



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL**

TÍTULO:

**“AJUSTE DE LAS ECUACIONES GHOFrani-ATKINSON PARA
LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN LA NEC-15 PARA LA
CIUDAD DE MANTA”**

AUTORES:

TOAPANTA YAMBERLA LUIS BERNARDO

VINCES BAQUERIZO JULIO RICARDO

TUTORA:

ING. DOLLY DELGADO TOALA, Mg.

DICIEMBRE DEL 2019

MANTA-MANABÍ-ECUADOR

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor(a) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, certifico:

Haber dirigido y revisado el trabajo de titulación, cumpliendo el total 20 créditos, bajo la modalidad de proyecto de investigación, cuyo tema del proyecto es “**AJUSTE DE LAS ECUACIONES GHOFRANI-ATKINSON PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN LA NEC-15 PARA LA CIUDAD DE MANTA**”, el mismo que ha sido desarrollado de acuerdo a los lineamientos internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo CERTIFICO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado, corresponde a los señores Toapanta Yamberla Luis Bernardo y Vines Baquerizo Julio Ricardo, estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil, período académico 2019-2020, quienes se encuentran apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, diciembre del 2019.

Lo certifico,

Ing. Dolly Delgado Toala, Mg.

Docente Tutora

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro que el siguiente trabajo de titulación en la modalidad “Proyecto de Investigación” es de nuestra autoría. Las concepciones tomadas de diferentes autores se encuentran debidamente citadas y se incluyen en las referencias bibliográficas. El análisis de los resultados, conclusiones y recomendaciones que se narran son responsabilidad de los autores.

Por consiguiente, los autores son responsables por el contenido, fiabilidad y alcance científico del proyecto de grado que se menciona

Manta, diciembre del 2019.

Toapanta Yamberla Luis Bernardo

CI: 080435081-7

Vinces Baquerizo Julio Ricardo

CI: 131346772-0

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO:

**“AJUSTE DE LAS ECUACIONES GHOFrani-ATKINSON PARA LA
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN LA NEC-15 PARA LA
CIUDAD DE MANTA”**

TESIS DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Sometida a consideración del tribunal de revisión y sustentación como requisito previo
a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

Ing. Tonio Realpe Tomalá

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Geovanny Delgado Castro

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Darío Páez Cornejo

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A mi madre Emma y a mi padre Luis por todo su amor, enseñanza y por siempre guiarme. La ayuda que me brindaron me sacó a delante para culminar una etapa más en mi vida. A mis hermanas Laura y Angélica que siempre estuvieron atentas a que nada me falte, a mi hermano David que esta tesis le sirva de inspiración y le ayude a termina sus estudios. A mi querida compañera de aventuras Jessica por siempre estar animándome a cumplir lo que prometo.

Luis Bernardo Toapanta Yamberla.

A mi familia integrada por 4 personas que son; papá que nunca dejo que me faltara nada, mamá por su apoyo constante y nunca me dejo decaer, a mis dos hermanas Cristina & Karina, a mi tío Víctor que estando lejos siempre me dio la mano y por último a mi quería Novia Elena Toala que desde que la conocí siempre me apoyó y me dio ánimos para seguir adelante.

Julio Ricardo Vincés Baquerizo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos encarecidamente a nuestras familias que nos han apoyado a lo largo de la carrera, a nuestros amigos y compañeros de la universidad quienes formaron parte importante de este largo trayecto.

A la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Alma Máter que nos formó como profesionales, al cuerpo docente y administrativo de la carrera de Ingeniería Civil.

Un especial agradecimiento a nuestra tutora de tesis y docente de la carrera de Ingeniería Civil, la Ing. Dolly Delgado Tóala. Mg. quién supo guiarnos desde el inicio hasta la culminación de esta tesis, siempre presta a dedicarnos su tiempo, brindarnos su vasto conocimiento y su apoyo en cada parte del proceso hasta este momento.

De igual manera dar gracias a las personas que aportaron con sus conocimientos y con ello lograron que este proyecto de investigación saliera adelante, eternamente agradecido con el Ing. Tonio Realpe quien nos acompañó a los lugares donde realizamos nuestra investigación, a la Ing. Michelle Pilligua encargada del LAB-SHA “Bolívar Logroño Ortiz”, quien nos brindó información vital para la utilización del equipo de refracción sísmica y a la Ing. Dayana Vinces que siempre nos dio su apoyo, sugerencias y sobretodo su valiosa amistad.

A mis queridos compañeros que estuvieron a lo largo de este proceso académico y cabe agradecer todo el apoyo mutuo que nos dimos siempre dentro y fuera de las aulas “Los WYN”.

Luis Toapanta Yamberla

Julio Vinces Baquerizo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo ajustar las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson que, en función de la frecuencia, calculan la velocidad de onda de corte (V_{s30}), estas ecuaciones fueron determinadas a partir de dos grandes bases de registros sísmicos, la base Japonesa con 58 930 registros y la base Norteamérica de 20 924 registros, con la ecuación ajustada, conociendo la frecuencia en un determinado punto se podrá clasificar el suelo de la ciudad de Manta según la NEC-15. Para este estudio se establecieron 19 puntos, en donde se midieron 3 y se tomaron de otros estudios 16. Establecidos los puntos de referencia se procedió a medir las vibraciones ambientales mediante el equipo Geobox Triaxial SARA y se procesaron los registros en el programa Geopsy para obtener las frecuencias del suelo aplicando la técnica de Nakamura o técnica del cociente espectral H/V, siguiendo los criterios SESAME que garantizan la confiabilidad de los resultados. Las frecuencias obtenidas fueron utilizadas en las dos ecuaciones 1 y la ecuación 2, obteniéndose los valores de V_{s30} para cada punto, encontrándose diferencias entre el valor medido y el calculado, mediante la estadística se estableció la línea de tendencia, se calculó el factor de corrección de la ecuación 1 ya que la ecuación 2 fue descartada, debido a la gran diferencia entre los puntos y la línea tendencia. Quedando establecido que la ecuación 1 de la base de registro de Japón responde mejor a los suelos de Manta.

Palabras Claves: Ghofrani & Atkinson, vibración ambiental, criterios SESAME, frecuencia fundamental de vibración, cociente espectral H/V, clasificación de suelos, Nakamura, Velocidad de onda de corte V_{s30} .

ABSTRACT

This research work aims to adjust the equations of Ghofrani & Atkinson that, based on the frequency, calculate the cut-off wave speed (V_{s30}), these equations were determined from two large bases of seismic records, the base Japanese with 58 930 records and the North American base of 20 924 records, with the equation adjusted, knowing the frequency at a certain point the soil of the city of Manta can be classified according to NEC-15. For this study, 19 points were established, where 3 were measured and taken from other studies 16. Once the reference points were established, environmental vibrations were measured using the Geobox Triaxial SARA equipment and the records in the Geopsy program were processed to obtain the ground frequencies applying the Nakamura technique or spectral ratio technique H / V , following the SESAME criteria that guarantee the reliability of the results. The frequencies obtained were used in both equations 1 and equation 2, obtaining the values of V_{s30} for each point, finding differences between the measured and calculated value, the trend line was established by statistics, the correction factor was calculated from equation 1 since equation 2 was discarded, due to the large difference between the points and the trend line. It is established that equation 1 of the Japan registration base responds better to Manta soils.

Keywords: Ghofrani & Atkinson, environmental vibration, SESAME criteria, fundamental frequency of vibration, spectral ratio H / V , soil classification, Nakamura, Cut-off wave velocity V_{s30} .

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTOS	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE IMÁGENES	XI
ÍNDICE DE GRAFICOS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
FORMULACION DE PROBLEMA	2
JUSTIFICACIÓN	3
OBJETIVOS	4
OBJETIVO GENERAL.....	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
HIPÓTESIS.....	4
1. CAPITULO I: ESTADO DE ARTE.....	5
1.1. Generalidades	6
1.1.1. Contexto Macro	6
1.1.2. Contexto Meso	8
1.1.3. Contexto Micro	9
1.1.4. Antecedentes de la Ciudad de Manta.....	10
1.2. Definiciones	11

1.2.1.	Ecuaciones de Ghofrani-Atkinson	11
1.2.2.	Frecuencia natural	12
1.2.3.	Velocidad promedio de onda de corte a los 30 metros de profundidad (Vs30). 12	
1.2.4.	Nec-15 para la clasificacion del tipo de Perfil de Suelo	14
1.2.5.	Ondas Rayleigh.....	19
1.2.6.	Criterio SESAME	20
2.	CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS	22
2.1.	Metodología de la Investigación	23
2.2.	Técnicas de Investigación	23
2.2.1.	Revisión Bibliográfica:	23
2.2.2.	Visita de campo:	23
2.3.	Información de los puntos de velocidad de onda de corte (Vs30)	24
2.3.1.	Información brindada por la empresa consultora CONGEOTEC.	24
2.3.2.	Información brindada por el Dr. Roberto Aguiar & Ing. Hugo Bonifaz	28
2.3.3.	Vs30 medidos.....	29
2.3.4.	Vs30 tomados de otros estudios.....	31
2.4.	Ensayos Geofísico refracción sísmica.....	34
2.4.1.	Características técnicas del equipo con el cual se levantó 6 puntos de velocidad de onda de corte a los 30m.....	34
2.4.2.	Partes del equipo de refracción sísmica	35
2.4.3.	Toma de registro de refracción sísmica en los puntos de investigación.	36
2.4.4.	Programa utilizado en la toma del registro:	37
2.4.5.	Cargar grabaciones de la onda P al software.	39
2.4.6.	Inicio de procesamiento	41
2.4.7.	Obtención de Resultados.....	41
2.5.	Grabación de Registro de vibración ambiental	42
2.5.1.	Programa Utilizado en el Registro	43

2.5.2.	Hoja de Registro en Campo	44
2.5.3.	Toma de registro de vibración ambiental en los puntos de investigación.	45
2.5.4.	Procesamiento de Registros en el Programa GEOPSY	47
2.5.5.	Verificación de Criterios SESAME	51
2.6.	Análisis de las Ecuaciones de Ghofrani-Atkinson	51
3.	CAPITULO III: RESULTADOS.....	54
3.1.	Resultados de vibraciones ambientales	55
3.1.1.	Cumplimiento de los criterios SESAME en la medición de vibraciones ambientales	55
3.1.2.	Resultados de las frecuencias fundamentales del suelo	59
3.2.	Resultados, aplicado las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson.....	61
3.3.	Ajuste de las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson.	62
3.3.1.	Diferencia de los resultados de Vs30 medidos con los Vs30 calculados.	62
3.3.2.	Determinación del coeficiente de corrección.....	64
3.4.	Clasificación del suelo según la NEC-15	68
	CONCLUSIONES	69
	RECOMENDACIONES.....	70
	BIBLIOGRAFÍA	71
	ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Cuadro de Rango de frecuencias de la clasificación de los sitios según las ecuaciones 1 y 2.....	12
Tabla 1.2 Clasificación de los perfiles de suelo.....	15
Tabla 2.1. Velocidades de onda de corte de información compartida por docente.	29
Tabla 2.2. Velocidades de onda de corte obtenidas de proyecto de titulación.	31
Tabla 2.3 Puntos de Vs30 realizados en la Ciudad de Manta.	32
Tabla 2.4 Características técnicas la unidad de adquisición del equipo	34
Tabla 2.5 Características generales del equipo	35
Tabla 2.6 Puntos donde se realizaron ensayo geofísico.....	36
Tabla 2.7 Tiempos de grabación recomendados. Obtenido de (SESAME,2004).....	43
Tabla 2.8. Lugares brindados de estudios anteriores, con sus respectivas coordenadas.....	51
Tabla 3.1 Tabla de Resumen de Cumplimiento de los Criterios SESAME.....	56
Tabla 3.5 Resultados de las frecuencias fundamentales del suelo	59
Tabla 3.6. Valores máximos y mínimos de los resultados de frecuencias.....	60
Tabla 3.7. Comparativa de resultados de las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson programadas en Excel, con los valores de refracción sísmica Vs30 investigados. Fuente: Los Autores	61
Tabla 3.8. Cuadro comparativo de los resultados de Vs30 Medido y Vs30 calculado con la ecuación de Japón.	62
Tabla 3.9. Cuadro comparativo de los resultados de Vs30 Medido y Vs30 calculado con la ecuación de EE.UU.....	62
Tabla 3.10. Cuadro para determinar coeficientes de corrección para ajustar la ecuación de Japón.	64
Tabla 3.11. Cuadro comparativo de resultados de la ecuación de Japón ajustada con los vs30 medidos.....	65
Tabla 3.12. Cuadro comparativo de resultados de la clasificación de suelos según la normativa ecuatoriana NEC-15.....	68

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.1 Tipos de suelos para un modelado paramétrico	13
Imagen 1.2 Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	16
Imagen 1.3 Técnica de Nakamura.....	17
Imagen 1.4 Onda sísmica Rayleigh.....	19

Imagen 2.1. Velocidad de onda de corte Método activo. Iglesia la Dolorosa	24
Imagen 2.2. Velocidad de onda de corte Método Pasivo. Iglesia Divino Niño	25
Imagen 2.3. Velocidad de onda de corte Método activo. Centro de eventos Tahalí.....	25
Imagen 2.4. Velocidad de onda de corte Método combinado. Iglesia Parroquial Perpetuo Socorro Manta.....	26
Imagen 2.5. Velocidad de onda de corte Método Combinado. Sunset City	26
Imagen 2.6. Velocidad de onda de corte Método Combinado. Instituto Técnico Luis Arboleda Martínez	27
Imagen 2.7. Velocidad de onda de corte Método activo. Terminal Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta LS2.....	27
Imagen 2.8. Velocidad de onda de corte Método activo. Terminal Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta LS1.....	28
Imagen 2.9. Velocidad de onda de corte Método combinado. CNT.....	28
Imagen 2.10. Velocidad de onda de corte Método activo. Colegio Tarquí	29
Imagen 2.11. Velocidad de onda de corte Método activo. C.C Pasaje Felipe Navarrete	30
Imagen 2.12. Velocidad de onda de corte Método activo. Las Cumbres	30
Imagen 2.13. Ubicación de los puntos de estudio dentro de la ciudad de Manta.	33
Imagen 2.14. Registro de ensayo geofísico, A) 15 de Septiembre; B) Las Cumbres T29; C) Colegio Tarquí; D) Cerca del C.C Pasaje Felipe Navarrete.	36
Imagen 2.15. A) Programa SYAMATRACK; B) Grabación de registros de la onda P.	37
Imagen 2.16. Programa de SysmaTrack, opción para iniciar la grabación del registro.....	37
Imagen 2.17 Registro de ensayo geofísico en el sector de 15 de Septiembre.....	38
Imagen 2.18 Cargar registro de refracción sísmica en PickWin.....	39
Imagen 2.19. Selección de opción “Pick first breaks”	39
Imagen 2.20. Arribo de la Onda P en los tres registros.	40
Imagen 2.21. Gráfico de la isócrona del punto dentro del sector 15 de septiembre	40
Imagen 2.22. Resultados de la Tomografía del sector 15 de septiembre.....	41
Imagen 2.23. Sensor sísmico Geobox SR04 de Sara Electronic Instruments.....	42
Imagen 2.24 A) Programa Seismowin (LOG-MT): B) Grabación de registros de frecuencias ambientales.	44
Imagen 2.25 Hoja de Registro en Campo.	44
Imagen 2.28. Grabación de registro de vibración ambiental en el Barrio La Paz	45

Imagen 2.29. Grabación de registro de vibración ambiental en el CNT Corporación Nacional de Telecomunicaciones	46
Imagen 2.30. Grabación de registro de vibración ambiental en el CNEL Nuevo.....	46
Imagen 2.32. Grabación de registro de vibración ambiental en CNEL Tarquí	47
Imagen 2.33. Grabación de registro de vibración ambiental en la Iglesia Divino Niño	47
Imagen 2.34 Carga de Frecuencia de Vibración registrada.	48
Imagen 2.35. Selección de ventanas a analizar	49
Imagen 2.36. Parámetros de cálculo para cociente espectral H/V	50
Imagen 2.37. Curva H/V de un registro de vibración ambiental en GEOPSY	50
Imagen 2.38. Cuadro comparativo de resultados de las fórmulas del método Ghofrani-Atkinson y resultados de método de refracción sísmica, con respectiva clasificación de suelos según la Normativa Ecuatoriana NEC-15	52
Imagen 2.39. Hoja de cálculo programable para realizar el ajuste de las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson	52
Imagen 3.1. Puntos medidos con el metodo de Nakamura	55

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 3.1. Valores de frecuencia fundamental del suelo en la ciudad de Manta.	60
Grafico 3.2. Gráfico de valores calculados con la ecuación 1.	63
Grafico 3.3. Gráfico de valores calculados con la ecuación 2.	63
Grafico 3.4. Ecuación de Japón sin ser ajustada.	66
Grafico 3.5. Ecuación de Japón después de ser ajustada	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 Ecuaciones del método de Ghofrani – Atkinson.....	11
Ecuación 1.2. Ecuación de la Frecuencia Natural del Sitio.	12
Ecuación 1.3 Velocidad promedio de onda de corte a los 30 metros de profundidad (Vs30) 13	
Ecuación 2.1 Fórmula para calcular la curva H/V	49
Ecuación 2.2. Coeficiente de determinación.....	53
Ecuación 3.1. Ecuación de Japón ajustada.....	65

INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años se ha reconocido que uno de los factores principales para la determinación de la magnitud del daño ocasionado por los terremotos es la amplificación de sitio, lo que ha hecho que sea de los temas más investigados en la dinámica de suelos.

La naturaleza y la distribución de daños que pueden afectar la infraestructura, debido a la ocurrencia de un terremoto, está muy influenciada por la respuesta del terreno frente a cargas cíclicas, como consecuencia de lo cual se produce una modificación de la señal sísmica. La modificación de esta señal sísmica debida a la influencia de las condiciones geológicas y topográficas se conoce como efecto de punto y consiste en la amplificación de dicha señal en varios órdenes de magnitud. (Henriquez , 2012).

Existen varios métodos con los cuales se puede estimar la respuesta de sitio, entre ellos se encuentra la relación de componentes horizontales y verticales (H/V), que es utilizado a nivel mundial por su costo económico y facilidad de manejo. H y V se refiere a los espectros de amplitud de Fourier, de los componentes horizontal y vertical del movimiento del suelo.

Por otra parte, otros de los parámetros que han sido utilizados como variable explicativa de los efectos de punto es el Vs30 (velocidad de la onda de corte a una profundidad de 30 metros). Este parámetro tiene varias aplicaciones, en donde la principal es la clasificación de suelos en términos de respuesta sísmica de muchos códigos de construcción a nivel mundial. Para obtener este parámetro existen diversos métodos geofísicos entre los más utilizados es el de refracción sísmica.

Si bien es cierto ambos parámetros cumplen una función similar, como variable descripción de punto, la relación espectral H/V contiene información más importante en depósitos de suelos más profundos en cuanto a la frecuencia y el grado de amplificación, con respecto al Vs30 que solo considera los primeros 30 metros de profundidad, pero no significan que ambos parámetros no sean importantes para la evaluación y clasificación de los suelos.

Por esta razón, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad ajustar las ecuaciones proporcionados por (Ghofrani & Atkinson , 2014) que correlacionan ambos parámetros, utilizando los registros sísmicos de la red de monitoreo sísmico de Japón y la red NGA-West 2, con los que obtuvieron dos fórmulas que calculan el Vs30 de un punto a partir de la frecuencia la cual se determina a través del Método de Nakamura.

Para esto se utilizará el método de Nakamura en varios puntos de la ciudad de Manta en donde se conoce el parámetro V_{s30} obtenidos de ensayos de refracción sísmica de estudios anteriores. De esta manera se podrá aplicar las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson el cual me da un v_{s30} en función de la frecuencia y poder comparar estos resultados.

Este trabajo de investigación está estructurado por tres capítulos, los cuales se detallan a continuación:

En el Capítulo I se presenta el Estado del arte sobre las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson. Donde se describen los contextos macro, meso y micro de la investigación; así como también se presentan los antecedentes de los puntos de estudios de la ciudad de Manta, y por último las definiciones de los temas que servirán como base para toda la investigación.

En el Capítulo II se presentan los Materiales y Métodos utilizados para la investigación. Se describe la metodología que se usó para obtener los registros de la velocidad de onda de corte de algunos puntos; a su vez para la obtención de los registros de vibración ambiental y el procesamiento de los datos para obtener las curvas de la relación espectral H/V de cada punto, se presentan tablas que son vitales para la obtención de nuestros cálculos.

En el capítulo III se presentan los resultados de los registros de vibración ambiental, con ello se obtuvieron el valor de la frecuencia fundamental de sitio de cada punto. Se aplicó las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson obteniendo resultados y realizando una comparativa, posteriormente se ajustó las ecuaciones con las que se realizó la clasificación de suelo.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones de los autores acerca del proyecto realizado.

FORMULACION DE PROBLEMA

En el Ecuador se usan diferentes tipos de métodos para clasificar el suelo, el v_{s30} es un método popular para clasificar los diferentes tipos de suelos y cuenta con una normativa, pero en las actuales investigaciones han determinado que este parámetro no es suficiente para tener una adecuada clasificación de suelo, porque carece de información, por lo que sería de relevancia conocer los efectos de sitio que conllevan otros parámetros como las frecuencias, periodos de vibración de los suelos y el grado de amplificación. Cabe hacer hincapié que el V_{s30} y los efectos de sitio se obtienen por técnicas o métodos diferentes, esto hace que sea muy costoso conocer estas características de los suelos de un lugar determinado.

Por esta razón es necesario que las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson dé como resultado valores más cercanos a los reales y así poder obtener Vs30 más confiables, a su vez poder tener una clasificación de suelos más acertada según especifica la NEC-15. El ajuste de las ecuaciones se hará para ser aplicadas dentro del área de estudio.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad ajustar las ecuaciones de “Ghofrani-Atkinson” como alternativa de obtención del Vs30 para las condiciones sismológicas que presenta la ciudad de Manta, este método permitirá obtener en menor tiempo posible y con recursos económicos, la velocidad de onda de corte a los 30 metros (Vs30).

Según la Normativa Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC-15) es primordial conocer las diversas características de los suelos, para ello se debe investigar nuevas metodologías o técnicas que sean precisas, con resultados de manera rápida y eficiente. El método de “Nakamura” o también conocido como cociente espectral (H/V) permite identificar la frecuencia fundamental del suelo mediante sensores triaxiales que permitan medir vibraciones ambientales.

Uno de los problemas que presenta la ciudadanía de Manta es el desconocimiento de las condiciones y tipo de suelo donde se va a construir, por lo tanto uno de los factores principales que influye en no poder conocerlo es el alto precio que se debe invertir para realizar dicho estudio, el método que se desarrollará en esta investigación, tiene como finalidad proporcionar una alternativa que los usuarios puedan acceder a datos de Vs30 a partir de las frecuencias y con ello pueda llevar a cabo sus edificaciones de forma segura.

A través de estudios que se han realizado en la Ciudad de Manta, se establece que es una ciudad con un alto índice de peligrosidad sísmica, porque se encuentra ubicado cerca de dos placas tectónicas que están en constante movimiento, como es la placa de nazca y placa sudamericana, por esta razón es importante determinar sobre qué tipo de suelo se realizara una edificación. (Pablo Quinde Martínez, 2016)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Ajustar las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson como alternativa de obtención del Vs30 y para la clasificación del suelo según la NEC-15 en la ciudad de Manta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar puntos de Vs30 dentro de la ciudad de Manta
- Medir las vibraciones ambientales para obtener la frecuencia fundamental de los suelos, aplicando el método de Nakamura.
- Aplicar las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson por medio de las frecuencias fundamentales del sitio y ajustar las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson.
- Comparar los resultados obtenidos con las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson, ajustado, con los valores de vs30 investigados y con su respectiva clasificación de suelo según la NEC-15.

HIPÓTESIS

Con las ecuaciones ajustadas de Ghofrani-Atkinson se obtienen resultados iguales o similares que con el Vs30, por lo cual el procedimiento resulta eficaz y sencillo.

1. CAPITULO I: ESTADO DE ARTE

1.1. Generalidades

1.1.1. Contexto Macro

Frecuentemente la clasificación de peligro sísmica de los suelos, se lleva a cabo por medio de la interpretación de la información existente en una ciudad o región a una escala detallada, a partir de la observación de mapas geológicos, geotécnicos o bien, de visitas al campo. Uno de los parámetros más importantes considerados en la actualidad a nivel mundial para la clasificación de los suelos es el llamado V_{s30} , que corresponde al promedio de las velocidades de ondas cortantes de las capas de suelo ubicadas desde la superficie hasta 30 metros debajo de ella (Martin, 2004). Por otra parte, el método de Nakamura fue aplicado con resultados exitosos en el Valle de México y desde ese momento la técnica se aplica ampliamente alrededor del mundo, en muchos casos con buenos resultados. La existencia de información previa de la geología local, así como sondeos geotécnicos y geofísicos permite interpretar mejor los resultados obtenidos con la aplicación de esta técnica (Lermo, 1993).

Para su análisis se han desarrollado una variedad de métodos para determinar las propiedades dinámicas del suelo (período fundamental, amplificación local, velocidad de las ondas de corte). Entre las diferentes técnicas que utilizan microtremores, el método de las relaciones espectrales H/V conocido como método de Nakamura (Nakamura 1989, Nakamura 2000) ha alcanzado una gran aceptación por lo que ha sido aplicado en un gran número de regiones diferentes en todo el mundo. Entre otras razones, su amplia difusión se debe a que sólo requiere analizar los datos registrados por una estación de tres componentes emplazada en la superficie del sitio a auscultar.

También existen dos tipos de métodos teóricos que permiten un análisis más detallado de los diferentes estratos de suelo, en tanto que los métodos empíricos se basan en el registro de vibraciones producidas por terremotos u otras causas en sitios de diferentes condiciones geológicas (Lermo y Chávez-García 1994). Entre los métodos experimentales para considerar efectos locales, han tenido gran aceptación en las últimas décadas, los basados en microtremores o vibraciones ambientales. Mediante el análisis de las mediciones de vibraciones ambientales se puede determinar el período fundamental de oscilación cuando

existe un contraste de impedancia importante entre los estratos que conforman el depósito sedimentario (Lermo y Chávez-García 1994).

Por otra parte, como se explica los métodos pasivos se componen por el estudio a partir del análisis espectral de los ruidos sísmicos del ambiente proveniente de diversas fuentes como son del tráfico, máquinas, fábricas, oleaje oceánico, etc., y en general todo tipo de vibraciones de distintas frecuencias, a las que se les denomina microtemores. (Karol, 2016).

Sobretudo el método conocido como cociente espectral (H/V) es un método pasivo, que consiste en la determinación de los espectros de Fourier de las componentes horizontales y de la vertical de registros de vibraciones ambientales, obtenidos con un velocímetro o un acelerógrafo triaxial. A partir de ellos se obtiene la razón H/V, que es considerado por Nakamura (1989) como la función de transferencia aproximada de los estratos del suelo sobre el basamento. (Díaz, 2012).

Al obtener un espectro de respuesta satisfactorio con respecto al sitio estudiado se produce por una variación de la velocidad de onda o también por un cambio de los estratos encontrados en el subsuelo.

En Argentina en la ciudad de Mendoza, se realizó una clasificación de sitios para diseño de estructuras sismos resistentes, dicho estudio presento nuevas propuestas para la clasificación de los suelos en relación a la velocidad de onda de corte (V_{s30}), donde en dicha investigación relacionaron el V_{s30} con el valor de la frecuencia en el sitio. Dicha relación se llevó a cabo con la utilización de las ecuaciones de Ghofrani y Atkinson (2014) las cuales tienen como bases de datos los registros sísmicos, una de Estados Unidos y otra de Japón. Se tomaron mediciones de vibración ambiental de 11 sitios en la ciudad de Mendoza donde aplicaron el método de Nakamura para la obtención de la frecuencia fundamental del suelo, para luego aplicar las ecuaciones de Ghofrani y Atkinson y finalmente relacionar el valor de V_{s30} y la frecuencia fundamental del sitio. Concluyó que con los puntos estudiados no fueron suficientes, que se debe estimar un número mayor de estudios para poder tener una relación más cercana. (Calderón, Frau, Giolo & Tornello, 2017)

1.1.2. Contexto Meso

En los últimos años, en el Ecuador, se han desarrollado investigaciones con respecto a las características dinámicas de los suelos para poder conocer las respuestas de estos en eventos sísmicos y para realizar microzonificación en las varias ciudades del país. En el proyecto de titulación de Garces y Macias (2018) llegaron a la conclusión que es importante conocer las características dinámicas de depósitos de suelos en regiones con potencial para una actividad sísmica intensa y también para determinar las posibles amplificaciones de los movimientos sísmicos e identificar probables condiciones de resonancia en las edificaciones.

La Norma Ecuatoriana de la construcción publicada en el 2015 en su capítulo de Peligro Sísmico establece solo al V_{s30} como único factor para la clasificación de suelos, y únicamente en los suelos tipo F se recomienda la estimación del periodo elástico como se indica: Las velocidades de ondas de corte por medio de ensayos Sísmica de Refracción de acuerdo al ASTM D5777 y el período elástico del subsuelo mediante mediciones de la vibración ambiental, aplicando el método de Nakamura (NEC-15, 2015).

En el Distrito Metropolitano de Quito se dividió en tres zonas de comportamiento dinámico similar, aunque sus características físicas sean diferentes. De acuerdo a la clasificación señalada en el Código, estas corresponden a los suelos tipo S1, S2 y S3, con períodos fundamentales de vibración estimados entre 0.2 y 0.6 segundos, respectivamente. La aproximación de V_{s30} con datos de topografía tiene una relación entre el módulo de corte y la densidad del suelo y de las rocas, el cual a su vez se relaciona con la geomorfología, la competencia del material y la pendiente topográfica. Bajo esta premisa, Allen y Wald (2009) propusieron una técnica para estimar las condiciones de sitio en función de V_{s30} en relación a la topografía de la zona. Con el fin de estimar los valores V_{s30} en zonas sin información geotécnica o geofísica, la investigación se llevó a cabo dentro la ciudad donde realizó la aplicación de un ajuste de relaciones exponenciales respecto a la relación entre el V_{s30} y la pendiente topográfica. (Schmitz, 2016).

En la ciudad de Bahía de Caráquez se realizó un estudio en el año 2017, con el método de Nakamura (relación de H/V), el cual consiste en la determinación de los espectros de Fourier de las componentes horizontales y de la vertical de registros de vibraciones

ambientales. Ya que el suelo es muy similar al suelo de Japón, que es de donde proviene una de las bases de datos o los registros de aceleración del suelo de los sismos de Japón. Además se obtuvo los periodos fundamentales en la zona denominada “La Puntilla”, esto a través de las ecuaciones de (Ghofrani & Atkinson, 2014), el cual consiste en el cálculo de las frecuencias fundamentales del suelo a través de fórmulas que tienen como principal variable el v_{s30} del sitio en estudio. (Zambrano, 2018) Los valores de los periodos obtenidos fueron comparados con un estudio anterior realizado por (Paredes, 2017), concluyendo que ambos estudios obtuvieron resultados muy similares.

1.1.3. Contexto Micro

La ciudad de Manta, ubicada en un punto donde se encuentra siempre en continuos movimientos ya que está en gran medida en la fosa oceánica y en las placas tectónicas, a sus alrededores hay una gran cantidad de movimientos telúricos, siendo así un lugar con alto índice de sismicidad. En Manta fundamentalmente se tienen tres tipos de suelo de acuerdo a la clasificación del NEC-15 que son el C, D y E. (Aguar, Zevallos, & Garcia, 2016)

Vega (2018) realizó un trabajo en el cual clasificó diversas zonas de la ciudad de Manta de acuerdo a lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Este trabajo se realizó con datos obtenidos a través de ensayos de refracción sísmica, con los que se diseñó un mapa de peligrosidad sísmica en base a la velocidad de la onda de corte en los primeros 30 metros de profundidad (V_{s30}).

Mediante esta investigación (Vega, 2018) concluyó que: “los suelos pertenecientes a la categoría D en el estudio, ocupan el 93.44% de la misma; El suelo tipo E en relación al 100% del área de estudio ocupa un 1.73%; El suelo tipo C en relación al área de estudio ocupa un 4.83%.”

Un mes después de ocurrido el terremoto del 16 de abril del 2016 con epicentro en el cantón Pedernales, el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se realizó a partir de mediciones de ruido de ambiente, con el fin de obtener la frecuencia fundamental de resonancia del suelo, para conocer el efecto de sitio en varias ciudades de la provincia de Manabí. El objetivo de este estudio es proveer una primera estimación de las características de los suelos en las principales ciudades de la provincia de Manabí: Manta, Bahía de

Caráquez, San Vicente, Canoa, Jama, Pedernales y Cojimíes y San José de Chamanga en Esmeraldas, que fueron particularmente afectadas por el sismo del 16 de abril del 2016. (Instituto Geofísico del Ecuador, 2016)

1.1.4. Antecedentes de la Ciudad de Manta

La ciudad de Manta pertenece a la Provincia de Manabí, tiene una extensión de 309 Km² que limita al Norte y oeste con el Océano Pacífico, al sur con el cantón Montecristi y al este con los cantones Montecristi y Jaramijó, su división territorial está comprendida por las siguientes parroquias urbanas que son: Los Esteros, Manta, San Mateo, Eloy Alfaro y Tarquí; y las parroquias rurales que son: San Lorenzo y Santa Marianita.

La geología de Manta está asentada sobre depósitos de terrazas marinas que han emergido en el transcurso de miles de años. Según el trabajo de Pedoja et al. (2006) se propusieron al menos 5 niveles de terrazas, con una tasa de levantamiento estimada entre 0.3 a 0.5 mm/año, durante los últimos 300.000 años. Sin embargo, estudios recientes sugieren que el número es mayor. Los materiales más recientes que componen las terrazas marinas son secuencias de arenas, arcillolitas y limolitas. Las secuencias se pueden describir como de origen litoral, se observan en algunos lugares arenas de playa, con presencia de fósiles marinos y suelos. Hay intercalaciones de cenizas volcánicas, provenientes de las erupciones ocurridas en el arco volcánico. En afloramientos en la zona de San Mateo se observan secuencias pertenecientes a la formación San Mateo del Eoceno, compuestas por limolitas, arcillolitas, areniscas y conglomerados. El basamento formado por basaltos de origen oceánico, que se observan en la entrada a la población de Santa Marianita y en Montecristi, sugiere que estos están bajo todas las secuencias anteriores, la edad estimada de este basamento es Cretácico. No se conoce el espesor de las secuencias más jóvenes que sobre yacente a este basamento. (Instituto Geofísico del Ecuador, 2016)

En el territorio ecuatoriano se produjo un sismo, que alarmó a la población un 16 de abril del 2016, según informe el Instituto Geofísico fue un terremoto de magnitud 7.8 en la costa ecuatoriana con epicentro en el cantón Pedernales, afectó a muchos cantones pertenecientes a las provincias aledañas. La ciudad de Manta fue uno de los lugares que se logró sentir con gran fuerza el terremoto, dejando a su paso sectores gravemente afectados, provocando como

resultado que las edificaciones colapsen y otras con daños irreparables, además de pérdidas valiosas de vidas humanas. (Instituto Geofísico del Ecuador, 2016)

1.2. Definiciones

1.2.1. Ecuaciones de Ghofrani-Atkinson

Este método fue desarrollado a través de una investigación por Ghofrani & Atkinson en el año 2014, que consiste en dos ecuaciones las cuales calculan el V_{s30} de un punto a partir de la frecuencia fundamental calculada en el mismo punto. Los autores relacionaron el cociente espectral H/V que obtuvieron de dos bases de datos, una de ellas provenientes de los registros de terremotos de la red de monitoreo de Japón y la otra de la red de monitoreo sísmico NGA-West 2 (EEUU). Se obtuvieron las siguientes ecuaciones: (Ghofrani & Atkinson, 2014).

Ecuación 1.1 Ecuaciones del método de Ghofrani – Atkinson

$$\log(V_{s30}) = 2.35 + 0.38 \log(f_{peak}) \quad (Ec. 1)$$

$$\log(V_{s30}) = 2.56 + 0.20 \log(f_{peak}) \quad (Ec. 2)$$

Fuente: Ghofrani & Atkinson, 2014.

La ecuación 1 tiene como de referencia la base de datos de Japón, se analizaron alrededor de 58 930 registros y para la ecuación. 2 se analizaron 20 924 registros de la base de datos de la Red de EEUU provenientes de 4080 estaciones.

A través de su investigación pudieron concluir que la técnica H/V ofrece tanta información del sitio como la V_{s30} y por ende concluyeron que la técnica de Nakamura tiene un valor más descriptivo que el V_{s30} para los sitios de suelos profundos con frecuencias mayores a 1 Hz. Y que el promedio de la relación espectral H/V para un sitio alcanza un máximo de frecuencia máxima que está relacionada con la profundidad del depósito y tiene una amplitud de pico estable de 0.45 unidades de \log_{10} , independientemente de la región.

Tabla 1.1. Cuadro de Rango de frecuencias de la clasificación de los sitios según las ecuaciones 1 y 2.

Tipo espectral (vs30)	Japón	EE.UU
Tipo 1 (superior a 360 m/s)	Frecuencias superiores a 3.47 Hz (periodos inferiores a 0.29 s)	Frecuencias superiores a 1.00 Hz (periodos inferiores a 1 s)
Tipo 2 (entre 180 m/s a 360 m/s)	Frecuencias entre 0.54 y 3.47 Hz (periodos entre 0.29 s y 1.85 s)	Frecuencias entre 0.03 y 1.00 Hz (periodos entre 1 s y 33 s)
Tipo 3 (menor a 180 m/s)	Frecuencias menores a 0.54 Hz (periodos mayores a 1.85 s)	Frecuencias menores a 0.03 Hz (periodos mayores a 33 s)

Fuente: Ghofrani & Atkinson, 2014.

Concluyendo que la relación espectral H/V tiene ventajas significativas sobre el Vs30 como una variable de descripción del sitio, y de manera general, es más fácil de obtener y a menor costo.

La técnica de Nakamura, es un método que la NEC-SE-DS la estima para clasificación de los perfiles de suelo, en donde los tipos de perfil tipo F es donde da su mayor desempeño. La Norma Ecuatoriana (NEC- SE-DS, 2015), expresa varios métodos para la clasificación de perfiles de suelo.

1.2.2. Frecuencia natural

Según (Nakamura, 1989) existe una relación teórica entre la velocidad de la onda de corte Vs y el periodo o frecuencia del suelo f ya que Vs representa en cierta medida la rigidez de los estratos que atraviesa, por lo que suelos más rígidos tendrán velocidades mayores que suelos menos rígidos. Adicionalmente la profundidad (H) del estrato nos da una idea de la masa involucrada por lo que esta relación es:

Ecuación 1.2. Ecuación de la Frecuencia Natural del Sitio.

$$f = V_s / 4H \quad (Ec.3)$$

Fuente: Nakamura, 1989.

1.2.3. Velocidad promedio de onda de corte a los 30 metros de profundidad (Vs30)

La velocidad media de la onda de cortante (ecuación. 4) se obtiene por medio de:

Ecuación 1.3 Velocidad promedio de onda de corte a los 30 metros de profundidad (V_{s30})

$$V_S = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}} \quad (\text{Ec. 4})$$

Fuentes: NEC – SE – DS, 2015

Dónde:

- V_{si} Velocidad media de la onda de cortante del suelo del estrato i , medida en campo, en m/s.
- d_i Espesor del estrato i , localizado dentro de los 30 m superiores del perfil, dado por $\sum_{i=1}^n d_i = 30$ m siempre.

Por otra parte, la mayoría de las normas a nivel mundial, utilizan la velocidad de propagación de ondas de corte en los 30 metros superficiales (V_{s30}) como un índice para caracterizar la amplificación sísmica del suelo. La V_{s30} se ha considerado como un buen indicativo del tipo de respuesta esperada en los depósitos.

Por tanto, los materiales que dé a partir de esos 30 metros, se pueden escoger los varios tipos de suelos granulares y suelos finos como se observa en la imagen 1.1, debido a su distinto comportamiento no-lineal, para luego promediar los resultados como indicativo de los suelos reales en que suele existir una mezcla de ambos tipos de suelos para un modelado paramétrico 1-D, con su debida calibración en sitios reales. (Schmitz, 2016)

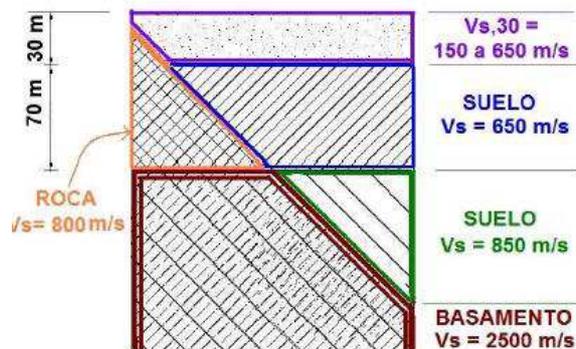


Imagen 1.1 Tipos de suelos para un modelado paramétrico

Las velocidades V_{s30} se pueden evaluar en el sitio por medio de estimaciones semi-empíricas que correlacionan las velocidades de las ondas cortantes con parámetros geotécnicos, para suelos de características similares, tales como: resistencia al corte no drenado S_u , número de golpes del ensayo SPT, N_{60} , resistencia de punta de cono del ensayo CPT, q_c , u otros. Si se utilizan correlaciones, se debe considerar la incertidumbre en la estimación de las V_s por medio de rangos esperados. Se puede calibrar el perfil mediante mediciones de vibración ambiental, considerando la relación espectral H/V por medio de la técnica de Nakamura, para estimar el periodo elástico del subsuelo, donde el periodo elástico del subsuelo es $T_{elástico} = 4H/V_s$. No obstante, con la finalidad de disminuir las incertidumbres, se recomienda medir las V_s en campo por medios geofísicos, tales como: Sísmica de refracción, Análisis Espectrales de Ondas Superficiales, ReMi, Ensayos Downhole, Uphole o Crosshole.

1.2.4. Nec-15 para la clasificación del tipo de Perfil de Suelo

Para utilizar la clasificación de suelos, la NEC-SE-DS 15 “Peligro Sísmico” describe la utilización de varios métodos y los más comunes en usar son V_{s30} , SPT & Nakamura, que se propone como objetivo analizar la respuesta dinámica del sitio y cabe destacar que cada método se utiliza en un tipo de perfil de suelo. Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los 30 m superiores del mismo son: (a) la velocidad media de la onda de cortante, V_{s30} , en m/s. (b) el número medio de golpes del ensayo de penetración estándar para el 60% de la energía teórica, N_{60} , a lo largo de todo el perfil.

Además, definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la Tabla 1.2. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente NEC CAPÍTULO 2 perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil. Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, como los expuestos en la sección 10.5.4 (de la NEC) y la respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo. (NEC - 15, 2015)

Tabla 1.2 Clasificación de los perfiles de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $V_s \geq 760$ m/s
C	Perfil de suelo muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante, o	760 m/s > $V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios.	$N \geq 50$ $S_u \geq 100$ Kpa (= 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de onda de cortante, o	360 m/s > $V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$ 100 Kpa (= 1 kgf/cm ²) > $S_u \geq 50$ Kpa (= 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 metros de arcillas blandas.	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50$ Kpa (= 0.5 kgf/cm ²)
F	Los Perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un Ingeniero Geotecnista. Se contempla la siguiente subclase: F1: Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente sementados. F2: Turba o arcillas organizas y muy orgánicas (H > a 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3: Arcillas de muy alta plasticidad (H > a 7.5 m con índice de plasticidad IP > 75) F4: Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez media a blanda (H > 30 m) F5: Suelo con contraste de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blando y roca, con variaciones de bruscas de velocidades de ondas de corte. F6: Rellenos colocados sin control ingenieril.	

Fuentes: NEC – SE – DS, 2015

Entre los métodos para la clasificación de los perfiles de suelo más destacado o usados según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC – SE – DS, 2015) se encuentran el método de Vs30, SPT & Nakamura.

1.2.4.1. Ensayo de Penetración Estándar (Standard Penetration Test, SPT)

El ensayo de Penetración estándar o (SPT) es un ensayo de exploración que permite determinar las características del suelo en el mismo sitio, dicho ensayo está referido a la exploración y estudio del subsuelo y así con las muestras obtenidas en el mismo determinar contenido de humedad, granulometría, límite líquido, límite plástico y peso específico con lo cual se clasificará el tipo de suelo obtenido, Este ensayo consiste en hincar un punta metálica denominada TUBO SHELBY (CUCHARA cilíndrica y hueca) la cual es introducida en el suelo mediante la aplicación de una masa de 63,5 kilogramos que se deja caer libremente a una altura de 76,2 cm (imagen 1.2).

Se obtiene por medio de los dos procedimientos dados a continuación:

- Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo.
- El número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo, N₆₀, indistintamente que esté integrado por suelos no cohesivos o cohesivos.

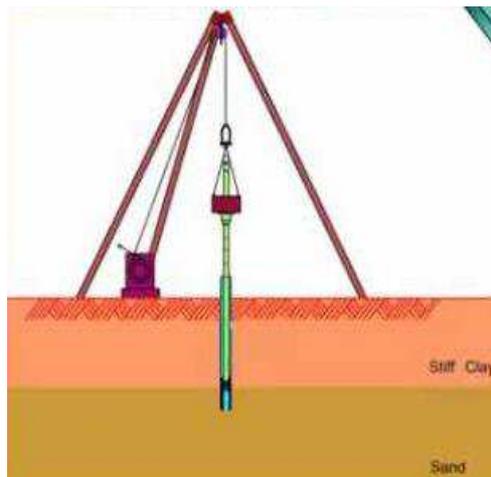


Imagen 1.2 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

Fuente: Instituto Nacional de Vías

También el ensayo permite la obtención del valor N el cual es la resistencia a la penetración o capacidad portante del suelo el cual consiste en la sumatoria del número de golpes que se dio para hincar el tubo Shelby en el estrato de suelo. (Alexis & Alexander, 2018)

1.2.4.2. Técnica de Nakamura o Cociente Espectral H/V

El método Nakamura (H/V) emplea mediciones de ruido ambiental, compuesto por ondas superficiales tipo Rayleigh, producido por la interacción viento-estructuras, tráfico y varias formas de actividades humanas.

El ruido sísmico existe en cualquier lugar de la superficie terrestre y es producido por el viento y ondas marinas, en forma natural, por elementos asociados a la actividad humana, en su forma artificial, esta última genera un mayor impacto. (Gálvez F., 2014)

Nakamura (1989) desarrolló la técnica basándose en tres hipótesis:

- 1) El ruido ambiental es generado por la reflexión y refracción de ondas de corte al interior de capas de suelo superficiales y por ondas de superficie.
- 2) Fuentes superficiales locales de ruido, no afectan el ruido ambiental en la base de la estructura no consolidada.
- 3) Capas de suelo suave no amplifican la componente vertical del ruido ambiental.

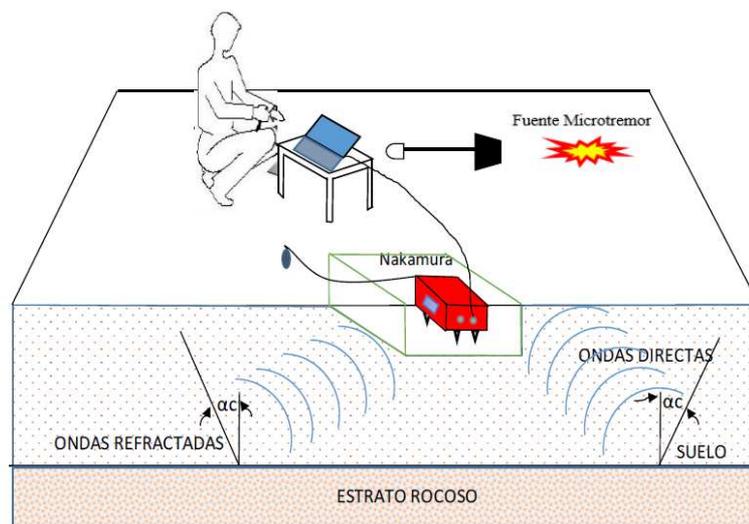


Imagen 1.3 Técnica de Nakamura.

Fuente: Aroca Alexander - Casamen Alexis, 2018.

La técnica que se basa en el análisis de **Microtremores** que son registrados mediante sensores triaxiales. El objetivo de esta técnica es evaluar las relaciones entre las componentes horizontales (N-S y E-O) con la componente vertical de un lugar para obtener el efecto de sitio, con lo que se podría estimar la frecuencia predominante del suelo mediante el ruido ambiental. (Calderón, Frau, Giolo, & Tornello, 2017)

Este método permite obtener el periodo fundamental del suelo y las amplificaciones asociadas. A pesar de esto, se han realizado diversas investigaciones experimentales las cuales han llegado a la conclusión de que las amplitudes obtenidas mediante este método no representan las amplificaciones de sitio. (Calderón, Frau, Giolo, & Tornello, 2017)

1.2.4.2.1. Microtremores

Los Microtremores según la (Universidad del Bío-Bío Chile, 2006) citada por (Flores, 2004) son también conocidos como una de las variedades de vibraciones provocadas por fuerzas ambientales de tipo natural o artificial. Estas vibraciones se componen fundamentalmente por ondas superficiales Rayleigh, las que se ven afectadas por la geología de los depósitos del sitio. Ahora, considerando diversos estudios se ha demostrado que el ruido medio ambiental se puede diferenciar en tres dominios de frecuencia (Bard, 1998), dentro de los cuales:

1.2.4.2.2. Baja frecuencia (<0,5 Hz) – microsismos

Se originan esencialmente por fuentes naturales que abarcan grandes dimensiones como los efectos de las olas marinas y las grandes perturbaciones atmosféricas, entre otras. Además, estos microsismos tienen un carácter estacionario ya que sus propiedades estadísticas no presentan un cambio a través del tiempo en la escala de horas y días.

1.2.4.2.3. Alta frecuencia (> 1 Hz) – microtemblores

Este tipo de frecuencia se origina sustancialmente por fuentes antropogénicas, las cuales están compuestas por efectos del tráfico vehicular y peatonal, actividades industriales, etc., en ocasiones también pueden originarse por fuentes naturales, pero en una escala local como es el viento provocado por edificios y plantas. Este tipo de vibración presenta cambios representativos en la escala antropogénica según la zona horaria ya sea por trabajos o días de fiestas.

1.2.4.2.4. Frecuencia intermedia (1 Hz y 0,5 Hz)

Este tipo de frecuencia depende de las características del subsuelo, de esta forma tanto las fuentes de vibraciones naturales como las antropogénicas condicionan un nivel variable de estacionariedad de caso a caso. Un ejemplo de esto el oleaje de costas cercanas. Se debe considerar que si existen solo sitios ubicados en la roca y distanciados de los centros urbanos o zonas industriales, las propiedades espectrales de vibraciones ambientales medianas generan una forma espectral en gran medida independiente de la posición. (Universidad del Bío-Bío Chile, 2006).

1.2.5. Ondas Rayleigh

Se forman en la superficie de la Tierra y hacen que las partículas se desplacen según una trayectoria elíptica retrograda. Sin embargo, como las propiedades de las ondas Rayleigh son dependientes de la frecuencia en medios verticales heterogéneos, estos tipos de ondas son utilizadas para representar y caracterizar el subsuelo superficial. (Pulido Vásquez & Rodríguez Gutiérrez, 2015)

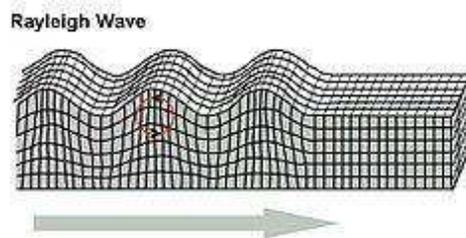


Imagen 1.4 Onda sísmica Rayleigh

Fuente: Caldero, 2017.

Se estima que los microtremores contienen predominantemente ondas Superficiales, por lo que la relación espectral H/V es igual a la función de transferencia de dichas ondas entre la superficie y la base de la capa sedimentaria; así, el pico del espectro resultante es el correspondiente a la frecuencia fundamental del sitio. De esta manera, la excitación de la capa superficial provoca la amplificación del efecto de sitio producto de las ondas S. Por otro lado, las ondas Rayleigh que se propagan en las capas sedimentarias sobre lechos rocosos provocan el mismo efecto en las componentes horizontales y verticales del movimiento en la superficie. La metodología propuesta por Nakamura trata de eliminar el efecto que producen

las ondas Rayleigh, de esa manera la función de transferencia queda determinada por ondas de cuerpo Superficiales. (Calderon, 2017)

1.2.6. Criterio SESAME

El criterio SESAME posee como tema importante la estimación del efecto de sitio para la mitigación del riesgo sísmico, poniendo especial atención a las áreas urbanas. Se enfoca en dos técnicas de bajo costo que utilizan vibraciones sísmicas ambientales y tiene como objetivo aclarar su capacidad real para proporcionar información útil, directa o indirecta, para estimaciones de amplificación local.

La primera técnica, es la llamada técnica H/V propuesta por Nakamura, el segundo, más avanzado, utiliza mediciones de matrices de ruido para derivar las curvas de dispersión de las ondas superficiales y de ahí el perfil de velocidad. El trabajo propuesto incluye una parte teórica y numérica para comprender mejor la naturaleza del ruido sísmico y para desarrollar herramientas numéricas validadas para simular el ruido sísmico en entornos arbitrarios. También incluye investigaciones exhaustivas experimentales y de procesamiento de datos para evaluar claramente la estabilidad, robustez, fiabilidad y significado físico de estas dos técnicas. (SESAME-Geopsy, 2001)

Este criterio es un proyecto de investigación europeo realizado durante tres años, que se creó con el objetivo de tener un procedimiento de análisis y evaluación fiable de riesgo y estrategia de mitigación sísmica. Se basa en la caracterización de efectos de sitio utilizando grabaciones ambientales (microtremores) combinadas con la técnica de razón espectral H/V (HSVR).

Para la comprobación de resultados de frecuencia y periodo fundamental, entrega nueve criterios que se enfocan en obtener una gráfica con una curva confiable y un peak claro o definido. (Saldivia Pantanalli, 2014)

Curva H/V confiable:

- i. $f_0 > \frac{10}{l_w}$
- ii. $n_c(f_0) > 200$

- iii. $\sigma_A(f) < 2$ para $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$ si $f_0 > 0.5Hz$
 O $\sigma_A(f) < 3$ para $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$ si $f_0 < 0.5Hz$

Peak H/V claro (por lo menos 5 de los 6 criterios cumplidos)

- i. $\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0 \right] A_{\frac{H}{V}}(f^-) < \frac{A_0}{2}$
 ii. $\exists f^+ \in [f_0, 4 * f_0] A_{\frac{H}{V}}(f^+) < \frac{A_0}{2}$
 iii. $A_0 > 2$
 iv. $f_{peak} * \left[A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
 v. $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
 vi. $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Donde:

- l_w = longitud de la ventana
- n_w = número de ventanas seleccionadas para la curva media de H/V.
- $n_c = l_w * n_w * f_0$ = número de ciclos significativos.
- f = frecuencia actual
- f_0 = frecuencia Peak de H/V.
- σ_f = desviación estándar de la frecuencia Peak de H/V ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = valor umbral para la condición de estabilidad $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = Peak de amplitud de H/V a la frecuencia f_0
- $A_{\frac{H}{V}}(f)$ = Peak de amplitud de la curva H/V a la frecuencia f
- f^- = frecuencias entre $\frac{f_0}{4}$ y f_0 para que $A_{\frac{H}{V}}(f^-) < \frac{A_0}{2}$
- f^+ = frecuencia entre f_0 y $4 * f_0$ para que $A_{\frac{H}{V}}(f^+) < \frac{A_0}{2}$
- $\sigma_A(f)$ = “desviación estándar” de $A_{\frac{H}{V}}(f)$, $\sigma_A(f)$ es el factor por el cual la curva media $A_{\frac{H}{V}}(f)$ debe ser multiplicada o dividida.
- $\theta(f_0)$ = valor umbral para la condición de estabilidad $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

2. CAPITULO II: MATERIALES Y METODOS

2.1. Metodología de la Investigación

El objetivo de este trabajo de investigación es realizar el ajuste a las ecuaciones Ghofrani-Atkinson para tenerlo como alternativa de obtención para el parámetro Vs30 y la clasificación de suelos según Nec-15, partiendo de la información de diferentes estudios realizados en la ciudad de Manta, el cual consistió en obtener el parámetro Vs30 a partir de ensayos de refracción sísmica con los diferentes métodos activos, pasivos y combinados. De los 26 puntos que se eligieron para esta investigación se obtuvieron las frecuencias fundamentales de vibración del suelo de cada punto mediante la técnica de Nakamura o cociente espectral H/V. Con los datos obtenidos se aplicó las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson, que debe dar como resultado el parámetro Vs30 y clasificarlos según la Nec-15.

Este proyecto de investigación está basado en el método Hipotético-Deductivo puesto que a partir de la información obtenida mediante trabajo de campo experimental y trabajo de gabinete se podrá confirmar o desmentir la hipótesis planteada al problema expuesto.

2.2. Técnicas de Investigación

Para llegar al objetivo planteado de la investigación se usaron las siguientes técnicas de investigación:

2.2.1. Revisión Bibliográfica:

Se reunió información sobre publicaciones científicas e investigaciones de “Las Ecuaciones de Ghofrani & Atkinson”. Además, datos para el análisis de la investigación, como es la velocidad de onda de corte a una profundidad de 30 metros (Vs30) junto a sus coordenadas de estudio.

2.2.2. Visita de campo:

Se realizó un reconocimiento de los puntos donde se efectuaron los estudios geofísicos dentro de la Ciudad de Manta para determinar los sitios más apropiados y llevar a cabo la recolecta de datos ayudándose por el aparato sismómetro triaxial Geobox SR04 de “SARA electronic instruments”, que en campo se nivela y se toman los datos de importancia guiándose con las condiciones que SESAME sugiere para obtener datos confiables, además en ciertos puntos se pidió los permisos correspondientes para ingresar a diferentes lugares de acceso restringido.

2.3. Información de los puntos de velocidad de onda de corte (Vs30)

A continuación, se presentan los datos obtenidos una vez realizada la revisión de documentos e información brindada. De esta manera se muestran los datos de ensayos geofísicos realizados por diferentes autores, como la tesis tutorada por el Dr. Roberto Aguiar de la Ing. Anabel Vega, de la empresa de consultora CONGEOTEC y del Ing. Hugo Bonifaz, los cuales nos brindaron la información vital para realizar nuestra investigación. Se realizaron 3 puntos de refracción sísmica, con esto se llegó a un total de 19 puntos.

2.3.1. Información brindada por la empresa consultora CONGEOTEC.

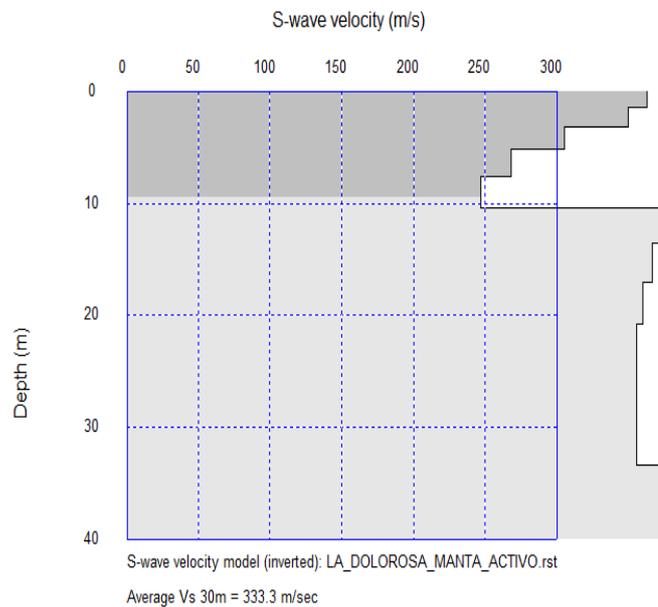


Imagen 2.1. Velocidad de onda de corte Método activo. Iglesia la Dolorosa

Velocidad de onda de corte Método activo. Iglesia la Dolorosa Vs30= 333,3 m/seg
Fuente: consultoría CONGEOTEC (2017)

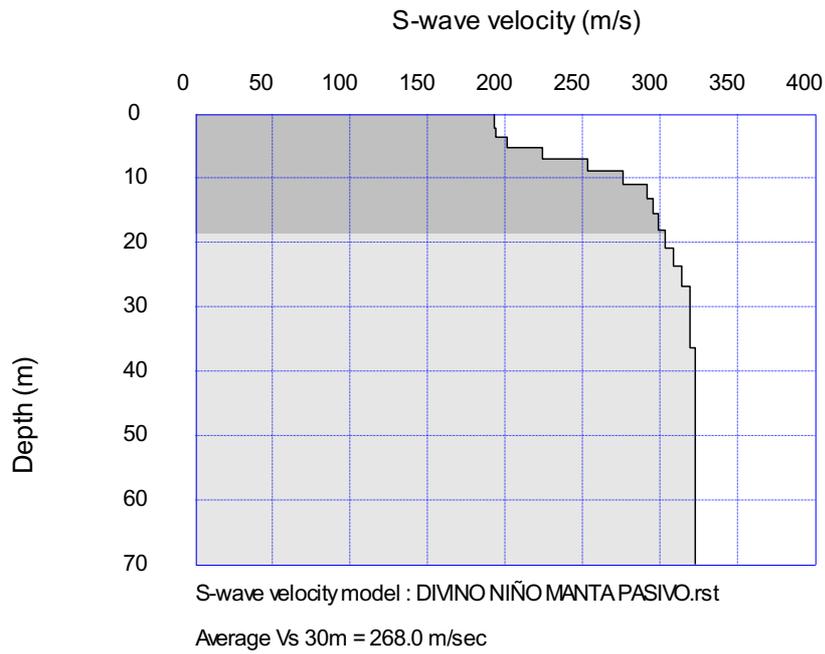


Imagen 2.2. Velocidad de onda de corte Método Pasivo. Iglesia Divino Niño

Velocidad de onda de corte Método pasivo. Iglesia Divino Niño Vs30= 268,0 m/seg
 Fuente: consultoría CONGEOTEC (2017)

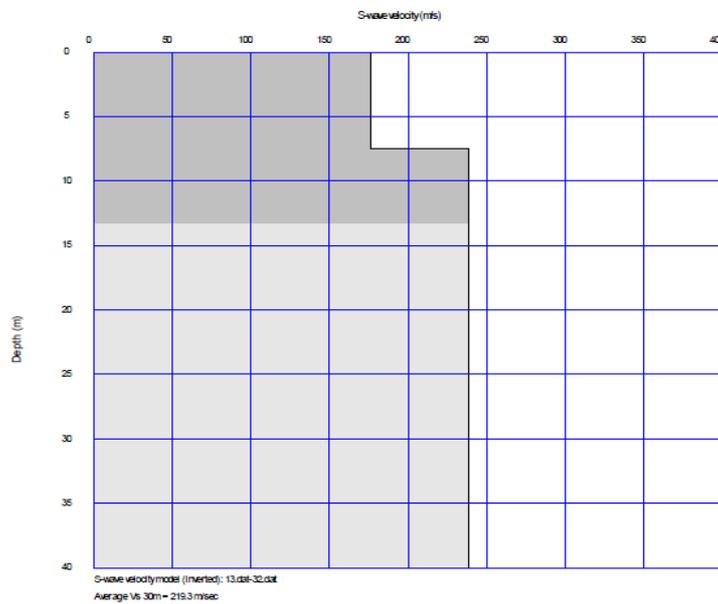


Imagen 2.3. Velocidad de onda de corte Método activo. Centro de eventos Tahalí

Velocidad de onda de corte Método activo. Centro de eventos Tahalí Vs30= 219,3 m/seg
 Fuente: consultoría CONGEOTEC (2016)

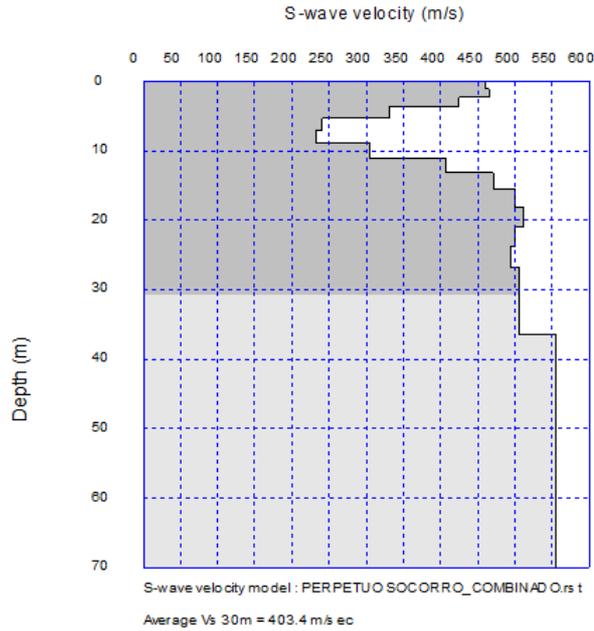


Imagen 2.4. Velocidad de onda de corte Método combinado. Iglesia Parroquial Perpetuo Socorro Manta

Velocidad de onda de corte Método combinado. Iglesia Parroquial Perpetuo Socorro Manta
Vs30= 403,40 m/seg
Fuente: consultoría CONGEOTEC (2016)

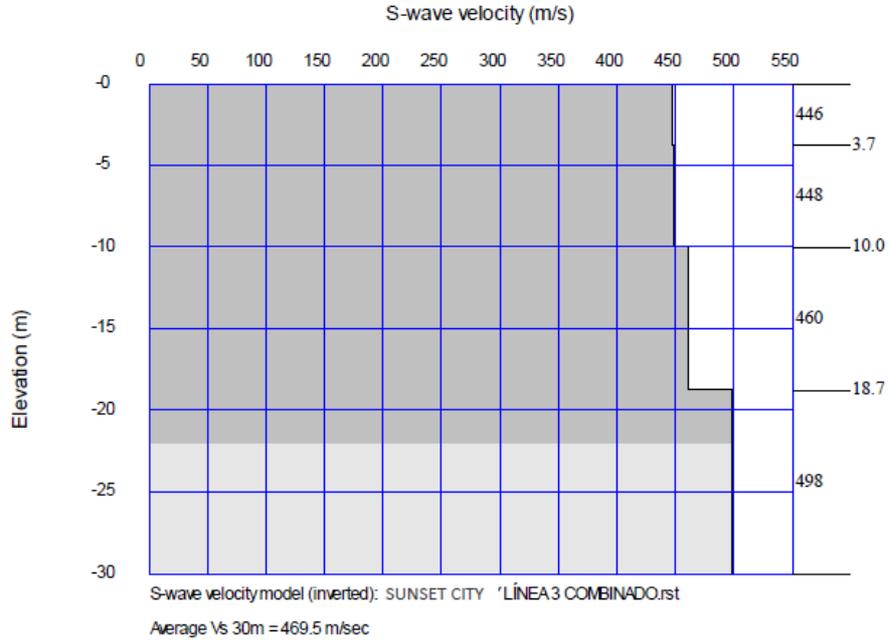


Imagen 2.5. Velocidad de onda de corte Método Combinado. Sunset City

Velocidad de onda de corte Método Combinado. Sunset City Vs30= 469,5 m/seg
Fuente: consultoría CONGEOTEC (2016)

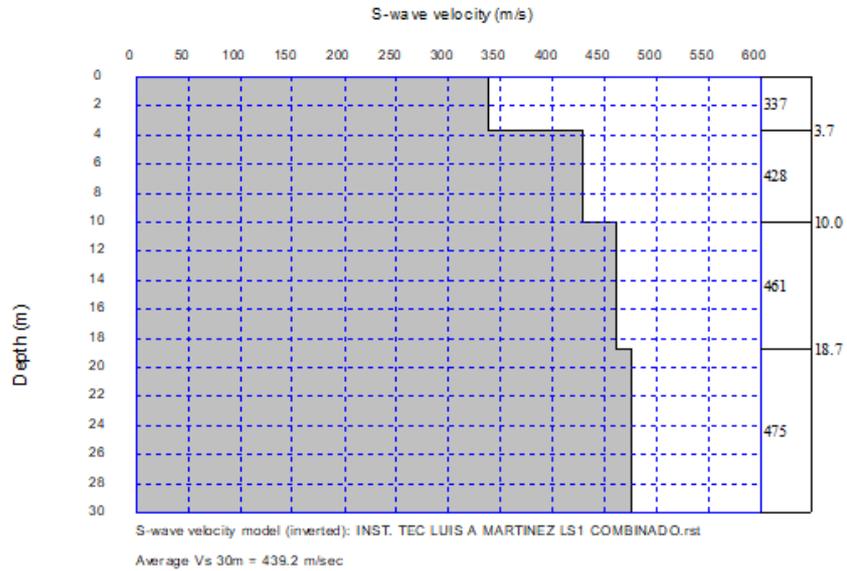


Imagen 2.6. Velocidad de onda de corte Método Combinado. Instituto Técnico Luis Arboleda Martínez

Velocidad de onda de corte Método Combinado. Instituto Técnico Luis Arboleda Martínez
 $V_{s30} = 439,2$ m/seg
 Fuente: consultoría CONGEOTEC (2016)

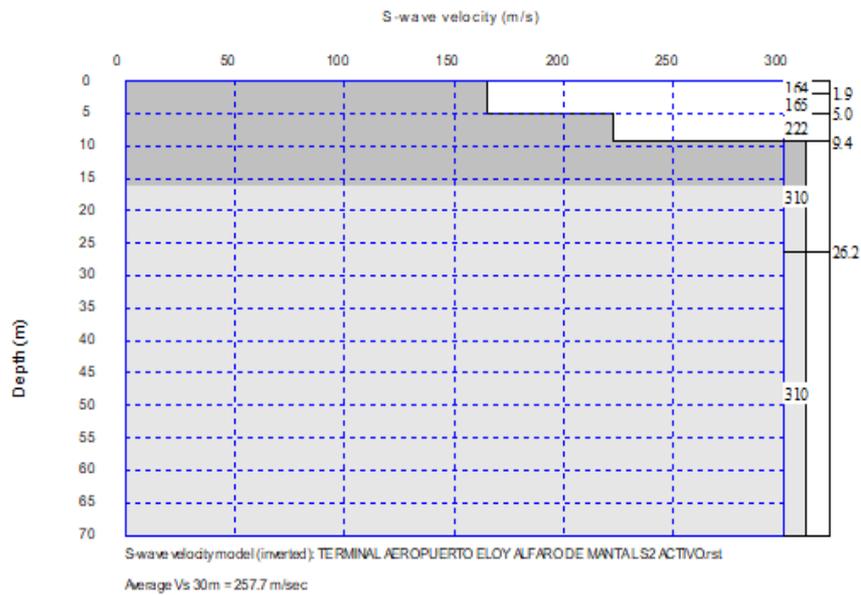


Imagen 2.7. Velocidad de onda de corte Método activo. Terminal Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta LS2

Velocidad de onda de corte Método activo. Terminal Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta LS2
 $V_{s30} = 257,7$ m/seg
 Fuente: consultoría CONGEOTEC (2016)

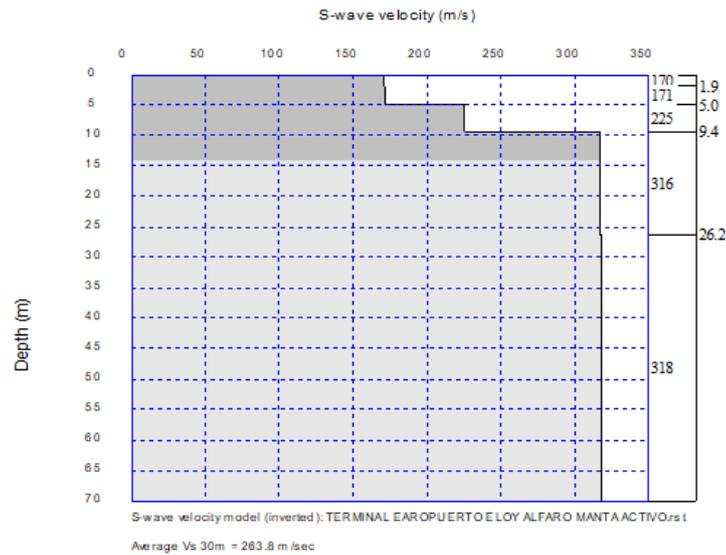


Imagen 2.8. Velocidad de onda de corte Método activo. Terminal Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta LS1

Velocidad de onda de corte Método activo. Terminal Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta LS1
Vs30= 263,8 m/seg

Fuente: consultoría CONGEOTEC (2016)

2.3.2. Información brindada por el Dr. Roberto Aguiar & Ing. Hugo Bonifaz

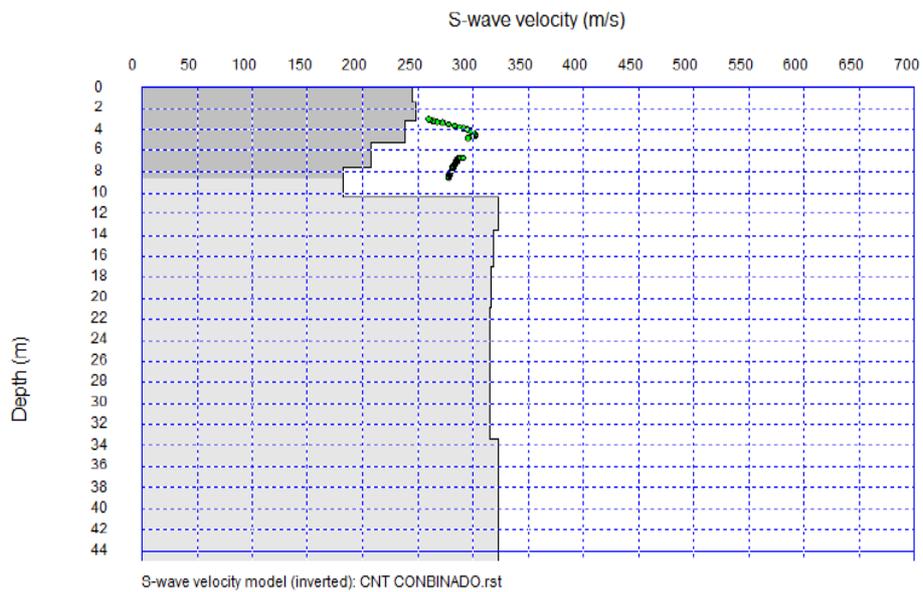


Imagen 2.9. Velocidad de onda de corte Método combinado. CNT

Velocidad de onda de corte Método combinado. CNT Vs30= 270 m/seg

Fuente: Dr. Aguiar & Ing. Bonifaz (2017)

Tabla 2.1. Velocidades de onda de corte de información compartida por docente.

#	Lugares dentro de la ciudad de Manta	E-O	N-S	Vs30
1	CNEL NUEVO	531005	9895009	192,30
2	CNEL TARQUI	531668	9894850	210,00

Fuente: Ing. Hugo Bonifaz (2016)

2.3.3. Vs30 medidos

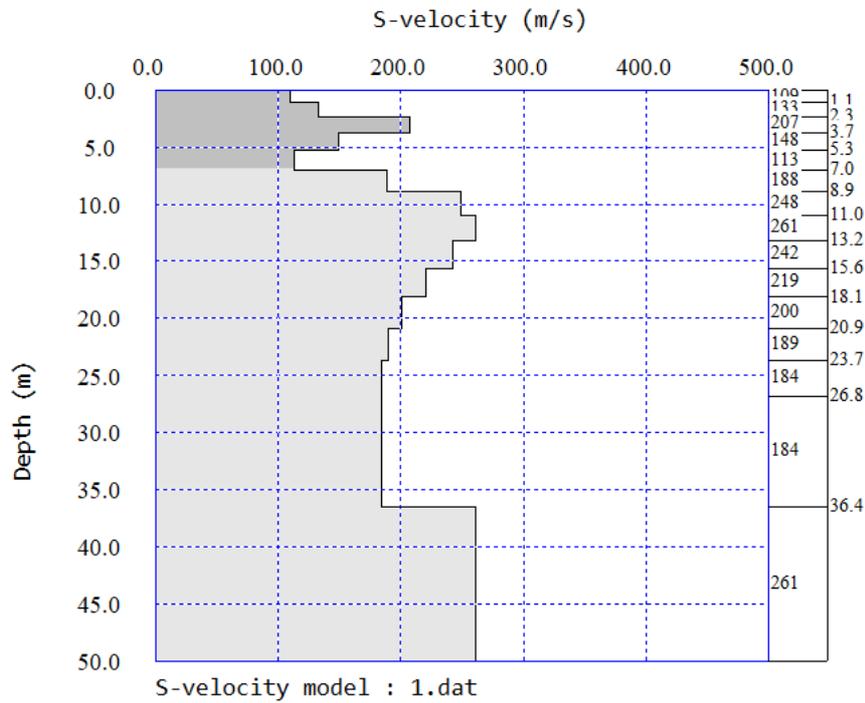


Imagen 2.10. Velocidad de onda de corte Método activo. Colegio Tarquí

Velocidad de onda de corte Método activo. Colegio Tarquí Vs30= 261 m/seg
Fuente: Los autores

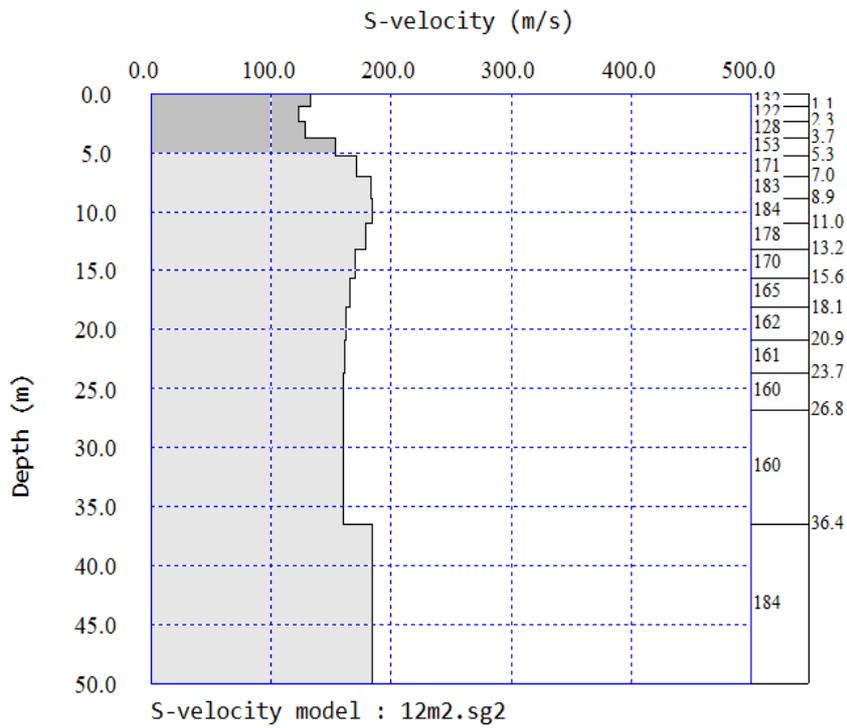


Imagen 2.11. Velocidad de onda de corte Método activo. C.C Pasaje Felipe Navarrete

Velocidad de onda de corte Método activo. C.C Pasaje Felipe Navarrete Vs30= 184 m/seg
Fuente: Los Autores

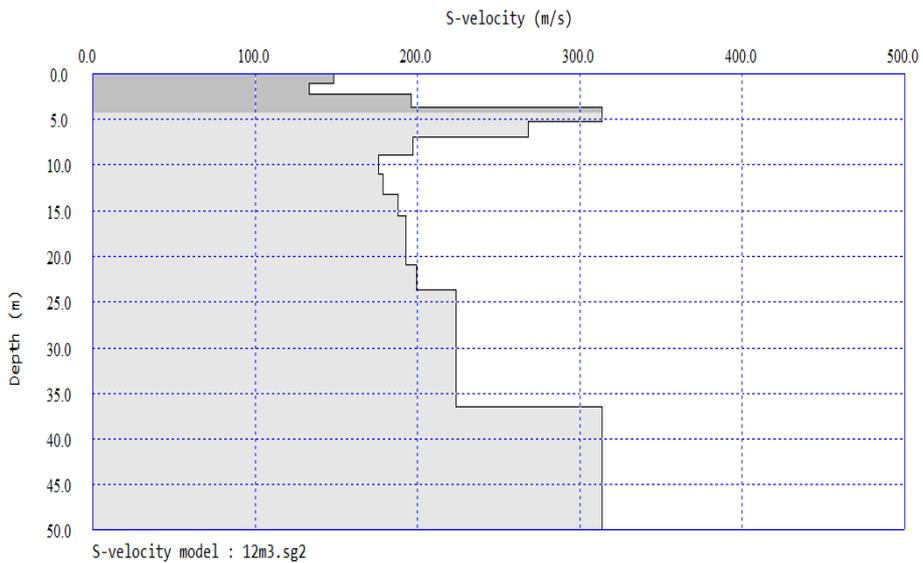


Imagen 2.12. Velocidad de onda de corte Método activo. Las Cumbres

Velocidad de onda de corte Método activo. Las Cumbres Vs30= 277.9 m/seg
Fuente: Los autores

2.3.4. Vs30 tomados de otros estudios.

Tabla 2.2. Velocidades de onda de corte obtenidas de proyecto de titulación.

#	Lugares dentro de la ciudad de Manta	E-O	N-S	Vs30
1	LA PAZ	532295	9893300	295,00
2	BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	532298	9893080	300,00
3	BARRIO JOCAY	531455	9894048	235,00
4	BARRIO MIRAFLORES	531262	9894422	215,00
5	1 DE MAYO	531749	9894638	235,00
6	BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	530199	9893600	210,00

Fuente: Ing. Anabel Vega (2018)

Para la presente investigación se escogieron 19 puntos de estudios que están presentados en la Tabla 2.3. La elección de los puntos se realizó por simple inspección tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- Los lugares debían estar en diferentes zonas de la ciudad de Manta para no obtener datos muy cercanos, a menos que la diferencia entre Vs30 de cada punto fuese considerable
- Los lugares debían estar alejados lo más posible del tráfico vehicular y de maquinarias para que los registros obtenidos no estuviesen muy alterados.
- Los lugares de estudio no debían estar en zonas suburbanas por seguridad.

Una vez considerados estos parámetros, los puntos elegidos para realizar el estudio fueron los siguientes (Ver imagen 2.13):

Tabla 2.3 Puntos de Vs30 realizados en la Ciudad de Manta.

<i># de puntos</i>	<i>LUGAR</i>	<i>E-O</i>	<i>N-S</i>
1	CNEL TARQUI	531668	9894850
2	BARRIO JOCAY	531455	9894048
3	BARRIO MIRAFLORES	531262	9894422
4	IGLESIA LA DOLOROSA	530266	9894702
5	IGLESIA DIVINO NIÑO	533567	9892810
6	LA PAZ	532295	9893300
7	CNEL NUEVO	531005	9895009
8	CNT	530898	9895441
9	C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	531593	9894587
10	CENTRO DE EVENTOS TOHALI	532233	9894673
11	1 DE MAYO	531749	9894638
12	BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	530199	9893600
13	BARRIO LAS CUMBRES	530885	9892626
14	BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	532298	9893080
15	COLEGIO TARQUI	531898	9893110
16	IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	529361	9895808
17	INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	534007	9891208
18	AEROPUERTO DE MANTA LS1	535135	9894620
19	AEROPUERTO DE MANTA LS2	535150	9894878

Fuente: Los Autores

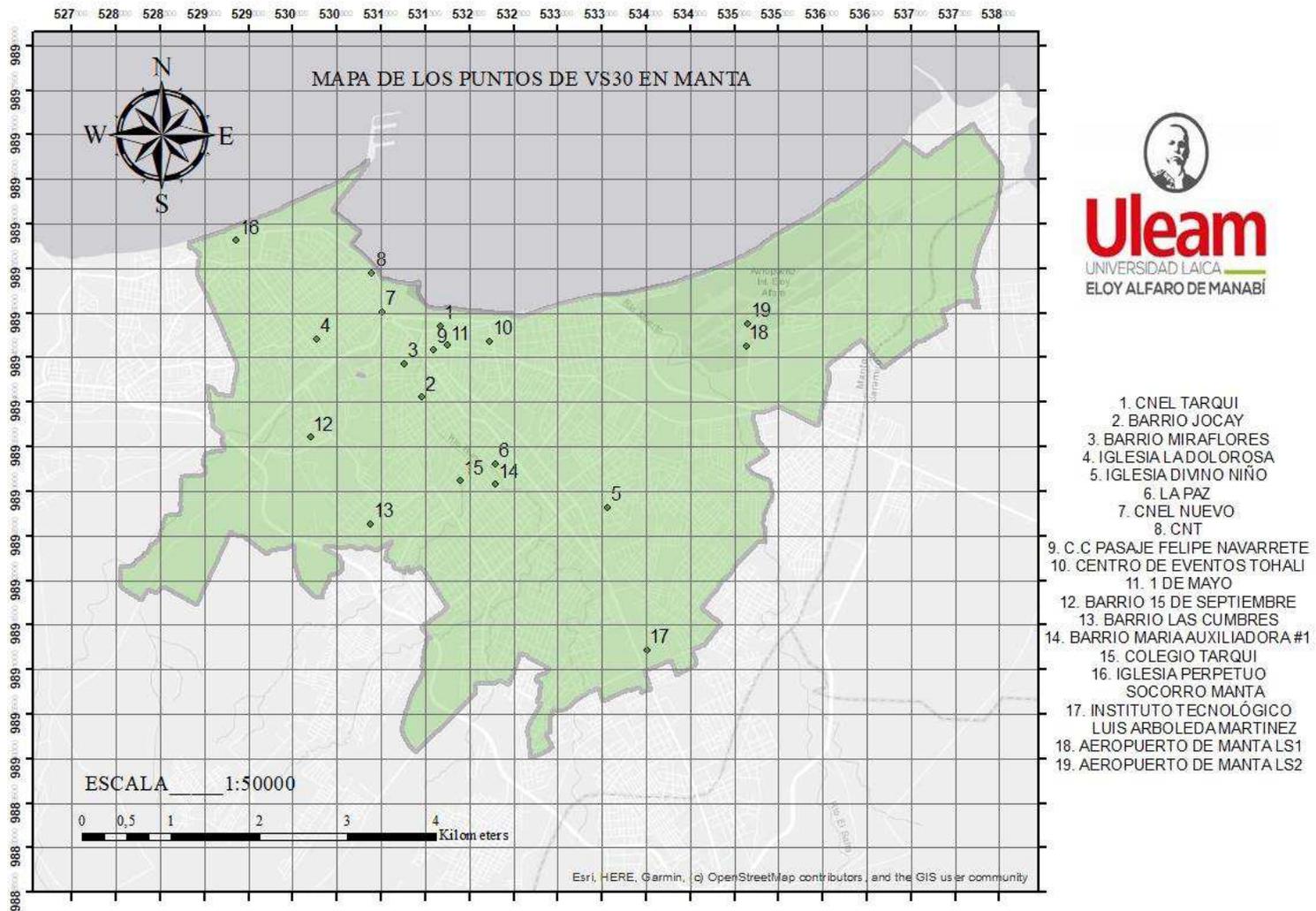


Imagen 2.13. Ubicación de los puntos de estudio dentro de la ciudad de Manta.
Fuente: Los Autores

2.4. Ensayos Geofísico refracción sísmica

Dentro de los métodos sísmicos de la geofísica aplicada se encuentran los de refracción y reflexión sísmica. En estos métodos se mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación.

Para esto se disponen una serie de sensores en línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción o reflexión sísmica. A una distancia conocida del extremo del tendido, en el punto de disparo, se generan ondas sísmicas, con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos, las cuales inducen vibraciones en el terreno que son detectadas por cada uno de los sensores en el tendido. El equipo que fue manipulado cuenta con unas características técnicas en la unidad de adquisición de datos que se presentan en la tabla 2.4

2.4.1. Características técnicas del equipo con el cual se levantó 6 puntos de velocidad de onda de corte a los 30m.

Tabla 2.4 Características técnicas la unidad de adquisición del equipo

Adquisición

<i>Resolución de muestra</i>	24 bits, tecnología delta-sigma
<i>Número de canales</i>	Norte. 12 (24 con kit de expansión)
<i>Ancho de banda</i>	2Hz-30 kHz
<i>Distorsión máxima</i>	+/- 0.0010%
<i>Rechazo de modo común</i>	110 db a 60 Hz
<i>Diafonía</i>	-128 db a 20 Hz
<i>Cantidad de muestras por evento</i>	Configurable de 1024 a 21800 con un aumento de 512
<i>Muestreo interno</i>	1/30, 1/15, 1 / 7.5, 1 / 3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms en grabación continua
<i>Nivel de amplificación</i>	0db, 6db, 12db, 18db, 24db, 30db, 36db
<i>Umbral de ruido de amplificación configurable</i>	27nv
<i>Precisión de disparo</i>	1/30 de tiempo de muestreo
<i>Rango máximo de señal de entrada</i>	+/- 5v
<i>Desencadenar</i>	Positivo, negativo (opcional en bloqueo de contacto) Umbral ajustable
<i>Tiempo previo al disparo</i>	De 1 a 20 ms, 50, 100, 200, 300, 400, 500 ms;
<i>Modo de adquisición</i>	Con disparador externo en 24 canales, a la vez en un máximo de 12 canales; auto calibración interna de convertidores
<i>Filtros digitales</i>	Seleccionado automáticamente según la frecuencia de muestre

Fuente: Los Autores

El equipo en su manual de manejo especifica las características generales del equipo, las cuales se pueden observar en la tabla 2.3

Tabla 2.5 Características generales del equipo

General	
<i>Fuente de alimentación</i>	Batería integrada 132v / 7ah
<i>Peso</i>	6 kilogramos
<i>Dimensiones unitarias</i>	33.9 * 39.5 * 15.2cm
<i>Absorción media</i>	300 ma (12 canales), 500 ma (24 canales)
<i>Duraciones operativas promedio</i>	Aproximadamente 21 horas con carga de batería interna pack
<i>Condiciones ambientales de trabajo</i>	Aproximadamente 12 horas con el uso de 24 canales
<i>Interface de comunicación</i>	Temperatura (c): - 20 - 80; humedad relativa (hr): 0-90%
<i>Modo de recarga</i>	A través de la carga de batería proporcionada
<i>Gestión y configuración</i>	Usb (requiere una pc de administración); vg
<i>Almacenamiento de datos</i>	Dentro del disco duro de la computadora;
<i>Formato de datos</i>	Estándar seg-2 (entero largo de 32 bits) o ascii
<i>Documentación</i>	Italiano, inglés, español
<i>Software de gestión</i>	Windows xp, fvista, windows 7 a 32 bits, windows10

Fuente: Los Autores

Como parte de esta investigación también se optó por obtener las velocidades de onda de corte, para realizar los puntos nos ayudamos con el equipo de refracción sísmica que es aplicable en la rama geotecnia, este equipo reposa en las instalaciones de la ULEAM en el laboratorio “Ing. Bolívar Ortiz Logroño”, de la facultad de Ingeniería Civil. Se debe resaltar que el equipo tiene un valor considerable y que al momento de salir a los distintos puntos dentro de la ciudad de Manta nos tocó coordinar con la UNIDAD DE VIGILANCIA COMUNITARIA (UVC), y el coronel a cargo nos brindó el resguardo policial para cada uno de los puntos de estudios, el resguardo es uno de los requisitos para poder sacar el equipo fuera de la ULEAM.

2.4.2. Partes del equipo de refracción sísmica

El equipo básico consiste de los sensores; la unidad de adquisición, en donde se almacenan los movimientos del terreno detectados por cada sensor; los cables de conexión entre los sensores y la unidad de adquisición; el cable del trigger, que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en la unidad de adquisición, revisar en el Anexo A.1 – A.2.

Los puntos donde se realizó este ensayo geofísico fueron en 6 sectores que se presentan en la tabla 2.5 con sus respectivas coordenadas.

Tabla 2.6 Puntos donde se realizaron ensayo geofísico

# de puntos	LUGAR	E-O	N-S
1	COLEGIO TARQUI	531898	9893110
2	C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	531593	9894587
3	BARRIO LAS CUMBRES	530885	9892626

Fuente: Los Autores

Una vez que se identifica los puntos se inicia con el ensayo de refracción sísmica. El instrumento debe ser colocado según sea conveniente el estudio y se debe fijar bien los 12 geófonos en la superficie del suelo, en algunos puntos se presentaba características de suelo duro que con la ayuda de un cincel y un martillo se hizo un hueco en el suelo y se procedió a colocar el geófono.

2.4.3. Toma de registro de refracción sísmica en los puntos de investigación.

Los registros del ensayo geofísico en los lugares se realizaron con total normalidad, ya que se tomó las debidas precauciones en cada situación, para ello se gestionó el resguardo policial y tener una mayor seguridad. En las grabaciones se evitó que se registraran ruidos generados por agentes externos como vehículos, construcciones, peatones, etc. Se localizaron lugares donde no haya interrupción al momento del grabado y en su mayoría se los realizo en lotes baldíos y calles poco transitadas, como se muestra en la imagen 2.14.



Imagen 2.14. Registro de ensayo geofísico, A) 15 de Septiembre; B) Las Cumbres T29; C) Colegio Tarquí; D) Cerca del C.C Pasaje Felipe Navarrete.

Fuente: Los Autores

2.4.4. Programa utilizado en la toma del registro:

Para la grabación de la onda P que viaja en el suelo se utilizó un computador en el que está instalado el Software SysmaTrack como se muestra en la imagen 2.15A, en donde se toma el registro del golpe que se le da a la placa metálica. Este programa permite observar el primer arribo del golpe que se realice y de igual forma visualizar la onda que viaja a los 12 geófonos, obteniendo con ello el registro y posteriormente se guardar.

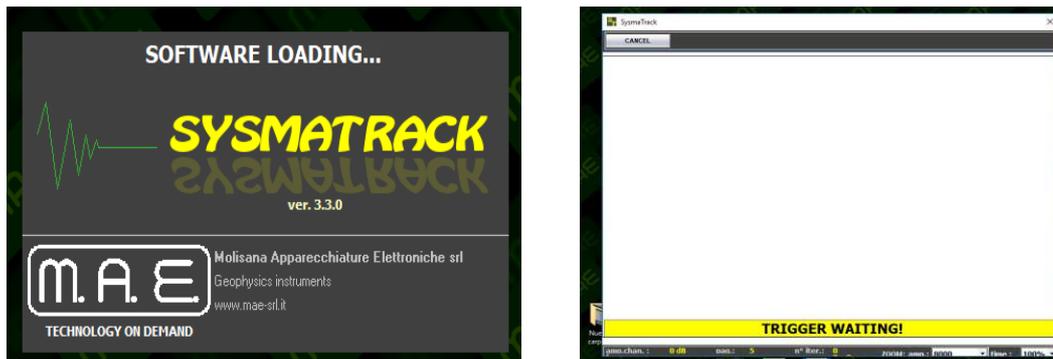


Imagen 2.15. A) Programa SYAMATRACK; B) Grabación de registros de la onda P.

Fuente: Los Autores

Luego de realizar todo este proceso, se empieza la práctica donde en cada toma se debe ir a la opción de **ACQUISITION**.



Imagen 2.16. Programa de SysmaTrack, opción para iniciar la grabación del registro.

Fuente: Los Autores

El programa emite un mensaje como se aprecia en la Imagen 2.15B para decirnos que se puede dar el golpe. Algo que se debe considerar, es que cada captura se debe guardar en una carpeta y el nombre del archivo se lo guarda en orden según el practicante vea conveniente.



Imagen 2.17 Registro de ensayo geofísico en el sector de 15 de Septiembre.
Fuente: Los Autores

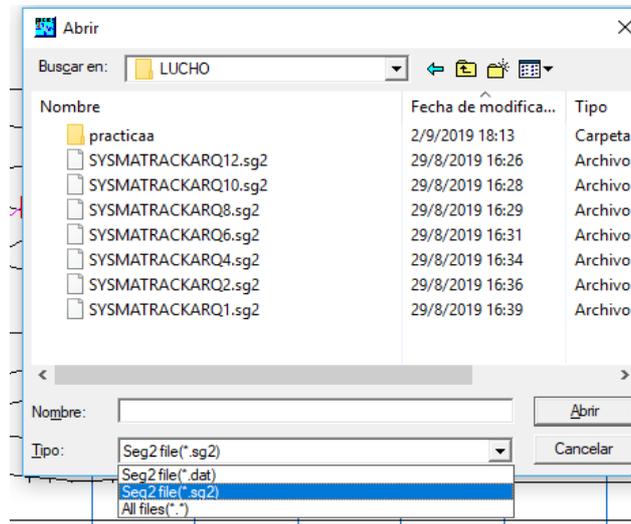
Una vez realizado el estudio en los puntos antes mencionados se procedió a realizar un trabajo de gabinete, donde se necesitó la ayuda del software PickWin y Plotrefa. El programa PickWin nos permite analizar los registros de los golpes que se realicen en el ensayo y estos se deben guardar. El programa Plotrefa nos permite realizar un modelo topográfico de los registros que se procesan en PickWin.

El procesamiento de datos en PickWin y Plotrefa se resume de la siguiente manera:

Luego de finalizar el trabajo de campo y obtener los registros de cada uno de los puntos del área de estudio se continúa con el trabajo de gabinete, para procesar los registros y obtener la velocidad de onda de corte.

2.4.5. Cargar grabaciones de la onda P al software.

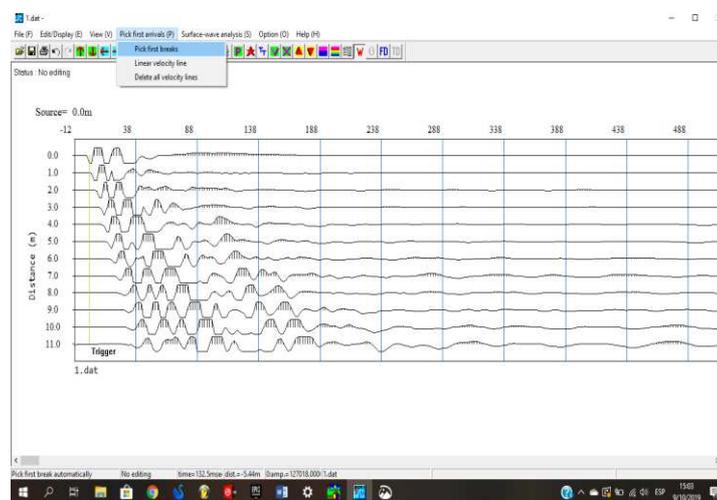
El programa direccionará hasta la carpeta donde esten guardados los archivos de los registros. (Ver Imagen 2.18)



*Imagen 2.18 Cargar registro de refracción sísmica en PickWin.
Fuente: Los Autores*

2.4.5.1. Seleccionar la opción “Pick first breaks”.

En esta opción tenemos la libertad de seleccionar el primer arribo de la onda P, se debe considerar la ubicación de donde se realice el Golpe, en el ejemplo que se ve en la figura (Ver Imagen 2.19) el Source= está ubicado a 0.0 m ya que fue un golpe inicial y si se desea cambiar ese valor se presiona Ctrl+k y se podrá configurar según se haya realizado el ensayo.



*Imagen 2.19. Selección de opción “Pick first breaks”
Fuente: Los Autores*

2.4.5.2. Paso de PickWin a Plotrefa

Una vez analizados los resultados se pretende tener un modelo como se ve en la Imagen 2.20, donde indica el arribo la onda.

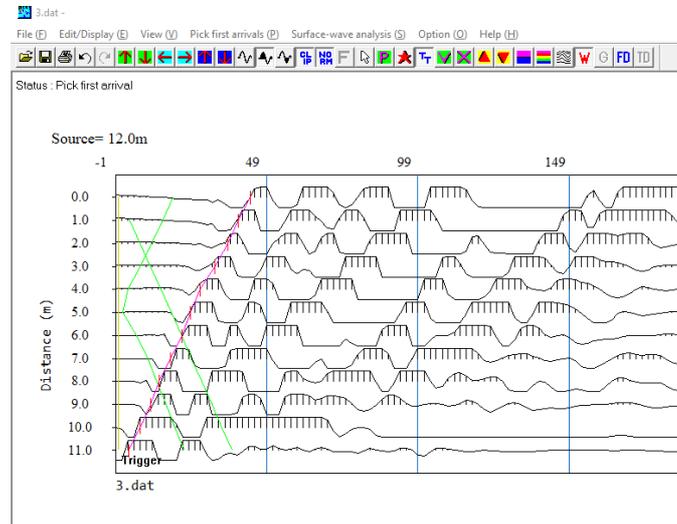


Imagen 2.20. Arribo de la Onda P en los tres registros.
Fuente: Los Autores

Se procede a grabar en la opción **save pick file** y se le coloca su respectivo nombre, se abre el programa Plotrefa y se busca el archivo recién guardado donde nos graficara las isócronas como se observa en la imagen 2.21.

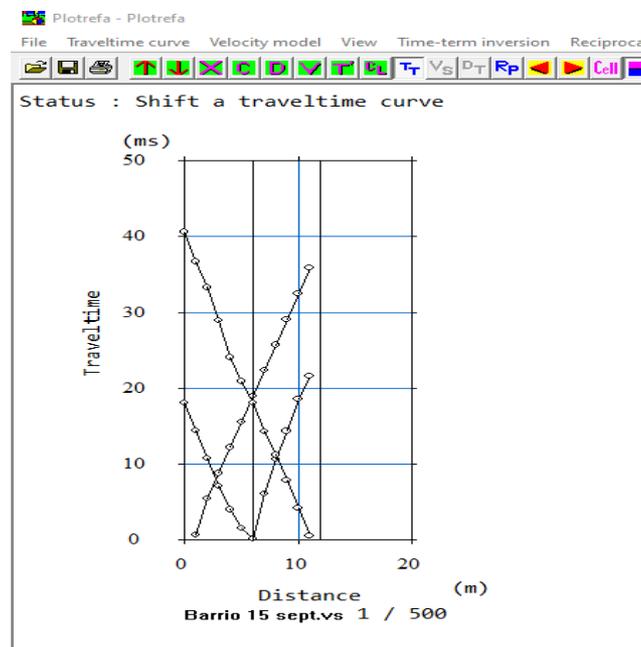


Imagen 2.21. Gráfico de la isócrona del punto dentro del sector 15 de septiembre

Fuente: Los Autores

2.4.6. Inicio de procesamiento

Al seleccionar la opción “Tomography” “Generate Model Initial” el software genera una tomografía automática de las selecciones de la onda primaria como viaja en cada geófono. Luego, se muestra en la gráfica la tomografía con una escala de colores con sus respectivas velocidades en m/s.

2.4.7. Obtención de Resultados

Después de procesar los datos, se hizo un promedio entre los valores dados de velocidad y así obtener una velocidad promedio de onda de corte, este proceso se realizó a los 6 puntos para tener ese valor, ya que en estos puntos investigados contaban con un estudio realizado sobre Vibraciones Ambientales. (Ver Imagen 2.22).

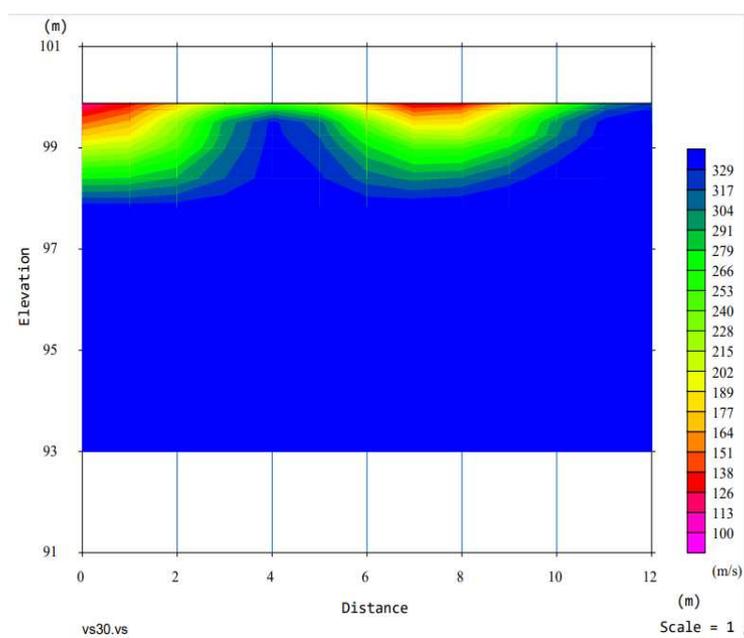


Imagen 2.22. Resultados de la Tomografía del sector 15 de septiembre.

Fuente: Los Autores

Este procedimiento se realizó en 6 lugares de los cuales solo 3 de los resultados de estudio quedaron como aporte para esta investigación y los puntos restantes de la velocidad de onda de corte fueron investigados. Luego se procedió al registro de mediciones de vibraciones ambientales para un total de 20 puntos con los cuales se desarrolló la investigación, a continuación, se presenta el proceso para el estudio de vibraciones ambientales.

La toma de puntos de la investigación fue registrada bajo las condiciones mencionadas en el capítulo 1 (criterio SESAME), tomando las debidas precauciones en cada situación y en cada

registro se tomaron los datos de campo. Para evitar el tráfico vehicular, las lecturas fueron tomadas en hora de la madrugada y en lugares donde existe una gran cantidad de viviendas e infraestructuras, se lo realizo en parques o canchas.

2.5. Grabación de Registro de vibración ambiental

Una vez elegidos los puntos para el estudio se procedió a visitar cada lugar y grabar los registros de vibración ambiental del suelo. Para esto fueron necesarios los siguientes equipos y software (Ver Figura 2.23):

- Sensor sísmico triaxial Geobox SR04 de “SARA Electronic Instruments”. Cables de conexión
- 2 laptops
- Brújula
- Libreta de anotaciones
- Software Sismowin (Sismolog-MT)



Imagen 2.23. Sensor sísmico Geobox SR04 de Sara Electronic Instruments.

Fuente: Los Autores

Para el registro de la vibración ambiental de cada punto de estudio se tomaron en cuenta todas las disposiciones que sugiere el criterio SESAME (2004). SESAME recomienda eludir lugares que presentan suelos saturados, blandos ya sea barro, nieve o hielo, suelos con vegetación, césped o monte, para asentar el equipo. En caso de que no exista otra opción, se debe usar una placa metálica y no placas blandas como cartones o materiales esponjosos. En caso de que exista una pendiente pronunciada donde sea difícil su nivelación se recomienda hacer una cama de arena. Las grabaciones se las debe hacer lejos de edificaciones ya que el aparato puede registrar la frecuencia natural de la estructura, evitar poner el equipo encima de estructuras subterráneas como tubos, tapas de alcantarillas, estacionamientos, entre otros.

Las mediciones se las debe tomar, evitando alteraciones generadas por maquinarias en construcción, generadores, bombas, maquinas industriales, etc. Para casos en que en el lugar exista mucho paso de peatones o automóviles, se debe extender la duración de la grabación, para obtener ventanas suficientes para su posterior análisis.

Los vientos superiores a 5 m/s y lluvias intensas son factores climáticos que se deben evitar a la hora de toma de registros, ya que afectan considerablemente las muestras, aunque una brisa no afecta demasiado el registro.

El tiempo de grabacion sugerido era de 20 minutos (Ver Tabla 2.7), aunque se optó por hacer 3 registros en el mismo punto de 5, 10 y 20 minutos para obtener mayor precision de datos en cada puntos.

Tabla 2.7 Tiempos de grabación recomendados. Obtenido de (SESAME,2004)

<i>Tipo de parámetro</i>	Recomendaciones principales	
<i>Duración de la grabación</i>	Mínimo esperado f_0 (Hz)	Duración mínima de grabación recomendada (min)
	0,20	30'
	0,50	20'
	1	10'
	2	5'
	5	3'
	10	2'

2.5.1. Programa Utilizado en el Registro

Para la grabación de las vibraciones ambientales se utilizó un computador en el que está instalado el Software Seismowin (Seismolog-MT) tal y como se muestra en la Imagen 2.24 (A), en donde se tomará el registro de las frecuencias ambientales en dos direcciones horizontales que son N-S y E-W, y la dirección vertical Z. este software permite observar el origen de las frecuencias y evaluar los datos mediante el criterio SESAME, para obtener las frecuencias PEAK durante la grabación como se observa en la Imagen 2.24 (B). (Vinces M & Moreira G, 2019)

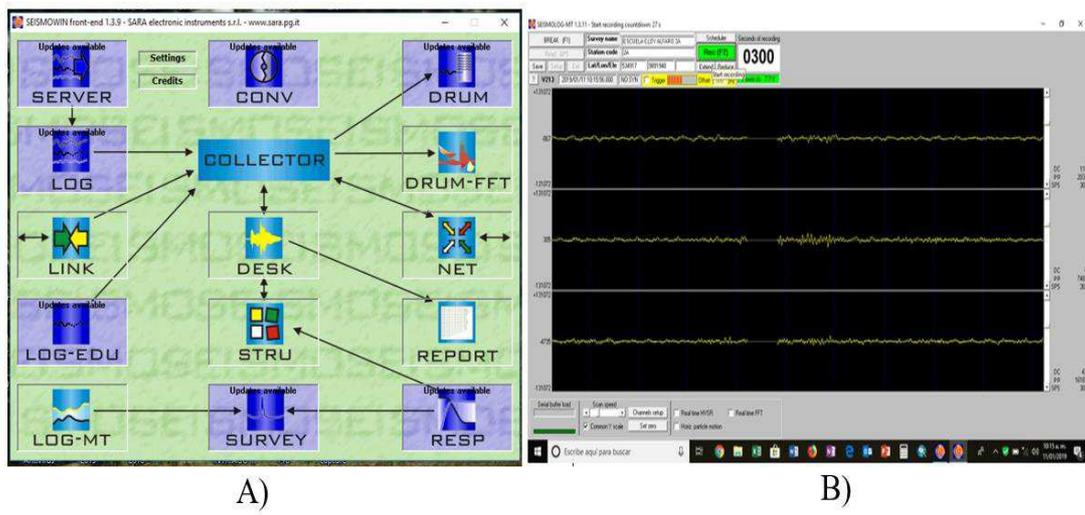


Imagen 2.24 A) Programa Seismowin (LOG-MT): B) Grabación de registros de frecuencias ambientales.

Fuente: Los Autores

Se debe colocar el tiempo de registro en segundos, el equipo utilizado, la velocidad de transmisión es de 115200 baud, el formato en el que se guardan los registros es SAF, las muestras para las lecturas son de 300 segundos, 600 segundos y 1200 segundos. (Vinces M & Moreira G, 2019)

2.5.2. Hoja de Registro en Campo

En la hoja de campo que se muestra en la imagen 2.25, se detallan diferentes parámetros que se deben tomar al momento del registro. La ubicación es un sector que se pueda reconocer generalmente, en la casilla de “ensayo” se enumera los tres ensayos tomados por ubicación, seguidos por las coordenadas UTM, fecha, hora y el tiempo que dura cada ensayo, las condiciones del viento, densidad de edificaciones, presencia de transito que incluye los autos, peatones y camiones, fuentes monocromáticas, es decir si se está efectuando alguna construcción, cantidad de árboles o vegetación y observaciones si fuera el caso. (Vinces M & Moreira G, 2019)

Ubicación	Ensayo	Coordenadas UTM		Fecha	Hora de inicio	Grabación (min)	Condiciones Viento	Tipo de superficie	Densidad de edificación	Presencia transitoria			Fuentes Monocromáticas	Árboles	Observaciones
		Lat.	Long.							Autos	Camiones	Peatones			

Imagen 2.25 Hoja de Registro en Campo.

Fuente: Los Autores

2.5.3. Toma de registro de vibración ambiental en los puntos de investigación.

2.5.3.1. Iglesia la Dolorosa

El lugar idóneo para realizar la grabación de vibración ambiental en este punto fue dentro de la Iglesia. El registro de este punto se realizó en horas de la noche por motivo que hay vías a los costados del lugar. En este punto si se contó con la compañía de la Policía Nacional durante la grabación.

2.5.3.2. La Paz

El registro de vibración ambiental para este punto se lo realizó en un terreno baldío. Este lugar prestaba las condiciones necesarias para llevar a cabo esta actividad. El lugar se encontraba lejos del tráfico vehicular y no había trabajos de maquinaria ni ninguna otra actividad que pudiera afectar el registro.



Imagen 2.26. Grabación de registro de vibración ambiental en el Barrio La Paz

Fuente: Los Autores

2.5.3.3. CNT Corporación Nacional de Telecomunicaciones

El registro de ruido ambiental en este punto se realizó a un costado de las instalaciones de CNT, ya que este lugar prestaba todas las condiciones necesarias. Se optó por realizar el registro en horas de la noche ya que en este lugar en horas del día hay mucha movilización de peatones y vehículos. Al estar cerca del Parque de las Madres no fue necesario contar con resguardo policial.



Imagen 2.27. Grabación de registro de vibración ambiental en el CNT Corporación Nacional de Telecomunicaciones

Fuente: Los Autores

2.5.3.4. CNEL Nuevo

El lugar idóneo para realizar la grabación de vibración ambiental en este punto fue en un espacio frente a las instalaciones de CNEL ubicado en el centro de Manta, edificio que se reforzó después del terremoto del 16A. El registro de este punto se realizó en horas de la noche por motivo que cerca de este existe un puente elevado y el sector cuenta con vías de acceso rápido al centro de Manta. En este punto si se contó con la compañía de la Policía Nacional durante la grabación.



Imagen 2.28. Grabación de registro de vibración ambiental en el CNEL Nuevo

Fuente: Los Autores

2.5.3.5. CNEL Tarquí

El lugar idóneo para realizar la grabación de vibración ambiental en este punto fue en un espacio frente al terreno donde quedaba ubicado el edificio de CNEL. Esto se realizó en horas de la tarde para tener la seguridad del equipo y poder visualizar alguna actividad sospechosa.



Imagen 2.29. Grabación de registro de vibración ambiental en CNEL Tarquí

Fuente: Los Autores

2.5.3.6. Iglesia Divino Niño

El lugar idóneo para realizar la grabación de vibración ambiental en este punto fue dentro de la Iglesia. También fue un lugar propicio para el registro de información. En este punto si se contó con la compañía de la comunidad de la iglesia a quienes le comentamos la investigación que realizamos.



Imagen 2.30. Grabación de registro de vibración ambiental en la Iglesia Divino Niño

Fuente: Los Autores

Los demás puntos de estudios se ejecutaron siguiendo el Criterio SESAME, teniendo en cuenta las diferentes condiciones experimentales que se recomiendan. Este proceso de grabación de registro se lo realizó sin que hubiera ningún tipo de contratiempo. La toma de los registros se encuentra detallada en el Anexo B.

2.5.4. Procesamiento de Registros en el Programa GEOPSY

Luego de finalizar el trabajo de campo y obtener los registros de cada uno de los puntos del área de estudio se continúa con el trabajo de gabinete. Para procesar los registros y obtener las frecuencias de los suelos (f_0) se necesitó del programa GEOPSY. Este mantiene, desarrolla y

distribuye un software de código abierto para la investigación geofísica y aplicaciones. Se lo creó durante el proyecto europeo SESAME y ha facilitado herramientas para procesar las vibraciones ambientales con la caracterización de sitios desde 2005. Este software utiliza el método de Nakamura. (Vinces M & Moreira G, 2019)

Para obtener resultados confiables se debe seguir la metodología y recomendaciones descritas por el fabricante sismómetro triaxial Geobox SR04 de “SARA electronic instruments.”

- 1) Se procede a abrir en el programa de Geopsy y cargar las grabaciones guardadas del sismómetro triaxial de las 3 componentes (N-S, E-O, Z) como se muestra en la imagen 2.15, luego se debe ejecutar la opción H/V. (Vinces M & Moreira G, 2019)

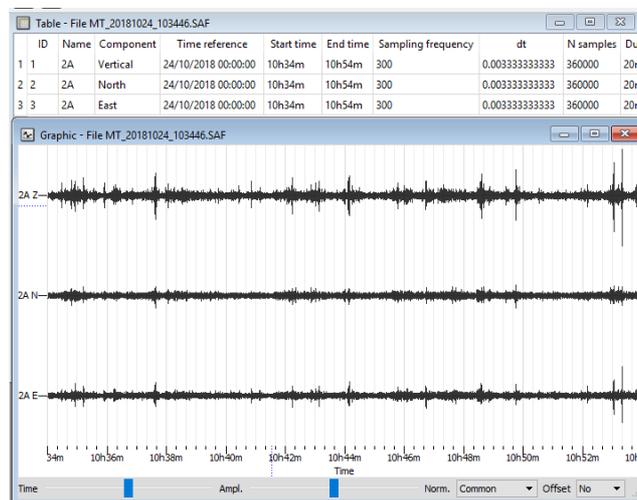


Imagen 2.31 Carga de Frecuencia de Vibración registrada.

Fuente: Los Autores

- 2) Al ejecutar la opción H/V se abrirá una ventana de parámetros. En la pestaña “time” se modifican parámetros que son relevantes para el análisis H/V. En esta sección se selecciona la estación con menor variación mediante un algoritmo, que permite eliminar contaminantes generados por vehículos, peatones o variaciones ambientales. Para la selección de ventanas en GEOPSY se utilizaron como mínimo 10 y los tiempos de cada 30, 20 y 10 segundos. (Vinces M & Moreira G, 2019) También se activan las opciones:

- “Anti-triggering on raw signal” opción que evita alteraciones transitorias en la señal original.
- “Anti-triggering on filtered signal” opción que evita alteraciones transitorias en la señal suavizada.

Luego de configurar los parámetros relevantes en el análisis se continúa con la selección de ventanas la cual se puede hacer de forma automática o manual, se trabajó con la opción automática al ser esta más rápida y sencilla en grabaciones de tiempos largos.

Otras de las opciones que se aplicaron fue la de eliminar curvas de ventanas que escapaban de las demás por efecto de ruidos transitorios para así tener resultados más representativos y exactos del suelo, esto se logra gracias a la opción “Remove” que se encuentra al ejecutar “Select*”. (Vinces M & Moreira G, 2019)

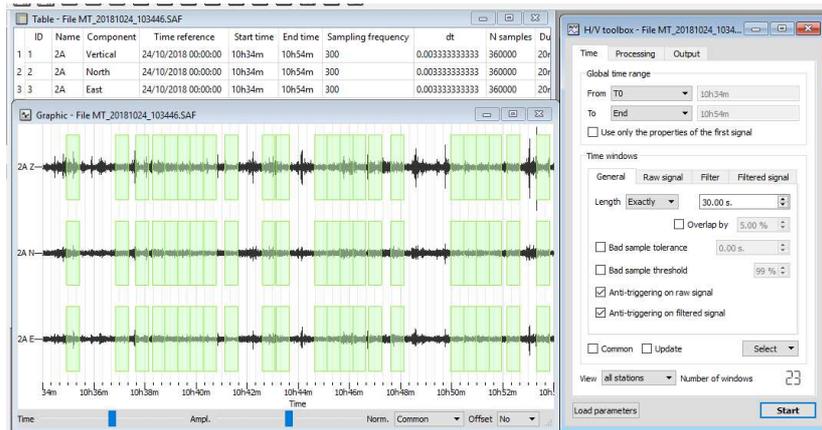


Imagen 2.32. Selección de ventanas a analizar

Fuente: Los Autores

- 3) El cálculo de los espectros de Fourier de cada componente y aplicación de un alisado de Konno and Ohmachi ($b=40$) y una apodización con un “taper” de forma sinusoidal de 5%. Se escoge un rango de frecuencias de 0,5-10Hertz utilizados en los trabajos previamente realizados por el Instituto Geofísico en el 2016, debido a que es más conservador y es parecido al que presentan las edificaciones y los valores bajo 0,5 Hz porque esta frecuencia de resonancia puede estar relacionada a un contraste de impedancia entre los depósitos de las terrazas marinas y el basamento formado por basaltos de origen oceánico. (Vinces M & Moreira G, 2019)

Se calcula la curva H/V de cada ventana mediante la ecuación 2.1 de (Arai & Tokimatsu, 2004) que entrega resultados con una menor variación de amplitudes:

$$\frac{H}{V} = \sqrt{\frac{FFT_{NS} + FFT_{EO}}{FFT_V}}$$

Ecuación 2.1 Fórmula para calcular la curva H/V

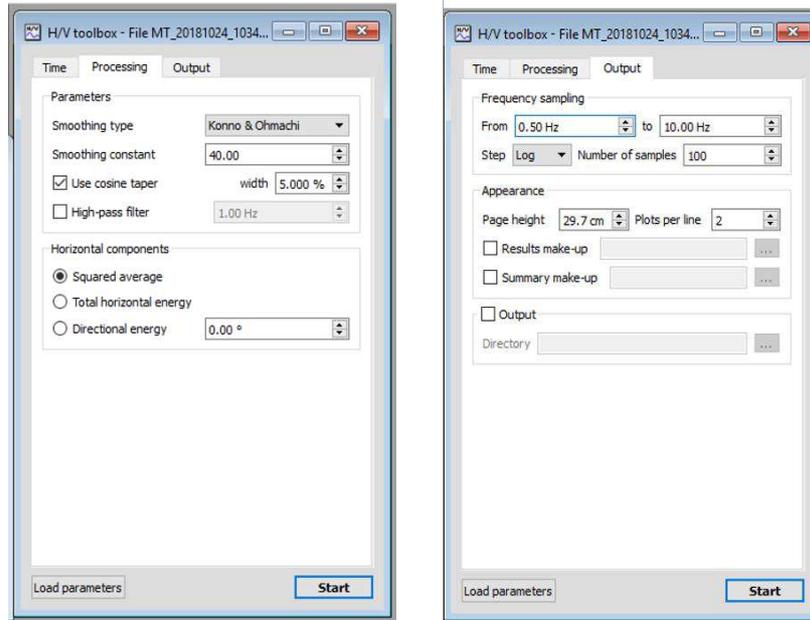


Imagen 2.33. Parámetros de cálculo para cociente espectral H/V
Fuente: Los Autores

- 4) Se genera la curva media de ondas H/V, donde se muestra la frecuencia (f_0). Se muestra en la imagen 2.37 la superposición de los espectros de Fourier (líneas de colores), la curva H/V media resultante (línea continua remarcada en negro), y las curvas de confianza (líneas punteadas) las que reflejan la multiplicación y división de la curva media H/V por la desviación estándar de la amplitud. En la misma grafica aparecen dos bandas grises, las cuales indican que en su intersección, se encuentra la frecuencia natural (f_0), sumada y restada por la desviación estándar de las frecuencias. La frecuencia natural, generalmente se encuentra en la amplitud máxima de la curva media H/V. (Saldivia Pantanalli, 2014) En los Anexos se puede observar las curvas H/V de todos los puntos realizados.

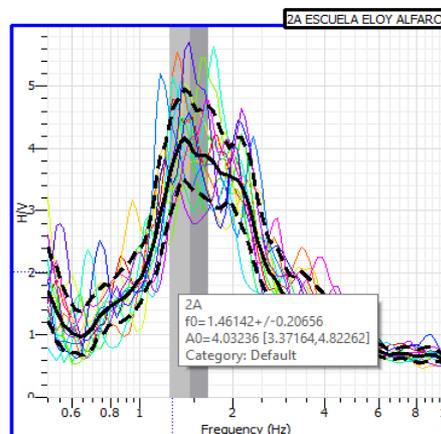


Imagen 2.34. Curva H/V de un registro de vibración ambiental en GEOPSY
Fuente: Los Autores

2.5.5. Verificación de Criterios SESAME

Mediante una hoja de cálculo de Excel se verificará los nueve criterios SESAME, en donde se determinará la confiabilidad, se tomó como punto de inicio escoger las ventanas necesarias y longitud de ventanas para cumplir con los tres primeros criterios para poder considerársela como una curva confiable y para determinar la validez de la frecuencia Peak (f_0) se comprueba los últimos seis criterios de los cuales debe cumplir como mínimo cinco de ellos para ser considerado un peak claro. (Vinces M & Moreira G, 2019)

Si no se cumpliera los criterios SESAME se tomará la validez de la frecuencia, a excepción en curvas planas. Por lo general la toma de las lecturas sufre contaminación de otros ruidos como peatones y tráfico de vehículos. (Vinces M & Moreira G, 2019)

Para esta investigación también nos brindaron información de 4 puntos de frecuencias fundamentales que fueron realizadas en estudios anteriores, en la tabla se muestra la información de la ubicación de los puntos.

Tabla 2.8. Lugares brindados de estudios anteriores, con sus respectivas coordenadas.

ENSAYO	UBICACIÓN	E-W	N-S
1	IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	529361	9895808
2	INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	534007	9891208
3	AEROPUERTO DE MANTA LS1	535135	9894620
4	AEROPUERTO DE MANTA LS2	533567	9892810

Fuente: Ing. Dolly Delgado Toala. Mg.

2.6. Análisis de las Ecuaciones de Ghofrani-Atkinson

Se realizó un hoja de cálculo programable para hacer el proceso con menos dificultad, como se aprecia en la imagen 2.38 la hoja de cálculo contiene, columna 1: número de puntos de estudios, columna 2: está destinada para los lugares que son parte de esta investigación, columna 3-4 mostrara las coordenadas geográficas, en la columna 5 las frecuencias obtenida con el equipo de triaxial, Columna 6-7: mostrara los resultados aplicando la ecuación de Japón

y su clasificación según la NEC-15, columna 8-9: mostrara los resultados aplicando la ecuación de EEUU y su clasificación según la NEC-15, Columna 10-11: se mostrarán las refracciones sísmicas medidas con su respectiva clasificación según la NEC-15.

					ECUACIÓN 1 CON DATOS JAPÓN		ECUACIÓN 2 CON DATOS EEUU			
					$\log(\overset{Vs30}{V_s})=2.35+0.38 \log(\overset{f_{peak}}{f})$		$\log(\overset{Vs30}{V_s})=2.56+0.20 \log(\overset{f_{peak}}{f})$		Datos reales	
# de puntos	LUGAR	E-O	N-S	Fpeak (Hz)	Vs30	Tipo de Suelo NEC-15	Vs30	Tipo de Suelo NEC-15	Vs30 medidos	Tipo de suelo NEC-15

Imagen 2.35. Cuadro comparativo de resultados de las fórmulas del método Ghofrani-Atkinson y resultados de método de refracción sísmica, con respectiva clasificación de suelos según la Normativa Ecuatoriana NEC-15

Fuente: Los Autores

Con la siguiente hoja de cálculo se mostrarán los resultados del ajuste, como descripción de la tabla, en la primera columna se ubicarán los puntos de investigación, la segunda columna las frecuencias, la tercera columna los Vs30 medidos, la cuarta columna los Vs30 con la ecuación de Japón o de EE.UU sin ajuste alguno, la quinta columna son los Vs30 de la ecuación de Japón o la de EEUU pero ya ajustada con el cual se tiene que lograr un aproximado a la tercera columna.

Lugar	Hz	Vs30	Vs30 Japón	Vs30 Japón Ajustada

Imagen 2.36. Hoja de cálculo programable para realizar el ajuste de las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson

Fuente: Los Autores

Para realizar el ajuste de las ecuaciones, que permita encontrar el coeficiente de aproximación el valor calculado de Vs30 al valor medido de Vs30 se realizaron los siguientes pasos:

1. Se estableció las diferencias de entre el Vs30 medido y Vs30 calculados mediante las ecuaciones de Ghofrani – Atkinson, para cada uno de los 19 puntos de este estudio.
2. El procedimiento que se utilizó fue calcular un coeficiente de corrección, el cual se determinó a través del coeficiente de determinación o R cuadrado, que es un método estadístico que oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar.

Ecuación 2.2. Coeficiente de determinación

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2} \right) \quad (\text{Ec. 5})$$

Fuente: Los Autores

R^2 = Coeficiente de determinación

e = Error

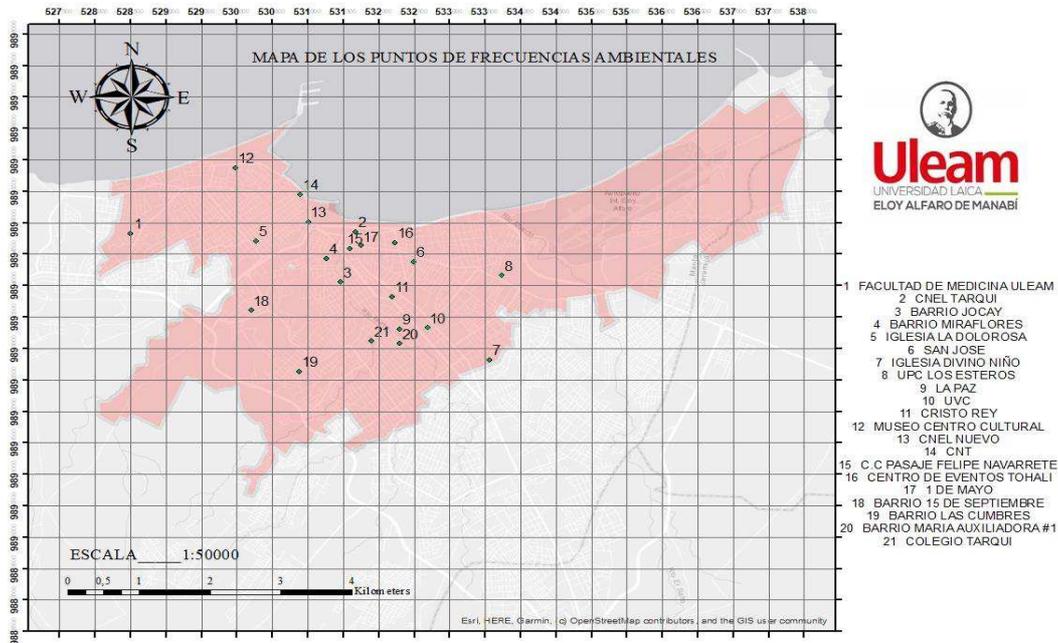
Y = y calculada, mínimo cuadrados

3. Una vez obtenido el coeficiente de corrección se introdujo en cada una de las ecuaciones, el cual multiplicara al segundo miembro de la ecuación.

3. CAPITULO III: RESULTADOS

3.1.Resultados de vibraciones ambientales

En la imagen 3.1 se presentan los 21 puntos de los registros de vibraciones ambientales que fueron medidos por los autores, en los cuales se aplicó los criterios SESAME para comprobar si cumplen con los mismos.



*Imagen 3.1. Puntos medidos con el metodo de Nakamura
Fuente: Los Autores*

3.1.1. Cumplimiento de los criterios SESAME en la medición de vibraciones ambientales

Por medio de la medición vibraciones ambientales de los 21 puntos que equivale a 63 registros que se muestran en los anexos B.1, B.2, B.3 y B,4 que detallan las condiciones de las mediciones.

En la tabla 3.1 se muestra la comprobación de los nueve criterios SESANE de los puntos que fueron tomados para esta investigación, en la primera columna está el número de registro, la segunda el tipo de Peak, los colores que se presentan indica que, verde es un peak claro, amarillo es un múltiples peak y rojo de baja amplitud los cuales son los registros que fueron descartamos al no cumplir con los criterios; seguidamente en la segunda parte de la tabla están los 9 criterios, donde tres de las primeras columnas deben cumplir para que sean curvas confiables y los otros seis son puntos de Peak definido. Dicho procesamiento se lo realizó por medio del Programa Geopsy, el cual esta normada por los criterios SESAME y se muestra los resultados a continuación.

Tabla 3.1 Tabla de Resumen de Cumplimiento de los Criterios SESAME.

Datos analizados y resultados							Los 9 criterios SESAME								
							Rango de curva confiable			Punto de Peak definido					
REGISTRO	TIPO DE PEAK	nw	fo	Ao	lw	σf	I	II	III	I	II	III	IV	V	VI
1A	Baja Amplitud	12	5,17	1,38	10	0,79	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
1B	Baja Amplitud	11	5,47	1,22	30	1,03	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
1C	Baja Amplitud	11	4,63	1,22	30	0,8	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
2A	Peak Claro	17	1,22	2,81	10	0,19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
2B	Peak Claro	12	1,32	3,75	20	0,14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
2C	Peak Claro	17	1,27	3,75	30	0,13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
3A	Peak Claro	14	1,94	3,57	20	0,16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
3B	Peak Claro	15	1,89	3,6	10	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
3C	Peak Claro	14	1,85	3,59	10	0,25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
4A	Peak Claro	12	1,58	2,76	30	0,18	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
4B	Peak Claro	10	1,57	2,56	20	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
4C	Peak Claro	14	1,55	2,92	10	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
5A	Peak Claro	10	3,28	2,49	20	0,54	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
5B	Peak Claro	14	3,15	2,41	30	0,42	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
5C	Peak Claro	11	3,77	2,16	30	0,38	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
6A	Baja Amplitud	16	1,67	1,45	10	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
6B	Baja Amplitud	11	1,57	1,35	20	0,28	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
6C	Baja Amplitud	14	1,84	1,34	30	0,22	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
7A	Peak Claro	11	0,63	2,73	20	0,1	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
7B	Peak Claro	21	0,63	3,07	20	0,06	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	OK	OK	OK	OK
7C	Peak Claro	24	0,61	3,38	30	0,07	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	OK	OK	OK	OK
8A	Múltiples Peak	10	1,63	2,14	10	0,16	OK	NO CUMPLE	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
8B	Baja Amplitud	13	1,52	1,13	30	0,22	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
8C	Baja Amplitud	10	1,55	1,47	30	0,24	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
9A	Peak Claro	10	2,34	2,67	20	0,22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK

9B	Peak Claro	10	2,15	2,9	30	0,26	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
9C	Peak Claro	10	2,05	2,57	30	0,36	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
10A	Baja Amplitud	10	1,27	1,2	10	0,24	OK	NO CUMPLE	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
10B	Baja Amplitud	17	1,63	1,3	20	0,17	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
10C	Baja Amplitud	10	1,55	1,24	30	0,23	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
11A	Baja Amplitud	10	8,64	1,53	10	0,63	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
11B	Baja Amplitud	11	8,62	1,68	20	0,34	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	OK	OK	OK
11C	Baja Amplitud	15	8,71	1,55	20	0,42	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE	OK	OK	OK
12A	Baja Amplitud	11	2,13	1,01	10	0,4	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
12B	Baja Amplitud	10	2,34	1,03	20	0,35	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
12C	Baja Amplitud	15	2,22	1,01	20	0,32	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK	NO CUMPLE	OK
13A	Peak Claro	13	1,85	2,96	10	0,32	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
13B	Peak Claro	12	1,56	3,59	20	0,22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
13C	Peak Claro	13	1,88	3,21	20	0,33	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
14A	Múltiples Peak	11	1,89	2,01	10	0,24	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
14B	Múltiples Peak	16	1,91	2,01	10	0,14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
14C	Múltiples Peak	10	1,84	2,05	20	0,08	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15A	Peak Claro	22	1,88	3,92	30	0,28	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
15B	Peak Claro	11	1,95	4,06	30	0,14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15C	Peak Claro	11	1,93	3,95	20	0,2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
16A	Peak Claro	14	1,94	3,57	20	0,16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
16B	Peak Claro	15	1,89	3,6	10	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
16C	Peak Claro	14	1,85	3,59	10	0,25	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
17A	Múltiples Peak	11	1,89	2,01	10	0,24	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
17B	Múltiples Peak	16	1,91	2,01	10	0,14	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17C	Múltiples Peak	10	1,84	2,05	20	0,08	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
18A	Peak Claro	13	1,85	2,96	10	0,32	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
18B	Peak Claro	12	1,56	3,59	20	0,22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
18C	Peak Claro	13	1,88	3,21	20	0,33	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
19A	Peak Claro	12	1,58	2,76	30	0,18	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK

19B	Peak Claro	10	1,57	2,56	20	0,21	OK	NO CUMPLE	OK						
19C	Peak Claro	14	1,55	2,92	10	0,21	OK	NO CUMPLE	OK						
20A	Múltiples Peak	13	4,83	2,03	30	0,33	OK	NO CUMPLE	OK						
20B	Múltiples Peak	11	5,03	2,01	10	0,76	OK	NO CUMPLE	OK						
20C	Múltiples Peak	15	4,03	2,04	10	0,73	OK	NO CUMPLE	OK						
21A	Peak Claro	18	3,54	2,29	30	0,34	OK	NO CUMPLE	OK						
21B	Peak Claro	14	3,45	2,31	30	0,35	OK	NO CUMPLE	OK						
21C	Peak Claro	13	3,69	2,17	20	0,33	OK	NO CUMPLE	OK						

Fuente: Los Autores

3.1.2. Resultados de las frecuencias fundamentales del suelo

De los registros tomados por los autores, 6 fueron descartados por no cumplir con los criterios SESAME, quedando un total de 15 registros de los cuales se obtuvo la frecuencia fundamental del suelo, a estos se le añadieron 4 puntos dados por la tutora de esta investigación, quedándonos con un total de 19 datos de frecuencia fundamental presentados en la tabla 3.5, datos que servirán para poder evaluar las ecuaciones de Ghofrani – Atkinson y posteriormente realizar el ajuste.

Tabla 3.2 Resultados de las frecuencias fundamentales del suelo

<i>Ensayo</i>	LUGAR	Frecuencia Fundamental f_0 (hertz)
1	CNEL TARQUI	1,27
2	BARRIO JOCAY	1,89
3	BARRIO MIRAFLORES	1,56
4	IGLESIA LA DOLOROSA	3,40
5	IGLESIA DIVINO NIÑO	1,20
6	LA PAZ	2,18
7	CNEL NUEVO	1,76
8	CNT	1,88
9	C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	1,52
10	CENTRO DE EVENTOS TOHALI	1,51
11	1 DE MAYO	1,50
12	BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	1,48
13	BARRIO LAS CUMBRES	1,42
14	BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	1,93
15	COLEGIO TARQUI	1,92
16	IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	5,65
17	INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	4,50
18	AEROPUERTO DE MANTA LS1	2,16
19	AEROPUERTO DE MANTA LS2	2,36

Fuente: Los autores

Las frecuencias fundamentales obtenidas de las curvas H/V se encuentran entre valores de 1,20 Hz y 5,65 Hz. Los periodos más altos se localizaron entre los barrios de Barrio Las Cumbres, Barrio 15 de septiembre e Iglesia Divino Niño, lo que daría a entender que el extracto rocoso estaría a mayor profundidad y provocaría que la onda sísmica sufra una mayor amplificación. Los periodos más bajos se hicieron presente en zonas como: Iglesia Parroquial Perpetuo Socorro Manta e Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez. Lugares donde los periodos de vibración son relativamente bajos, la amplificación de la onda sísmica

será menor, se debe considerar a los periodos cortos ya que pueden ocasionar daños en estructuras de alturas bajas y de poca rigidez provocando el fenómeno conocido como resonancia, esto sucede al igualarse el periodo de vibración del suelo con el de la estructura.

En la tabla 3.6 se detalla un compendio de los valores máximos y mínimos tanto para periodos como frecuencias, así como también sus promedios y desviación.

Tabla 3.3. Valores máximos y mínimos de los resultados de frecuencias.

<i>Valores</i>	Fo (s)
<i>Máximo</i>	5,65
<i>Mínimo</i>	1,20
<i>Promedio</i>	2,16
<i>Desviación</i>	1,15

Fuente: Los autores

En el grafico 3.1 se muestran los resultados de las frecuencias fundamentales presentados en la tabla 3.5, evidenciándose la diferencia de frecuencias que fueron obtenidas a partir de las mediciones de vibraciones ambientales. Cabe destacar que estos resultados solo representan una parte de la ciudad de Manta, ya que en la investigación realizada de microzonificación sísmica para la ciudad de Manta se han detallado zonas que presentan mayor y menor frecuencias que las presentadas en esta investigación.

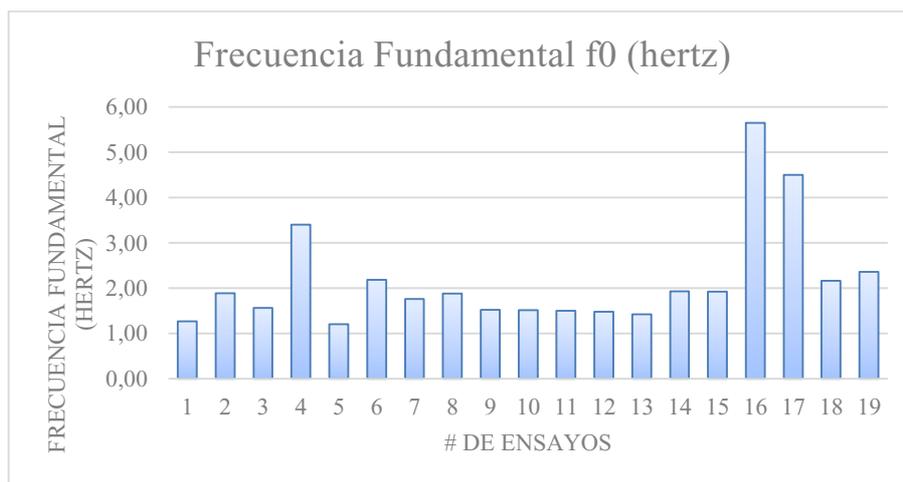


Grafico 3.1. Valores de frecuencia fundamental del suelo en la ciudad de Manta.

Fuente: Los Autores

3.2.Resultados, aplicado las ecuaciones de Ghofrani & Atkinson.

Tabla 3.4. Comparativa de resultados de las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson programadas en Excel, con los valores de refracción sísmica Vs30 investigados. **Fuente:** Los Autores

# de puntos	LUGAR	E-O	N-S	Fpeak (Hz)	ECUACIÓN 1		ECUACIÓN 2		Datos reales	
					Vs30 (m/seg)	Tipos de Suelos NEC-15	Vs30 (m/seg)	Tipos de Suelos NEC-15	Vs30 medido (m/seg)	Tipos de Suelos NEC-15
1	CNEL TARQUI	531668	9894850	1,27	245,16	D	380,86	C	210,00	D
2	BARRIO JOCAJ	531455	9894048	1,89	285,14	D	412,38	C	235,00	D
3	BARRIO MIRAFLORES	531262	9894422	1,56	265,09	D	396,85	C	215,00	D
4	IGLESIA LA DOLOROSA	530266	9894702	3,40	356,42	D	463,76	C	333,33	D
5	IGLESIA DIVINO NIÑO	533567	9892810	1,20	239,93	D	376,56	C	268,00	D
6	LA PAZ	532295	9893300	2,18	301,03	D	424,32	C	295,00	D
7	CNEL NUEVO	531005	9895009	1,76	277,52	D	406,54	C	192,00	D
8	CNT	530898	9895441	1,88	284,56	D	411,94	C	270,00	D
9	C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	531593	9894587	1,52	262,48	D	394,79	C	184,00	D
10	CENTRO DE EVENTOS TOHALI	532233	9894673	1,51	261,83	D	394,27	C	219,30	D
11	1 DE MAYO	531749	9894638	1,50	261,16	D	393,75	C	235,00	D
12	BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	530199	9893600	1,48	259,84	D	392,69	C	210,00	D
13	BARRIO LAS CUMBRES	530885	9892626	1,42	255,78	D	389,46	C	198,40	D
14	BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	532298	9893080	1,93	287,42	D	414,11	C	300,00	D
15	COLEGIO TARQUI	531898	9893110	1,92	286,85	D	413,68	C	261,00	D
16	IGLESIA PERPETUO SOCORRO	529361	9895808	5,65	432,29	C	513,35	C	403,40	C
17	INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	534007	9891208	4,5	396,48	C	490,50	C	431,00	C
18	AEROPUERTO DE MANTA LS1	535135	9894620	2,16	299,98	D	423,54	C	257,70	D
19	AEROPUERTO DE MANTA LS2	535150	9894878	2,36	310,25	D	431,10	C	263,80	D

En la tabla 3.7 se presentan los 19 puntos de estudios en donde se pueden apreciar los resultados aplicando las ecuaciones de Ghofrani – Atkinson en función de la frecuencia, la ecuación 1 corresponde la de Japón y la ecuación 2 a la de Estados Unidos.

3.3. Ajuste de las ecuaciones de Ghofrani-Atkinson.

3.3.1. Diferencia de los resultados de Vs30 medidos con los Vs30 calculados.

Tabla 3.5. Cuadro comparativo de los resultados de Vs30 Medido y Vs30 calculado con la ecuación de Japón.

<i>Lugar</i>	Vs Japón (m/seg)	Vs30 (m/seg)	Diferencias
CNEL TARQUI	245,16	210,00	35,16
BARRIO JOCAY	285,14	235,00	50,14
BARRIO MIRAFLORES	265,09	215,00	50,09
IGLESIA LA DOLOROSA	356,42	333,33	23,12
IGLESIA DIVINO NIÑO	239,93	268,00	28,07
LA PAZ	301,03	295,00	6,03
CNEL NUEVO	277,52	192,00	85,52
CNT	284,56	270,00	14,56
C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	262,48	184,00	78,48
CENTRO DE EVENTOS TOHALI	261,83	219,30	42,53
1 DE MAYO	261,16	235,00	26,16
BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	259,84	210,00	49,84
BARRIO LAS CUMBRES	255,78	198,40	57,38
BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	287,42	300,00	12,58
COLEGIO TARQUI	286,85	261,00	25,85
IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	432,29	403,40	28,89
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	396,48	431,00	34,52
AEROPUERTO DE MANTA LS1	299,98	257,70	42,28
AEROPUERTO DE MANTA LS2	310,25	263,80	46,45

Fuente: Los Autores

Tabla 3.6. Cuadro comparativo de los resultados de Vs30 Medido y Vs30 calculado con la ecuación de EE.UU.

<i>Lugar</i>	Vs EEUU (m/seg)	Vs30 (m/seg)	Diferencias
CNEL TARQUI	380,86	210,00	170,86
BARRIO JOCAY	412,38	235,00	177,38
BARRIO MIRAFLORES	396,85	215,00	181,85
IGLESIA LA DOLOROSA	463,76	333,33	130,46
IGLESIA DIVINO NIÑO	376,56	268,00	108,56
LA PAZ	424,32	295,00	129,32
CNEL NUEVO	406,54	192,00	214,54
CNT	411,94	270,00	141,94
C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	394,79	184,00	210,79
CENTRO DE EVENTOS TOHALI	394,27	219,30	174,97
1 DE MAYO	393,75	235,00	158,75
BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	392,69	210,00	182,69
BARRIO LAS CUMBRES	389,46	198,40	191,06
BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	414,11	300,00	114,11
COLEGIO TARQUI	413,68	261,00	152,68
IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	513,35	403,40	109,95
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	490,50	431,00	59,50
AEROPUERTO DE MANTA LS1	423,54	257,70	165,84
AEROPUERTO DE MANTA LS2	431,10	263,80	167,30

Fuente: Los Autores

En la tabla 3.8 y tabla 3.9 tenemos el resultado de realizar la diferencia entre el Vs30 medido y el Vs30 calculado con las ecuaciones de Ghofrani - Atkinson, las diferencias más notorias se dieron al aplicar la ecuación 2. que tuvo una diferencia de resultados mayor en comparación a la ecuación 1., esto se puede visualizar claramente en los siguientes gráficos 3.2 y 3.3.

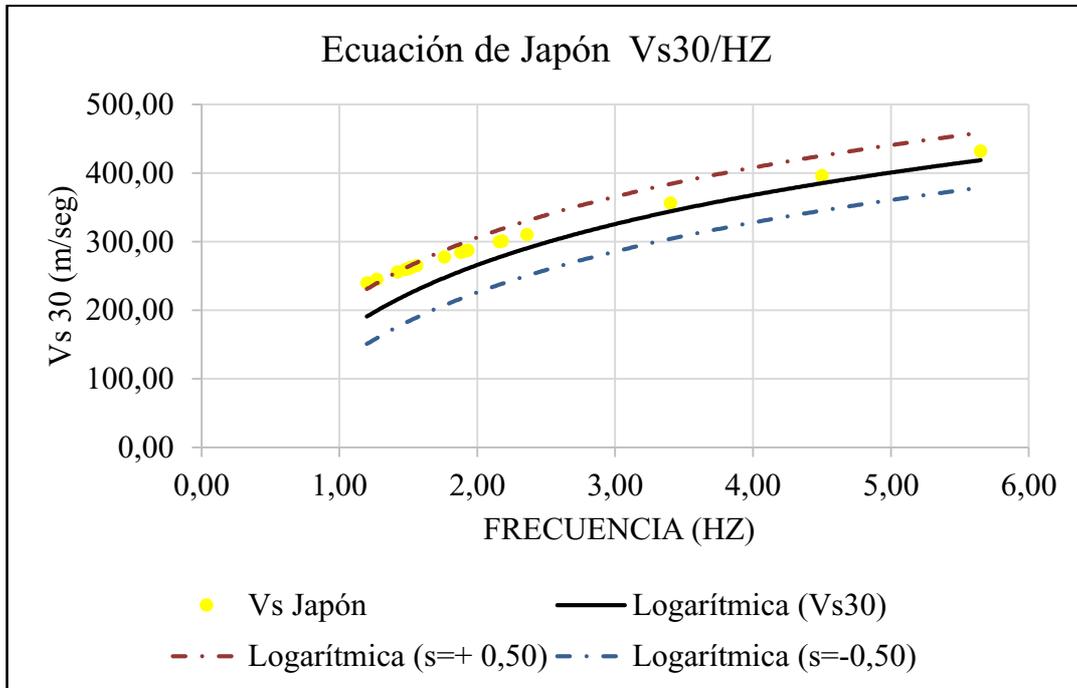


Gráfico 3.2. Gráfico de valores calculados con la ecuación 1.

Fuente: Los Autores

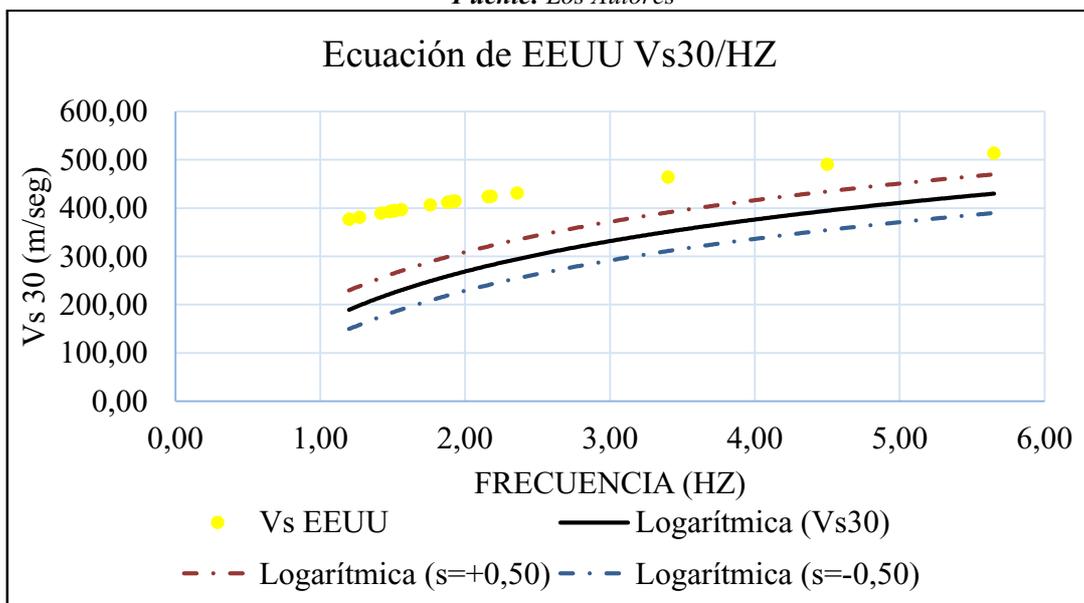


Gráfico 3.3. Gráfico de valores calculados con la ecuación 2.

Fuente: Los Autores

3.3.2. Determinación del coeficiente de corrección

Teniendo en cuenta esta diferencia de valores, optamos por descartar la ecuación de EE.UU y trabajar únicamente con la ecuación de Japón, ya que su margen de diferencia es menor y tiene un mejor comportamiento según los resultados que hemos obtenido en esta investigación, para los puntos tomados en la ciudad de Manta.

Tabla 3.7. Cuadro para determinar coeficientes de corrección para ajustar la ecuación de Japón.

Lugar	Hz	Vs Japón (m/seg)	Y Calculada	Error	e cuadrado
CNEL TARQUI	1,27	245,16	254,25	-9,09	82,64
BARRIO JOCAJ	1,89	285,14	281,24	3,90	15,20
BARRIO MIRAFLORES	1,56	265,09	266,87	-1,79	3,19
IGLESIA LA DOLOROSA	3,40	356,42	346,98	9,44	89,20
IGLESIA DIVINO NIÑO	1,20	239,93	251,20	-11,27	126,98
LA PAZ	2,18	301,03	293,86	7,17	51,39
CNEL NUEVO	1,76	277,52	275,58	1,94	3,77
CNT	1,88	284,56	280,80	3,76	14,14
C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	1,52	262,48	265,13	-2,65	7,02
CENTRO DE EVENTOS TOHALI	1,51	261,83	264,70	-2,87	8,24
1 DE MAYO	1,50	261,16	264,26	-3,10	9,59
BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	1,48	259,84	263,39	-3,55	12,63
BARRIO LAS CUMBRES	1,42	255,78	260,78	-5,00	24,97
BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	1,93	287,42	282,98	4,44	19,68
COLEGIO TARQUI	1,92	286,85	282,55	4,30	18,53
IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	5,65	432,29	444,93	-12,63	159,62
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	4,50	396,48	394,86	1,62	2,61
AEROPUERTO DE MANTA LS1	2,16	299,98	292,99	6,99	48,81
AEROPUERTO DE MANTA LS2	2,36	310,25	301,70	8,55	73,03
	Σ y	293,12		Σ e2	771,22
				R2=	0,9833

Fuente: Los Autores

Al aplicar la metodología declarada en el ítem 2.6 se obtuvo como resultado un coeficiente de corrección de 0,983; como se puede apreciar en la tabla 3.10, para aplicar el coeficiente tuvimos el siguiente procedimiento.

El valor considerado como coeficiente de corrección fue multiplicado para el valor 2,35 que está en la ecuación 1. de Ghofrani – Atkinson, quedando como procedimiento lo siguiente:

$$\log(Vs30) = (2,35 * x) + 0,38 \log(f_{peak})$$

$$\log(Vs30) = (2,35 * 0,983) + 0,38 \log(f_{peak})$$

Al realizar el proceso matemático de la multiplicación obtuvimos como resultado lo siguiente

$$\log(Vs30) = 2,31005 + 0,38 \log(f_{peak})$$

Finalmente, se redondeó el valor con dos decimales para mantener la estética de la ecuación dada por Ghofrani – Atkinson.

Ecuación 3.1. Ecuación de Japón ajustada

$$\log(Vs30) = 2,31 + 0,38 \log(f_{peak}) \quad (Ec. 6)$$

Fuente: Los Autores

Posteriormente se procedió a realizar los cálculos como se aprecia en la tabla 3.11 y las gráficas para tener una mejor visualización entre los resultados sin ajustar y aplicando la ecuación 6 que lleva dicho ajuste.

Tabla 3.8. Cuadro comparativo de resultados de la ecuación de Japón ajustada con los vs30 medidos.

Lugar	Vs Japón (m/seg)	Vs Japón Ajustada (m/seg)	Vs30 (m/seg)
CNEL TARQUI	245,16	224,01	210,00
BARRIO JOCA Y	285,14	260,55	235,00
BARRIO MIRAFLORES	265,09	242,22	215,00
IGLESIA LA DOLOROSA	356,42	325,68	333,30
IGLESIA DIVINO NIÑO	239,93	219,24	268,00
LA PAZ	301,03	275,07	295,00
CNEL NUEVO	277,52	253,59	192,00
CNT	284,56	260,02	270,00
C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	262,48	239,85	184,00
CENTRO DE EVENTOS TOHALI	261,83	239,24	219,30
1 DE MAYO	261,16	238,64	235,00
BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	259,84	237,43	210,00
BARRIO LAS CUMBRES	255,78	233,72	198,40
BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	287,42	262,63	300,00
COLEGIO TARQUI	286,85	262,11	261,00
IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	432,29	395,01	403,40
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	396,48	362,29	431,00
AEROPUERTO DE MANTA LS1	299,98	274,11	257,70
AEROPUERTO DE MANTA LS2	310,25	283,49	263,80

Fuente: Los Autores

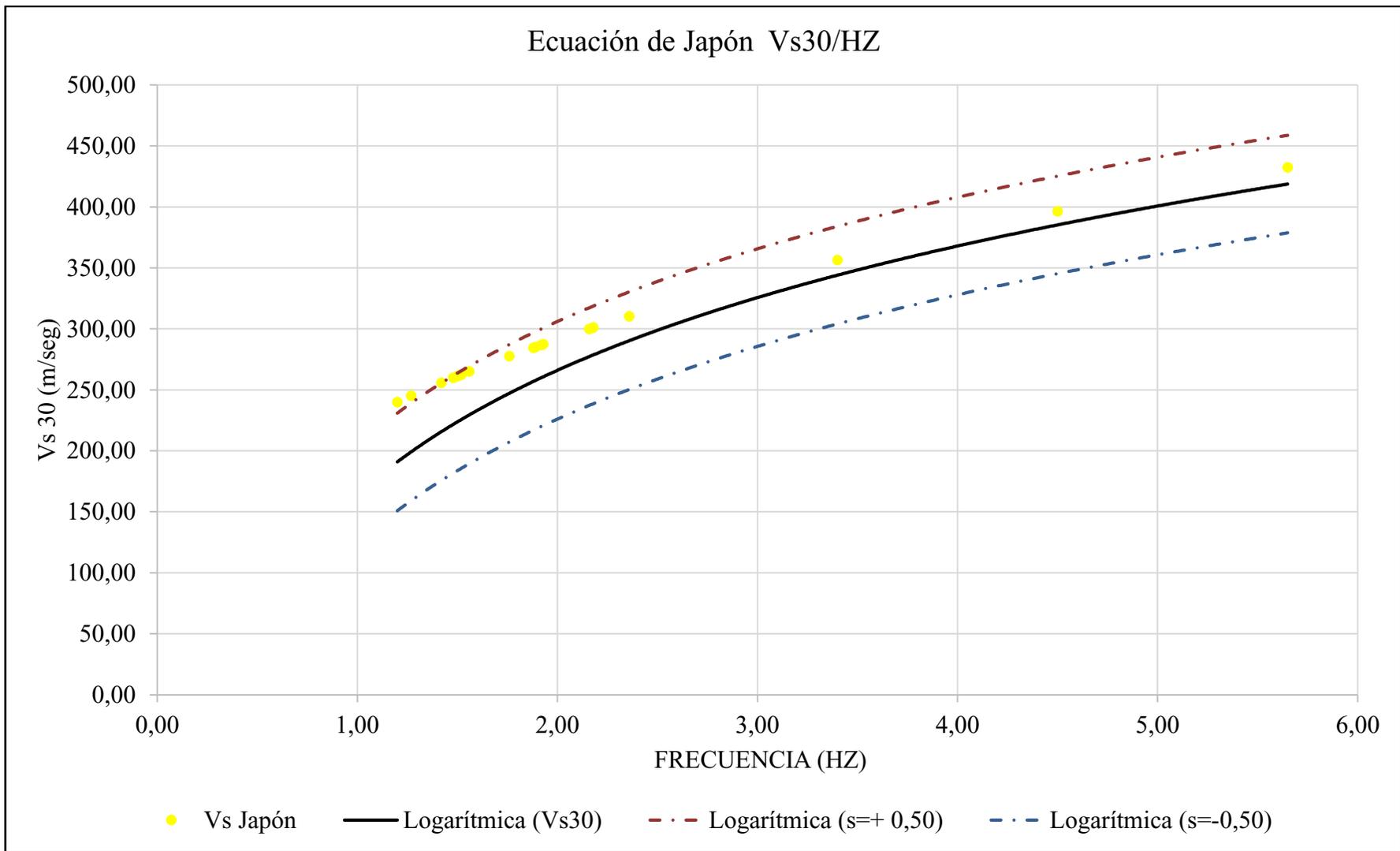


Grafico 3.4. Ecuación de Japón sin ser ajustada.

Fuente: Los Autores

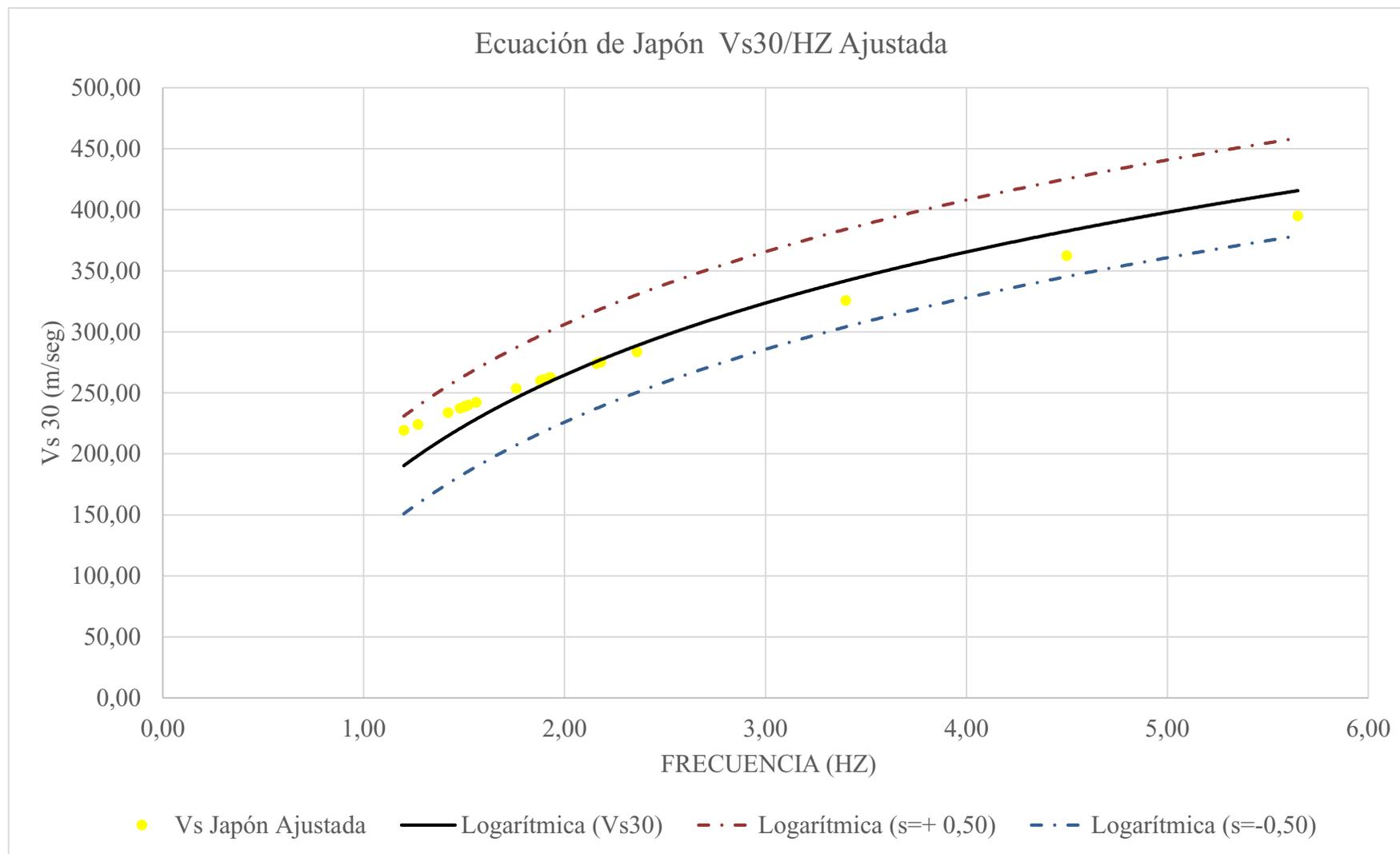


Grafico 3.5. Ecuación de Japón después de ser ajustada

Fuente: Los autores

Observando el grafico 3.4 podemos apreciar que los puntos graficados de lado izquierdo están al borde del rango y un poco alejadas de la línea de tendencia de color negra, el aproximado que necesitamos es que los puntos estén lo más cercano posible a la línea de tendencia o que los puntos estén dentro de los rangos que en este caso están determinado con la línea de color naranja y azul.

Posteriormente en el grafico 3.5 se puede apreciar que los puntos están dentro de los rangos y por supuesto están más cerca de la línea de tendencia, los valores descendieron paralelamente un 4.5% de su posición dada en la gráfica 3.2.

3.4. Clasificación del suelo según la NEC-15

Tabla 3.9. Cuadro comparativo de resultados de la clasificación de suelos según la normativa ecuatoriana NEC-15

#	Lugar	Vs30 medido NEC-15	Vs30 E. Japón NEC-15	Vs30 E. Japón Ajustada NEC-15
1	CNEL TARQUI	D	D	D
2	BARRIO JOCA Y	D	D	D
3	BARRIO MIRAFLORES	D	D	D
4	IGLESIA LA DOLOROSA	D	D	D
5	IGLESIA DIVINO NIÑO	D	D	D
6	LA PAZ	D	D	D
7	CNEL NUEVO	D	D	D
8	CNT	D	D	D
9	C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	D	D	D
10	CENTRO DE EVENTOS TOHALI	D	D	D
11	1 DE MAYO	D	D	D
12	BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	D	D	D
13	BARRIO LAS CUMBRES	D	D	D
14	BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	D	D	D
15	COLEGIO TARQUI	D	D	D
16	IGLESIA PARROQUIAL PERPETUO SOCORRO MANTA	C	C	C
17	INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO LUIS ARBOLEDA MARTINEZ	C	C	C
18	AEROPUERTO DE MANTA LS1	D	D	D
19	AEROPUERTO DE MANTA LS2	D	D	D

Fuente: Los autores

Como resultados de la clasificación con la NEC-15 se puede apreciar en la tabla 3.12, que dos puntos clasifican de tipo C con los resultados de los Vs30 medidos son, Iglesia Perpetuo Socorro y el instituto Arboleda Martínez, el resto de los puntos son de tipo D.

CONCLUSIONES

El presente proyecto de titulación sobre el ajuste de las ecuaciones Ghofrani - Atkinson para la clasificación de suelos según la NEC-15 para la ciudad de Manta y de acuerdo a los objetivos fijados se llega a las siguientes conclusiones:

- De un total de 19 puntos de velocidad de onda de corte a una profundidad de 30 metros (Vs30) dentro de la ciudad de Manta, 3 puntos fueron medidos por los autores utilizando el equipo de refracción sísmica de la facultad de ingeniería de la Uleam.
- Se midieron un total de 21 puntos con registros de vibraciones ambientales, de los cuales solo 15 cumplieron con los criterios SESAME. Adicionalmente se incluyeron 4 puntos de donde se conocía la frecuencia fundamental del sitio, obteniendo 19 registros para la ejecución de esta investigación.
- Al aplicar las ecuaciones de Ghofrani y Atkinson sin ajuste, la ecuación de Japón tiene un margen de diferencia menor, en comparación a la ecuación de Estados Unidos como se aprecia en la gráfica 3.3, por lo que fue descartada. Posteriormente para ajustar la ecuación de Japón se obtuvo un coeficiente de corrección de 0,983 que al ser aplicado en la ecuación dio como resultado la ecuación 6 y con ello obtuvo un ajuste mínimo, como se aprecia en la gráfica 3.5
- Al comparar los resultados entre los Vs30 medidos y ajustado tenemos una diferencia mínima, se concluye que la ecuación de Japón tiene un mejor comportamiento para los suelos de Manta, por otra parte, al clasificar los puntos de Vs30 mediante la NEC-15 tenemos una similitud del 100% con la ecuación de Japón como se aprecia en la tabla 3.12.
- Se determinó que de las dos ecuaciones de Ghofrani & Atkinson, la de estados unidos fue descartada como se explicó anteriormente, quedándonos con la ecuación de Japón, la cual presentó mejores resultados, con lo que se concluye que con la ecuación ajustada puede ser aplicada como alternativa para obtención de Vs30 para suelos de Manta

RECOMENDACIONES

Una vez obtenidos los resultados del presente proyecto de investigación se expresan las siguientes recomendaciones:

- Incentivar al estudio de las ecuaciones dadas en investigación por Ghofrani - Atkinson y aplicar el proceso de ajuste y con ello poder generar unas ecuaciones con un uso práctico para nuestra localidad. La investigación realizada por Ghofrani-Atkinson es innovadora, ya que correlaciona la técnica de cociente espectral H/V que contiene mucha información de los efectos de sitio, con el parámetro V_s30 . Esto permite obtener información precisa y relevante sobre la dinámica de suelos a un costo relativamente bajo.
- Se recomienda indagar más sobre las ecuaciones de Ghofrani Atkinson, sobre todo a la ecuación dada con los registros de Japón, ya que esta presentó mejores resultados en esta investigación. Por otra parte, sería bueno que se estudiaran más puntos para abarcar toda la ciudad de Manta.
- Se recomienda investigar una alternativa de como ajustar la ecuación de Estados Unidos teniendo en cuenta que en los resultados presentados su margen de diferencia es considerable.

BIBLIOGRAFÍA

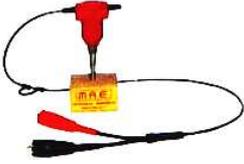
- Alexis, C., & Alexander, A. (2018). Incidencia entre la vibración natural del suelo y la vibración natural de la estructura edificaciones de hormigón armado de 4, 8 y 12 pisos , en sector del parque de la Carolina, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. 276.
- Arai, & Tokimatsu. (2004). *S-Wave Velocity Profiling by Inversion of Microtremor H/V Spectrum*.
- Calderon, F. (2017). Frecuencia Natural de suelos en el nucleo urbano de Mendoza. 27.
- Calderón, F., Frau, C., Giolo, E., & Tornello, M. (2017). *CLASIFICACIÓN DE SITIOS PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES*. Mendoza.
- Díaz, V. S. (2012). DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO VS30 .
- Francisco, C., Carlos, F., Emilce, G., & Miguel, T. (2017). CLASIFICACIÓN DE SITIOS PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS. *Facultad Regional Mendoza Rodriguez*, 10.
- Gálvez F., P. (2014). *Nakamura, Periodo fundamental del Suelo Ts*. Santiago de Chile: LEMCO.
- Garces, D., & Macias, R. (2018). Validacion del Metodo Ghofrani & Atkinson como alternativa de calculo para del Vs30 para clasificacion de suelos aplicado en la ciudad de Manta. *Proyecto de Titulación*.
- Ghofrani & Atkinson. (2014). Site condition evaluation using horizontal-to-vertical response spectral ratios of earthquakes in the NGA-West 2 and Japanese databases. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
- Ghofrani, H., & Atkinson , G. (2014). Site condition evaluation using horizontal-to-vertical response spectral ratios of earthquakes in the NGA-West 2 and Japanese databases. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30-43.
- Henriquez , C. (2012). *Estimación del efecto de sitio en zonas afectadas por el terremoto (Mw=8.8) DEL 27/02/12 a la luz de las leyes de atenuación ya existentes*. Concepción .
- Instituto Geofísico-EPN. (05 de 2016). *Frecuencias de resonancia de los suelos de Manabí*. Obtenido de <http://www.igeppn.edu.ec/mapas/mapa-frecuencias-suelos-manabi>

- Karol, E. (2016). DETERMINACIÓN DE LA V_s 30 A TRAVÉS DEL.
- Lermo. (1993). *Evaluación del efecto del sitio utilizando relaciones espectrales*. Mexico.
- Nakamura. (1989). A method for Dynamic Characteristics Estimation of subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Rreport of RTRI*.
- NEC - 15. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción.
- Pulido Vásquez, J. P., & Rodríguez Gutiérrez, M. D. (2015). *CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO UTILIZANDO EL MÉTODO GEOFÍSICO DE REFRACCIÓN POR MICROTREMORES ReMi PARA SEGMENTO DE LA AVENIDA CIRCUNVALAR Y PARQUE CENTRAL SIMÓN BOLIVAR*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Roberto Aguiar, M. Z. (2016). Terremoto de Ecuador del 2016 16 A. *REFORZAMIENTO DE ESTRUCTURAS CON DISIPADORES DE ENERGIA*.
- Saldivia Pantanalli, J. C. (2014). *Determinación del período fundamental de vibración del suelo aplicando el Criterio SESAME*". Concepción: Universidad del BIO-BIO .
- Schmitz, M. (2016). *Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional - Seminario 2016 / 2017*. Quito.
- SESAME-Geopsy. (2001). *Description of the SESAME Project*.
- Universidad del Bío-Bío Chile. (2006). "DETERMINACIÓN DE LA V_s 30 A TRAVÉS DEL CÁLCULO DE RAZÓN ESPECTRAL H/V".
- Vega, A. (2018). *CLASIFICACIÓN SÍSMICA DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA ONDA DE CORTE EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE MANTA*. Manta.
- Vinces M, D., & Moreira G, J. (2019). *Micro-zonificación sísmica por efecto de sitio de la Parroquia Urbana Tarqui de la ciudad de Manta*. Manta.
- Zambrano, V. (2018). *CURVAS DE ISOPERIODOS EN LOS SUELOS DE LA PUNTILLA DE BAHIA DE CARAQUEZ*. Bahia de Caraquez.

ANEXOS

ANEXO A: PARTES DEL EQUIPO DE REFRACCIÓN SÍSMICA

	<p>CA2MPP1S Cable de alimentación equipado con conector de doble enchufe rojo / negro de acero inoxidable y copa protectora de PVC</p>
	<p>Fuente de alimentación para baterías internas de 5 V, 6 Ah que recarga y mantiene el nivel de la batería, informando cada paso a través de un led multicolor colocado en el panel.</p>
	<p>CPS1205 Cable sísmico para conexión de geófonos; Cable multitáctil con aislamiento TPE flexible, caracterizado por una alta resistencia al arrastre y al desgaste en general. Los cables se suministran completos con carrete, abrazaderas de transporte y conectores de bayoneta de tipo militar para acelerar la conexión al instrumento.</p>
	<p>Máxima calidad en la transferencia de datos.</p>
	<p>Cable:</p>
	<ul style="list-style-type: none">-Contactos: 26 chapados en oro sobre níquel-Certificaciones: militares MILC-26482, 15550813-Dimensiones: 320x210x402mm-Peso: 4,5Kg-Código HS: 85444190
	<p>Para obtener más detalles sobre las especificaciones técnicas de cada matriz individual, consulte la hoja de datos relacionada.</p>
	<p>P120 Cable de extensión de arranque de 120 m de longitud, equipado con un conector militar de 2 polos de Amphenol y carrete de cable. Los cables de extensión se suministran en un carrete de cable de plástico de alta resistencia para garantizar resistencia y ligereza durante el transporte; están equipados con restricción estacionaria para el conector 'para evitar daños o cables desenrollar accidentalmente</p>

	GV45	Geófono vertical 4,5 ° con cable de 1 m, conector doble o resorte dividido (abrazadera simple) disponible bajo pedido
	TRG14	Geófono de disparo vertical completo con cable y conector, que se utiliza para proporcionar el comando de inicio de grabación en el sismógrafo
	PI200	Placa de aluminio para generar ondas de compresión para levantamientos sísmicos activos; dimensiones: -Diámetro: 210 mm -Espesor: 28 mm.
	MBS08	Martillo no instrumentado para la generación de ondas compresivas energéticas y repetibles para levantamientos sísmicos activos; La masa está hecha de acero y pesa alrededor de 8 kg. El mango está hecho de resina sintética con una longitud de aproximadamente 120 cm.
	CUU1S	Cable de conexión USB entre Sysmatrack y PC (Plug A USB 2.0 para PC y -B para sismógrafo).
	USBK4GY	Memoria USB que incluye los softwares necesarios para el funcionamiento del instrumento (Sysmatrack) y la documentación técnica relacionada; capacidad del dispositivo igual a 4 Gbyte.
	TG4	Base de soporte para geófono vertical de 4,5 Hz utilizado para realizar estudios sísmicos en situaciones particulares donde no es posible usar geófono con punta de fijación, como en asfalto, rocas, piso interno o externo, sitios valiosos e históricos que no pueden verse comprometidos. Su funcionamiento es bastante simple, se aplica a través de un tornillo a la carcasa del geófono después de quitar la punta de fijación.

Anexo A.1. Partes del Equipo de refracción sísmica

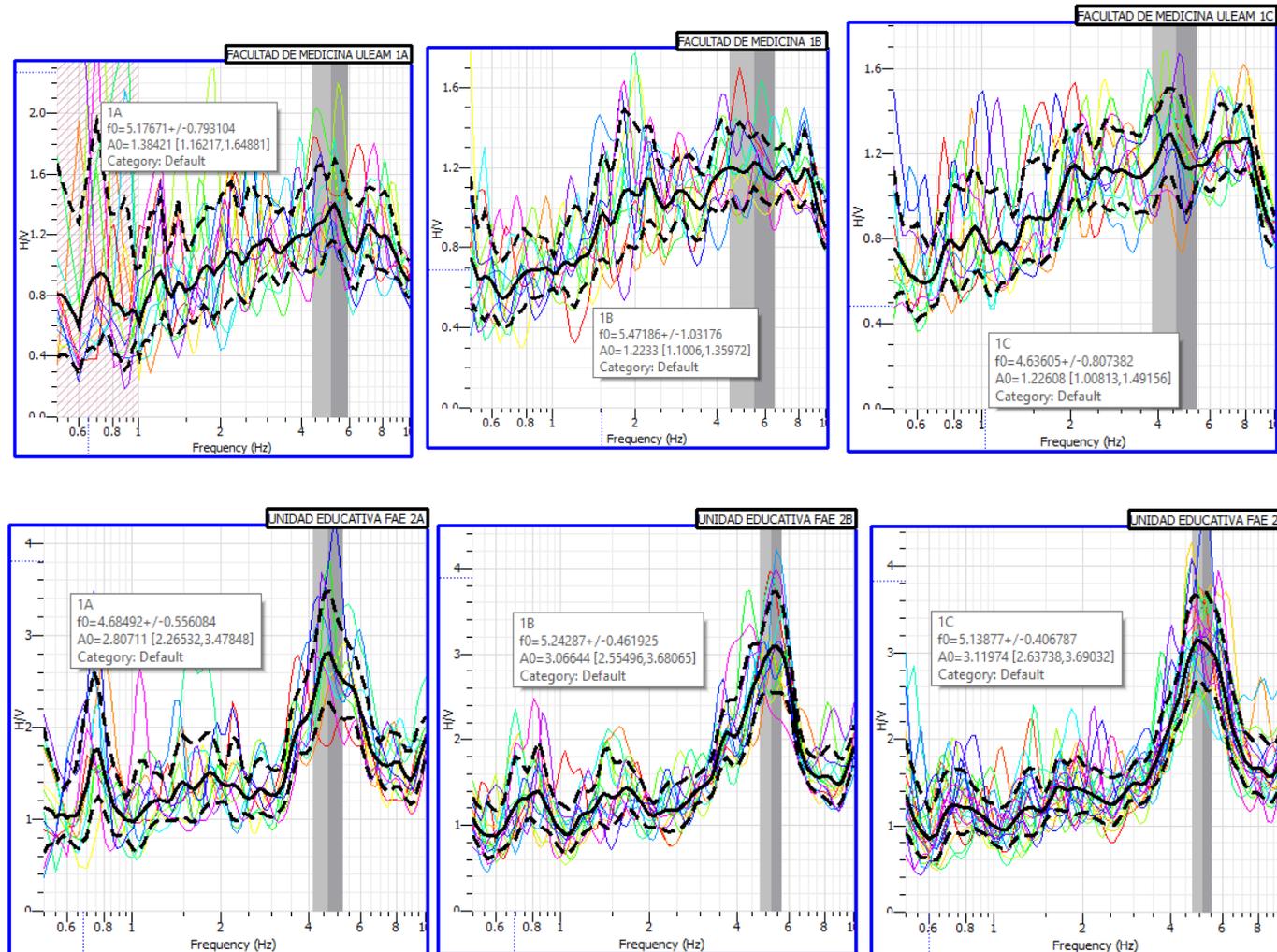


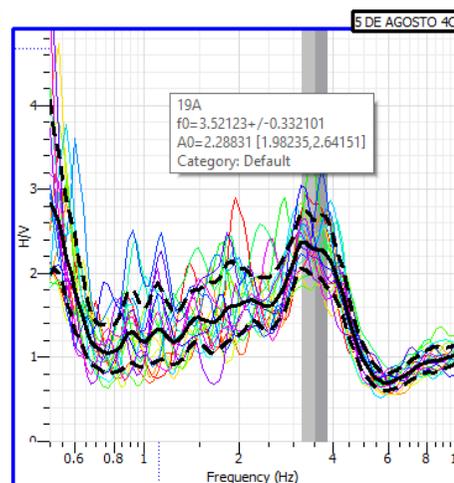
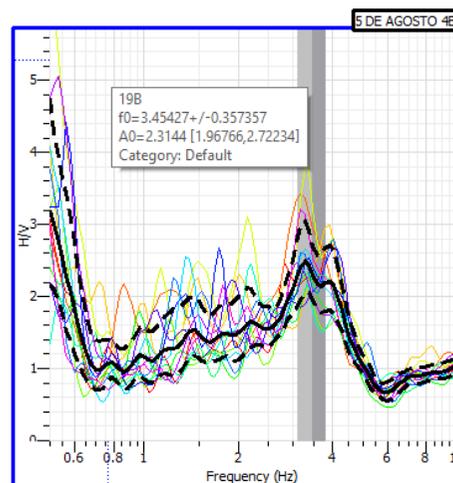
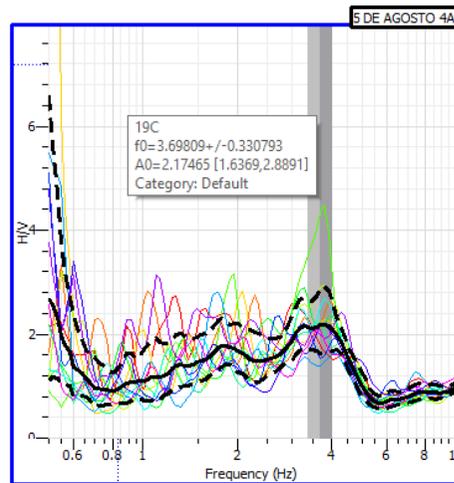
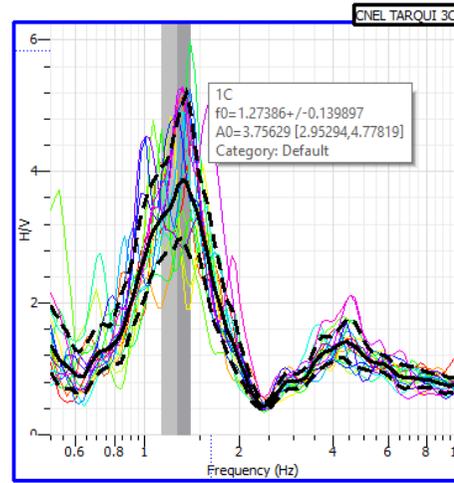
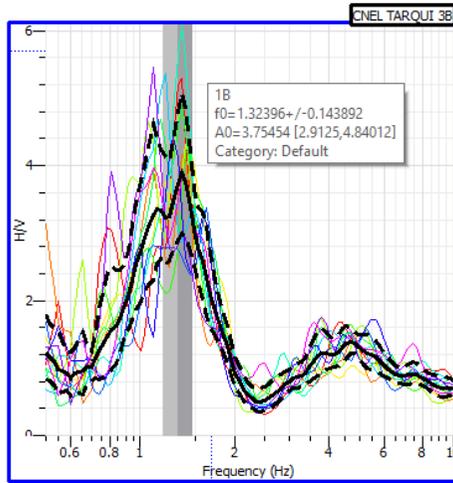
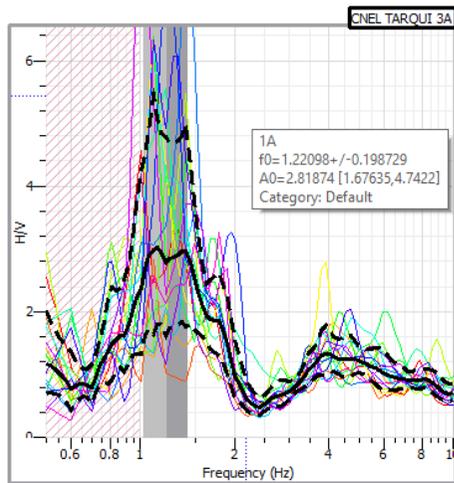
Anexo A.2. Equipo de Regresión Sísmica

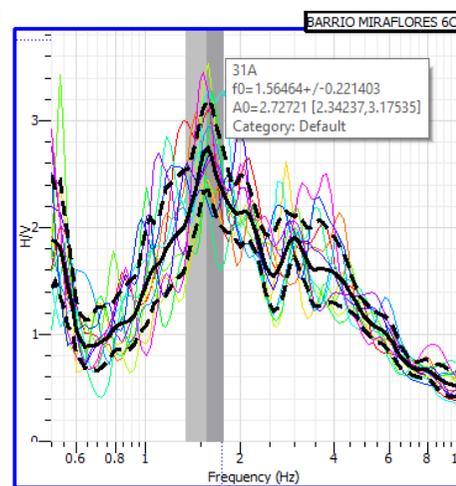
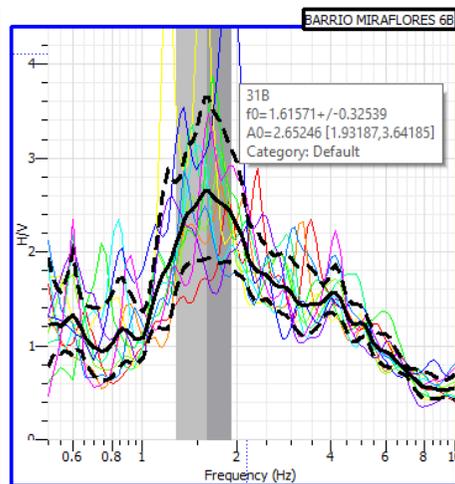
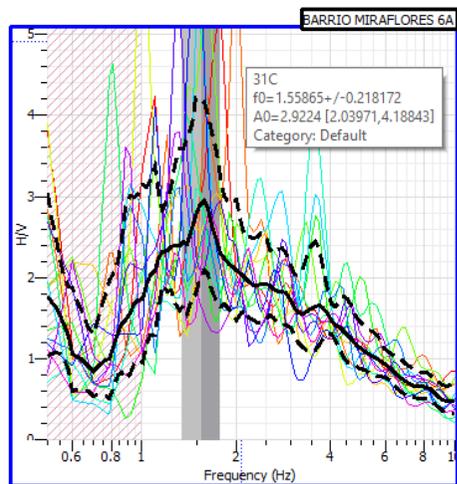
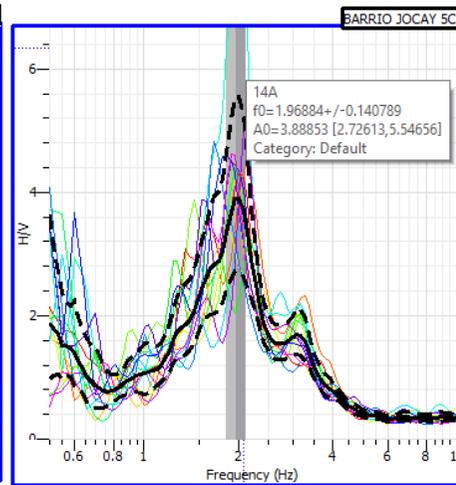
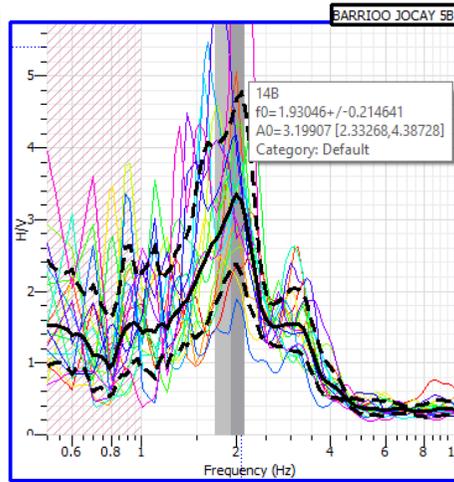
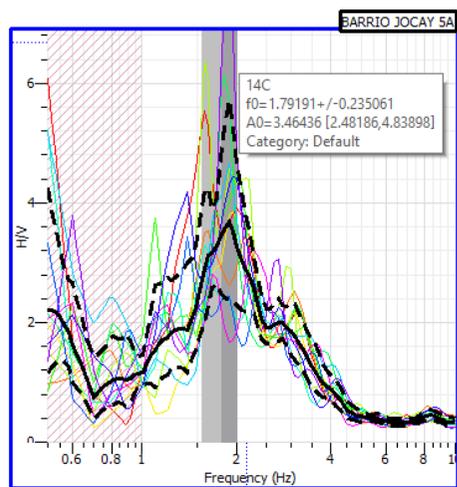
Fuente: Manual del Equipo de Refracción Sísmica.

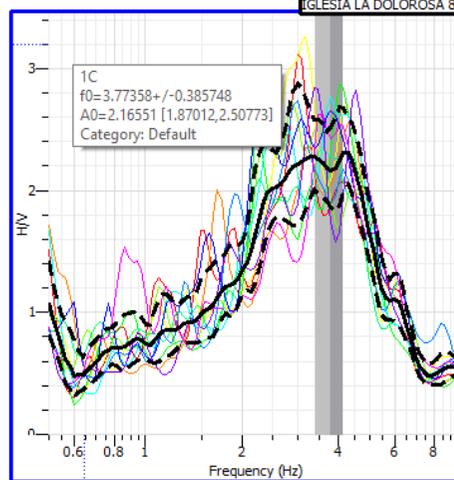
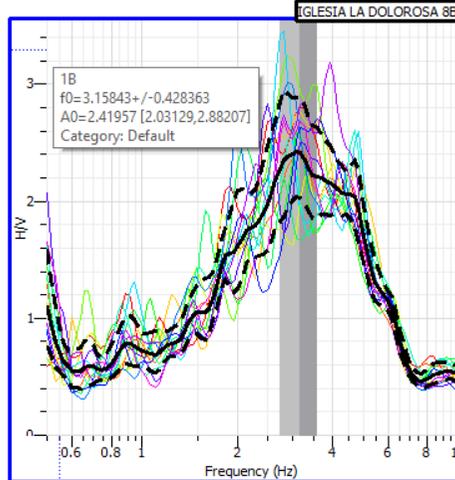
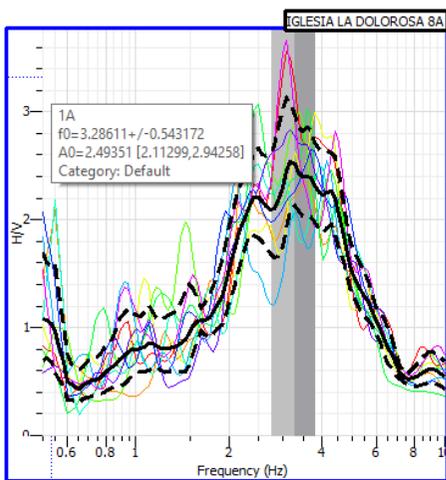
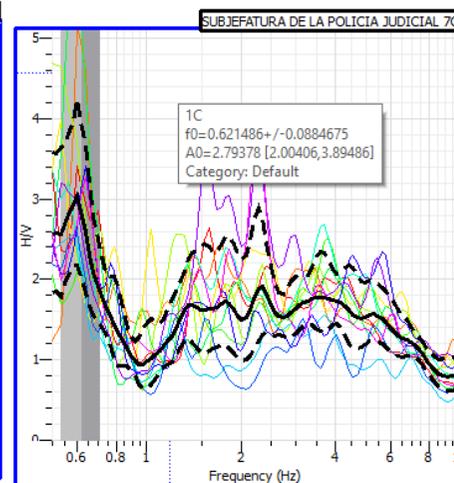
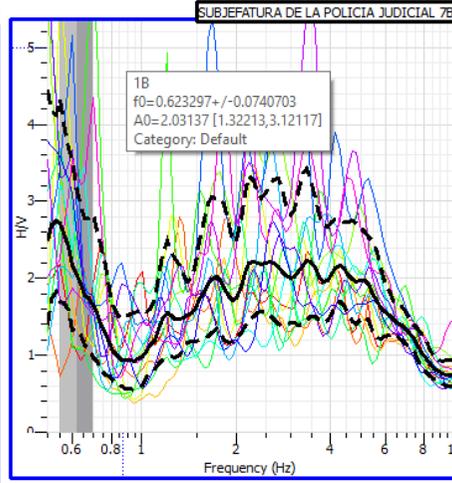
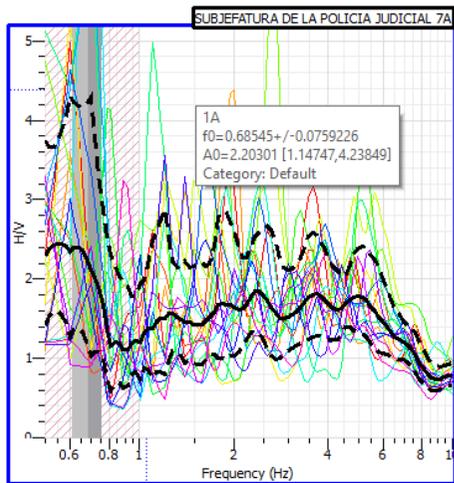
ANEXO B: Registros de Mediciones de Vibración Ambiental en Terreno

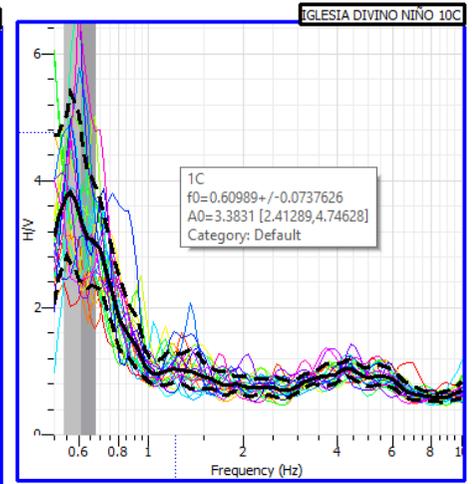
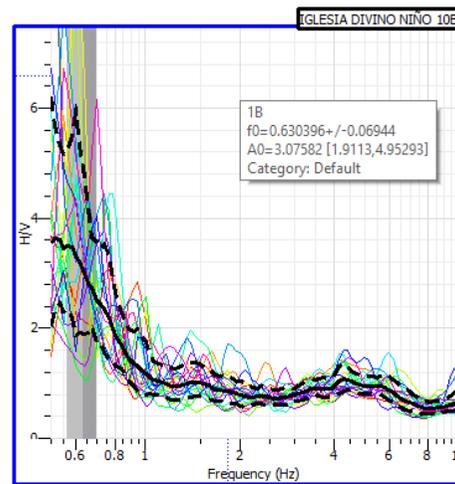
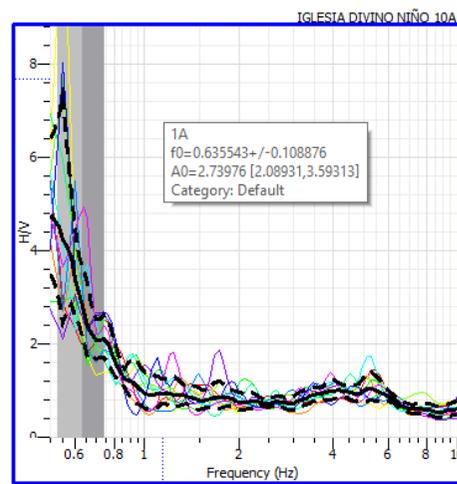
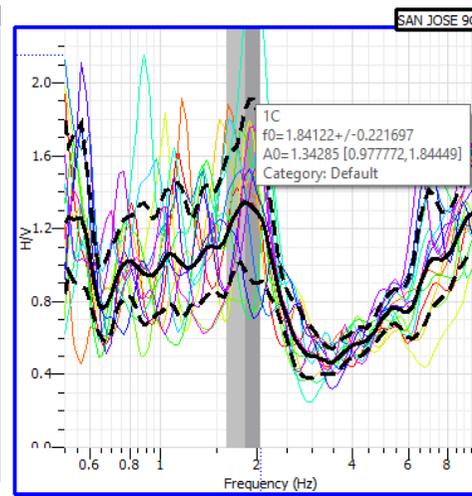
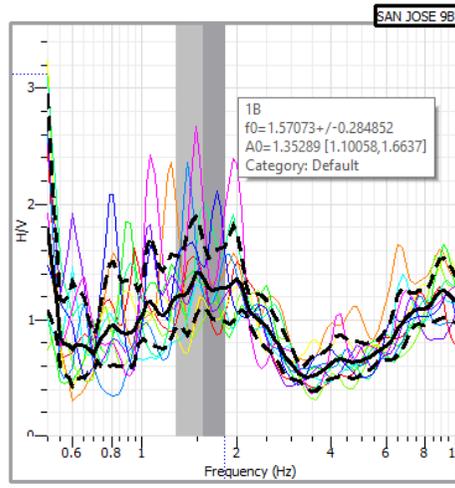
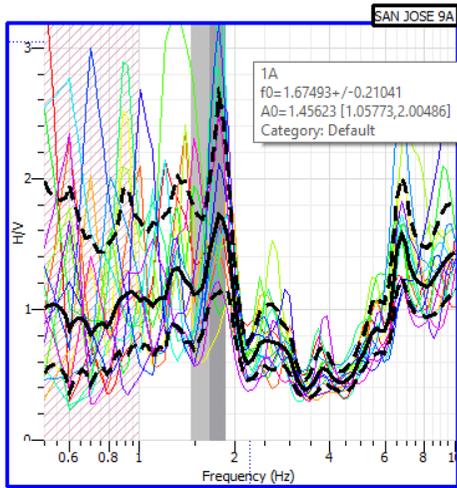
ANEXO B.1: Registros de Mediciones de Vibración Ambiental en Terreno.

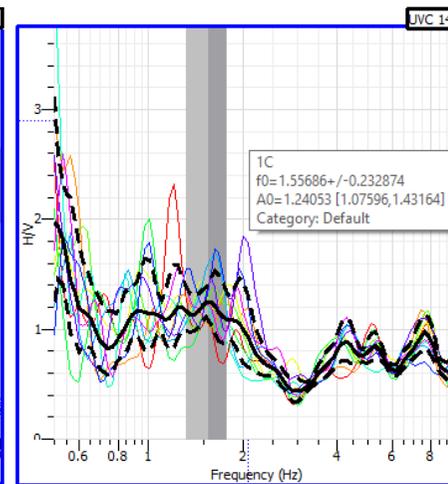
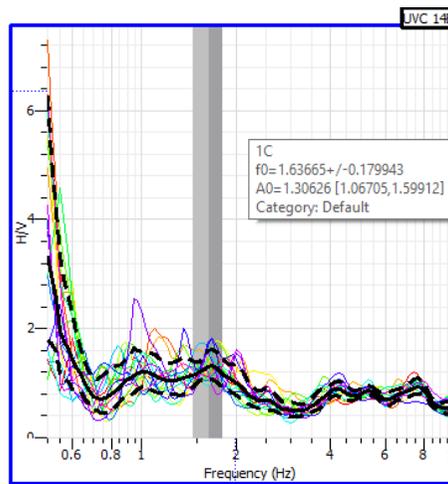
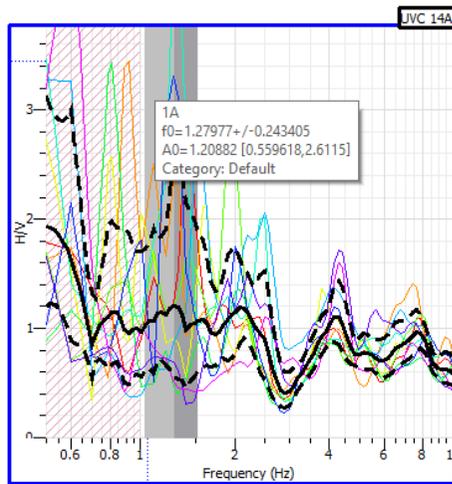
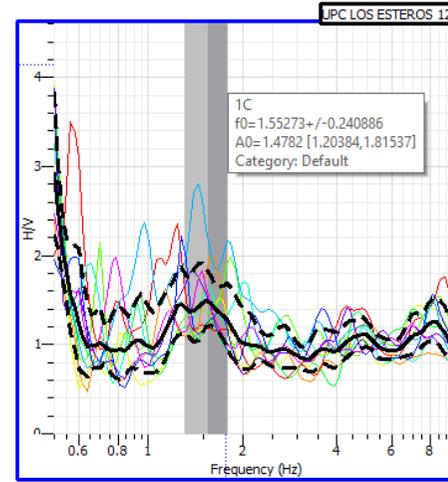
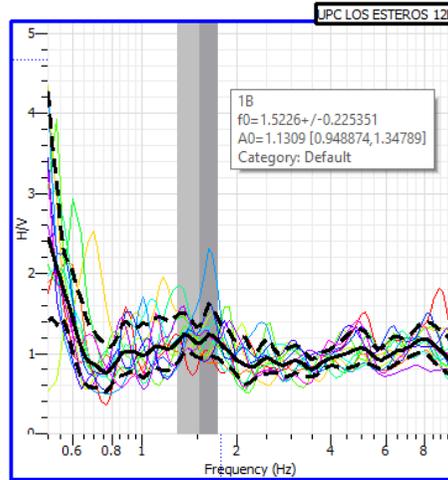
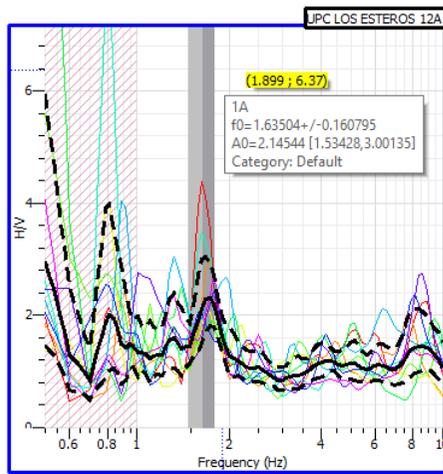


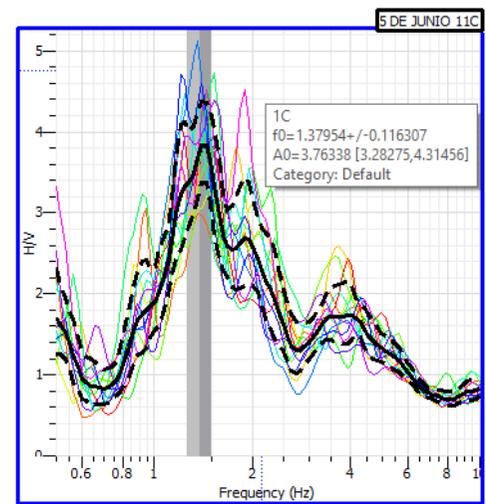
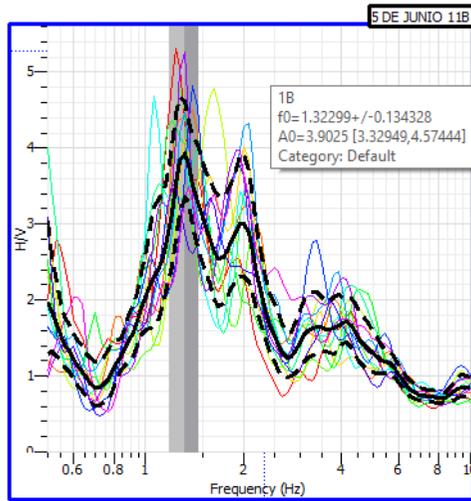
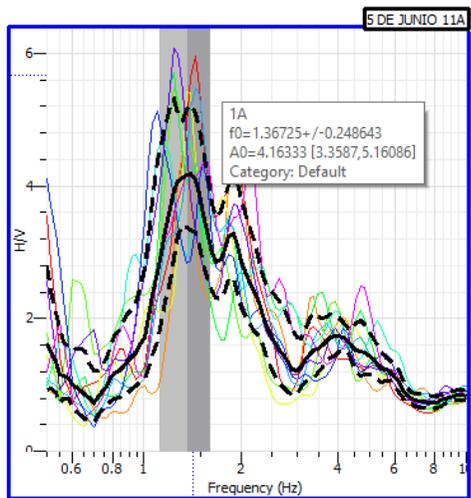
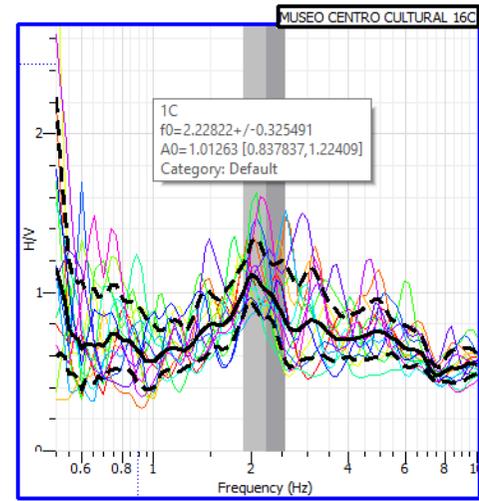
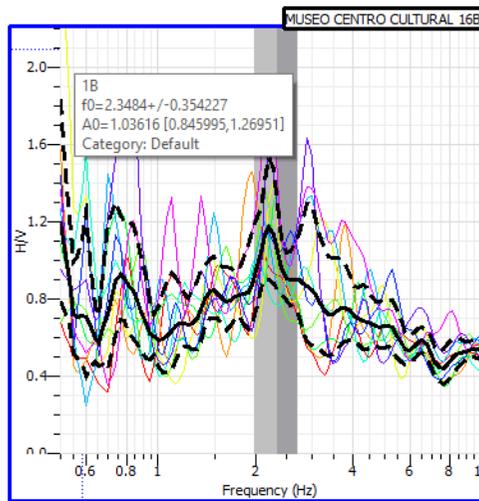
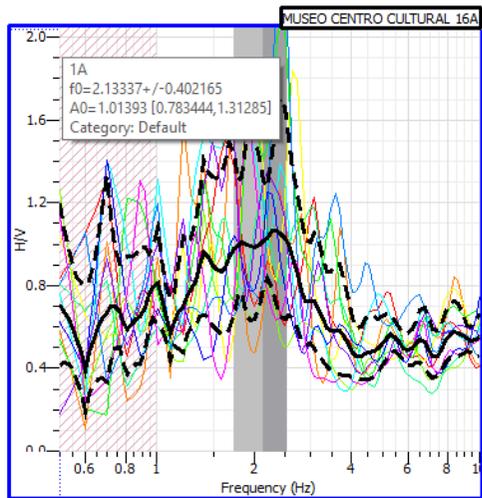


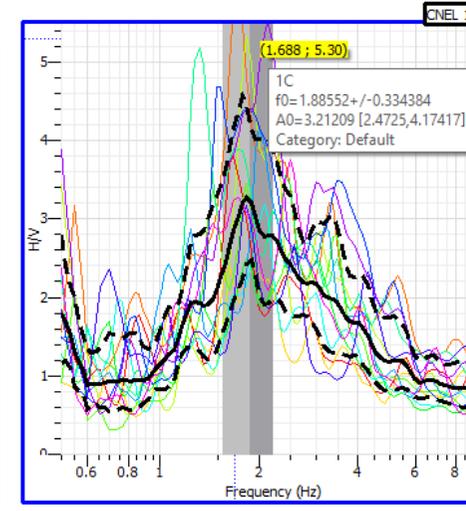
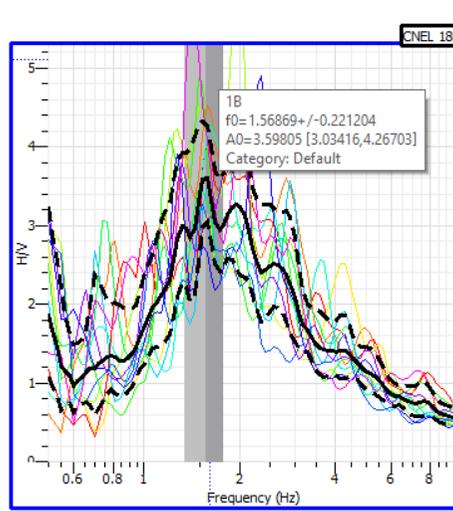
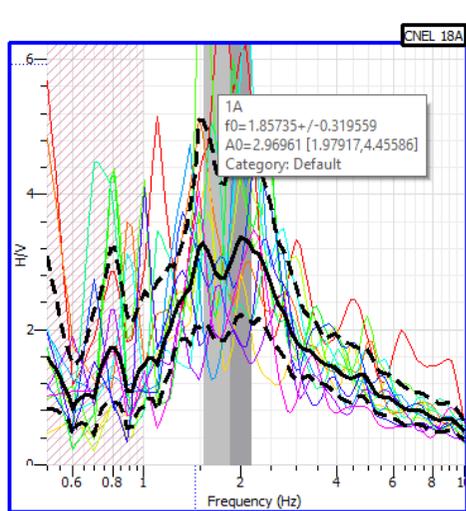
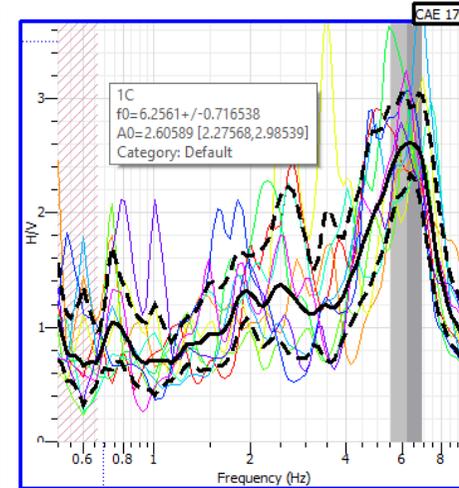
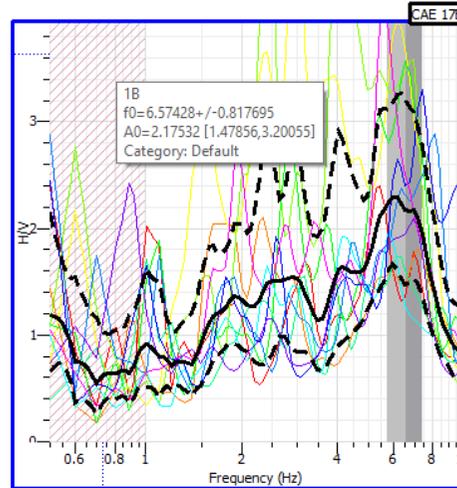
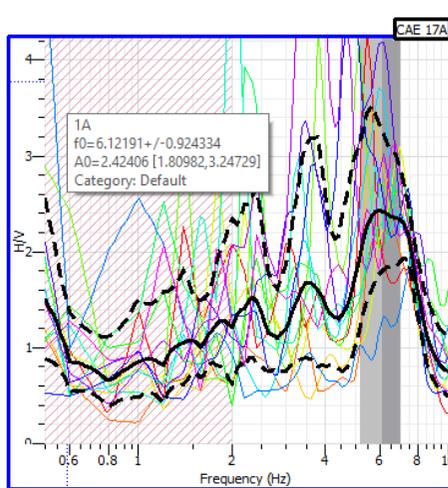


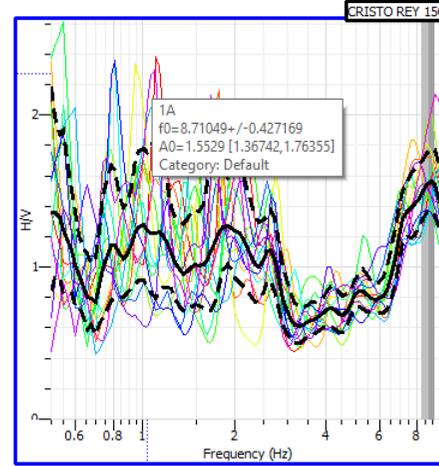
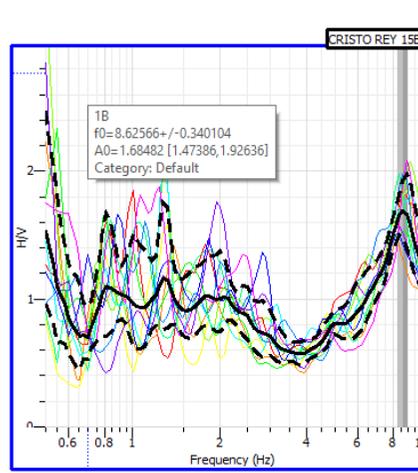
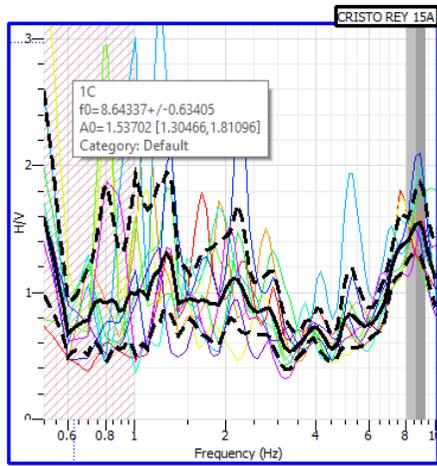
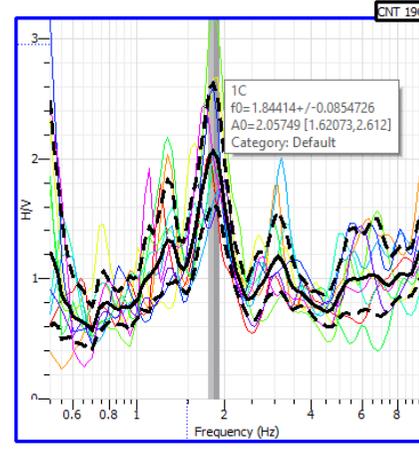
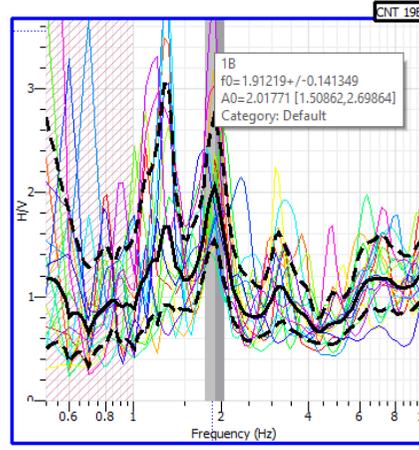
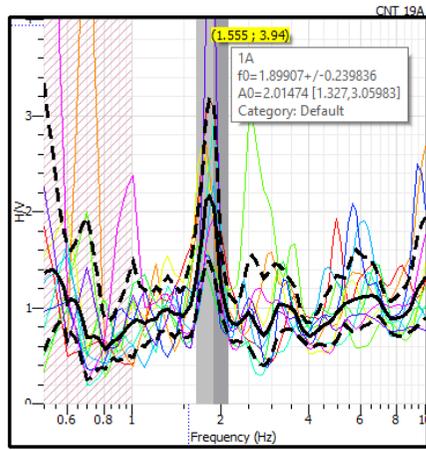


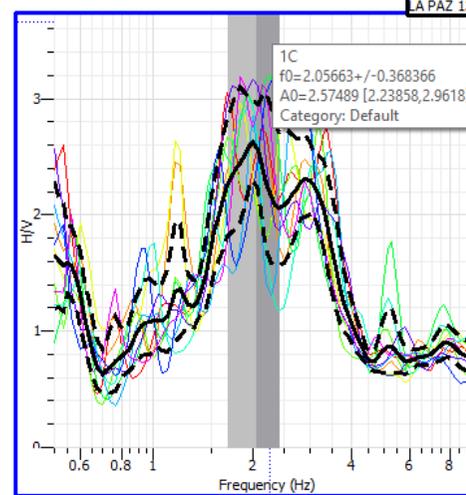
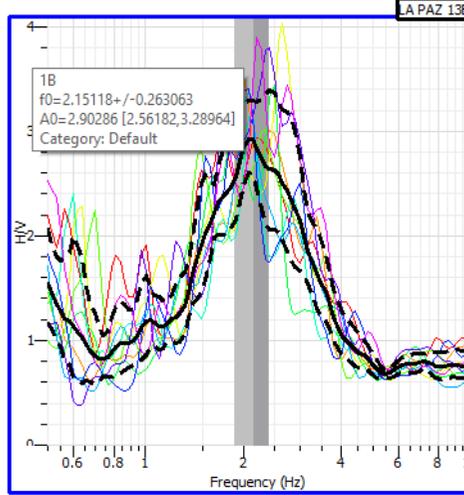
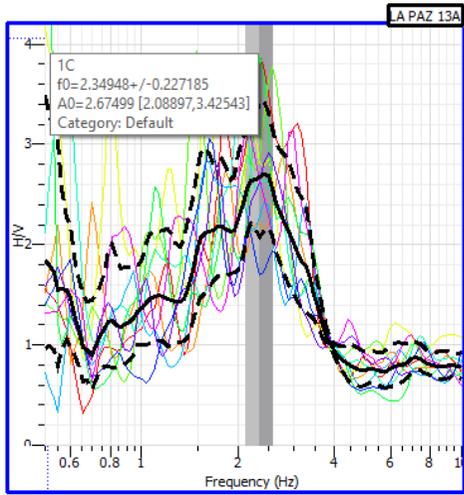












Ubicación	Ensayo	Coordenadas UTM		Fecha	Hora de inicio	Grabación (min)	Condiciones Viento	Tipo de superficie	Densidad de edificación	Presencia transitoria			Fuentes Monocromáticas	Árboles	Observaciones
		Lat.	Long.							Autos	Camiones	Peatones			
ESTADIO ULEAM	1A	528279	9894759	12/09/2018	10:30	20	Débil	Tierra Firme	Poco	Moderado	Poco	Pocos	Poco	Pocos	
	1B				10:52	10									
	1C				11:05	5									
BARRIO URSA	2A	532273	9894111	18/09/2018	14:55	20	Débil	Tierra Firme	Disperso	Moderado	Pocos	Pocos	Sin Presencia	Disperso	
	2B				15:19	10									
	2C				15:31	5									
CAE	3A	530215	9895961	06/09/2019	22:06	5	Moderado	Asfalto	Moderado	Pocos	Ninguno	Poco	Sin presencia	Sin presencia	
	3B				22:12	10									
	3C				22:24	20									
VIA INTERBARRIAL	4A	530736	9893172	18/09/2018	23:06	20	Débil	Tierra Firme	Disperso	Considerable	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	4B				23:28	10									
	4C				23:40	5									
Unidad Educativa FAE	5A	535825	9894572	03/09/2019	14:40	5	Moderado	Tierra firme	Disperso	Pocos	Ninguno	Ninguno	Sin presencia	Moderado	
	5B				14:46	10									
	5C				14:58	20									
T-29 LAS CUMBRES	6A	530222	9893171	12/09/2018	16:50	20	Moderado	Tierra Firme	Disperso	Pocos	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	6B				17:11	10									
	6C				17:22	5									
5 de Agosto	7A	531170	9893110	03/09/2019	18:03	20	Débil	Tierra firme	Disperso	Pocos	Poco	Ninguno	Sin presencia	Sin Presencia	
	7B				18:24	10									
	7C				18:35	5									
Iglesia La Dolorosa	8A	530266	9894702	04/09/2019	16:12	5	Débil	Cemento	Moderada	Pocos	Ninguno	Moderado	Sin presencia	Sin Presencia	
	8B				16:18	10									
	8C				16:20	20									
BARRIO CALIFORNIA	9A	531244	9892668	12/09/2018	14:42	5	Débil	Tierra Firme	Disperso	Pocos	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	9B				14:49	10									
	9C				15:05	20									
La Paz	10C	532295	9893300	06/09/2019	16:25	20	Poco	Tierra Firme	Disperso	Poco	Ninguno	Poco	Sin presencia	Disperso	
	10B				16:46	10									
	10A				16:57	5									

Anexo B.2. Registros de Mediciones de Vibración Ambiental en Terreno

Ubicación	Ensayo	Coordenadas UTM		Fecha	Hora de inicio	Grabación (min)	Condiciones Viento	Tipo de superficie	Densidad de edificación	Presencia transitoria			Fuentes Monocromáticas	Árboles	Observaciones
		Lat.	Long.							Autos	Camiones	Peatones			
BARRIO MARIA AUXILIADORA #1	11A	532298	9893080	09/09/2019	10:37	20	Debil	Tierra Firme	Disperso	Pocos	Pocos	Ninguno	Sin Presencia	Sin Presencia	
	11B				10:58	10									
	11C				11:09	5									
COLEGIO TARQUI	12A	531898	9893110	18/09/2018	20:25	20	Debil	Tierra Firme	Disperso	Pocos	Pocos	Pocos	Sin Presencia	Sin Presencia	
	12B				20:47	10									
	12C				20:58	5									
Barrio Jocay	13A	531455	9894048	03/09/2019	19:05	20	Debil	Tierra firme	Disperso	Moderado	Ninguno	Poco	Sin presencia	Poco	
	13B				19:26	10									
	13C				19:37	5									
CNT	14A	530898	9895441	09/09/2019	22:27	5	Poco	Cemento	Disperso	Poco	Ninguno	Poco	Sin presencia	Disperso	
	14B				22:34	10									
	14C				22:45	20									
CNEL NUEVO	15C	531005	9895009	06/09/2019	23:30	20	Moderado	Asfalto	Moderado	Moderado	Poco	Poco	Sin presencia	Sin presencia	
	15B				23:51	10									
	15A				0:12	5									
Barrio Miraflores	16A	531262	9894422	04/09/2019	20:15	5	Debil	Cemento	Disperso	Poco	Ninguno	Ninguno	Sin presencia	Poco	
	16B				20:37	20									
	16C				20:48	10									
C.C PASAJE FELIPE NAVARRETE	17A	531593	9894587	11/09/2018	10:22	5	Debil	Tierra Firme	Disperso	Moderado	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	17B				10:28	20									
	17C				10:50	10									
CENTRO DE EVENTOS TOHALI	18C	532233	9894673	09/09/2019	23:23	20	Poco	Cemento	Moderado	Moderado	Ninguno	Poco	Sin presencia	Sin presencia	
	18B				23:45	10									
	18A				23:56	5									
1 DE MAYO	19A	531749	9894638	11/09/2018	9:38	20	Debil	Tierra Firme	Disperso	Moderado	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Disperso	
	19B				10:04	10									
	19C				10:15	5									
BARRIO 15 DE SEPTIEMBRE	20A	530199	9893600	09/09/2019	14:58	5	Debil	Cemento	Disperso	Pocos	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	20B				15:07	10									
	20C				15:18	20									

Anexo B.3. Registros de Mediciones de Vibración Ambiental en Terreno

Ubicación	Ensayo	Coordendas UTM		Fecha	Hora de inicio	Grabación (min)	Condiciones Viento	Tipo de superficie	Densidad de edificación	Presencia transitoria			Fuentes Monocromáticas	Árboles	Observaciones
		Lat.	Long.							Autos	Camiones	Peatones			
BARRIO LAS CUMBRES	21A	530885	9892626	12/09/2018	15:50	20	Debil	Asfalto	Disperso	Pocos	Pocos	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	21B				16:12	10									
	21C				16:23	5									
5 de Junio	22A	530281	9894094	04/09/2019	14:35	5	Poco	Tierra Firme	Disperso	Poco	Ninguno	Poco	Sin presencia	Disperso	
	22B				14:42	10									
	22C				14:53	20									
CNEL Tarqui	23A	531668	9894850	03/09/2019	16:25	5	Moderado	Tierra firme	Disperso	Moderado	Poco	Ninguno	Sin presencia	Poco	
	23B				16:32	10									
	23C				16:44	20									
Jefatura Judicial de Manta	24A	530952	9891523	04/09/2019	15:03	5	Debil	Tierra firme	Moderada	Poco	Ninguno	Moderado	Sin presencia	Poco	
	24B				15:10	10									
	24C				15:23	20									
Iglesia Divino Niño	25A	533567	9892810	06/09/2019	15:45	5	Debil	Cemento	Moderada	Poco	Poco	Poco	Sin presencia	Poco	
	25B				15:51	10									
	25C				16:12	20									
CALLE 307 AV 210-211	26A	532240	9892657	11/09/2018	14:52	20	Debil	Asfalto	Disperso	Moderado	Poco	Ninguno	Sin presencia	Sin presencia	
	26B				15:13	10									
	26C				15:24	5									

Anexo B.4. Registros de Mediciones de Vibración Ambiental en Terreno