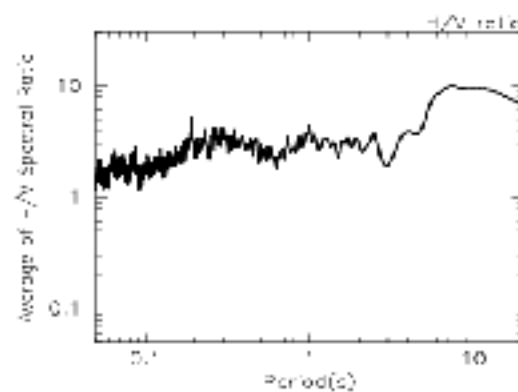
P1



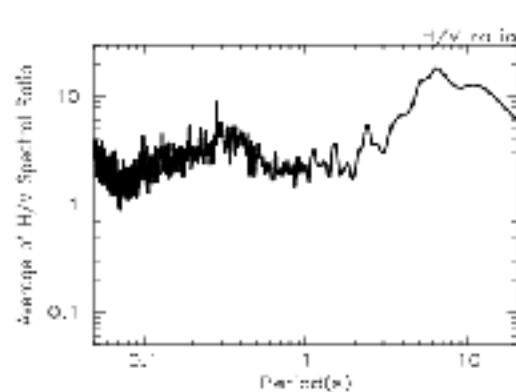
p2



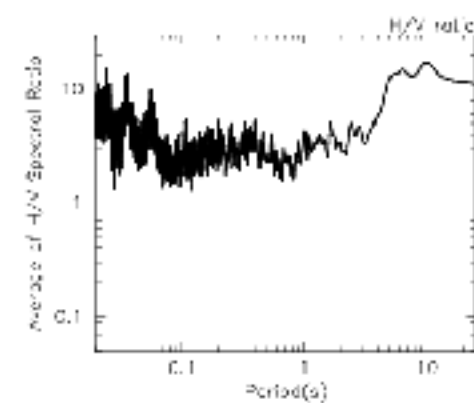
P3



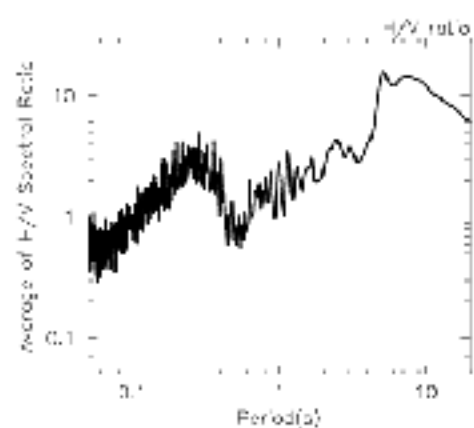
p4



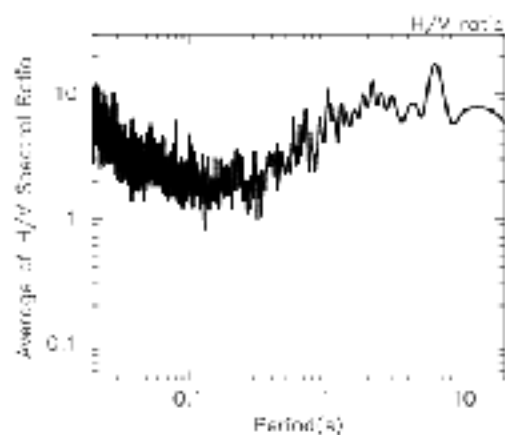
P5



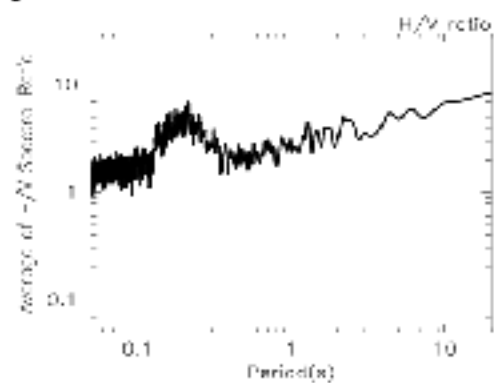
p6



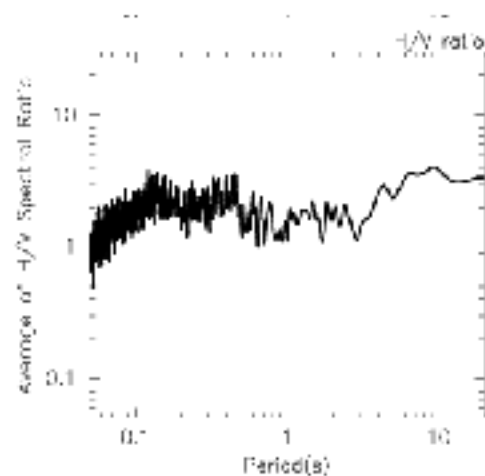
p7



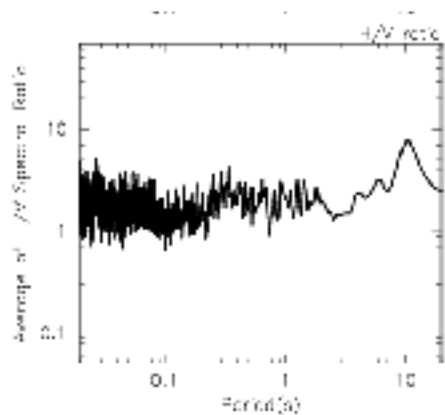
P8



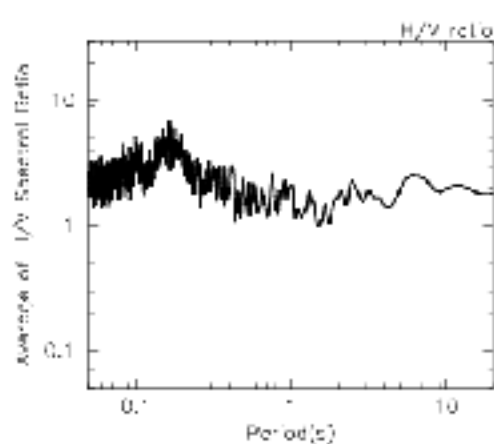
p9



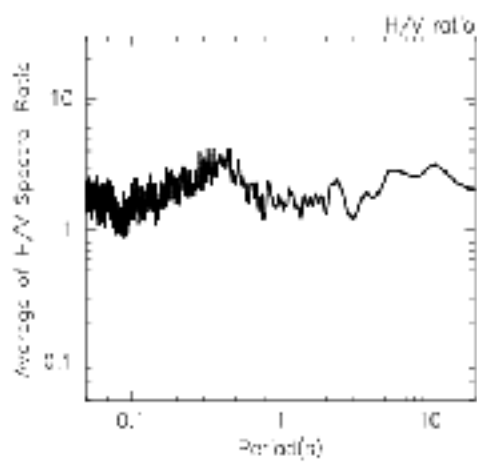
P10



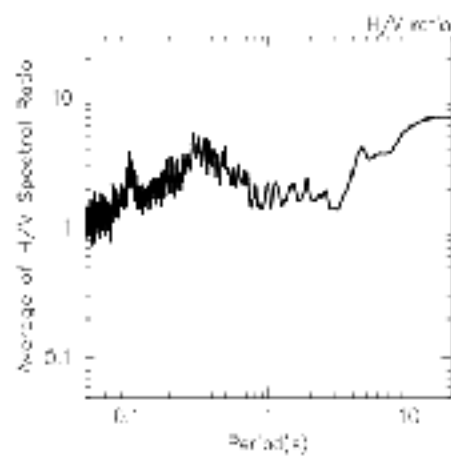
p11



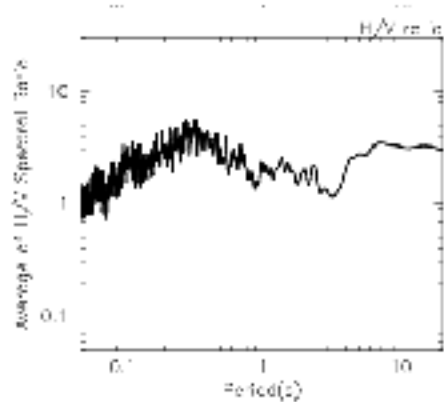
P12



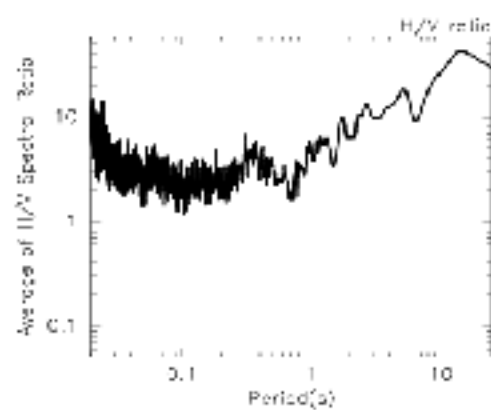
p13



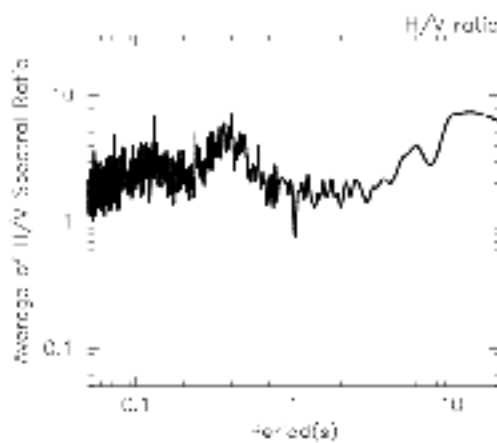
P14



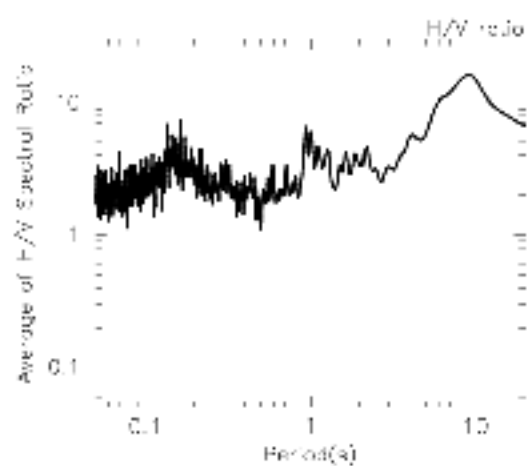
p15



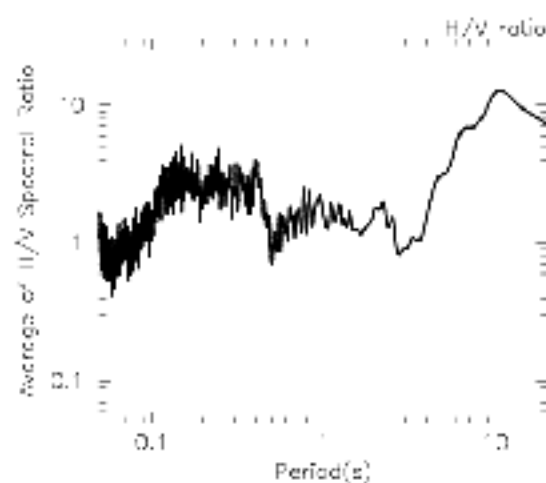
p16



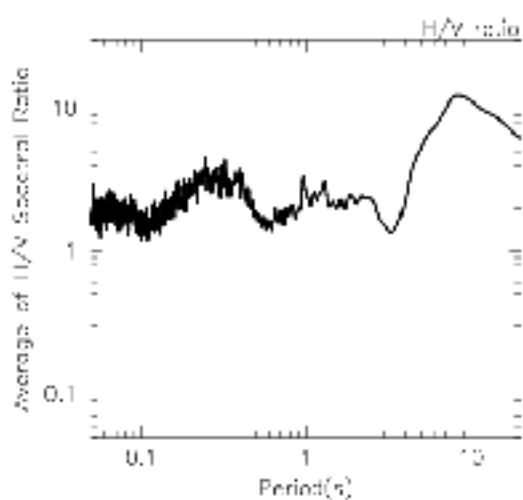
P17



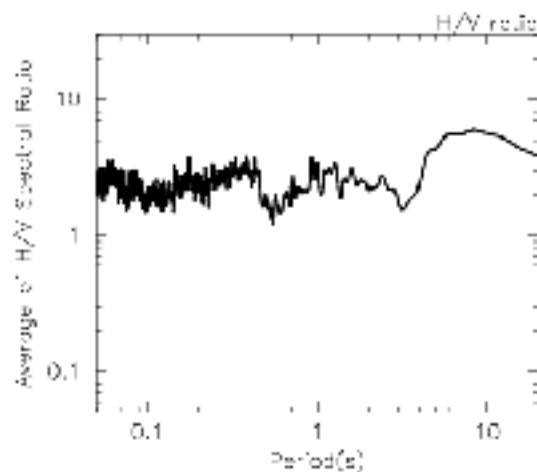
p18



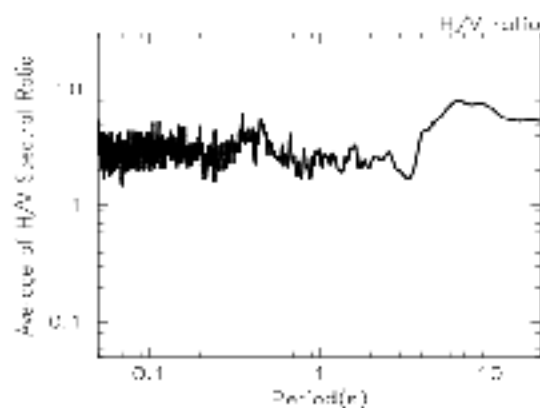
p19



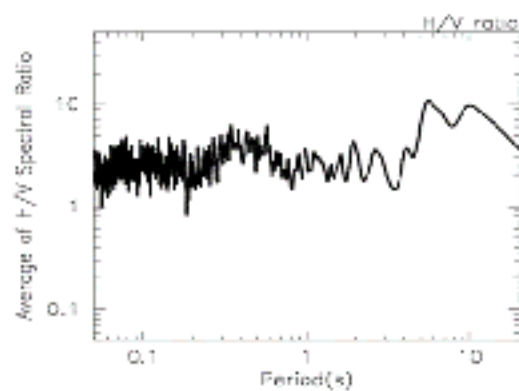
p20



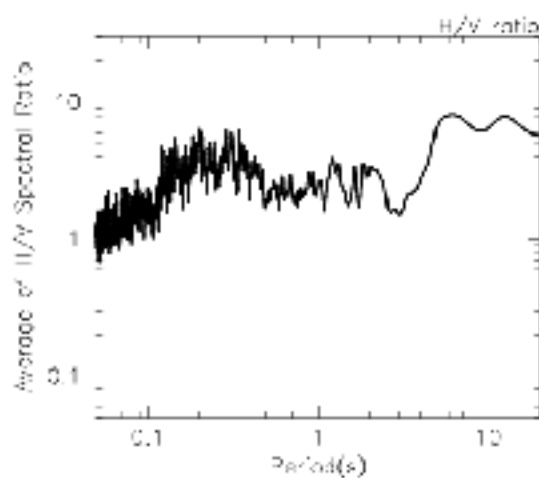
p21



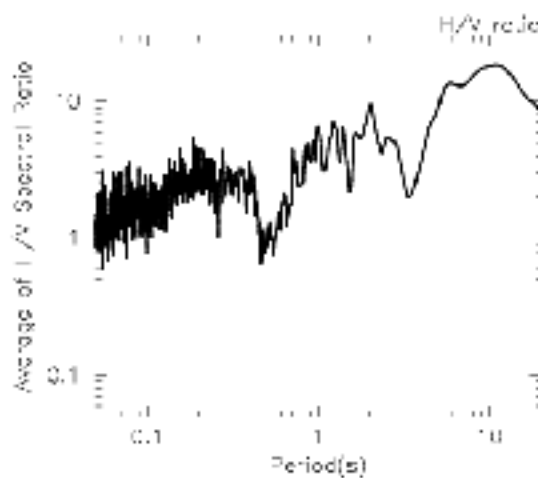
p22



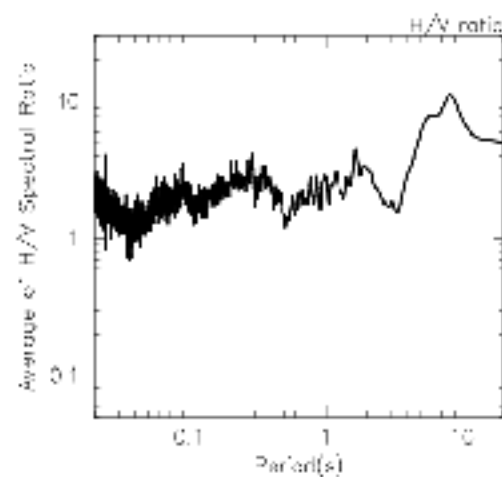
p23



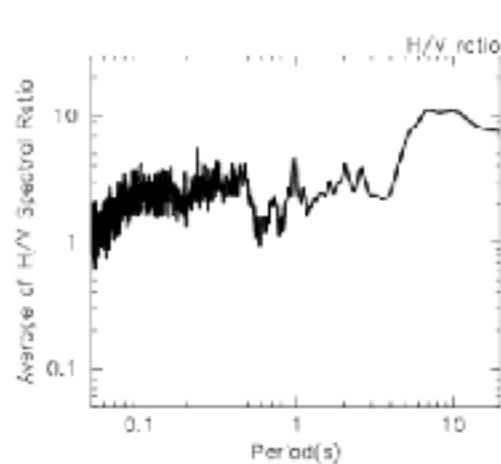
p24



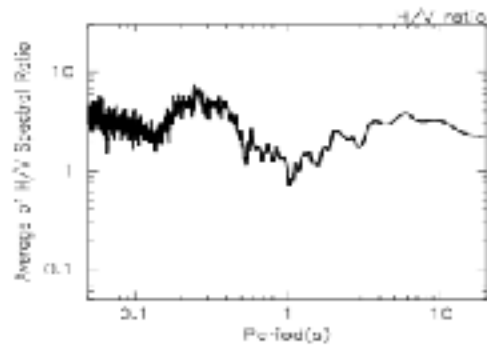
p25



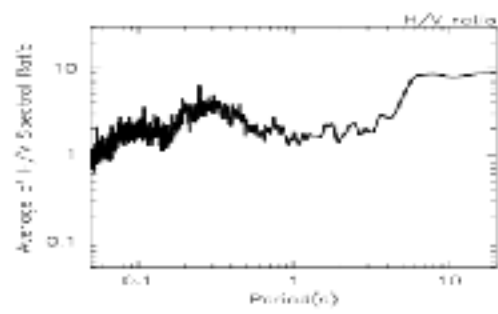
p26



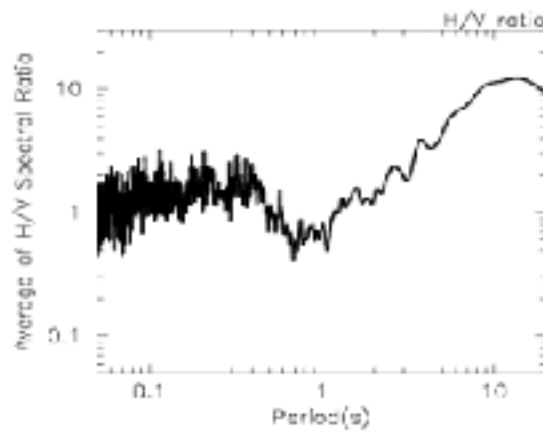
P27



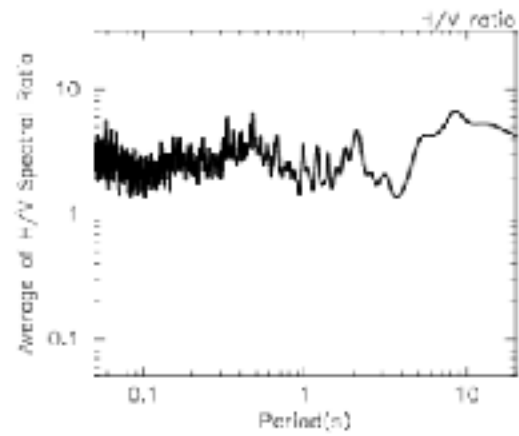
p28



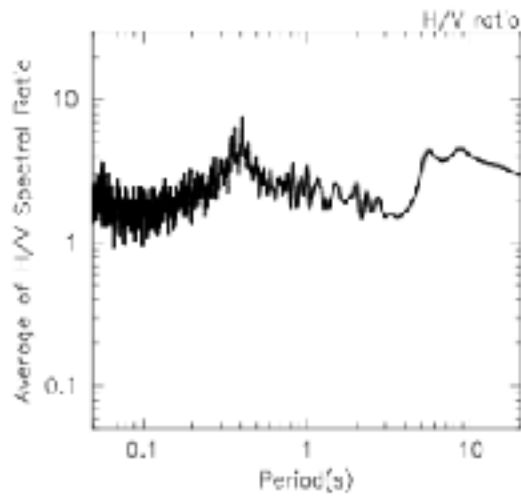
p29



p30



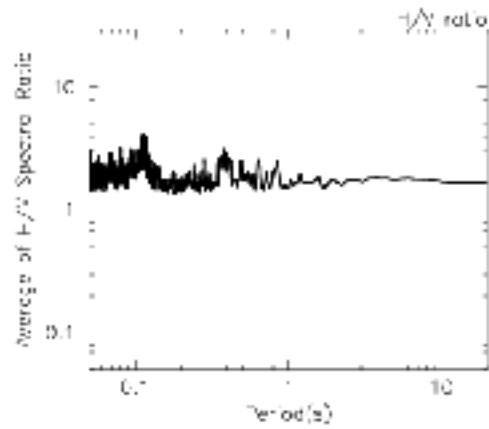
P31



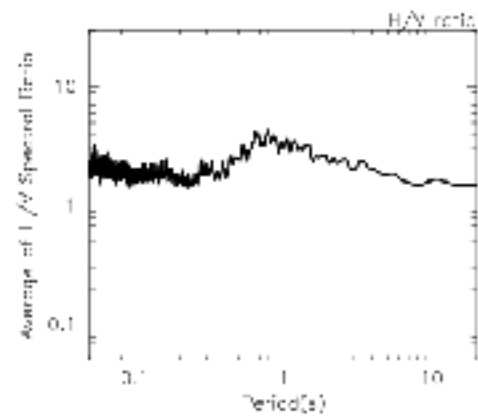
ANEXO 1.6

Curvas de función de transferencia empírica H/V de los puntos de medición del aeropuerto de Managua.

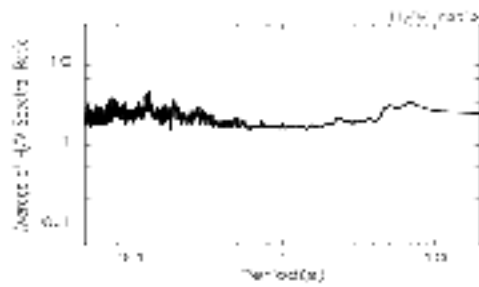
P 32



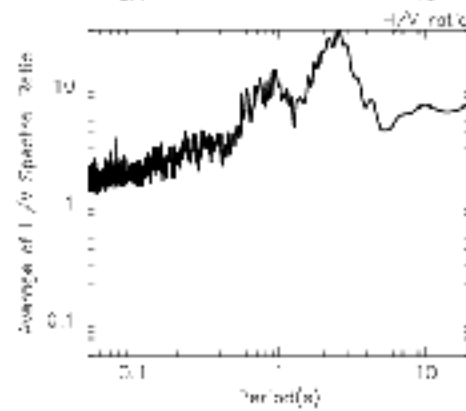
P 35



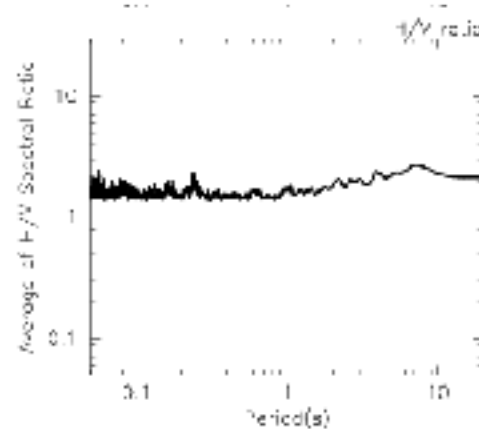
P 33



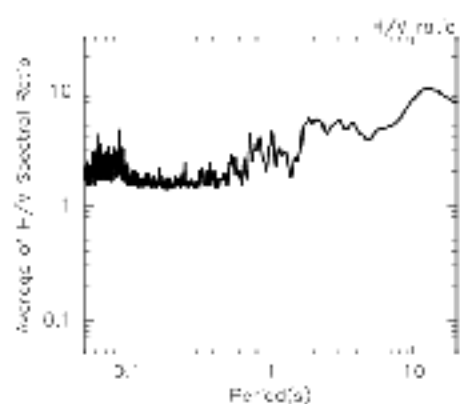
P 36



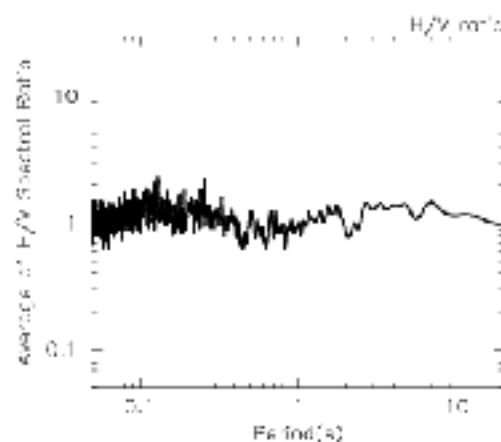
P 14



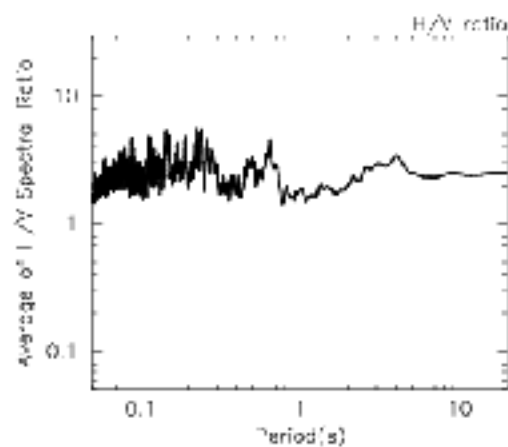
P 37



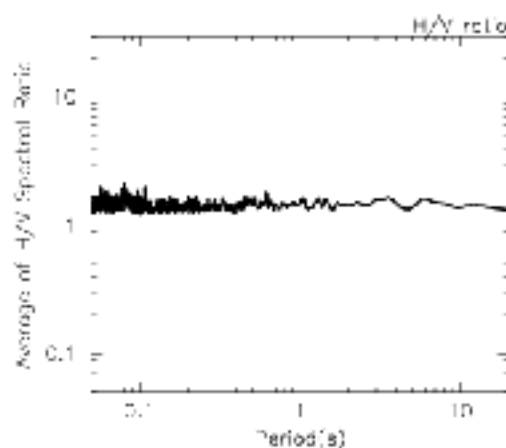
P 40



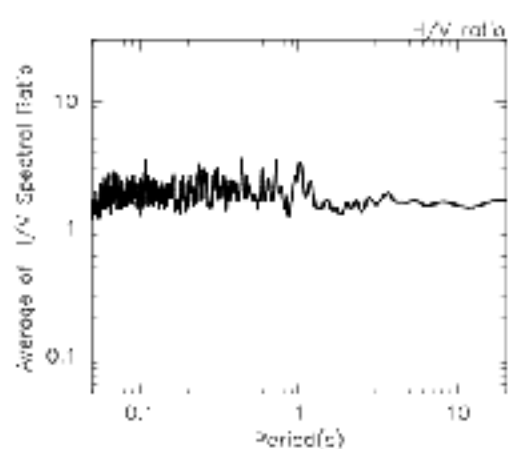
P 38



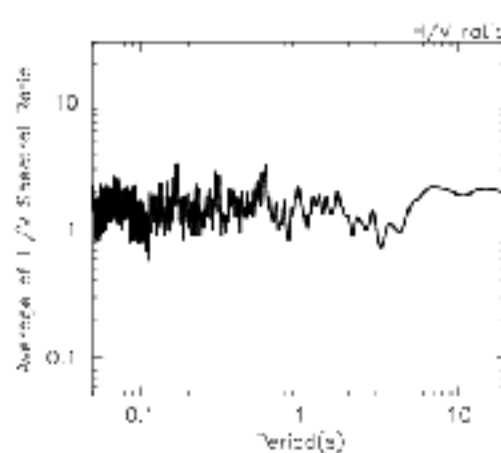
P 412



P 39



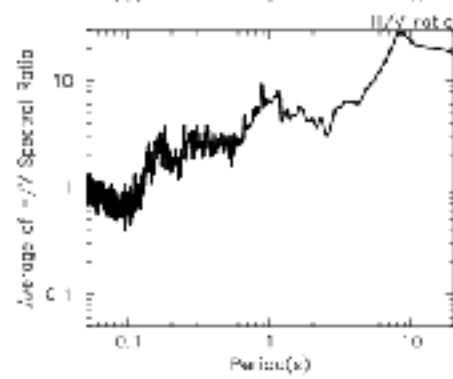
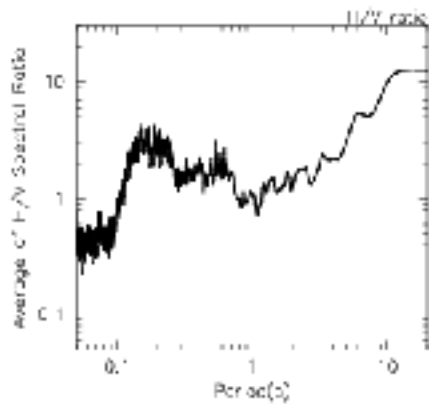
P 42



ANEXO 1.7

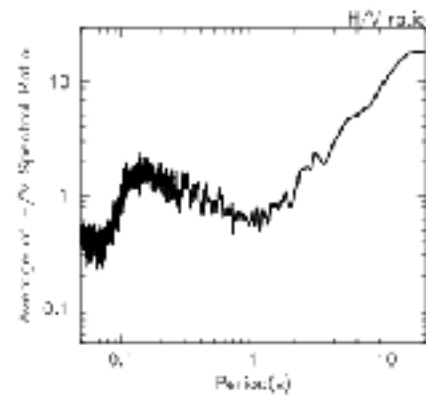
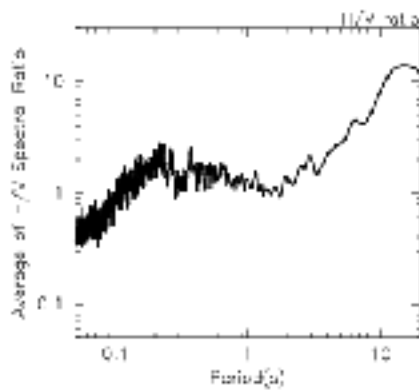
Curvas de función de transferencia empírica H/V de los puntos de medición de las piedrecitas, Managua.

P43



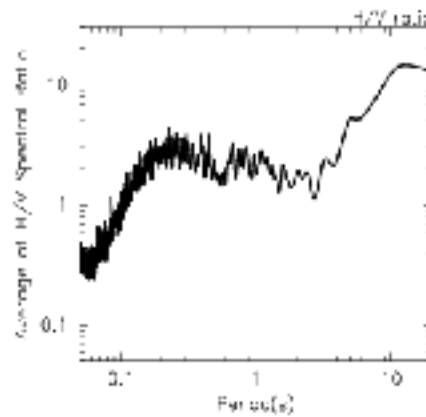
P44

P45

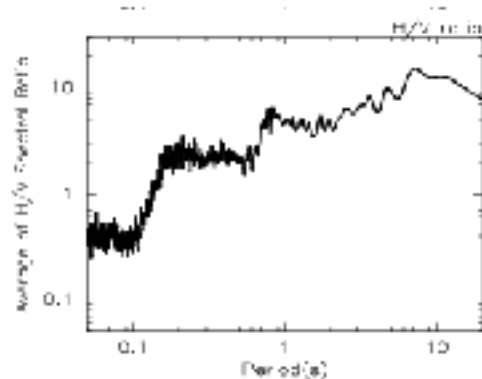
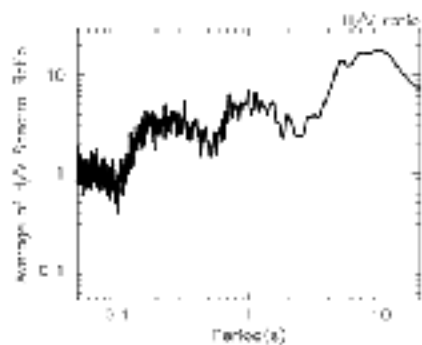


P46

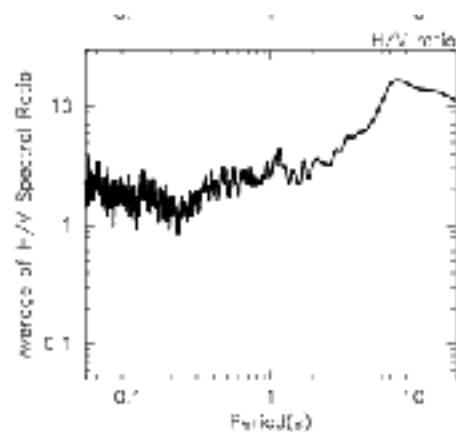
P47



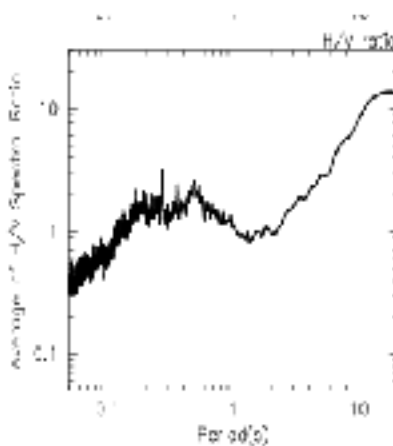
P48



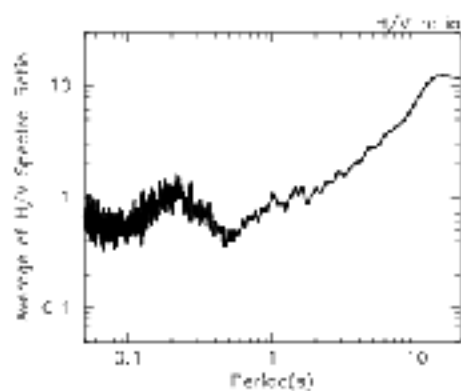
P49



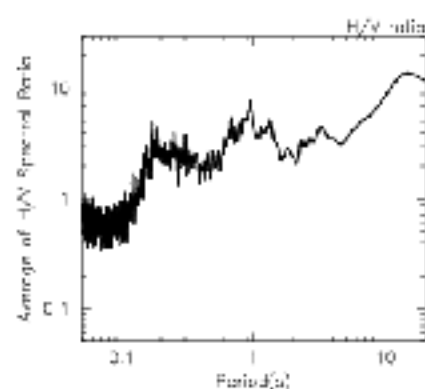
P50



P51

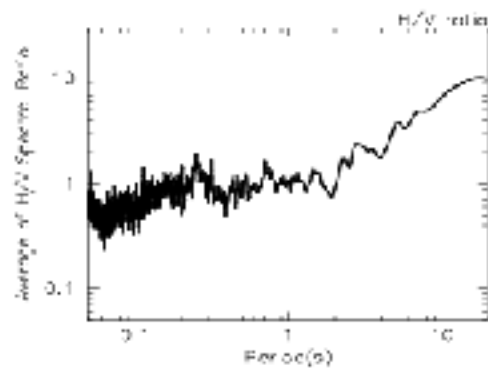


P52

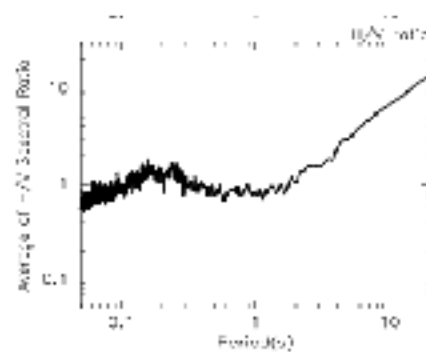


P53

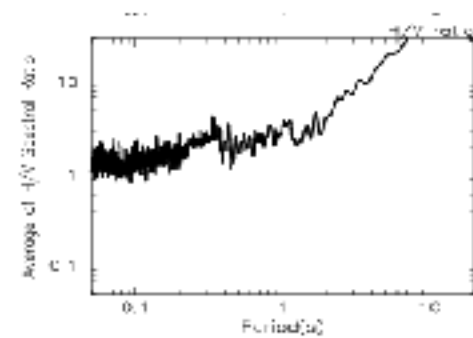
P54



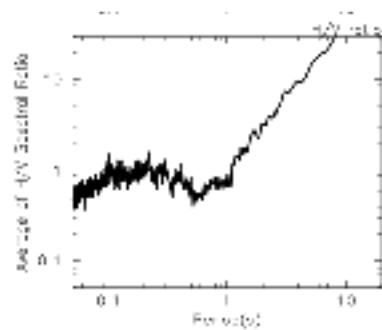
P57



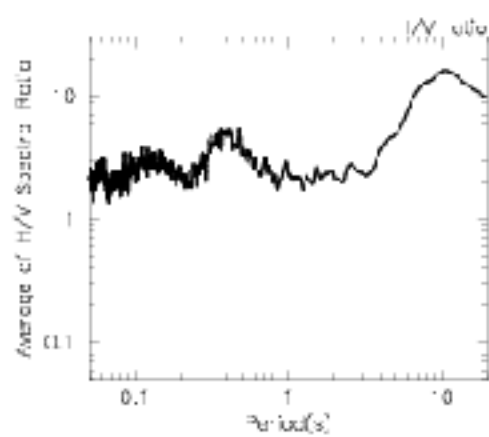
P56



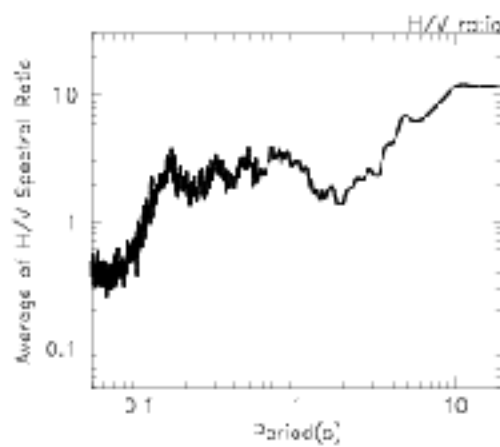
P55



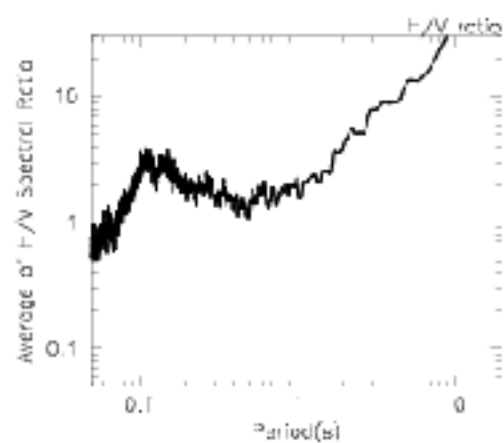
P58



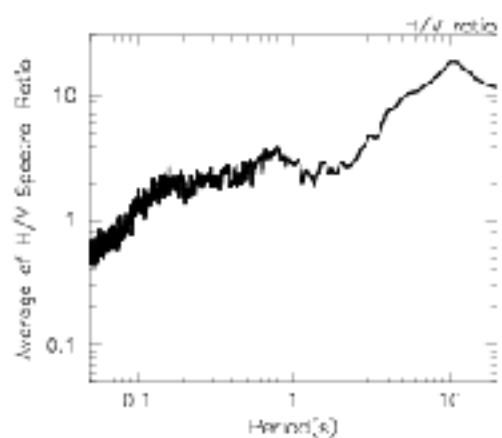
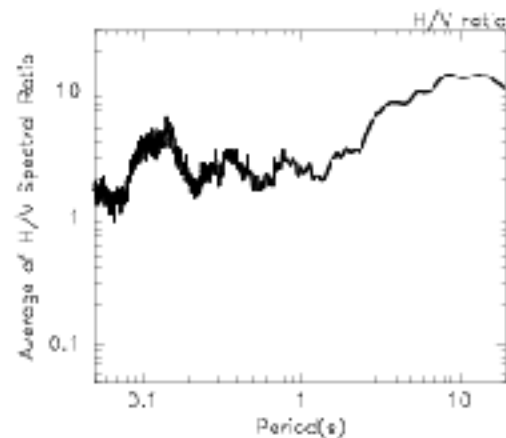
P59



P60

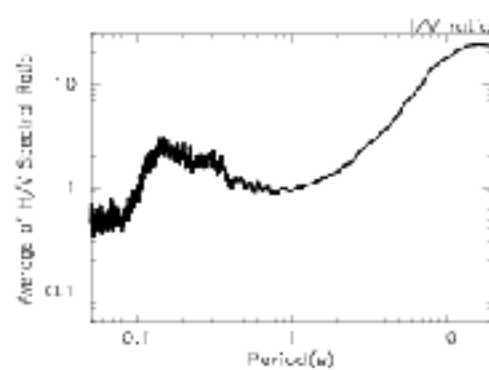


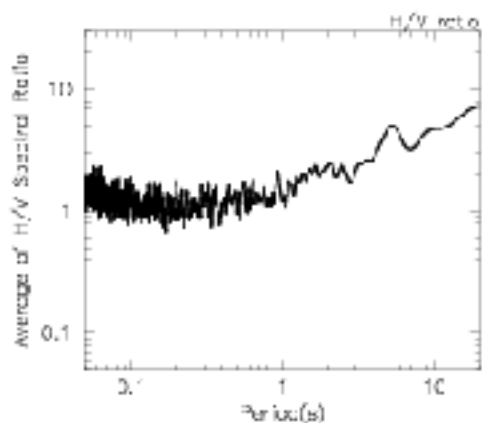
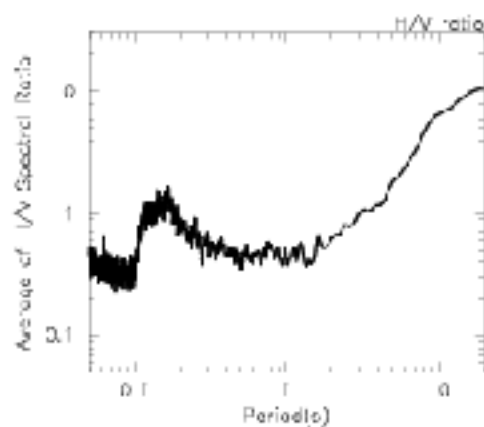
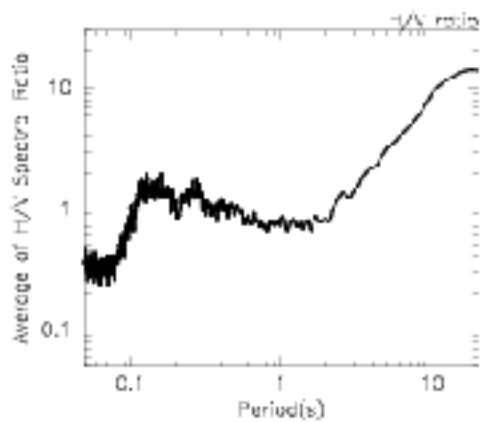
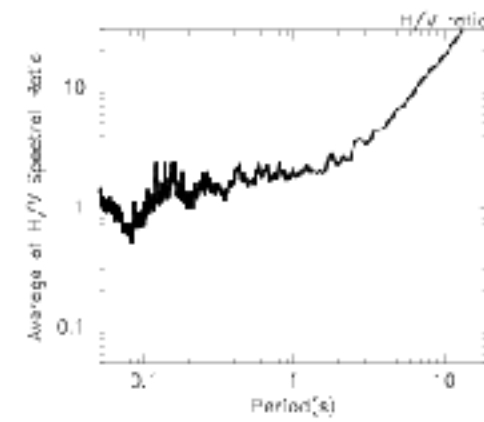
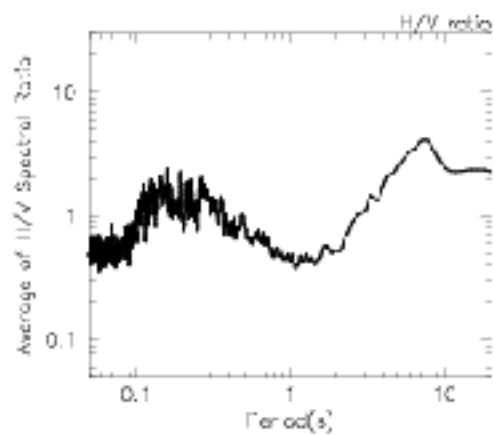
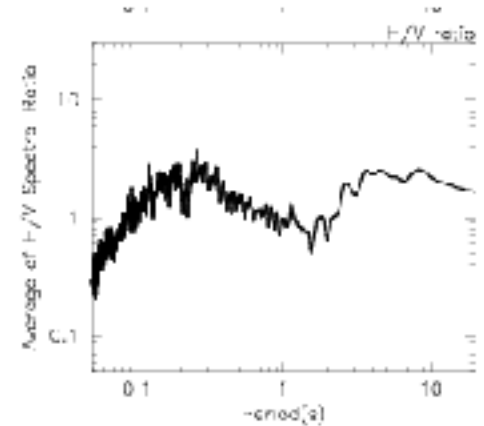
P61



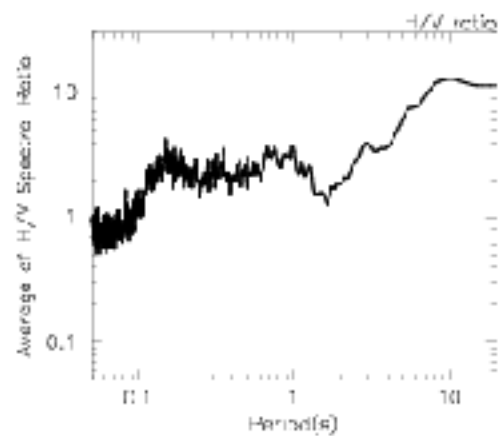
P62

P63

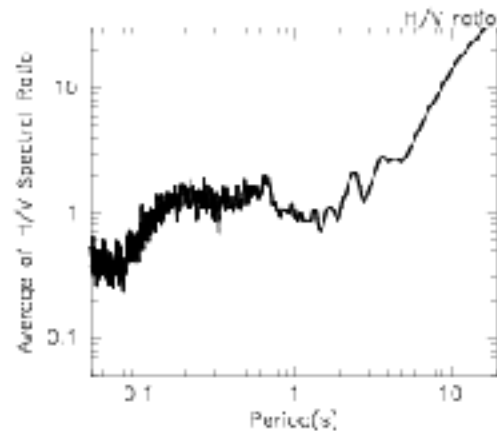


P64**P65****P66****P67****P68****P69**

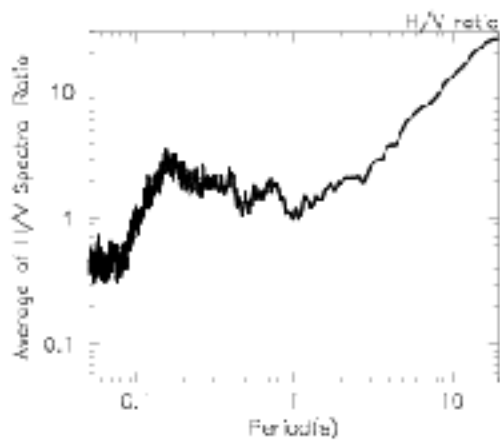
P70



P71



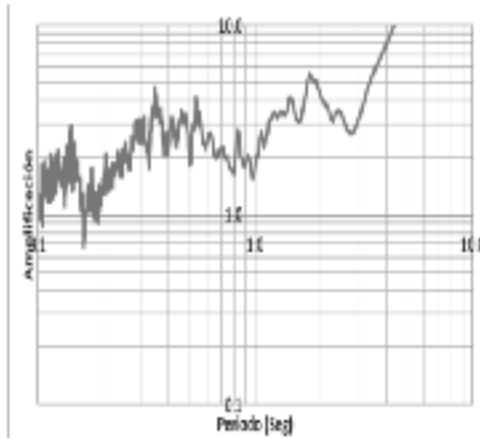
P72



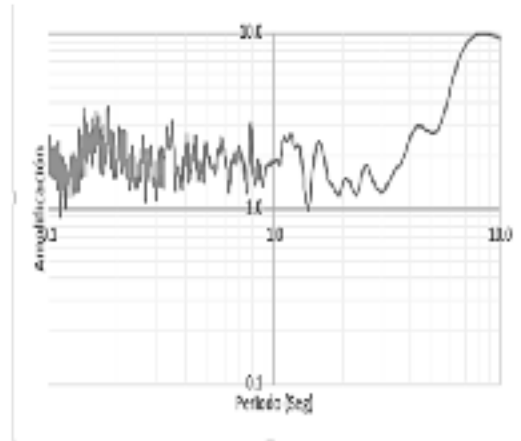
ANEXO 1.8

Curvas procesadas microtremores managua.

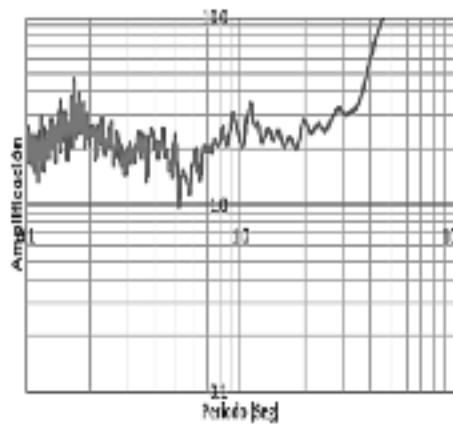
P73



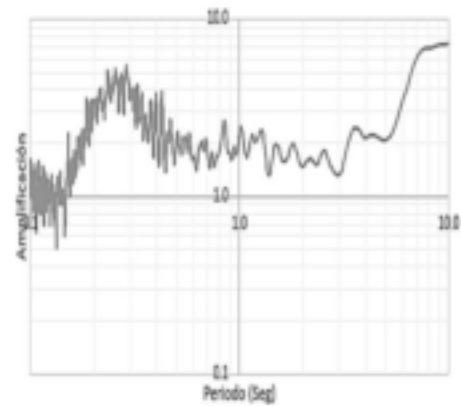
P76



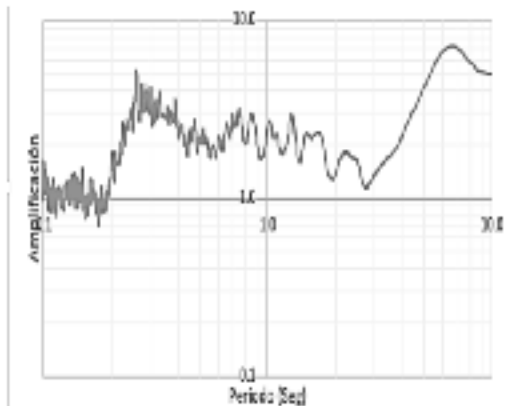
P74



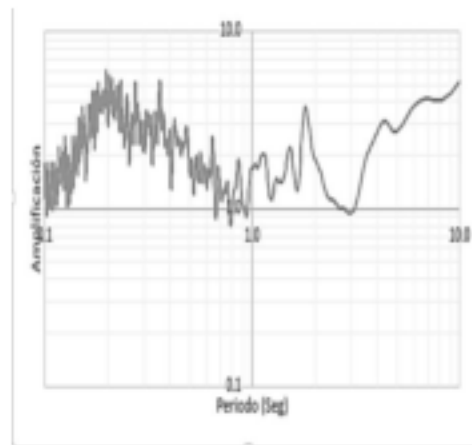
P77



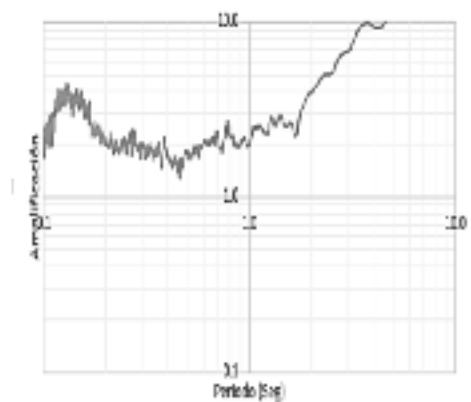
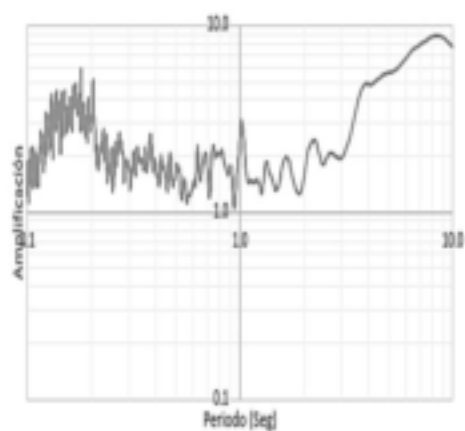
P75



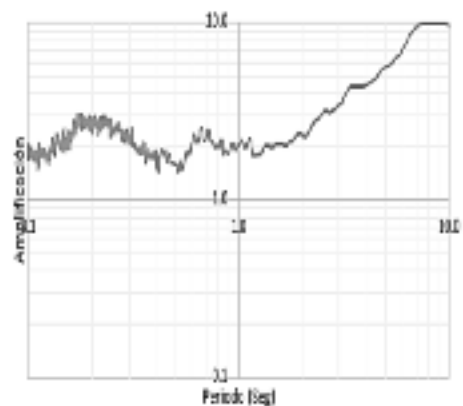
P78



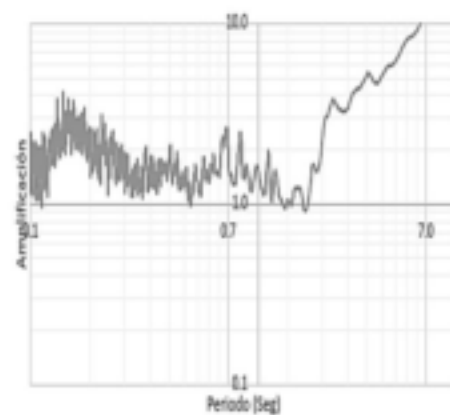
P79



P82

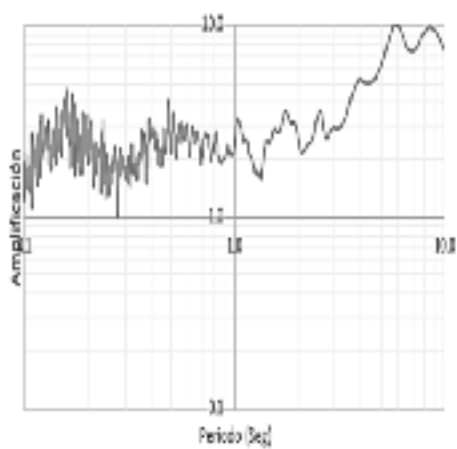


P83

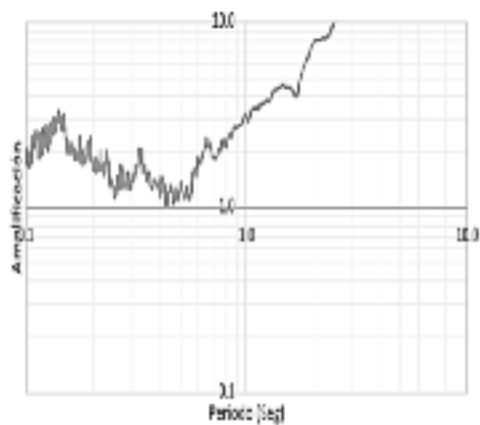


P84

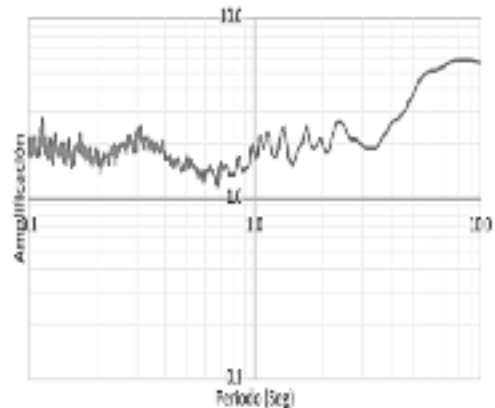
P80



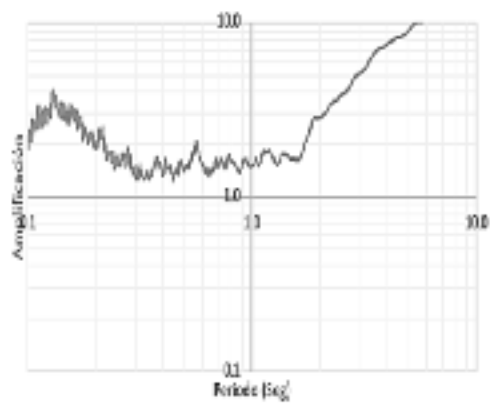
P81



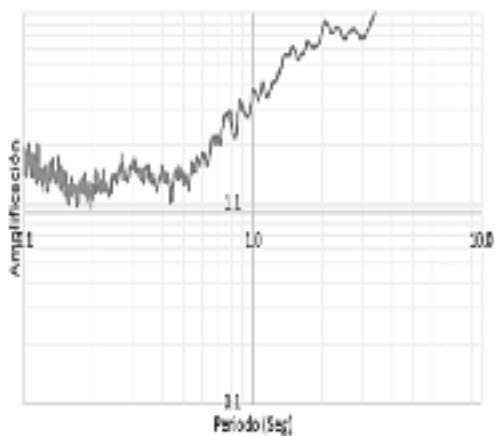
P87



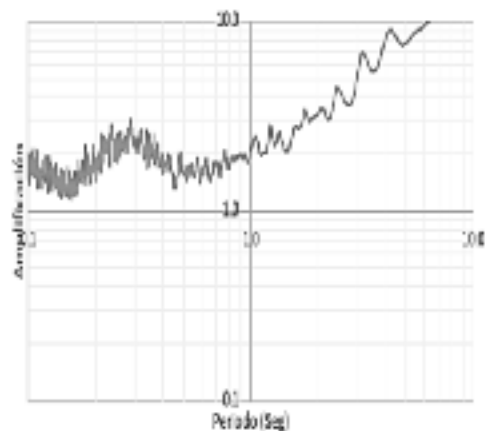
P85



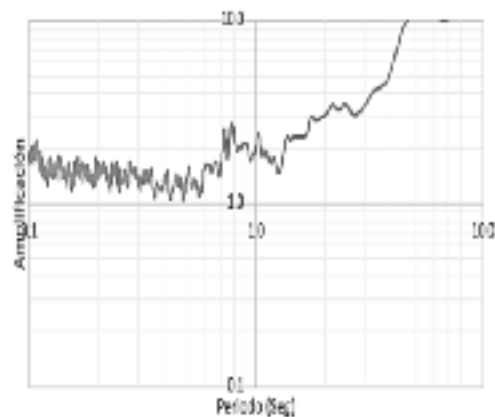
P88



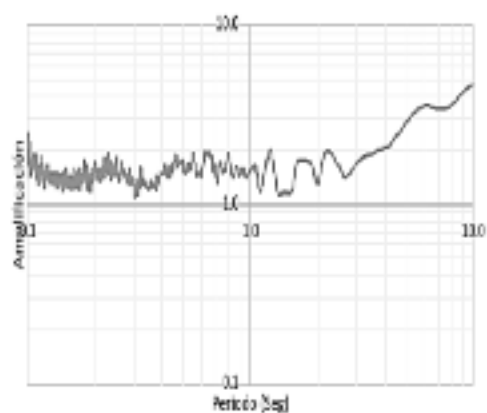
P86



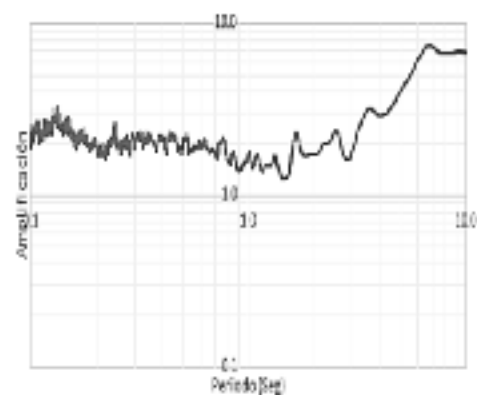
P89



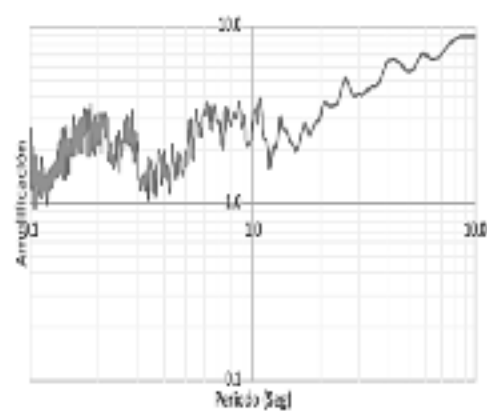
P 90



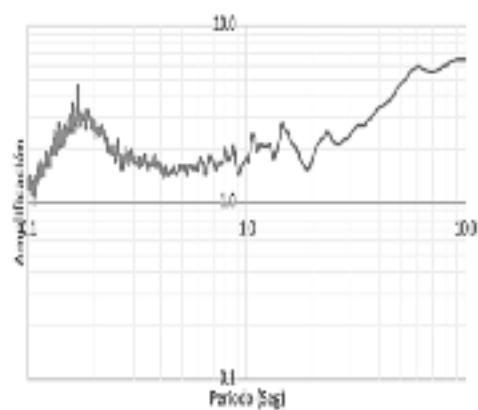
P 93



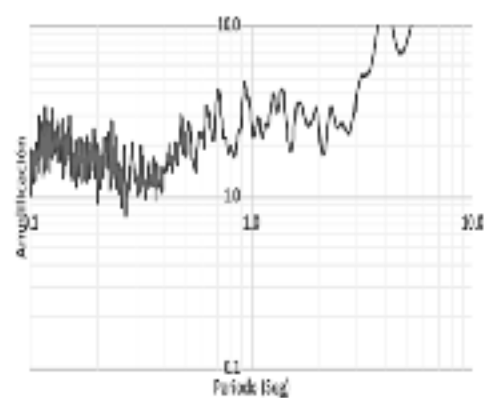
P 91



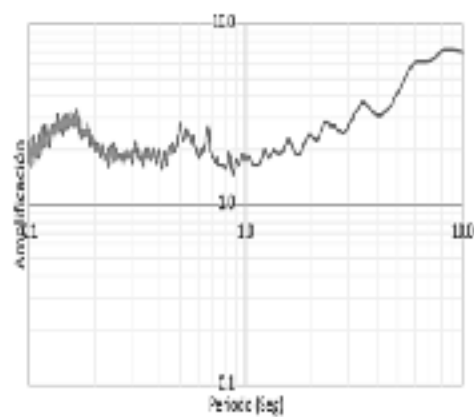
P 94



P 92



P 95



P 96

