



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE VIBRACIÓN
DEL SUELO EN LA PARROQUIA JUBONES DE LA CIUDAD DE
MACHALA

GUARACA TENESACA PEDRO PABLO

MACHALA
2016



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE
VIBRACIÓN DEL SUELO EN LA PARROQUIA JUBONES DE LA
CIUDAD DE MACHALA

GUARACA TENESACA PEDRO PABLO

MACHALA
2016



UTMACH

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE TITULACIÓN
ANÁLISIS DE CASOS

VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE VIBRACIÓN DEL SUELO
EN LA PARROQUIA JUBONES DE LA CIUDAD DE MACHALA

GUARACA TENESACA PEDRO PABLO
INGENIERO CIVIL


PANTOJA AGUACONDO DAVID ELOY

Machala, 18 de octubre de 2016


MACHALA
2016

Nota de aceptación:


Quienes suscriben PANTOJA AGUACONDO DAVID ELOY, ZARATE ENCALADA JOSE MARCELO, MEDINA SANCHEZ YUDY PATRICIA y ZAMBRANO ZAMBRANO WILMER EDUARDO, en nuestra condición de evaluadores del trabajo de titulación denominado VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE VIBRACIÓN DEL SUELO EN LA PARROQUIA JUBONES DE LA CIUDAD DE MACHALA, hacemos constar que luego de haber revisado el manuscrito del precitado trabajo, consideramos que reúne las condiciones académicas para continuar con la fase de evaluación correspondiente.




PANTOJA AGUACONDO DAVID ELOY
0702321191
TUTOR



ZARATE ENCALADA JOSE MARCELO
0701790057
ESPECIALISTA 1



MEDINA SANCHEZ YUDY PATRICIA
0703642850
ESPECIALISTA 2



ZAMBRANO ZAMBRANO WILMER EDUARDO
0701139941
ESPECIALISTA 3

Machala, 18 de octubre de 2016

Urkund Analysis Result

Analysed Document: GUARACA TENESACA PEDRO PABLO.pdf (D21740190)
Submitted: 2016-09-13 22:24:00
Submitted By: jzarate@utmachala.edu.ec
Significance: 10 %

Sources included in the report:

Zhigue Zhigue Luis Oswaldo.pdf (D21650092)
CHEVEZ ARIAS JIMMY IGNACIO.pdf (D21541463)
CHEVEZ ARIAS JIMMY IGNACIO.pdf (D21541481)
CHEVEZ ARIAS JIMMY IGNACIO.pdf (D21687491)
CHEVEZ ARIAS JIMMY IGNACIO.pdf (D21740186)
Zhigue Zhigue Luis Oswaldo.pdf (D21740217)
<http://documents.tips/documents/amplificacion-sismica-566db17db73da.html>

Instances where selected sources appear:

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, GUARACA TENESACA PEDRO PABLO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE VIBRACIÓN DEL SUELO EN LA PARROQUIA JUBONES DE LA CIUDAD DE MACHALA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que él asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 18 de octubre de 2016



GUARACA TENESACA PEDRO PABLO
0706118866

DEDICATORIA

El presente trabajo práctico se lo dedico primeramente a Dios, pues me ha dado muchas bendiciones a lo largo de mi carrera como estudiante, dándome salud, vida y ha demás me ha permitido vivir muchas experiencias inolvidables en mi trayecto como estudiante de la Unidad Académica de Ingeniería Civil.

A mis padres, quienes me brindaron absolutamente todo su apoyo, por su tiempo de enseñanza, por ser quienes guiaron mis pasos para ser un hombre de bien y un buen profesional, a entender que nada en esta vida llega fácil si no es con perseverancia y sacrificio, por el haber dicho una y otra vez que yo podría lograr mi sueño de ser Ingeniero civil, por inculcarme los valores más importantes que puede tener un estudiante como son: responsabilidad, puntualidad, y compañerismo. También dedico este logro tan importante a mis familiares quienes fueron muy importantes porque siempre estuvieron ahí para un consejo sano y con fundamentos.

AGRADECIMIENTO

Con inmensa gratitud agradezco a mis queridos padres, quienes con amor y gran responsabilidad supieron guiarme en mi niñez e indicarme el camino del bien, de la misma manera a mis hermanos.

Mis muy sinceras palabras de agradecimiento para personas que estuvieron directamente involucradas con el tema práctico para la obtención de mi título como Ingeniero Civil.

También agradecer a mi tutor el Ing. David Pantoja, que con su experiencia, profesionalismo, y consejos me guió en el tema práctico que fue todo un éxito, al Ing. Luis Chaguay y al Ing. Ángel Pontón que nos facilitaron la información geotécnica de las estratigrafías de los diferentes lugares del Cantón Machala para poder elaborar el presente trabajo.

TEMA: " VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE VIBRACIÓN DEL SUELO EN LA PARROQUIA JUBONES DE LA CIUDAD DE MACHALA. "

RESUMEN:

El Ecuador es un país que se encuentra en una zona de gran actividad sísmica como es el Cinturón de fuego del Pacífico, afectando especialmente a la región Costa donde se ubica la Ciudad de Machala, la misma que está afectada por esta actividad sísmica debido a que sus suelos presentan una composición saturada de agua ya que su nivel freático se encuentra muy cerca de la superficie, lo cual hace que estos suelos sean de baja calidad y susceptibles ante la presencia de movimientos sísmicos, lo que podría afectar a las estructuras y causarían pérdidas económicas y sociales, ya que las estructuras ubicadas en la ciudad no han sido construidas bajo normas sísmo resistentes.

Un gran desafío que presenta el campo de la ingeniería civil es asegurar los diseños y construcciones de las obras de diferentes funcionalidades en suelos que sean lo suficiente estables y resistentes ante la presencia de movimientos sísmicos que pueden afectar la estabilidad de las construcciones, es por eso que debemos de difundir la importancia de hacer el análisis y categorización del suelo donde se va a construir, para poder evitar daños posteriores o afectaciones en la población.

El presente trabajo de titulación pretende categorizar el suelo de la parroquia Jubones de la Ciudad de Machala, para lo cual primero se realiza el cálculo de las Velocidades de ondas de corte, obteniendo primeramente estratigrafías de diferentes zonas de la ciudad donde se va a analizar estos suelos, las cuales son conseguidas en los diferentes laboratorios de suelos de la ciudad de Machala, para el cálculo de las velocidades de ondas de corte se utilizan las correlaciones desarrolladas en la Ciudad de Guayaquil ya que en la Ciudad de Machala aún no se han desarrollado correlaciones propias, debido al poco interés de la población en la construcción de estructuras sísmo resistentes, también para el cálculo de las velocidades medias de ondas de corte y clasificar el suelo se utilizan las fórmulas definidas en las normas NEC-2015 y para el cálculo de los Periodos de vibración del suelo, son obtenidos mediante la aplicación del programa EDUSHAKE, que es un programa que nos proporciona el periodo predominante que adquiere el suelo ante la presencia de un movimiento sísmico tomando en

consideración algunos parámetros de las estratigrafías de algunos lugares de la zona a evaluar, estos resultados ayudaran a definir las diferentes normas de construcción que serán recomendables para cada sitio según el tipo de suelo que se presente y a la vez poder mitigar los efectos que pueden provocar los movimientos sísmicos para las construcciones. También se puede decir que el presente trabajo tiene como finalidad incentivar tanto a profesionales como a la población, para que se promueva la microzonificación de la ciudad de Machala que es de vital importancia ya que mediante la misma se pueden definir las zonas donde afectara mayormente la actividad sísmica y se podrá definir los diferentes factores sísmicos a emplearse, definiendo un mapa representativo de la ciudad con los diferentes parámetros de los registros sísmicos.

Palabras clave: análisis, periodos de vibración, ondas de corte, elaboración, categorización del suelo.

“CUTTING SPEEDS WAVES AND PERIODS OF SOIL VIBRATION JUBONES PARISH CITY MACHALA”

ABSTRACT:

Ecuador is a country located in an area of high seismic activity such as the Ring of Fire, especially affecting the Costa region where the city of Machala is located, the same that is affected by this seismic activity because its soils are saturated water because the water table is near the surface, which makes these soils are of poor quality and susceptible to the presence of earthquakes, which could affect the structures and cause lost composition economic and social, as the structures in the city have not been built on earthquake resistant standards.

A major challenge that presents the field of civil engineering is to ensure the design and construction of the works of different functionalities in soils that are sufficiently stable and resistant to the presence of earthquakes that can affect the stability of the buildings, which is why we must disseminate the importance of analyzing and categorizing land where it will build, in order to avoid further damage or damages in the population.

This paper titling meant to categorize the floor of the Jubones parish of the city of Machala, for which first calculating speeds shear waves is performed, by first obtaining stratigraphy of different areas of the city where they will analyze these soils, which are collected in different soil laboratories in the city of Machala, for calculating the velocities of shear waves correlations developed in the city of Guayaquil are used as in the city of Machala not yet been developed own correlations due to little interest of the population in the construction of structures earthquake resistant, also for calculating average speeds of shear waves and classify the soil formulas defined in the NEC-2015 standards and calculation used Periods floor vibration, are obtained by applying the EDUSHAKE program, a program that provides the predominant period that takes the floor in the presence of an earthquake taking into consideration some parameters of the stratigraphy of some parts of the area to assess, these results help define the different construction standards that will be recommended for each site depending on the type of soil that is present and also to mitigate the effects that can cause earthquakes for buildings. You can also say that the present work aims to encourage both professionals and the public, so that the micro-zoning of the city of Machala is of vital importance is promoted because

through it you can define the areas affected mostly the seismic activity and seismic may define different factors to be used, defining a representative map of the city with the various parameters of seismic records.

Keywords: analysis, vibration periods, shear waves, processing, categorizing soil.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

1	GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO	15
1.1	Titulo	15
1.2	Definición y contextualización del objeto de estudio	15
1.3	Hechos de interés	16
1.3.1	<i>Principales sismos registrados de magnitud mayor a siete acontecidos en el último siglo.</i>	16
1.4	Objetivos de la investigación	19
1.4.1	<i>Objetivo general.</i>	19
1.4.2	<i>Objetivo específico</i>	19

CAPITULO II

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO – EPISTEMOLÓGICA DEL ESTUDIO.....	20
2.1	Descripción del enfoque epistemológico de referencia.....	20
2.2	Bases teóricas de la investigación.....	20
2.2.1	<i>Velocidades de las ondas de corte</i>	20
2.2.2	<i>Elementos de las ondas sísmicas</i>	21
2.2.3	<i>Tipos de ondas sísmicas</i>	22
2.2.4	<i>Propagación de ondas sísmicas</i>	24
2.2.5	<i>Efectos locales en el suelo</i>	28
2.2.6	<i>Parámetros que afectan las velocidades de ondas de corte</i>	30
2.2.7	<i>Ensayo de crosshole y downhole para determinar velocidades de ondas de corte</i>	31
2.2.8	<i>Correlaciones para el cálculo de las velocidades de ondas de corte</i>	33
2.2.9	<i>Periodos de vibración en el suelo</i>	36
2.2.10	<i>Amplificación de las ondas sísmicas por efectos de los estratos del suelo</i>	37
2.2.11	<i>Factores de amplificación</i>	38
2.2.12	<i>Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico según la NEC – 2015</i>	39

CAPITULO III

3	PROCESO METODOLÓGICO.....	41
3.1	Diseño o tradición de investigación seleccionada.....	41
3.2	Proceso de recolección de datos en la investigación.	41

3.3	Sistema de categorización en el análisis de los datos.....	43
3.3.1	<i>Determinación de las velocidades de ondas de corte con las correlaciones tomadas para los suelos de Guayaquil</i>	43
3.3.2	<i>Determinación de la velocidad media de onda de corte, y clasificación del perfil del suelo según la NEC - 2015</i>	44
3.3.3	<i>Uso del software edushake</i>	45

CAPITULO IV

4	RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
4.1	Descripción y argumentación teórica de resultados	66
4.1.1	Evaluación de los resultados obtenidos de las velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo	66
4.2	Conclusiones.....	67
4.3	Recomendaciones	68
	BIBLIOGRAFÍA.....	69
	ANEXOS	74
	ANEXO A – PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.....	75
	ANEXO B - DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE CON LAS CORRELACIONES TOMADAS PARA LOS SUELOS DE GUAYAQUIL.....	81
	ANEXO C - DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA DE ONDA DE CORTE, Y CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO SEGÚN LA NEC - 2015	87
	ANEXO D – RESUMEN DE RESULTADOS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de fuentes sísmicas en el Ecuador (Modificado de Mapa de fallas del Ecuador de USGS).....	17
Figura 2: Mapa de ubicación de los sismos registrados en 1900 con magnitud mayor a 7.	18
Figura 3: Elementos de una onda.	22
Figura 4: Ondas Primarias “P”	22
Figura 5: Ondas Secundarias “S”	23
Figura 6: Ondas Love “L”	24
Figura 7: Ondas Rayleigh “R”	24
Figura 8: Barra sometida a vibraciones.	25
Figura 9: Elemento diferencial.....	26
Figura 10: Esquema del ensayo Down – Hole.....	32
Figura 11: Esquema del ensayo Cross – Hole.	33
Figura 12: Correlación para el cálculo de la velocidad de onda de corte para depósitos de arcilla y limo.	35
Figura 13: Correlación para el cálculo de la velocidad de onda de corte para depósitos de arena.....	36
Figura 14: Amplificación de las ondas sísmicas.	37
Figura 15: Ubicación de los perfiles estratigráficos en el mapa de la Ciudad de Machala	42
Figura 16: Secuencia de operaciones de Edushake.	46
Figura 17: Caso de una sola capa.	47
Figura 18: Caso de múltiples capas de suelo.	49
Figura 19: Pantalla de instalación del software.	51
Figura 20: Proceso de instalación de EDUSHAKE.....	51
Figura 21: Icono del programa.	51
Figura 22: Página principal del programa.	52
Figura 23: Características del perfil del suelo.....	52
Figura 24: Opciones de curvas de reducción de módulo.	53
Figura 25: Datos de entrada de cada capa del suelo.....	53
Figura 26: Resumen de datos de las capas del suelo.....	54
Figura 27: lista de las opciones de salida.	54
Figura 28: Vista del perfil del suelo.	55
Figura 29: Registros sísmicos de Edushake.....	55

Figura 30: Datos del registro sísmico.....	56
Figura 31: Opciones para visualizar los espectros.	57
Figura 32: Espectro Aceleración vs Tiempo.	57
Figura 33: Espectro Velocidad vs Tiempo.	58
Figura 34: Espectro Desplazamiento vs Tiempo.	58
Figura 35: Opciones de visualización de los resultados.....	59
Figura 36: Reporte de resultados de Edushake.	60
Figura 37: Ingreso de datos de la estratigrafía del Perfil 1.	60
Figura 38: Opciones para visualizar las gráficas del Perfil 1.	61
Figura 39: Gráfico del Perfil estratigráfico 1.....	61
Figura 40: Registro sísmico para el Perfil estratigráfico 1.	62
Figura 41: Gráfica Aceleración vs Tiempo - Perfil estratigráfico 1.	63
Figura 42: Gráfica Velocidad vs Tiempo - Perfil estratigráfico 1.	63
Figura 43: Gráfica Desplazamiento vs Tiempo - Perfil estratigráfico 1.....	64
Figura 44: Espectro de Fourier - Perfil estratigráfico 1.....	64
Figura 45: Periodo predominante del suelo - Perfil estratigráfico 1	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sismos registrados en el Ecuador con magnitud mayor a 7.	18
Tabla 2: Ecuaciones empíricas de correlación N del STP con la Velocidad de ondas de corte Vs	34
Tabla 3: Clasificación de los suelos según la NEC - 2015.	40
Tabla 4: Descripción de los perfiles estratigráficos para la parroquia Jubones de la Ciudad de Machala.	41

INTRODUCCIÓN

Los suelos de Machala son suelos que se encuentran altamente saturados, la textura varía desde arenosa a arcillosa con predominio de los suelos arcilloso – limosos lo que hace que las velocidades de ondas de corte y los periodos de vibración del suelo ante un movimiento sísmico adquieran mayor magnitud, también las condiciones locales del suelo tienen un papel fundamental en la respuesta estructural. En efecto, un sismo representa mayor daño en suelos malos y daños mínimos en suelos resistentes, en los suelos malos las ondas sísmicas se amplifican, la cual es la causante de grandes daños estructurales y no estructurales en casas y edificios, por eso es necesario tomar conciencia y difundir con todos los profesionales que ejercen la ingeniería civil el tema de los efectos locales del suelo en estructuras a causa de un terremoto.

Para el cálculo de las velocidades de ondas de corte se utilizan pruebas geofísicas que se realizan in situ como la de Downhole y Crosshole que son de utilidad primaria en el campo de la geotecnia. Conocida la velocidad de onda de corte es posible calcular la rigidez de la estructura de los suelos o el modulo cortante del suelo que puede ser usado en problemas dinámicos y en diseños de cimentaciones ante cargas estáticas.

El Ecuador es un país que se encuentra afectado por un gran riesgo sísmico ya que se ubica en el cinturón de Fuego del Pacífico y afectando especialmente a la región Costa de nuestro país que ha sido afectada a lo largo del tiempo por numerosos terremotos aunque algunos han sido de baja magnitud e intensidad, otros han causado grandes daños estructurales que han dado lugar a pérdidas sociales y económicas.

La importancia de realizar el presente trabajo es de analizar las correspondientes estratigrafías que se han tomado de diferentes estudios de suelos realizados en el cantón de Machala para así analizar su composición y su resistencia que tendrá ante un movimiento sísmico, luego de obtener su velocidad de onda de corte mediante correlaciones empíricas elaboradas para la zona correspondiente y calcular el periodo de vibración que tendrá el suelo para a su vez lograr categorizar el suelo de acuerdo a las normas de construcción la cual permitirá utilizar coeficientes adecuados que a su vez toman en consideración el comportamiento sísmico y dinámico de los suelos sobre los cuales se van apoyar las edificaciones.

CAPITULO I

1 GENERALIDADES DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1 Titulo

Velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo en la parroquia Jubones de la Ciudad de Machala.

1.2 Definición y contextualización del objeto de estudio

“El crecimiento de la ciudad de la ciudad de Machala está avanzando progresivamente en los últimos años motivo por el cual se están construyendo algunos edificios en diferentes zonas de la ciudad las cuales van a tener un mayor riesgo sísmico por la gran cantidad de personas que van a vivir en estos edificios.

Los efectos potenciales que un evento sísmico causa, pueden ser devastadores como se lo ha comprobado en los últimos años. Las pérdidas de vidas y de recursos pueden ser de grandes proporciones afectando la economía de los pueblos. El contar con una información que permita regir y controlar el uso del suelo, de las construcciones y edificaciones, fijar los requerimientos que la técnica con sus últimos avances aconseja y definir responsabilidades técnicas podrá reducir las pérdidas y daños ocasionados por este tipo de desastre natural.”[1][2]

Por lo mencionado, se hace necesario contar con registros que permitan visualizar adecuadamente tanto los espectros de diseño como los factores de amplificación de las zonas de la ciudad, para poder realizar un análisis estructural que se acerque más a la realidad, y que esté de acuerdo a la normativa vigente (NEC-15).[1]

Desde hace varias décadas, se ha observado una concentración de daños producidos por los sismos, una distribución de daños de emplazamiento urbanos que varía en función del tipo de suelo. Un análisis comparativo de registros sísmicos en un mismo sitio, tanto en el subsuelo como en la superficie, revela diferencias claras en cuanto a amplitud, contenido de frecuencias y duración del movimiento registrado. Dichas diferencias pueden ser representadas por medio de una función de transferencia de ondas, de los depósitos de suelo sobre roca firme.

Los avances que se realizan continuamente en el diseño de estructuras se aplican básicamente a las estructuras nuevas y en menor medida a la rehabilitación de estructuras existentes. Consecuentemente, para reducir las pérdidas debidas a los sismos, es necesario mejorar también el comportamiento de las estructuras antiguas. Tal mejora requiere una evaluación previa de su comportamiento sísmico esperado, lo que sienta las bases de los estudios de vulnerabilidad sísmica. Éstos están orientados hacia la predicción de daños esperados en estructuras, en el supuesto de que ocurra un terremoto de una cierta severidad.[3]

1.3 Hechos de interés

La corteza terrestre está constituida por las llamadas placas tectónicas, las cuales, en su interacción, producen los terremotos y volcanes. El Cinturón Sísmico del Pacífico es la principal zona de peligro sísmico mundial, ya que casi todas las zonas de subducción presentes en la Tierra se ubican alrededor del océano Pacífico, al igual que más de las tres cuartas partes de todos los volcanes activos y extinguidos. Los márgenes de subducción marcan aquellas zonas en las que las placas convergen unas con otras. Este movimiento obliga a una de ellas a introducirse por debajo de la otra, como resultado de esto la litósfera se consume o se destruye.[4]

La ciudad de Machala ha sido afectada por grandes movimientos sísmicos en épocas anteriores y en la actualidad también se ha visto afectada por nuevos movimientos sísmicos que han ocurrido con mayor afectación a la región Costa del Ecuador afectando a nuestra ciudad.[5]

La poca importancia del estudio adecuado de los suelos donde se construyen viviendas y edificaciones es la principal causa de grandes daños estructurales en las construcciones y de las pérdidas de factores económicos y sociales.

Par lo cual se han recopilado los más importantes registros sísmicos con magnitud mayor a siete en el Ecuador en el último siglo, que se presentan en la sección posterior.

1.3.1 Principales sismos registrados de magnitud mayor a siete acontecidos en el último siglo

El Ecuador presenta diversos registros de una alta sismicidad que han sido acompañados con efectos geológicos y geotécnicos que han impactado sobre el medio físico costero del

país de gran manera. Estos eventos sísmicos suelen ir acompañados de fenómenos geológicos considerables y nuestra área de estudio puede ser afectada por dos tipos de fuentes sísmicas, las localizadas en la zona de subducción o por terremotos corticales (fallas geológicas ubicadas en la placa continental).[6]

Figura 1: Tipos de fuentes sísmicas en el Ecuador (Modificado de Mapa de fallas del Ecuador de USGS).



Fuente: Mapa de fallas del Ecuador

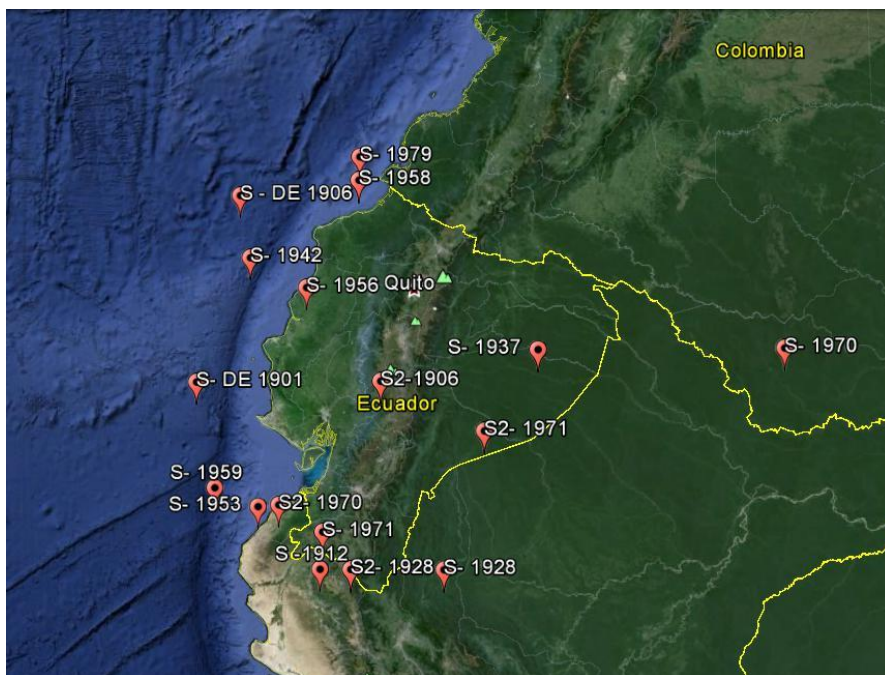
Tabla 1: Sismos registrados en el Ecuador con magnitud mayor a 7.

SISMOS REGISTRADOS EN EL ECUADOR CON MAGNITUD MAYOR A 7 DESDE 1900					
ITEM	FECHA	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (km)	MAGNITUD
1	07/01/1901	-2	-82	25	7,8 M
2	31/01/1906	1	-81,3	25	8,6 MW
3	28/09/1906	-2	-79	150	7,5 MW
4	24/07/1912	-5	-80	30	7 MW
5	14/05/1928	-5	-78	0	7,3 MW
6	18/07/1928	-5	-79,5	0	7 MW
7	19/07/1937	-1,5	-76,5	190	7,1 MW
8	14/05/1942	-0,01	-81,12	20	7,9 MS
9	12/12/1953	-4	-81	0	7,8 M
10	16/01/1956	-0,5	-80,2	0	7,3 MW
11	19/01/1958	1,22	-79,37	40	7,8 MS
12	07/07/1959	-3,7	-81,71	0	7,4 MW
13	31/07/1970	-1,46	-72,56	653	7 MW
14	10/12/1970	-3,97	-80,66	15	7,6 MW
15	11/07/1971	-4,4	-79,95	100	7,1 MW
16	27/07/1971	-2,79	-77,35	88	7,5 MW
17	12/12/1979	1,6	-79,36	24	7,7 MS

Fuente: Instituto Geofísico del Ecuador

UBICACIÓN DE LOS SISMOS EN EL MAPA DEL ECUADOR.

Figura 2: Mapa de ubicación de los sismos registrados en 1900 con magnitud mayor a 7.



Fuente: Autor.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Determinar los valores probables de las velocidades de ondas de corte y los periodos de vibración para los diferentes perfiles del suelo de la Parroquia Jubones de la Ciudad de Machala mediante la utilización del programa EDUSHAKE y categorizar el suelo mediante los resultados obtenidos.

1.4.2 Objetivo específico

Definir correlaciones empíricas utilizadas en la ciudad de Guayaquil para el cálculo de los valores de las velocidades de ondas de corte para las diferentes estratigrafías que presente la zona a evaluar.

Obtener el periodo de vibración del suelo ante la presencia de un movimiento sísmico mediante la utilización del programa EDUSHAKE.

Categorizar el suelo de acuerdo a las normas ecuatorianas de la construcción NEC - 2015 con los valores obtenidos de las velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo para poder recomendar las diferentes normas para la construcción de estructuras y lograr disminuir el peligro sísmico que afectara a la misma.

CAPITULO II

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICO – EPISTEMOLÓGICA DEL ESTUDIO

2.1 Descripción del enfoque epistemológico de referencia

La metodología utilizada en esta investigación es de carácter documental; mediante un seguimiento del “estado del arte” sobre el tema valoramos la calidad de la información en términos de su actualidad y de manera simultánea el uso de los “clásicos” sobre el tema nos permiten de tener trans-temporalidad de la información y así proporcionar un documento con los criterios de calidad en la información y los datos presentados.[7]

En este marco de estas ideas el estudio de caso se convierte en una metodología que produce un campo innovador para el desarrollo del conocimiento científico, sobre todo en el terreno de la investigación educativa y de comunicación, donde su uso es escaso por el desconocimiento de sus ventajas, por lo que este artículo es un espacio de diálogo para los interesados en el tema.[7][8]

2.2 Bases teóricas de la investigación

2.2.1 *Velocidades de las ondas de corte*

Dentro de las ondas generadas en el terreno por efectos externos a la corteza terrestre (impactos en superficie, hincas de pilotes, vibraciones de máquinas, explosiones, etc.) o internos a la misma (terremotos) podemos diferenciar entre otras a las ondas de presión “P” y las ondas de corte “S”. [9]

La mayor parte de la energía liberada en el proceso de ruptura, que tiene lugar en el epicentro de un terremoto[10], debida a la relajación de los esfuerzos, es energía de tipo elástico. La propagación de esta energía tanto por el interior, como por la superficie de la Tierra es en forma de ondas sísmicas. [11]

La “velocidad de las ondas de corte”[12] depende, como ocurre en todas las manifestaciones ondulatorias, de las propiedades del medio; fundamentalmente de la elasticidad y densidad de los materiales por los cuales se propaga.[13]

“La determinación de la velocidad de propagación de las ondas de corte (VS) es de gran utilidad en la geotecnia, ya que con este valor se puede[14]:

- 1) determinar el módulo de rigidez al esfuerzo cortante (G),
- 2) inferir densidad en campo,
- 3) estimar el estado de esfuerzos,
- 4) estimar la cimentación natural o
- 5) evaluar la alteración de una muestra.

La relación entre VS y el módulo de cortante (G) está dada por la siguiente ecuación:

$$G = \rho VS^2$$

En donde: ρ = densidad; VS = velocidad de onda de corte.

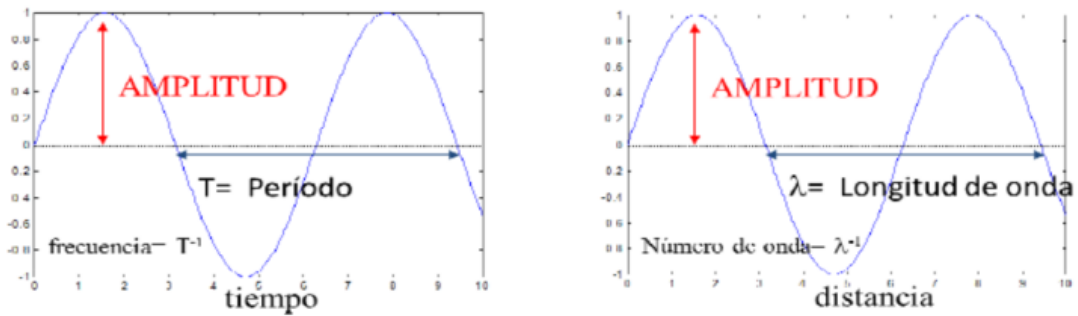
Como las deformaciones causadas por las pruebas geofísicas son muy pequeñas, el módulo de cortante que se obtiene con la VS determinada con dichas pruebas viene siendo el valor máximo (GO), y sufre una degradación mayor o menor, dependiendo del suelo y de la deformación inducida. Este tipo de comportamiento de materiales se le conoce como elástico no-lineal, está asociado con suelos y rocas blandas, y se ha avanzado mucho en la comprensión de este fenómeno especialmente en los últimos años, por lo que los valores de VS y GO tienen aplicaciones tanto para análisis geotécnicos tanto estáticos como dinámicos.”[15]

2.2.2 **Elementos de las ondas sísmicas**

Entre los elementos que pueden tener las ondas sísmicas tenemos a continuación:

- Amplitud (A): Altura alcanzada por la onda medida sobre el nivel de referencia.
- Período (T): Tiempo entre las repeticiones sucesivas de la onda, su unidad es el segundo.
- Frecuencia (f): Número de onda por unidad de tiempo. Es el inverso del período. Su unidad es el Hz.
- Longitud de onda (λ): Distancia entre sucesivas repeticiones de la onda. Se mide en metros.
- Número de Onda K ($1/\lambda$): Número de onda por unidad de distancia. Su unidad es 1 / metros.
- Fase (θ): Desplazamiento en fracciones de ciclos, de un punto dado sobre la onda.
- Velocidad (V): Número de ondas por unidad de tiempo que pasan por un mismo punto. $V = \lambda * f$ [16]

Figura 3: Elementos de una onda.



Fuente: N. Correia, “Obtención del Perfil de Velocidad de Onda de Corte”

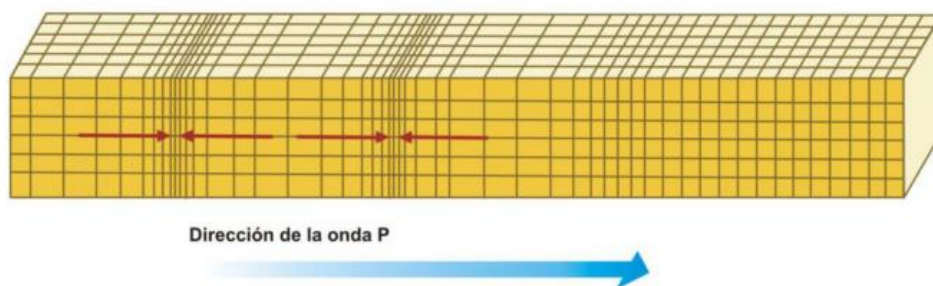
2.2.3 Tipos de ondas sísmicas

En un sismo se transmiten ondas que viajan al interior de la Tierra, siguiendo caminos curvos de acuerdo a la variada densidad y composición de las capas del interior de la Tierra. Estas ondas sísmicas son un tipo de onda elástica, producto de la propagación de perturbaciones temporales en el campo de esfuerzos que generan el movimiento del medio.[17]

Existen dos grupos principales de ondas sísmicas, las ondas de cuerpo o internas y las ondas superficiales.[18]

Las ondas P son ondas longitudinales o compresionales, lo que significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de propagación. Las ondas P son simplemente sonoras en el aire, con una velocidad (V_p) de 340 m/s. En el agua, la velocidad de las ondas P es de unos 1.450 m/s. En un material sólido, como se considera un estrato de suelo, la velocidad de onda va a depender del módulo de elasticidad y de su densidad. Por ejemplo, en materiales como el granito la velocidad de las ondas P puede llegar a 5.000 m/s.[17]

Figura 4: Ondas Primarias “P”

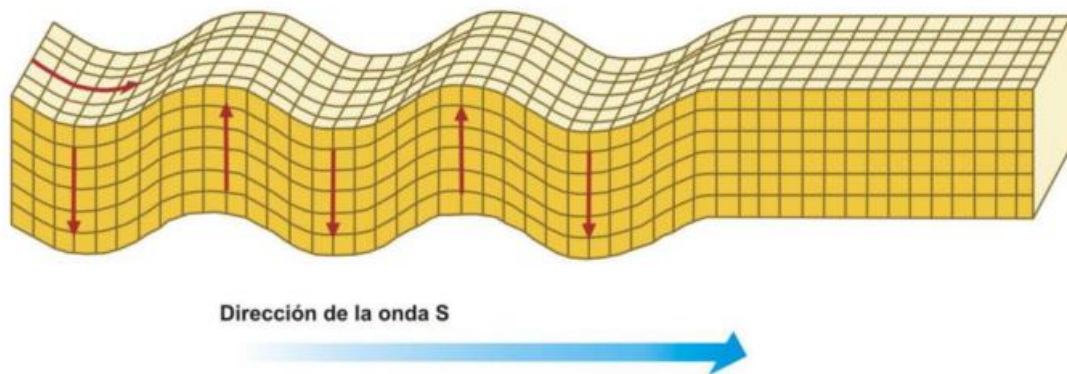


Fuente: S. Álvarez, “El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo”

“Las ondas S son ondas transversales o de corte, que implican movimiento de la tierra de manera perpendicular a la dirección de propagación, alternadamente de un lado hacia y hacia el otro.[19]

Viajan sólo a través de sólidos, con una velocidad (V_S) de aproximadamente un 60% de la velocidad de la onda P, por lo que en un registro sísmico éstas llegan después que las ondas P.

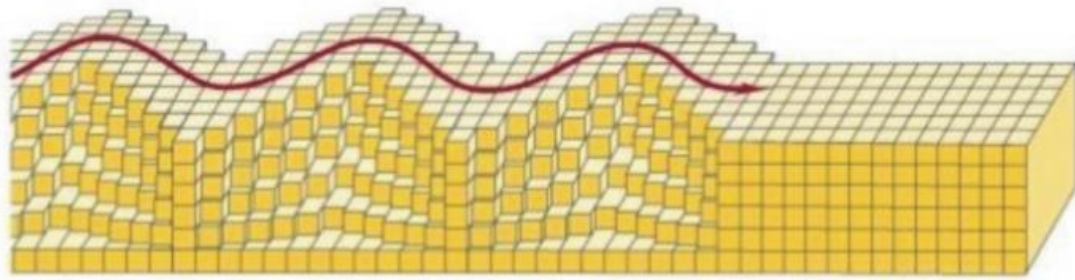
Figura 5: Ondas Secundarias “S”



Fuente: S. Álvarez, “El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo”

Cuando un sólido posee una superficie libre, como es el caso de la Tierra con la interfaz suelo-aire o suelo-agua, pueden generarse ondas que viajan a lo largo de la superficie de la interfase en dirección paralela, con una amplitud decreciente con la distancia y la profundidad[20]. Estas ondas se conocen como ondas Love y ondas Rayleigh. Las ondas Love son ondas netamente superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en superficie. La velocidad de estas ondas es cercana a un 90% de las ondas S y es ligeramente superior a la velocidad de las ondas Rayleigh. Por su parte, las ondas Rayleigh son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo. Son ondas más lentas que las ondas internas y su velocidad de propagación es aproximadamente un 70% de la velocidad de las ondas S.”[17]

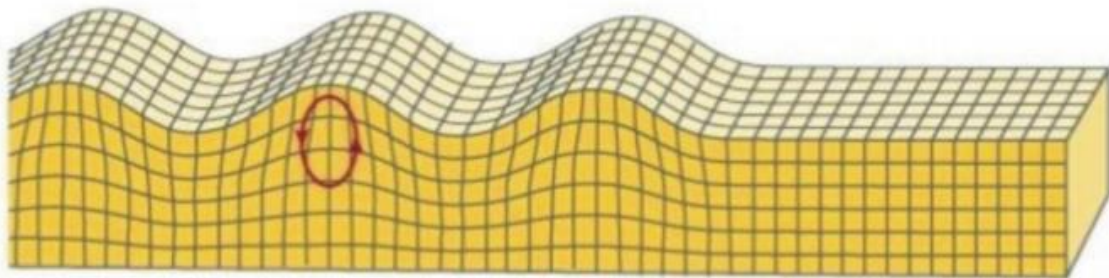
Figura 6: Ondas Love “L”



Dirección de la onda Love

Fuente: S. Álvarez, “El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo”

Figura 7: Ondas Rayleigh “R”



Dirección de la onda Rayleigh

Fuente: S. Álvarez, “El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo”

2.2.4 **Propagación de ondas sísmicas**

En la propagación de las ondas a través de la capa más superficial del terreno, se producen distintos fenómenos físicos que dan lugar a una composición final del movimiento formado por ondas directas y reflejadas P y S, un grupo de ondas que son el producto de la dispersión y difracción de las anteriores donde se incluye la coda y las ondas superficiales. A todas estas modificaciones al movimiento ondulatorio que llega a la base rocosa, contribuyen muchos aspectos del terreno, que vamos a clasificar en tres grupos[21]:

- Propiedades geológicas y dinámicas del material en el emplazamiento.
- Topografía superficial.
- Composición y dirección de la radiación incidente en la base rocosa.

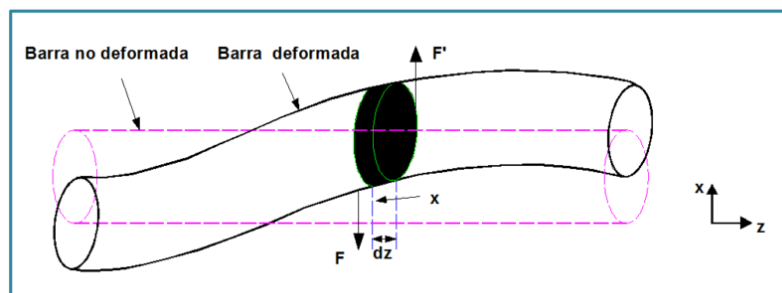
La propagación de ondas de esfuerzos en un medio se comprende fácilmente si se asume que el medio es ilimitado en la dirección que se propaga la onda. La idealización más sencilla es la onda que viaja a lo largo de una barra de longitud infinita (propagación unidimensional) y homogénea.[1]

En una barra se pueden propagar en dirección paralela al eje 3 tipos de ondas: las ondas longitudinales que dilatan y contraen la barra a lo largo del eje originando cambios volumétricos sin desplazamiento lateral[22]; las ondas torsionales que rotan la barra alrededor del eje sin cambios volumétricos ni desplazamiento lateral ni longitudinal; y las ondas transversales que desplazan la barra perpendicularmente al eje sin desplazamiento longitudinal ni cambio volumétrico.[1]

Si se toma una barra que en su estado no perturbado está representada por la línea punteada (Figura 4) y se hace vibrar golpeándola transversalmente, adopta la forma de las líneas continuas en un instante particular.[1]

Suponiendo que cada elemento de la barra se mueve hacia arriba y hacia abajo, sin que tenga movimiento longitudinal z , entonces, el desplazamiento transversal de un elemento en un instante particular será x .[1]

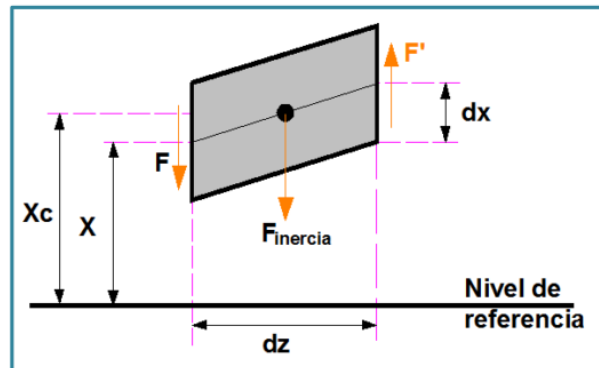
Figura 8: Barra sometida a vibraciones.



Fuente: L. Lincango and B. Salvador, "Departamento de ciencias de la tierra y la construcción,"

Este desplazamiento x , también es función de la posición z , puesto que, si fuera constante, correspondería a un desplazamiento paralelo a la barra. Como resultado de su deformación, cada sección de longitud dz está sometida a las fuerzas opuestas F y F' que son transversales a la barra (Figura 5). Estas fuerzas son producidas por aquellas porciones de la barra que están a cada lado del elemento.[1]

Figura 9: Elemento diferencial.



Fuente: L. Lincango and B. Salvador, "Departamento de ciencias de la tierra y la construcción,"

La magnitud dx/dz , que es el cambio de desplazamiento transversal por unidad de longitud a lo largo de la barra.

$$\gamma = dx/dz \quad (1) \quad \text{Deformación transversal o angular}$$

La fuerza tangencial o transversal por unidad de área,

$$\tau = F/A \quad (2) \quad \text{Esfuerzo tangencial o cortante.}$$

La fuerza neta ejercida en el elemento diferencial es:

$$F' - F = dF \quad (3)$$

La cual origina un movimiento acelerado en el elemento diferencial. Si ρ es la densidad del material de la barra, la masa del elemento diferencial es:

$$dm = \rho Adz \quad (4)$$

Donde, Adz = Volumen del elemento diferencial. La aceleración de esta masa genera una fuerza inercial aplicada en el centro de la masa, en x_c , del elemento diferencial.

$$X_c = X + \frac{dx}{2} \quad (5)$$

Por tanto

$$F_{inercia} = dm * a_c = dm \frac{d^2 x_c}{dt^2} \quad (6)$$

Remplazando la ecuación (5) en la ecuación (6), y operando tenemos

$$F_{inercia} = dm \frac{d^2}{dt^2} \left[x + \frac{dx}{2} \right] = dm \left[\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{dx}{2} \right] \quad (7)$$

Si se desprecia la derivada de orden superior y se reemplaza a dm por la ecuación (4), la fuerza inercial que experimenta el elemento diferencial queda definida como:

$$F_{inercia} = \rho A dz \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (8)$$

Aplicando el concepto básico de equilibrio de fuerzas al elemento diferencial,

$$d_f = F_{inercia} \quad (9)$$

Se obtiene

$$d_f = \rho A dz \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (10)$$

La relación entre fuerza y desplazamiento depende directamente del modelo de comportamiento que se asocie a la barra. Si se asocia en modelo visco elástico tipo Kelvin-Voigt que relaciona el esfuerzo cortante (τ) y la deformación angular (γ). [1]

$$(\gamma) \quad \tau = G\gamma + \eta \frac{d\gamma}{dt}$$

Y se aplica el concepto de deformación angular (Ecuación 1) y esfuerzo cortante (Ecuación 2), se obtiene la relación fuerza-desplazamiento siguiente:

$$F = A \left[G \frac{dx}{dz} + n \frac{d^2 x}{dz dt} \right] \quad (11)$$

Por lo tanto:

$$dF = A \left[G \frac{d^2x}{dz} + n \frac{d^3x}{dz dt} \right] \quad (12)$$

Al igualar las Ecuaciones (3.10) y (3.12) se obtiene la ecuación de onda transversal o ecuación del movimiento ondulatorio transversal:

$$G \frac{d^2x}{dz^2} + n \frac{d^3x}{dz^2 dt} = \rho \frac{d^2x}{dt^2} \quad (13)$$

Donde,

G es el módulo de rigidez al corte (Pa),

η es el coeficiente de viscosidad (Pa*s) del modelo de Kelvin Voigt.

ρ es la densidad del material de la barra (kg/m³) y

x (z,t) es el desplazamiento transversal de un elemento diferencial de la barra en un instante particular. Si suponemos un estrato de suelo homogéneo y con un comportamiento visco-elástico como el de una barra infinita (Kelvin-Voigt) podemos tomar esta misma Ecuación (13) para utilizarla como la que rige la propagación de ondas de corte a través de éste estrato de suelo.[1]

2.2.5 **Efectos locales en el suelo**

Las condiciones locales del suelo tienen un papel fundamental en la respuesta estructural de las construcciones que están sometidas a movimientos sísmicos.[23]

La amplificación del movimiento del suelo es la responsable del daño extenso en áreas constituidas por depósitos de gran potencia de sedimentos blandos y poco compactados.[24]

La amplificación es típicamente mayor para terremotos de magnitud pequeña en áreas a una cierta distancia epicentral donde sería esperable que las ondas sísmicas redujesen la amplitud debido a los efectos de atenuación en la propagación de la señal sísmica por el interior de la tierra.[25]

“Dos mecanismos contribuyen a los efectos de amplificación de la señal en el suelo: la Amplificación geométrica y la amplificación dinámica. La amplificación geométrica corresponde a los efectos de amplificación debidos al contraste de impedancias entre dos medios en contacto. Para sedimentos, el contraste de impedancias se expresa como:

$$I_C = \frac{\rho_b v_b}{\rho_s v_s} \quad \text{Con } V_b > V_s$$

Donde el subíndice b indica el término inglés “bedrock” o substrato rocoso y s se refiere al nivel sedimentario, ρ es la densidad y v es la velocidad de las ondas sísmicas.

El contraste de impedancias es mayor en materiales más jóvenes y menos consolidados y esto provoca mayor nivel de amplificación de la señal sísmica. Asimismo, provoca el atrapamiento de las ondas sísmicas dentro de un nivel con baja impedancia y esto provoca la amplificación de las frecuencias características[26]. La velocidad de las ondas sísmicas S en el suelo decrece, particularmente cuando el depósito sedimentario está situado sobre un sustrato rocoso duro y cristalino, aumentando así el contraste de impedancias. Como se ha comentado, los depósitos del suelo se comportan como filtros para la energía de alta frecuencia (o corto período) pero la amplificación de las bajas frecuencias puede causar daño potencial a estructuras que tienen frecuencias naturales bajas, como por ejemplo edificios altos y puentes.”[25]

“La amplificación dinámica también se conoce como efecto de resonancia y fue estudiada por primera vez en los años 30. El efecto de resonancia considera la diferencia entre la frecuencia de las ondas sísmicas y la frecuencia natural del depósito sedimentario. Una estimación de la frecuencia natural del depósito es:

$$F_n = \frac{v_s}{4H}$$

Donde V_s es la velocidad de la onda sísmica S en m/s, H es la potencia del sedimento en m y f_n es la frecuencia natural del depósito sedimentario en Hz.

Así pues, los fenómenos que contribuyen a la amplificación de la señal sísmica están relacionados directamente con la velocidad de las ondas sísmicas de cizalla (secundarias, S) en el depósito.” [25]

2.2.5.1 Evaluación de los efectos de suelo

En este apartado se revisan los métodos usados frecuentemente para la evaluación de los efectos del suelo. En concreto se revisan los métodos empíricos y los métodos numéricos. Entre los primeros, se describen la ratio espectral estándar (SSR), los microtemblores y la

técnica de Nakamura. Entre los segundos, se analizan los modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales.[25]

La técnica de Nakamura y el modelo numérico unidimensional son las herramientas utilizadas para caracterizar la respuesta sísmica.

2.2.5.2 Métodos empíricos

Las técnicas empíricas que se utilizan en la investigación del movimiento del suelo tras un terremoto y sus posibles variaciones en función de las condiciones locales de sitio son las siguientes: la ratio espectral estándar (SSR), el análisis de los microtemblores y la técnica de Nakamura.[25]

El objetivo final de estos estudios es la realización de mapas de zonación. En dichos mapas se muestran e identifican los diferentes niveles de movimiento potencial del suelo.[27]

2.2.6 Parámetros que afectan las velocidades de ondas de corte

Los parámetros que afectan la velocidad de propagación de las ondas sísmicas son:

- Litología: La velocidad de las ondas es diferente para rocas diferentes.
- Porosidad: Disminuye con la profundidad aumentando la densidad y la velocidad.
- Edad de la roca: No varía por sí misma la velocidad pero si los procesos asociados al paso del tiempo.
- Fluidos y saturación de agua: Al aumentar la densidad del fluido intersticial la velocidad aumenta.
- Cementación: Aumenta la velocidad, disminuye la porosidad y aumenta los módulos elásticos.
- Presión de poros y presión litostática: Si la presión litostática aumenta y la presión de poros se mantiene constante la matriz se comprime aumentando los módulos elásticos y la densidad varía aumentando la velocidad.
- Contenido de arcillas: Para niveles de arcilla bajos la velocidad aumenta hasta el punto en el cual desciende debido a que la arcilla empieza a hacer parte de la matriz.
- Geometría de los poros: La geometría y relación entre ellos determina parcialmente la estructura sólida de la roca y los módulos elásticos.
- Anisotropía: La velocidad se ve afectada por el ángulo de incidencia de la onda y el plano normal.

- Temperatura: Experimentalmente se ha observado una disminución de la velocidad con el aumento de temperatura.”[16]

2.2.7 Ensayo de crosshole y downhole para determinar velocidades de ondas de corte

Para determinar la velocidad de onda de corte en suelos (V_s) lo más conveniente es recurrir a pruebas geofísicas de campo para encontrar directamente los valores mediante alguno de los métodos de geofísica sísmica.[28]

Los métodos geofísicos son ensayos no destructivos que permiten investigar las características del subsuelo.[29]

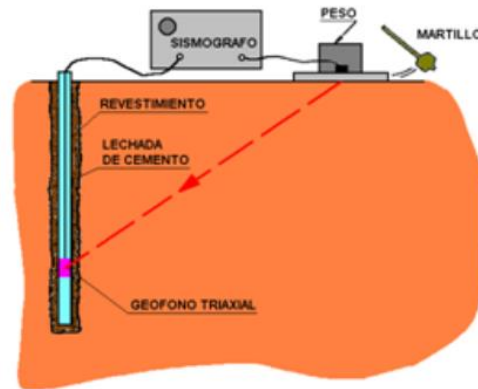
El uso de uno o varios de los métodos geofísicos, permite al ingeniero lo siguiente: Realizar el estudio desde la superficie del terreno, No perturbar el suelo de soporte de la cimentación, Mayor capacidad de caracterizar rápidamente las condiciones del subsuelo, Disminuir costos, Reducir riesgos, Obtener la información en forma detallada.[30]

Estos métodos requieren de una perforación para la ubicación de fuentes y/o receptores de las ondas sísmicas, y son utilizados para la determinación de perfiles de velocidades de ondas de corte o longitudinal, dependiendo de las ondas generadas por la fuente.[16]

2.2.7.1 Down-hole

En el caso del método Down-Hole, un receptor (geófono o hidrófono) es adherido a la pared de la perforación, para la medición de los tiempos de viaje de las ondas sísmicas propagándose hacia abajo, a partir de la fuente ubicada en la superficie del terreno. El ensayo se puede realizar con un sólo receptor que va descendiendo para obtener la velocidad de corte a distintas profundidades, o con un arreglo de receptores distribuidos a lo largo de la perforación que graban la señal emitida por la fuente de manera simultánea.[16][31]

Figura 10: Esquema del ensayo Down – Hole.



Fuente: N. Correia, "Obtención del Perfil de Velocidad de Onda de Corte"

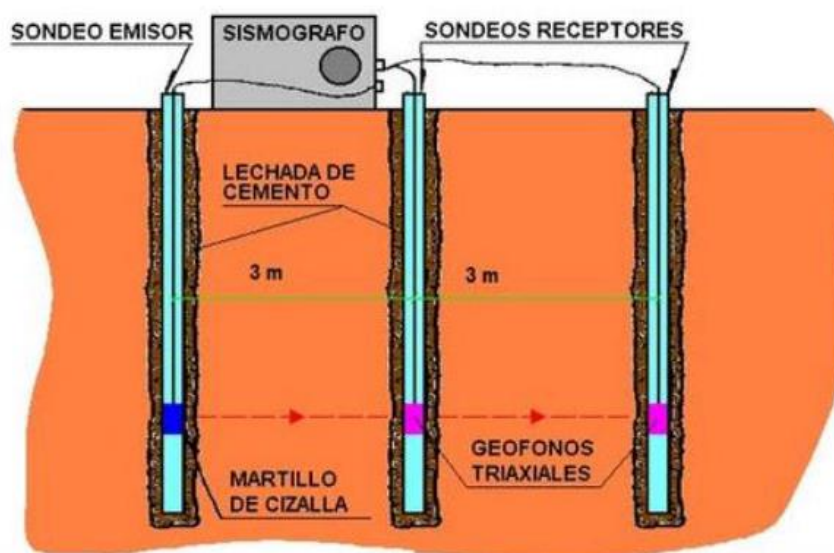
2.2.7.2 **Cross-hole**

Este ensayo requiere de dos o más perforaciones alineadas[31]. En una de ellas se ubica la fuente, y en las restantes los receptores a la misma profundidad. De esta manera se miden la velocidad de propagación de las ondas a través del material situado entre ambos sondajes[32]. La primera medición se debe hacer a una profundidad que no supere los 1.5 metros, luego la fuente se debe descender para realizar mediciones a intervalos no mayores a 1,5 metros, hasta la profundidad para la que se desea explorar.[16]

Al igual que en el ensayo down-hole, se deben realizar golpes en sentidos opuestos, para diferenciar las ondas de corte de las ondas de compresión. Por ello, se golpea una pieza rígida y fija en la pared de la perforación hacia abajo y hacia arriba, para observar la polarización o desfase de las señales registradas, en lo posible con la misma energía.[16]

Para este ensayo se utilizan receptores triaxiales que permitan registrar las componentes horizontales y verticales del desplazamiento. Debido a que el golpe es aplicado en la dirección vertical, la componente horizontal del desplazamiento registrado permitirá determinar las velocidades de ondas de compresión, mientras que la componente vertical, las velocidades de ondas de corte.[16]

Figura 11: Esquema del ensayo Cross – Hole.



Fuente: N. Correia, “Obtención del Perfil de Velocidad de Onda de Corte”

2.2.8 **Correlaciones para el cálculo de las velocidades de ondas de corte**

La velocidad de ondas de corte V_s es uno de los parámetros más importantes para la clasificación de suelos y rocas, ya que describe confiablemente las características dinámicas de los suelos. Su determinación es de mucha importancia a pesar de esto, su determinación no se ha extendido en la Ciudad de Machala. Debido a ello, en muchas oportunidades se requiere la utilización de correlaciones desarrolladas en suelos con otras características.[33]

Por lo tanto se recurren a correlaciones desarrolladas en otras partes del mundo como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2: Ecuaciones empíricas de correlación N del STP con la Velocidad de ondas de corte Vs

Ecuaciones empíricas de correlación N del STP con la Velocidad de ondas de corte Vs.		
INVESTIGADORES	ECUACION	OBSERVACIONES
Imai y Yoshimura (1970)	$V_S = 76 N^{0,33}$	
Ohba y Toriumi (1970)	$V_S = 84 N^{0,31}$	
Imai (1977)	$V_S = a N^b$	a= 102, b = 0,29 Arcilla Holoceno a= 81, b = 0,33 Arena Holoceno a= 114, b = 0,29 Arcilla Pleistoceno a= 97, b = 0,32 Arena Pleistoceno
Ohta y Goto (1978)	$V_S = 85,34 N^{0,348}$	Para todo tipo de suelo
Okamoto et al. (1989)	$V_S = 125 N^{0,3}$	Arena del Pleistoceno
Japan Road Association (2002)	$V_S = 80 N^{1/3}$ $V_S = 100 N^{1/3}$	Arena Arcilla

* Vs=velocidad de ondas de corte en m/s; N=número de golpes del SPT.

Fuente: E. T. Ortega, X. V. Grunauer, D. Tesis, and I. Civil, "Ec-Correlacion," no. Ref 2, pp. 1–10, 2006.

Estas correlaciones eran utilizadas en la ciudad de Guayaquil para el cálculo de las velocidades de ondas de corte pero luego se desarrollaron sus propias correlaciones para la ciudad.

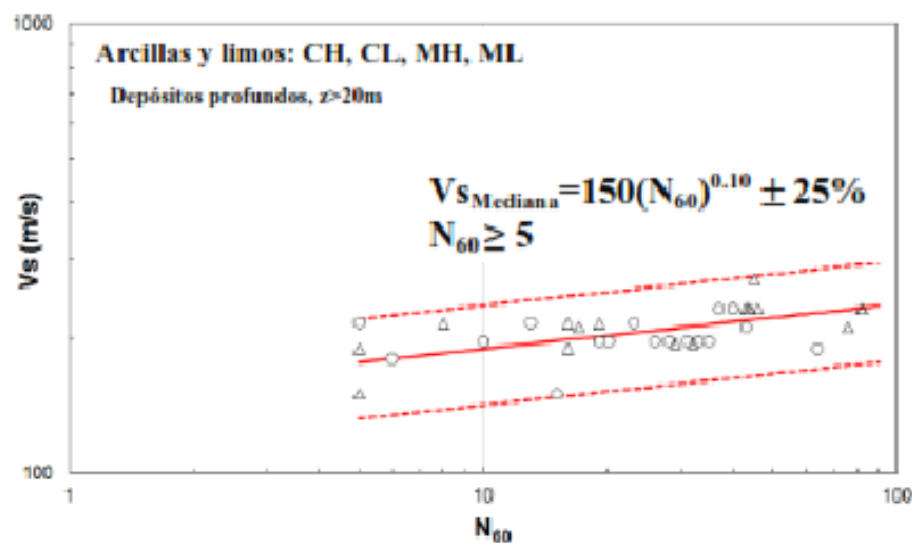
En la Ciudad de Guayaquil para la realización y obtención del perfil de velocidad de onda de corte se llevó a cabo una campaña de medición de las ondas de superficie generadas por una fuente activa (martillos, bulldozers) de vibraciones aleatorias de alta y baja frecuencia respectivamente. La dispersión de ondas de superficie en 14 sitios previamente seleccionados fue registrada con la técnica SASW.[34]

Adicionalmente, en los mismos 14 sitios se ejecutaron ensayos "in situ", como: CPT (ensayo de cono estático), DPT (ensayo de cono dinámico), VST (ensayo de veleta de campo), SPT (ensayo de penetración estándar), y conjuntamente se extrajeron muestras de suelo mediante sondeos de exploración directa.[34]

De esta manera, se desarrollaron ecuaciones de correlación entre la velocidad de onda de corte V_s con S_u y N_{60} dependiendo sean suelos finos o granulares; análogamente correlaciones entre V_s y la resistencia de punta de cono q_c para las zonas propuestas.[34] En el presente trabajo para el cálculo de los valores de las velocidades de ondas de corte para la Ciudad de Machala adoptaremos las correlaciones que se determinaron en la ciudad de Guayaquil para los diferentes tipos de suelos.[35]

Para las arcillas y limos se emplearan las correlaciones que se presentan en la figura 12 con valores definidos de los coeficientes a y b.

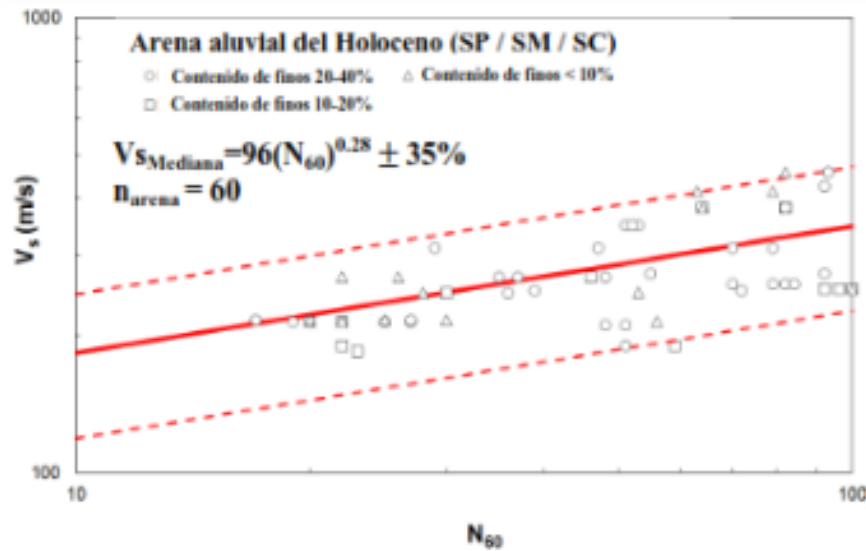
Figura 12: Correlación para el cálculo de la velocidad de onda de corte para depósitos de arcilla y limo.



Fuente: Informe de Gestión de Riesgos del Ecuador.

Para las arenas se emplearan las correlaciones que se presentan en la figura 13 con valores definidos de los coeficientes a y b.

Figura 13: Correlación para el cálculo de la velocidad de onda de corte para depósitos de arena.



Fuente: Informe de Gestión de Riesgos del Ecuador.

2.2.9 *Periodos de vibración en el suelo*

Los estudios de peligrosidad sísmica reportan los períodos de vibración de los suelos que es fundamental que conozcan los proyectistas para que cualquier estructura tenga un período diferente al del suelo, caso contrario puede haber amplificación de las ondas por que entró en resonancia.[36]

Las medidas de ruido ambiental de corto periodo, para caracterizar el comportamiento dinámico del terreno (período predominante del suelo), han sido aplicadas en una gran variedad de entornos sísmicos[37]. El método de la razón espectral H/V del ruido ambiental (Nakamura, 1989) ha sido ampliamente discutido y probado como un método válido, rápido y efectivo en la determinación del período predominante del suelo.[38]

El ruido ambiental son vibraciones del terreno de pequeña amplitud (del orden de varios micrómetros) producidas por fenómenos naturales (frentes atmosféricos, reacciones geotérmicas, olas marinas etc.) y/o fuentes artificiales (tráfico, maquinaria pesada, etc.).[39]

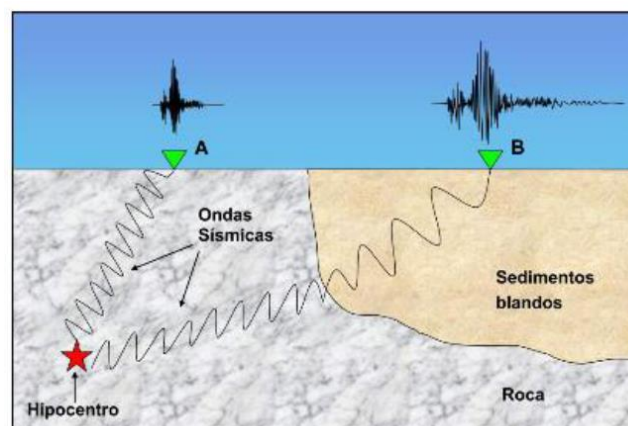
“El ruido ambiental se usa en ingeniería sísmica debido a la fuerte relación existente entre las características de éste y el comportamiento dinámico fundamental de las capas más superficiales del terreno.[40]

Las características del suelo son frecuentemente muy variables incluso dentro de áreas relativamente pequeñas como una ciudad, por tanto es necesario disponer de métodos de bajo costo para obtener una caracterización detallada. El uso de registros de ruido ambiental para obtener una clasificación del suelo corresponde originariamente a Kanai et al. (1954). Desde esta fecha, son muchos los estudios y aplicaciones en el campo de la ingeniería sísmica donde se ha utilizado el ruido ambiental como fuente de excitación: para determinar la estructura del terreno (p.e. Arai y Tokimatsu, 2005; García-Jerez et al, 2008); analizar el comportamiento dinámico del suelo (p.e. Konno y Ohmachi, 1998; Enomoto et al, 2002; Navarro et al, 2007); determinación del período natural y el factor de amortiguamiento de los edificios (p.e. Satake et al, 2003, Oliveira y Navarro, 2010).”[39]

2.2.10 Amplificación de las ondas sísmicas por efectos de los estratos del suelo

Es bien conocida la importancia del suelo inmediatamente cercano a una estructura en la modificación de las características de un posible movimiento sísmico actuante (amplificación dinámica). En el caso de estructuras singulares o terrenos excesivamente blandos, aparece otro problema conectado estrechamente con el anterior y que se denomina interacción suelo – estructura. Evidentemente la resolución de este último problema incluye en el primero y frecuentemente exige el conocimiento previo de las características de la amplificación del suelo.[41]

Figura 14: Amplificación de las ondas sísmicas.



Fuente: C. Miragall and A. Samartin, “Respuesta sísmica de suelos estratificados en régimen no lineal,”

El efecto de la estratificación horizontal de las rocas de la corteza en las ondas sísmicas es bien conocido. En muchos casos, sin embargo, particularmente en las zonas de fallas, las variaciones en las estructuras del suelo y en las rocas no están restringidas a capas paralelas horizontales. El comportamiento de las ondas elásticas que encuentran este tipo

de obstáculos es de difícil tratamiento matemático y sólo en algunos casos ha sido tratado teóricamente. [42]

El problema estriba en que, en muchos casos, la presencia o ausencia de anomalías en las estructuras sísmicas es desconocida. Aun cuando se disponga de sondeos, la presencia de cuerpos anómalos a gran escala y de forma arbitraria en fallas activas no está bien definida. Sin embargo, ha sido práctica común de sismólogos e ingenieros explicar con esta hipótesis las variaciones rápidas de intensidad en áreas de fuerte agitación. La predicción de movimientos fuertes del suelo en circunstancias en las que la estructura de las rocas es complicada, depende del uso de métodos numéricos para resolver las ecuaciones. El método de elementos finitos es uno de estos métodos. En los últimos quince años este método se ha utilizado para calcular con éxito la excitación de ondas superficiales en estructuras geológicas complicadas.[42]

2.2.11 Factores de amplificación

La amplificación sísmica durante los sismos presenta una importante variabilidad de un lugar a otro, aun en distancias cortas es posible explicarlas por la variaciones del tipo de suelo y la topografía.[43][44]

La amplificación local de las ondas sísmicas es asociada a las propiedades geotécnicas del suelo y a la profundidad del basamento rocoso que suele dominar “efecto de sitio” o “amplificación de suelos”. De esta manera el daño causado por los sismos es dependiente de las condiciones del suelo y esto hace que sea de gran interés en ingeniería.[43][45]

2.2.11.1 Efectos de sitio

La estimación veraz del movimiento del suelo en un determinado sitio (diferentes zonas de una ciudad) con respecto a las fuentes sísmicas es una herramienta eficaz para la mitigación del riesgo sísmico. La fuerza y las características de estos movimientos dependen de muchos factores, entre los cuales se encuentran: 1) la característica de la fuente sísmica, 2) la atenuación y cambio de su contenido de frecuencias que sufre la onda sísmica entre la fuente y el sitio y 3) la amplificación en el sitio.[46]

El Efecto de Sitio ocurre en los suelos blandos[47] limo-arcillosos, cuando las ondas sísmicas se refractan desde un depósito de suelo firme o basamento rocoso más profundo y se reflejan desde la superficie del terreno hacia el interior del suelo. Estos suelos pueden transformar las ondas sísmicas emitidas desde una “Fuente Sísmica” lejana, atenuando las vibraciones de período corto que les resultan ajenas; y, amplificando las vibraciones de

período largo que son afines a sus características dinámicas (masa, rigidez y amortiguamiento). Como resultado, los desplazamientos sobre la superficie del suelo blando son más lentos y grandes que los experimentados en el basamento y afloramientos rocosos adyacentes.[48]

Durante un sismo, se presentan principalmente dos tipos de respuesta de sitio que pueden llegar a producir problemas de consideración. Uno en el que el suelo modifica el contenido frecuencial y la amplitud del sismo, haciéndolo más destructivo; en el otro el suelo mismo falla y se fisura, moviéndose horizontal y verticalmente.[49]

Los estudios de la respuesta de sitio son esenciales para definir y entender el papel que juega el perfil geológico, las propiedades estáticas y dinámicas del suelo y la topografía en la respuesta sísmica de un sitio. Los efectos de sitio han contribuido enormemente a las muertes humanas y a los daños en las construcciones en los terremotos.[49]

2.2.11.2 Propiedades dinámicas del suelo

La amplificación del movimiento en el suelo está determinada por las propiedades dinámicas del suelo. Entre éstas, la rigidez del suelo y el amortiguamiento son las propiedades claves para el estudio de la respuesta de sitio. Una buena aproximación a la rigidez del suelo se obtiene a partir del módulo de corte G que se calcula por medio de la velocidad de las ondas sísmicas. La razón de amortiguamiento, ξ , muestra la capacidad que tiene el suelo para disipar la energía. Otras propiedades dinámicas son la densidad ρ y el índice de Poisson ν , pero éstas tienen menor influencia.[50]

2.2.12 Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico según la NEC – 2015

La norma ecuatoriana de la construcción NEC-2015 define seis tipos de perfil de suelo. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A a E como se puede observar en la tabla 3.[51]

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 debe realizar un estudio más profundo por ser un suelo muy baja resistencia.[51][52]

Tabla 3: Clasificación de los suelos según la NEC - 2015.

Tipo de Perfil	DESCRIPCION	DEFINICION
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500\text{m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500\text{ m/s} > V_s \geq 760\text{m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760\text{ m/s} > V_s \geq 360\text{m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50,0$ $S_u \geq 100\text{ KPa}$
D	Perfiles de suelos rigidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante,o	$360\text{ m/s} > V_s \geq 180\text{m/s}$
	Perfiles de suelos rigidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15,0$ $100\text{ Kpa} > S_u \geq 50\text{ KPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda cortante, o	$V_s < 180\text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50\text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 - Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o debilmente cementados, etc.	
	F2 - Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)	
	F3 - Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7,5m con índice de plasticidad IP > 75)	
	F4 - Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5 - Suelos con contraste de impedancia ocurriendo dentro de los primeros 30m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6 - Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015.

CAPITULO III

3 PROCESO METODOLÓGICO

3.1 Diseño o tradición de investigación seleccionada.

Para la realización del presente trabajo se procedió a la búsqueda de perfiles estratigráficos de los suelos para diferentes zonas de la parroquia Jubones del Cantón Machala, la información que se detalla a continuación son los perfiles estratigráficos conseguidos de perforaciones de 10 a 20 metros correspondientes a cada lugar como podemos observar en las tablas que se encuentran en el ANEXO A.

3.2 Proceso de recolección de datos en la investigación.

En la sección anterior se observaron los diferentes perfiles estratigráficos para cada zona a evaluar, en la presente tabla se mostrara un resumen de la ubicación, profundidad, fecha de realización y ubicación de estos perfiles que se ocuparan para la determinación de los valores de las velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo de la parroquia Jubones del Cantón Machala.

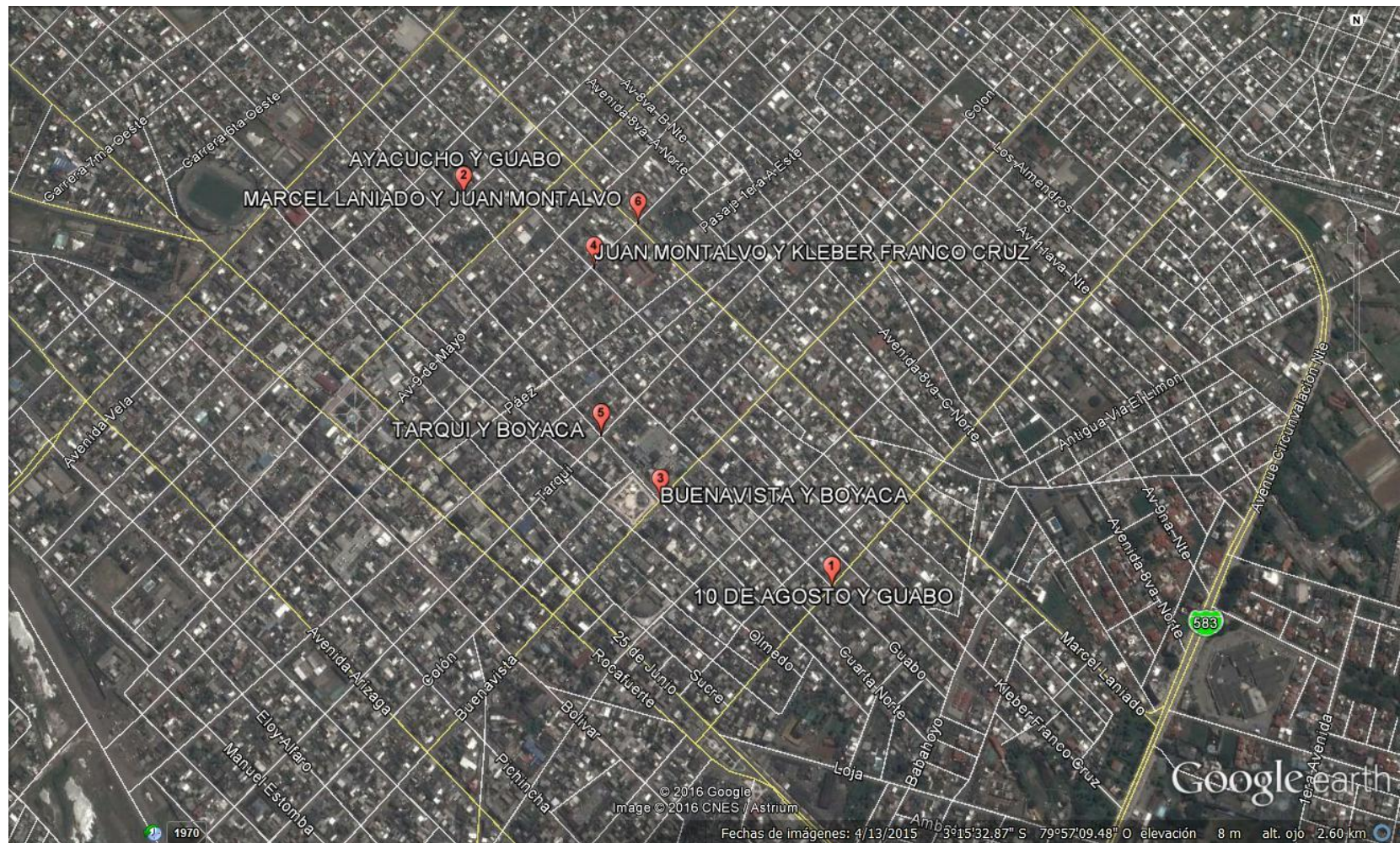
Tabla 4: Descripción de los perfiles estratigráficos para la parroquia Jubones de la Ciudad de Machala.

DESCRIPCION DE LOS PERFILES ESTRATIGRAFICOS PARA LA PARROQUIA JUBONES DE LA CIUDAD DE MACHALA						
ITEM	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD (m)	FECHA	PARROQUIA	UBICACIÓN
1	3°15'44.27"S	79°57'0.78"O	10	24-abr-94	Jubones	10 de Agosto y Guabo
2	3°15'16.11"S	79°57'27.09"O	10	30-may-96	Jubones	Guabo y Ayacucho
3	3°15'38.24"S	79°57'12.65"O	10	02-sep-99	Jubones	Buenavista y Boyaca
4	3°15'21.43"S	79°57'17.52"O	10	17-nov-98	Jubones	Kleber Franco y Juan Montalvo
5	3°15'33.63"S	79°57'16.84"O	15	20-dic-98	Jubones	Tarqui y Boyaca
6	3°15'18.12"S	79°57'14.39"O	20	04-dic-96	Jubones	Marcel Laniado y Juan Montalvo

Fuente: Autor.

A continuación en la figura se muestra la ubicación de los perfiles estratigráficos en el mapa de la Ciudad de Machala, para poder ubicar la zona a evaluar en el presente trabajo.

Figura 15: Ubicación de los perfiles estratigráficos en el mapa de la Ciudad de Machala



Fuente: Autor.

3.3 Sistema de categorización en el análisis de los datos

La falta de información de registros sísmicos y la poca evaluación de los suelos en la Parroquia Jubones del Cantón Machala, es la gran problemática que ha afectado principalmente en el ámbito de construcción de viviendas y edificaciones en la ciudad ya que no se dispone un plan de construcción de viviendas, determinando normas y parámetros específicos para construcciones sismo resistentes, que están establecidos en la Norma Ecuatoriana de la construcción 2015, motivo por el cual las edificaciones sufren grandes daños estructurales y como consecuencia se tiene grandes pérdidas económicas y sociales, para lo cual el presente trabajo presenta una determinación de los valores de las velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo, los mismos que a su vez servirán para definir y clasificar el tipo de suelo y su comportamiento a través de un movimiento sísmico, logrando analizar estos valores y definir y adoptar las correspondientes normas y especificaciones para la construcción de viviendas y edificaciones en las zonas estudiadas.

3.3.1 *Determinación de las velocidades de ondas de corte con las correlaciones tomadas para los suelos de Guayaquil*

Para el cálculo de las velocidades de ondas de corte emplearemos las correlaciones que se elaboraron para los suelos de la ciudad de Guayaquil, debido que nuestra ciudad aún no cuenta con correlaciones propias para sus suelos, recalcando que a futuro se deben de desarrollar correlaciones propias ya que las construcciones en la ciudad deben de regirse a normas que se elaboran con estos valores ante la presencia de movimientos sísmicos y esto lograra evitar que afecte en la estabilidad estructural de las edificaciones.

En la sección **2.2.1** se presentan las correlaciones que se desarrollaron en la Ciudad de Guayaquil para el cálculo de las velocidades de ondas de corte, para la cual se utilizaran las siguientes formulas:

Para las arcillas y limos se utilizaran:

$$V_s = 150 (N_{60})^{0.10}$$

Y para las arenas:

$$V_s = 96 (N_{60})^{0.28}$$

Donde N_{60} es el número medio de golpes que se lo cálculo de acuerdo a la fórmula de la NEC-2015 que se presenta a continuación:

$$N_{60} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Donde:

Ni= Número de golpes obtenidos en el ensayo de penetración estándar realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D 1586, incluyendo corrección por energía N60, correspondiente al estrato i. El valor de Ni a emplear para obtener el valor medio, no debe exceder de 100.[52]

di= Espesor del estrato i , localizado dentro de los 30 m superiores del perfil.

En el ANEXO B se presentan las tablas con los perfiles estratigráficos y con sus correspondientes velocidades de ondas de corte calculadas con los parámetros señalados anteriormente.

3.3.2 ***Determinación de la velocidad media de onda de corte, y clasificación del perfil del suelo según la NEC - 2015***

Una vez calcula las velocidades de ondas de corte para los diferentes perfiles estratigráficos se procede al cálculo de las velocidades medias de ondas de corte, y clasificación de los perfiles de suelos según la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC – 2015).

En el Capítulo de Peligro Sísmico, sección 10.5.2, literal d), de la NEC – 2015 se presenta la fórmula que nos permitirá calcular la velocidad media de la onda cortante que se describe a continuación:

$$V_{S30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

Donde:

V_{si} = Velocidad media de la onda cortante del suelo del estrato i, medida en campo (m/s)

d_i = espesor del estrato i, localizado dentro d los 30 m superiores del perfil.

En el ANEXO C se presentan las tablas de los perfiles estratigráficos con su respectivo cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del tipo de suelo según la NEC – 2015.

3.3.3 *Uso del software edushake*

3.3.3.1 *Introducción*

Edushake es un programa informático de fácil empleo para el análisis lineal de respuesta unidimensional del suelo. Dispone de una función de reducción de modulo y modelos de amortiguamiento, visualización grafica de perfil del suelo, animación de respuesta del terreno, entre otros.[1]

Permite el cálculo y fácil trazado de Espectros de Fourier y Espectros de respuesta de aceleración, velocidad, desplazamiento, tensión de corte y deformación por esfuerzo cortante, las mismas que se presentan en escala aritmética o escala logarítmica.[1]

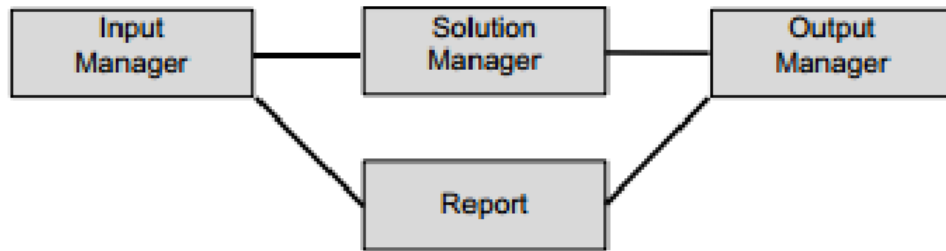
3.3.3.2 *Descripción del programa*

3.3.3.2.1 *Características del programa*

El programa ofrece muchas características que hacen que sea fácil y eficiente de usar. Algunas de las más importantes se enumeran a continuación:

- “Pueden ser empleadas unidades inglesas o métricas, las mismas que se introducen en el formato más conveniente durante el ingreso de los datos.
- Contienen una serie de modelos de suelo integrados, que se pueden seleccionar desde los menús desplegables. EduShake interpolará según sea necesario para las condiciones de su análisis, y permitirá que usted agregue sus propios modelos de suelo y los almacena para su posterior empleo.
- Se pueden ver gráficamente registros sísmicos, espectros, perfil del suelo, etc.
- El programa está organizado en tres "directores" - un gestor de entrada, un Solution Manager y Gerente de salida - y un informe. En la secuencia normal de las operaciones, el usuario se moverá desde el Administrador de entrada a la Solution Manager y luego en el Administrador de salida, como se indica gráficamente a continuación”.[1]

Figura 16: Secuencia de operaciones de Edushake.



Fuente: L. Lincango and B. Salvador, “Departamento de ciencias de la tierra y la construcción,”

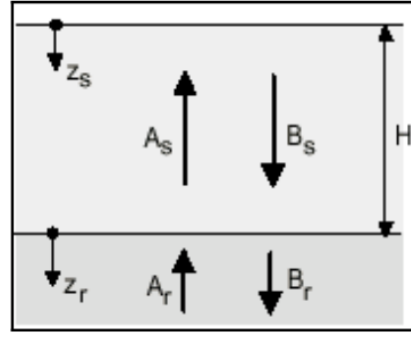
3.3.3.2.2 *Teoría*

El algoritmo numérico que se va a utilizar, usa una aproximación en el dominio de la frecuencia para resolver el problema de la respuesta del suelo. En términos básicos, el movimiento del suelo se representa como la suma de una serie de ondas sinusoidales de diferentes amplitudes, frecuencias y ángulos de fase. Se usa una solución relativamente simple para la respuesta del perfil de suelo a las ondas sinusoidales de frecuencias diferentes (en la forma de una función de transferencia), para obtener la respuesta del depósito de suelo a cada una de las ondas sinusoidales de entrada. La respuesta total se obtiene sumando las respuestas individuales para cada una de las ondas sinusoidales.[53]

3.3.3.2.3 *Caso de una sola capa*

Para ilustrar las bases de la aproximación, (Kramer, 1996), usada en el software que vamos a utilizar, consideremos una capa de suelo uniforme que yace sobre una capa de roca elástica, que se extiende hasta una profundidad infinita, como se ilustra en la Figura 17. Si el subíndice s y r se refieren a suelo y roca, respectivamente, los desplazamientos horizontales debidos a la propagación vertical de ondas S armónicas en cada material puede escribirse como[53]:

Figura 17: Caso de una sola capa.



Fuente: L. Lincango and B. Salvador, “Departamento de ciencias de la tierra y la construcción,”

$$u_s(z_s, t) = A_s e^{i(\omega t + k_s^* z_s)} + B_s e^{i(\omega t - k_s^* z_s)} \quad (1)$$

$$u_r(z_r, t) = A_r e^{i(\omega t + k_r^* z_r)} + B_r e^{i(\omega t - k_r^* z_r)} \quad (2)$$

Donde ω es la frecuencia angular de la onda armónica y k^* es el número de onda complejo. La superficie del suelo está libre de esfuerzos de cizalla ($z_s = 0$), de forma que[53]:

$$\tau(0, t) = G_s^* \gamma(0, t) = G_s^* \frac{\partial u_s(0, t)}{\partial z_s} = 0 \quad (3)$$

Donde $G_s^* = G(1 + 2i)$ es el módulo de cizalla complejo del suelo. Sustituyendo la ecuación (1) en la ecuación (3) y diferenciando se obtiene que[53]:

$$G_s^* i k_s (A_s e^{i k_s^* z_s(0)} - B_s e^{-i k_s^* z_s(0)}) e^{i \omega t} = G_s^* i k_s (A_s - B_s) e^{i \omega t} = 0 \quad (4)$$

Que se satisface cuando $A_s = B_s$. La compatibilidad de los desplazamientos y la continuidad de los esfuerzos en la frontera suelo/roca requieren[53]:

$$u_s(z_s = H) = u_r(z_r = 0) \quad (5)$$

$$\tau_s(z_s = H) = \tau_r(z_r = 0) \quad (6)$$

Sustituyendo las ecuaciones (1) y (2) en la ecuación (5):

$$A_s (e^{i k_s^* H} + e^{-i k_s^* H}) = A_r + B_r \quad (7)$$

De la ecuación (6) y la definición de esfuerzos de cizalla ($\tau = G_s \cdot \partial u / \partial s$) se tiene:

$$A_s i G_s^* k_s^* (e^{ik_s^* H} - e^{-ik_s^* H}) = i G_r^* k_r^* (A_r - B_r)$$

$$\frac{G_s^* k_s^*}{G_r^* k_r^*} = A_s (e^{ik_s^* H} - e^{-ik_s^* H}) = A_r - B_r \quad (8)$$

La razón:

$$\frac{G_s^* k_s^*}{G_r^* k_r^*} = \alpha_z^*$$

Donde α_z^* se conoce como la razón de impedancia compleja. Resolviendo las ecuaciones (7) y (8) simultáneamente, se obtiene que:

$$A_r = \frac{1}{2} A_s \left[(1 + \alpha_z^*) e^{ik_s^* H} + (1 - \alpha_z^*) e^{-ik_s^* H} \right] \quad (9a)$$

$$B_r = \frac{1}{2} A_s \left[(1 - \alpha_z^*) e^{ik_s^* H} + (1 + \alpha_z^*) e^{-ik_s^* H} \right] \quad (9b)$$

Si una onda de cizalla de amplitud A , propagándose verticalmente, viajara hacia arriba a través de la roca y el suelo no estuviera presente, el efecto de la superficie libre en el afloramiento rocoso produciría un movimiento en el sustrato aflorante de amplitud $2A$. Si el suelo estuviera presente, la amplitud del movimiento de la superficie libre sería[53]:

$$2A_s = \frac{4A}{(1 + \alpha_z^*) e^{ik_s^* H} + (1 - \alpha_z^*) e^{-ik_s^* H}}$$

La función de transferencia, $F(\omega)$, definida como la razón de la amplitud de la superficie del suelo a la del sustrato rocoso, está dada por:

$$F(\omega) = \frac{2}{(1 + \alpha_z^*) e^{ik_s^* H} + (1 - \alpha_z^*) e^{-ik_s^* H}}$$

Obviamente, la función de transferencia es una función compleja que puede reescribirse usando la ley de Euler como:

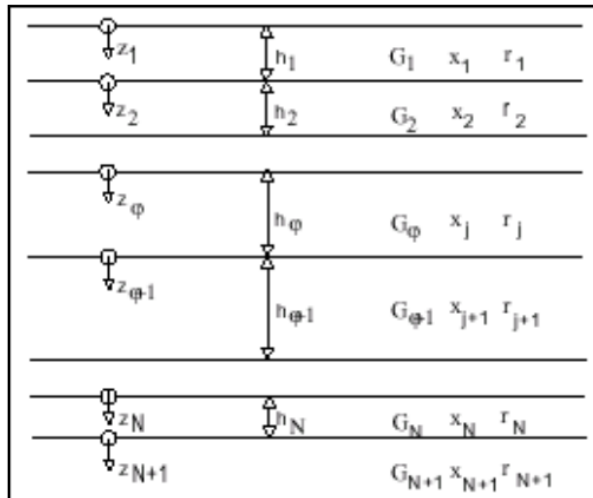
$$F(\omega) = \frac{1}{\cos(k_s^* H) + i\alpha_z^* \sin(k_s^* H)} \quad (10)$$

3.3.3.2.4 Caso de múltiples capas de suelo

La única diferencia con respecto al caso anterior reside en que la función de transferencia no es la misma para un depósito de diferentes capas de suelo. La función de transferencia para un depósito de este tipo debe tener en cuenta la reflexión y transmisión de ondas en las interfases entre capas adyacentes.[53]

Consideremos el depósito de suelo mostrado en la Figura 18. Dentro de una lámina dada, por ejemplo la j , los desplazamientos horizontales vendrán dados por:

Figura 18: Caso de múltiples capas de suelo.



Fuente: L. Lincango and B. Salvador, "Departamento de ciencias de la tierra y la construcción,"

$$u_j(z_j, t) = (A_j e^{ik_j^* z_j} + B_j e^{-ik_j^* z_j}) e^{i\omega t}$$

En la frontera entre la capa j y la capa $j+1$, la compatibilidad de los desplazamientos requiere que:

$$A_{j+1} + B_{j+1} = A_j e^{ik_j^* h_j} + B_j e^{-ik_j^* h_j} \quad (12)$$

La continuidad de los esfuerzos de cizalla requiere que:

$$A_{j+1} - B_{j+1} = \frac{G_j^* k_j^*}{G_{j+1}^* k_{j+1}^*} (A_j e^{ik_j^* h_j} + B_j e^{-ik_j^* h_j}) \quad (13)$$

Observa como las ecuaciones (12) y (13) son análogas a las ecuaciones (7) y (8), respectivamente. Definiendo j^* como la razón de impedancia compleja en la frontera entre las capas j y $j+1$, las amplitudes de onda para la capa $j+1$ pueden obtenerse a partir de las amplitudes de la capa j resolviendo las ecuaciones (12) y (13).[53]

$$A_{j+1} = \frac{1}{2} A_j (1 + \alpha_j^*) e^{ik_j^* h_j} + \frac{1}{2} B_j (1 - \alpha_j^*) e^{-ik_j^* h_j} \quad (14a)$$

$$B_{j+1} = \frac{1}{2} A_j (1 - \alpha_j^*) e^{ik_j^* h_j} + \frac{1}{2} B_j (1 + \alpha_j^*) e^{-ik_j^* h_j} \quad (14b)$$

En la superficie del suelo ($z_1 = 0$), la condición de que el esfuerzo de cizalla sea cero implica que $A_1 = B_1$. Aplicando las ecuaciones (14) para $j = 1, 2, 3, \dots, N$, los coeficientes A_{j+1} y B_{j+1} pueden relacionarse con A_j y B_j por:

$$A_{j+1} = a_{j+1}(\omega) A_1 \quad (15a)$$

$$B_{j+1} = b_{j+1}(\omega) B_1 \quad (15b)$$

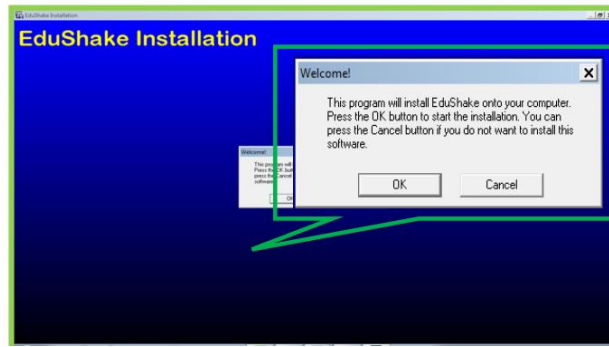
Donde las funciones $a_{j+1}(\omega)$ y $b_{j+1}(\omega)$ representan los efectos de las interacciones de las ondas que tienen lugar en todas las interfases de las capas por encima de la capa $j+1$. Entonces, una función de transferencia que relaciona los movimientos en los techos dos capas cualesquiera, por ejemplo i y j , pueden expresarse como[53]:

$$F_{ij}(\omega) = \frac{a_i(\omega) + b_i(\omega)}{a_j(\omega) + b_j(\omega)} \quad (16)$$

3.3.3.3 Ingreso al software edushake

Para usar el programa EDUSHAKE primero debemos instalarlo. Para lo cual debemos de ir al buscador y luego debemos de dar clic en SETUP.EXE. Donde aparecerá una ventana como la siguiente:

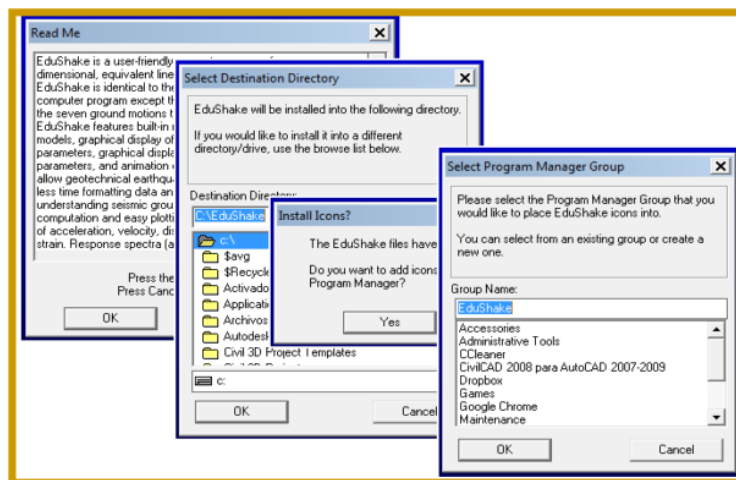
Figura 19: Pantalla de instalación del software.



Fuente: Autor.

Luego damos clic en el botón “ok” que se presenta en la pantalla, hay aparecen varias pantallas con diferentes características del programa, y la ubicación donde se instalara el programa.

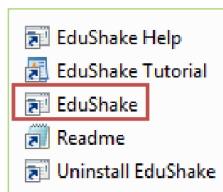
Figura 20: Proceso de instalación de EDUSHAKE.



Fuente: Autor.

Luego damos clic en el icono del programa par inicializar su ejecución.

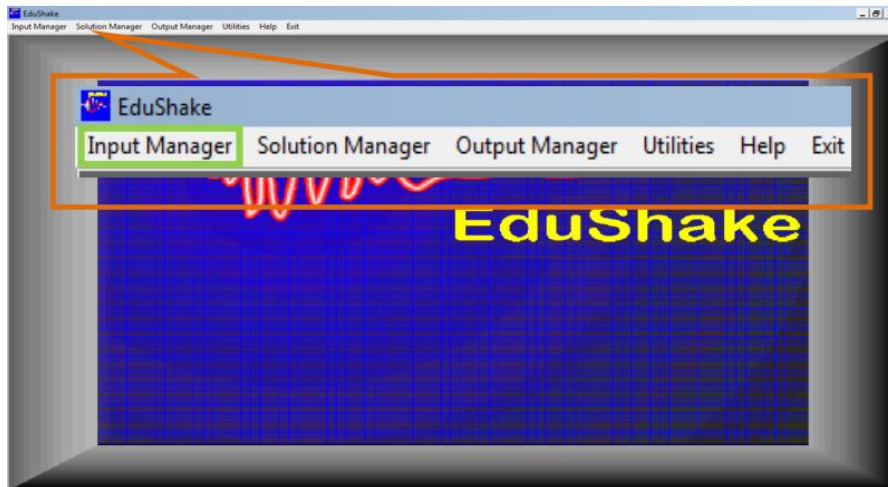
Figura 21: Icono del programa.



Fuente: Autor.

Al ejecutar el programa, se muestra la pantalla principal del programa, la cual contiene seis menús entre los cuales constan son: Input Manager, Solution Manager, Gerente de Producto, Utilidades, Ayuda y Salir. Como podemos observar en la siguiente figura:

Figura 22: Página principal del programa.



Fuente: Autor.

3.3.3.4 Ingreso de datos.

Una vez vista la página principal del programa, observamos la opción **INPUT MANAGER**, al dar clic en esta opción aparece un formulario donde se debe ingresar todas las características del perfil del suelo como se muestra a continuación:

Figura 23: Características del perfil del suelo.

Fuente: Autor.

El número de capas es creado automáticamente, para lo cual aparece una pestaña para cada capa, donde se ingresaran los datos correspondientes. El primer paso es ingresar el nombre de la capa de suelo, luego debemos de seleccionar una curva de reducción de modulo. La cual debe ser seleccionada de acuerdo al tipo de suelo que se presente, tomadas de la literatura geotécnica y sísmica, las cuales observamos en la siguiente figura:

Figura 24: Opciones de curvas de reducción de módulo.

The screenshot shows a software interface with the following fields and options:

- Material Name:** A text input field containing the word "Arena".
- Modulus Reduction Curve:** A dropdown menu with the following options: "Sand (Seed & Idriss) - Lower Bound", "Linear", "Rock", "Rock (Idriss)", "Sand (Seed & Idriss) - Lower Bound" (highlighted in blue), "Sand (Seed & Idriss) - Average", "Sand (Seed & Idriss) - Upper Bound", "Sand (Seed and Idriss 1970)", and "Vucetic - Dobry".
- Damping Curve:** A dropdown menu with the same options as the Modulus Reduction Curve.

Fuente: Autor.

A continuación podemos definir los demás parámetros como son:

Figura 25: Datos de entrada de cada capa del suelo.

The screenshot shows a software interface with the following input fields and callouts:

- Thickness:** Input field with value 26.2 and unit ft. A callout box labeled "Espesor de la capa" points to the value 8.0 in the adjacent field.
- Unit Weight:** Input field with value 12.1 and unit pcf. A callout box labeled "Peso por unidad de volumen" points to the value 1.9 in the adjacent field.
- Max. Shear Modulus:** Input field with value 301.6 and unit ksf. A callout box labeled "Módulo de corte" points to the value 14.4 in the adjacent field.
- Shear Wave Velocity:** Input field with value 895.7 and unit ft/sec. A callout box labeled "Velocidad de onda de corte" points to the value 273 in the adjacent field.

Fuente: Autor.

Cuando ingresamos el valor de la velocidad de onda de corte, EDUSHAKE calcula automáticamente el módulo de corte o viceversa.

En esta ventana también observamos la pestaña Summary Data, la cual significa Resumen de datos que está ubicada a la izquierda de la pestaña de la capa 1, aquí podemos ingresar también las propiedades de cada capa más rápidamente. Esta tabla de resumen de datos se muestra a continuación:

Ya que todas las capas esten definidas, podemos observar una ilustración del perfil del suelo generada por el programa, haciendo clic en el botón View Profile, como se muestra a continuación:

Figura 28: Vista del perfil del suelo.

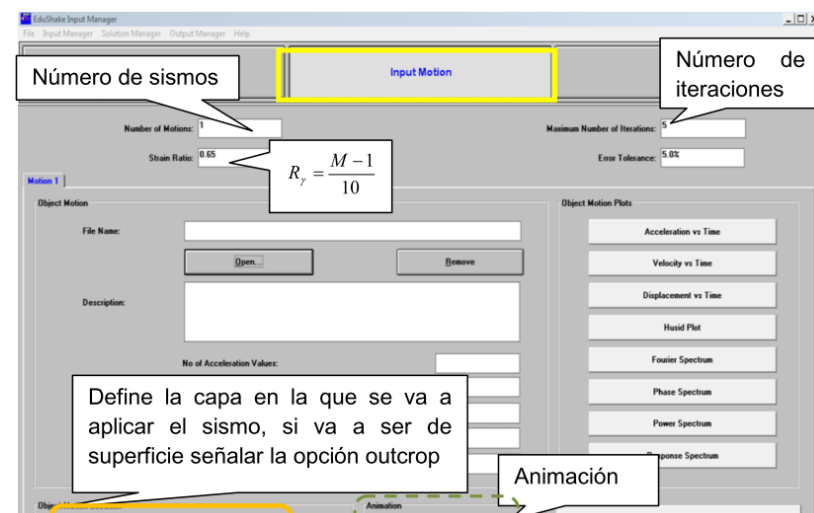


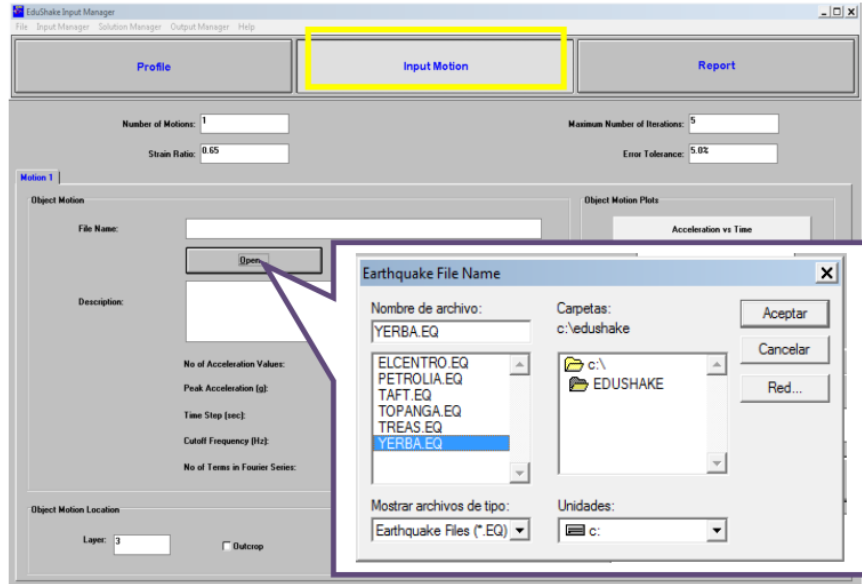
Fuente: Autor.

La opción Input Motion, sirve para especificar correctamente el movimiento de entrada o registro sísmico para cualquier análisis de la respuesta del suelo.

Edushake permite escoger entre una gran variedad de posibles movimientos sísmicos, seleccionando el más adecuado para nuestro análisis. Los parámetros a emplearse se presentan a continuación en la siguiente figura:

Figura 29: Registros sísmicos de Edushake.





Fuente: Autor.

Entre los datos que proporciona el programa de los registros sísmicos, se presentan a continuación:

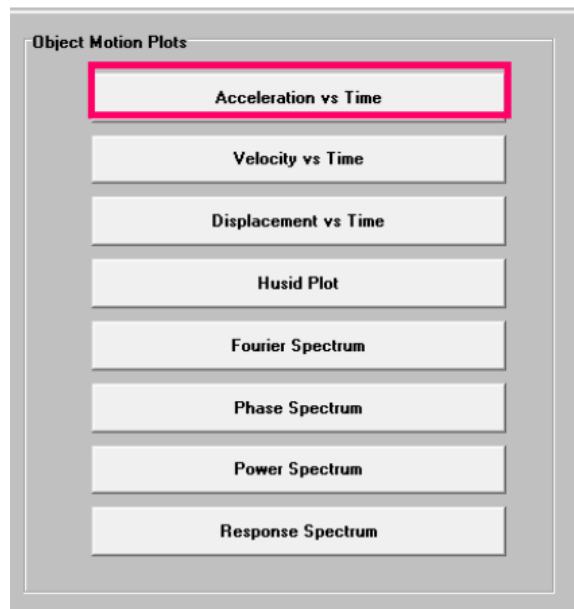
Figura 30: Datos del registro sísmico.

No of Acceleration Values:	2000
Peak Acceleration (g):	0.07
Time Step (sec):	0.020
Cutoff Frequency (Hz):	20.00
No of Terms in Fourier Series:	2048

Fuente: Autor.

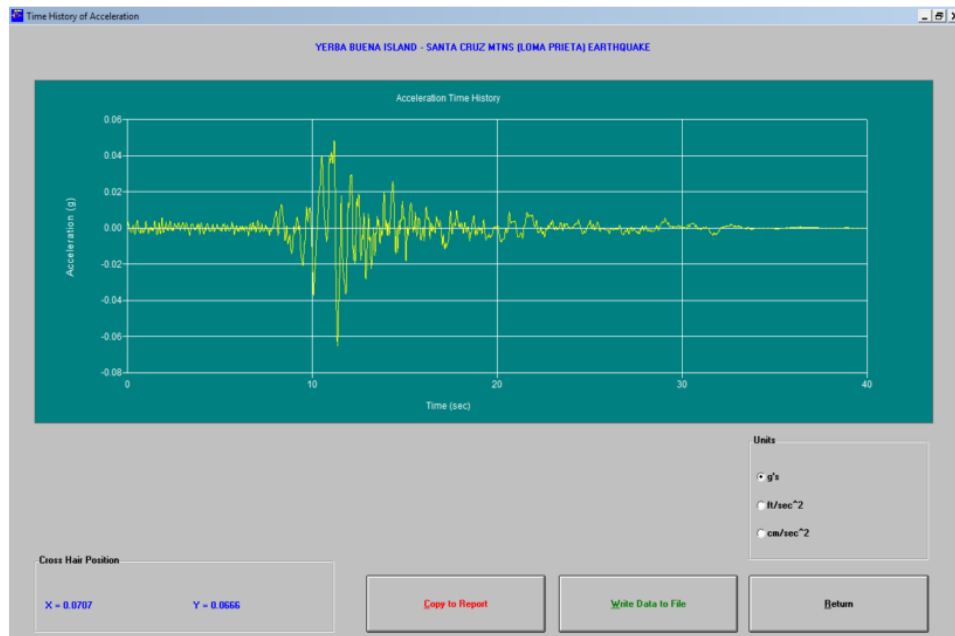
Una vez ingresados los datos del registro sísmico podemos visualizar las gráficas de los diferentes espectros que presenta el programa, estas opciones se encuentran ubicadas a la derecha de la ventana, y dando clic en cada una de las diferentes opciones podemos visualizar los espectros para cada caso, como se presenta en la siguiente figura:

Figura 31: Opciones para visualizar los espectros.



Fuente: Autor.

Figura 32: Espectro Aceleración vs Tiempo.



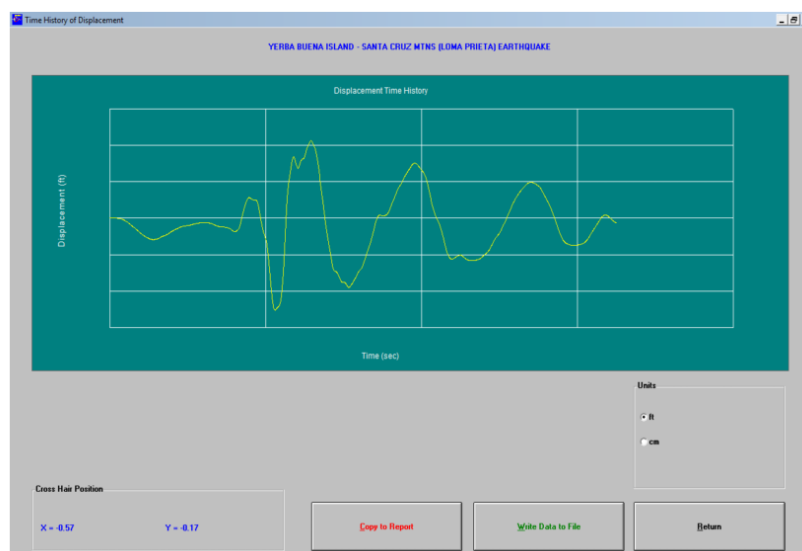
Fuente: Autor.

Figura 33: Espectro Velocidad vs Tiempo.



Fuente: Autor.

Figura 34: Espectro Desplazamiento vs Tiempo.



Fuente: Autor.

El programa también permite hacer una animación del perfil del suelo, para lo cual debemos seleccionar la opción "Animación" que está ubicada en la parte inferior de la ventana de la pestaña **Input Motion** de la figura 27.

Una vez ingresada toda la información para el cálculo de la respuesta del perfil del suelo, procedemos a guardar el archivo para posteriormente ver los resultados, el archivo debe guardarse con la extensión ".dat".

3.3.3.5 Ejecución del análisis

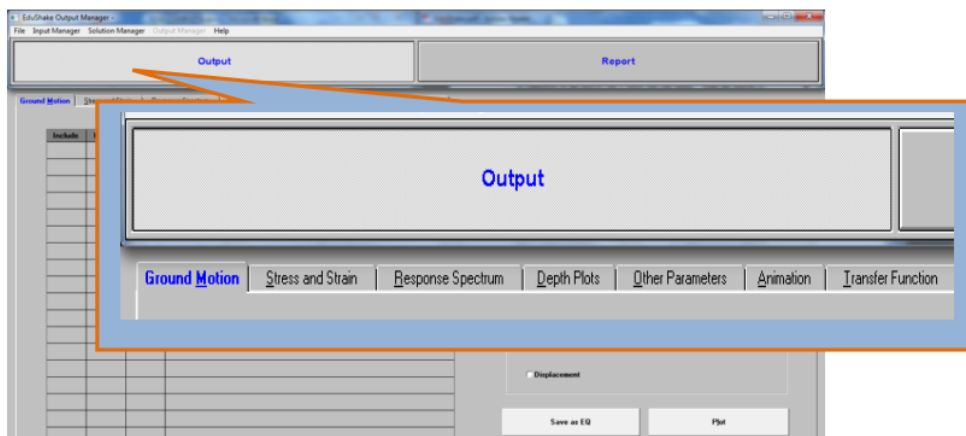
Luego de haber guardado el archivo con la extensión “dat”, debemos de ejecutar el análisis, para lo cual debemos seleccionar la opción “Solution Manager” y seleccionamos el archivo que guardamos anteriormente y lo abrimos.

Al abrir el archivo se muestra una ventana que presenta el análisis del perfil del suelo, la palabra “Running” aparecerá en la parte inferior de la pantalla y luego se visualizara la palabra “Terminado”, al terminar el análisis aparecerá un cuadro de dialogo en el cual debemos de dar clic en la palabra OK. Los resultados de los análisis de la respuesta que se analizaron serán guardados automáticamente en la misma carpeta que se guardó el archivo anterior, se guardara con el mismo nombre pero con la extensión “lyr”

3.3.3.6 Reporte de resultados

Para poder visualizar los resultados del análisis, debemos de seleccionar la opción “Output Manager”, y abrimos el archivo que habíamos guardado con la extensión “lyr”, hay encontramos algunas opciones de resultados como podemos observar en la siguiente figura:

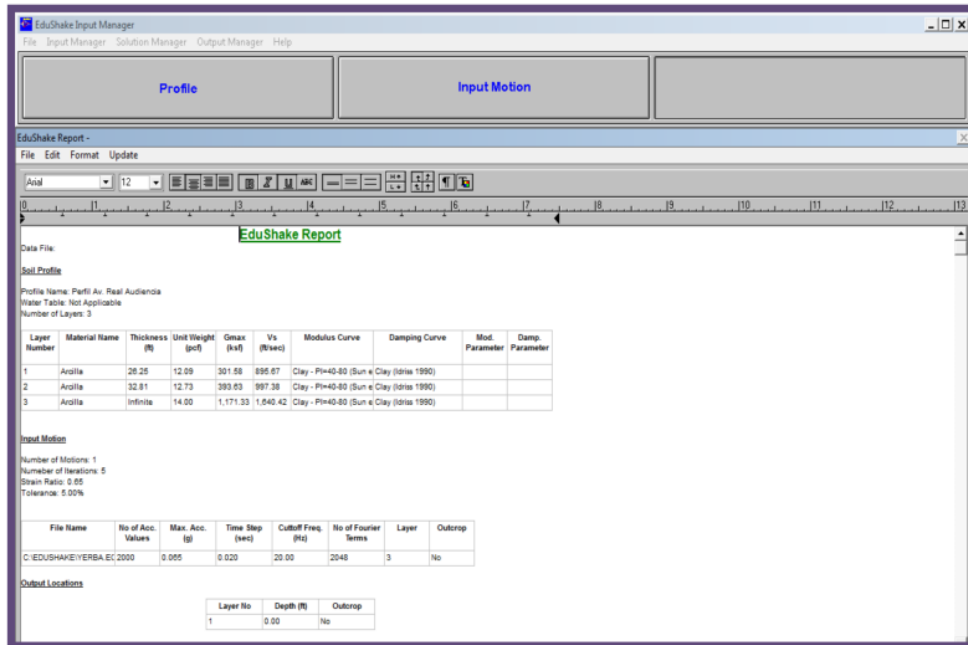
Figura 35: Opciones de visualización de los resultados.



Fuente: Autor.

Par poder observar el reporte final damos clic en la opción “Report”, en esta opción podemos ver los resultados finales del análisis de respuesta del suelo, este reporte puede ser impreso o guardado para su posterior revisión.

Figura 36: Reporte de resultados de Edushake.

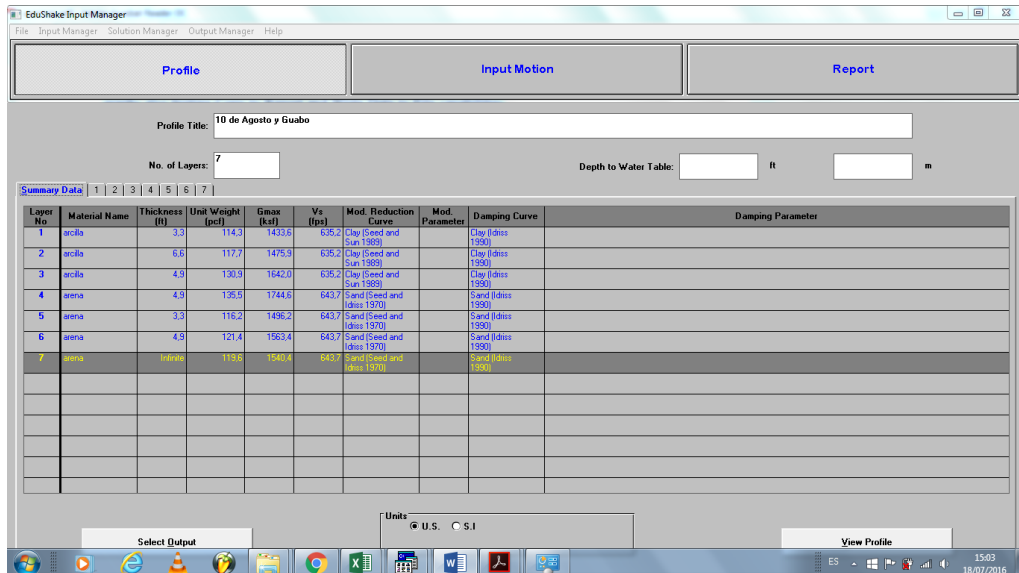


Fuente: Autor.

3.3.3.7 Ejemplo de aplicación

Para ingresar los datos de los perfiles estratigráficos en el programa Edushake, acudimos al Capítulo III, en la sección 3.1 donde encontramos la descripción de los perfiles estratigráficos, donde encontramos las características que utilizaremos para ingresarlas para el análisis, también emplearemos las velocidades de ondas de corte que calculamos en la sección 3.3.1 con las correlaciones empleadas para la Ciudad de Guayaquil.

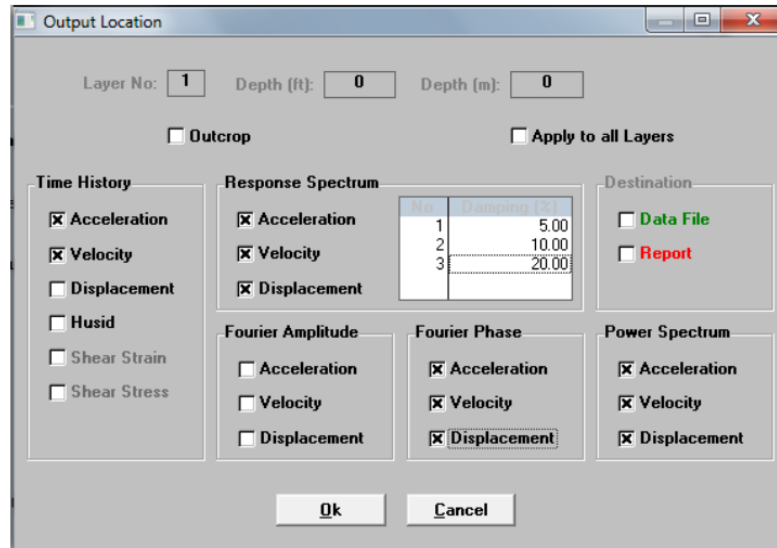
Figura 37: Ingreso de datos de la estratigrafía del Perfil 1.



Fuente: Autor.

Luego seleccionamos las opciones que se requieren para visualizar en el análisis, este paso se debe realizar para cada una de las capas del suelo

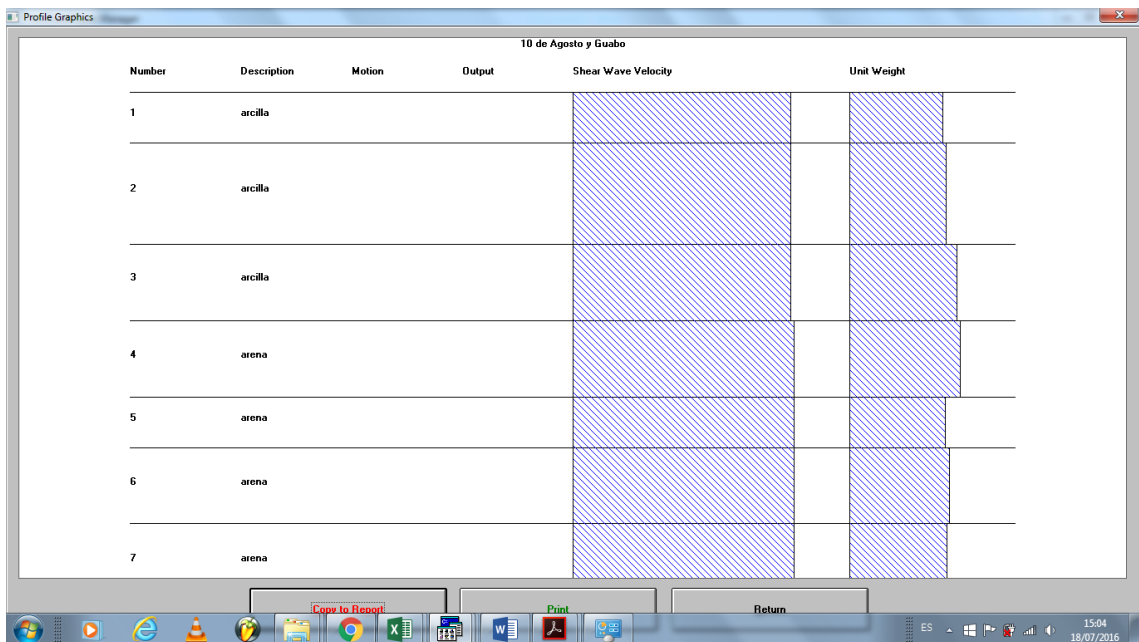
Figura 38: Opciones para visualizar las gráficas del Perfil 1.



Fuente: Autor.

Par una mejor comprensión podemos observar el perfil estratigráfico, dando clic en la opción “View Profile” como se muestra a continuación:

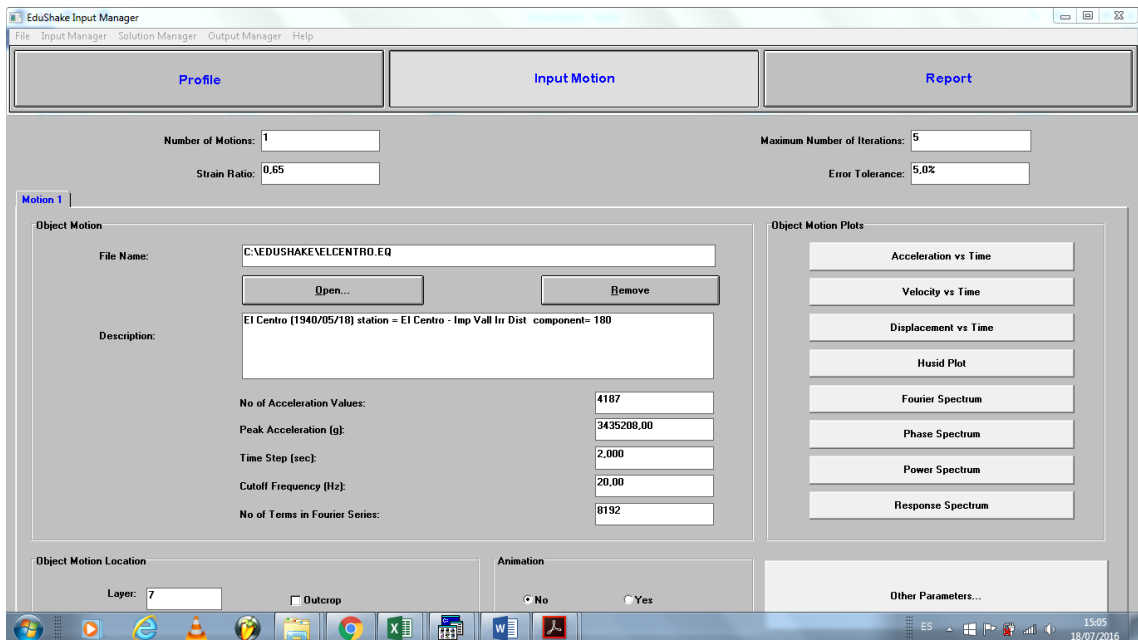
Figura 39: Gráfico del Perfil estratigráfico 1.



Fuente: Autor.

Luego de ingresar todas las características del programa, nos dirigimos a la opción “Input Motion” y seleccionamos el registro sísmico con el cual vamos a realizar el análisis, para este perfil y los demás perfiles seleccionaremos el archivo con el nombre “Centro.eq”. Las características del movimiento sísmico se adoptaran automáticamente al seleccionar el archivo para poder realizar el análisis.

Figura 40: Registro sísmico para el Perfil estratigráfico 1.

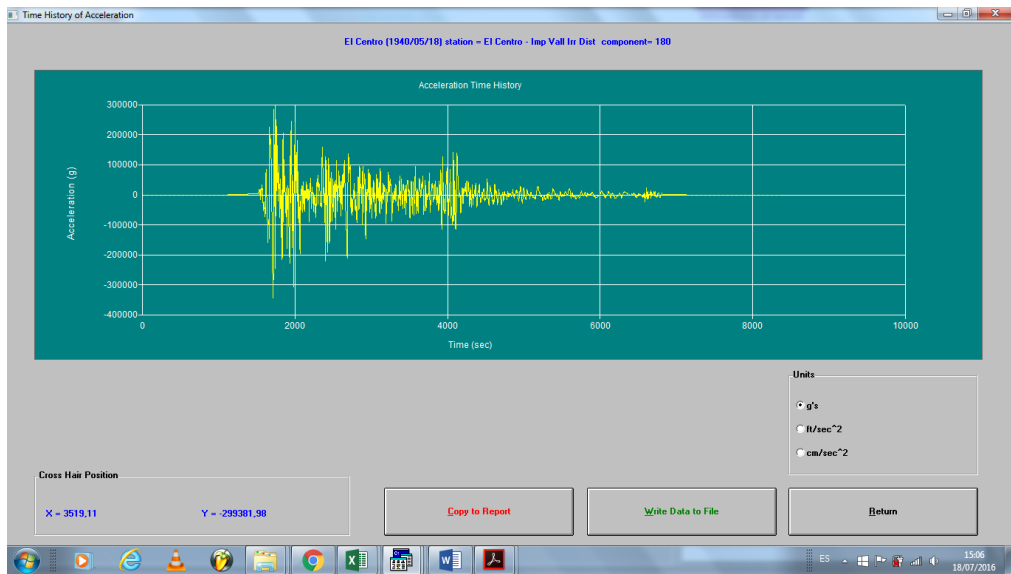


Fuente: Autor.

El registro sísmico que seleccionamos es “El centro Eq.”, es un registro sísmico ocurrido el 18 de mayo de 1940 en la Ciudad de California con una intensidad de 6.9 Mw, profundidad 16 Km, y es adoptado para el cálculo del periodo de nuestros perfiles ya que el suelo donde ocurrió está constituido por arenas, arcillas y limos al igual que los suelos de la Ciudad de Machala.

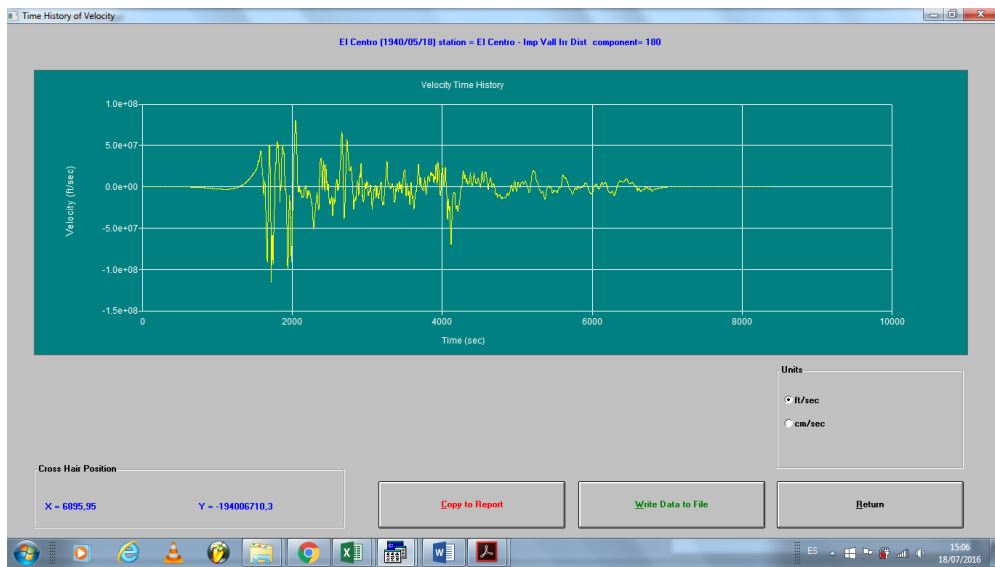
Luego damos clic en las diferentes graficas que necesitemos emplear en el análisis del suelo, en las cuales se muestran las siguientes:

Figura 41: Gráfica Aceleración vs Tiempo - Perfil estratigráfico 1.



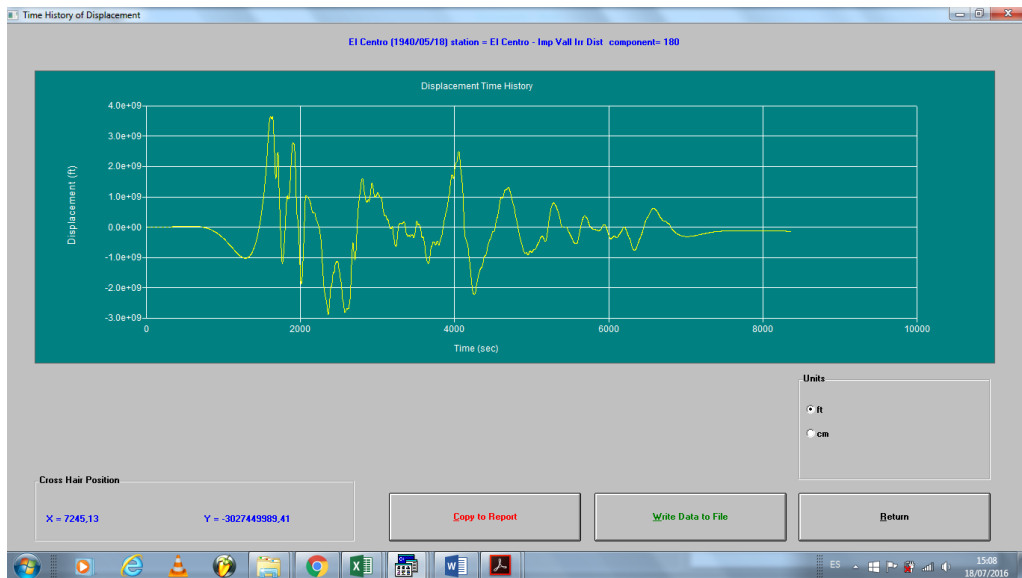
Fuente: Autor.

Figura 42: Gráfica Velocidad vs Tiempo - Perfil estratigráfico 1.



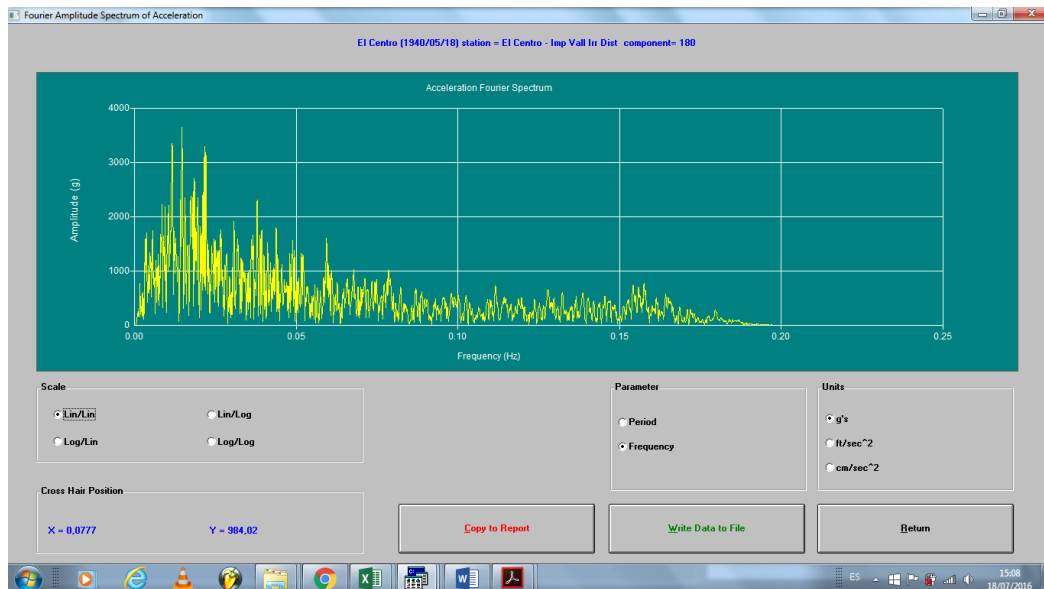
Fuente: Autor.

Figura 43: Gráfica Desplazamiento vs Tiempo - Perfil estratigráfico 1.



Fuente: Autor.

Figura 44: Espectro de Fourier - Perfil estratigráfico 1.



Fuente: Autor.

Posteriormente guardamos el archivo con el nombre Perfil1.dat y nos dirigimos a la opción “Solution Manager” y seleccionamos el archivo guardado anteriormente y se visualiza la palabra “Running”, luego damos clic en la palabra OK, para poder observar los resultados del análisis, al dirigirnos a la opción “Output Manager” nos pide abrir el archivo que tenga la extensión “lyr”.

En esta ventana podemos visualizar la opción "Other Parameters", donde nos permite calcular una lista de características entre las cuales encontramos el Periodo predominante del suelo que va a estar sometido el suelo ante el movimiento sísmico seleccionado, como observamos en la siguiente figura:

Figura 45: Periodo predominante del suelo - Perfil estratigráfico 1

Motion Number:	1
Peak Acceleration (g):	0,3435
Peak Velocity (ft/sec):	1,1490
Peak Displacement (ft):	0,3650
RMS Acceleration (g):	0,0680
Arias Intensity (ft/sec):	6,3570
Response Spectrum Intensity (g ²):	3,3810
Predominant Period (sec): →	0,6827
Mean Period (sec):	0,5403
Bracketed Duration (sec):	29,3200
Trifunac Duration (sec):	24,4000
Spectral Acceleration at 0.3 sec (g):	0,7375
Spectral Acceleration at 1.0 sec (g):	0,5081
Chracteristic Intensity (g ^{1.5} *sec ^{0.5}):	0,0877

Fuente: Autor.

CAPITULO IV

4 RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Descripción y argumentación teórica de resultados

4.1.1 Evaluación de los resultados obtenidos de las velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo

Luego de haber calculado las velocidades medias de las ondas de corte con la ayuda de las correlaciones empíricas para la Ciudad de Guayaquil y clasificado el tipo de suelo de acuerdo a las normas ecuatorianas de construcción NEC-2015 para los diferentes perfiles estratigráficos que se presentan en la Parroquia Jubones de la Ciudad de Machala, se procedió al cálculo de los periodos de vibración del suelo que va a estar sometido ante la presencia de un movimiento sísmico, para lo cual se acudió a la ayuda del programa EDUSHAKE, el cual mediante ayuda de la información de los perfiles estratigráficos, nos proporciona el valor del periodo que va adquirir el suelo con ayuda de registros sísmicos que el programa proporciona automáticamente de sus bases informáticas.

Para lo cual se presenta en el ANEXO D una tabla donde consta un resumen de las velocidades medias de ondas de corte, clasificación del suelo y periodos a la que van a estar sometidos las diferentes zonas donde se ubican los perfiles estratigráficos de la parroquia Jubones del Cantón Machala.

Información que servirá de gran importancia a conocer para poder recomendar especificaciones para la construcción de estructuras, ya que en las zonas donde hay mayor periodo de vibración y menor resistencia a la velocidad de onda de corte, deben de ser evaluados con mayor importancia ya que corresponde a un tipo de suelo de baja calidad para la construcción y deben ser tomadas las correspondientes recomendaciones. También es importante saber el valor de las velocidades de las ondas de corte ya que si hay una mayor velocidad las ondas se amplifican a través del suelo y afecta con mayor daño estructural a aquellas edificaciones donde el suelo permite que estas ondas se amplifiquen a través de sus estratos por ser suelos de mala composición, y no recomendables para una construcción sin las debidas medidas de mejoramiento en aquellos suelo.

4.2 Conclusiones

La ciudad de Machala en los últimos años presenta un gran crecimiento de su población, por lo que ha aumentado la construcción de viviendas y edificaciones, las cuales no son construidas bajo requerimientos y especificaciones sísmicas que establece la norma de construcción NEC-2015, ya que el suelo que presenta la ciudad no ha sido analizado para la posterior construcción, lo que puede afectar en grandes consecuencias ante la presencia de un movimiento sísmico.

Las velocidades de ondas de corte nos permiten clasificar el suelo de acuerdo a la norma ecuatoriana de construcción NEC-2015 y a la vez nos permite conocer si en el tipo de suelo que nos encontramos las velocidades de las ondas sísmicas se van a amplificar a través del suelo, la cual podría ser causante de daños estructurales en las viviendas y edificios, por lo que se debe tomar en cuenta al momento del diseño de las estructuras.

Con la ayuda del software Edushake, podemos ingresar los diferentes perfiles estratigráficos para poder comprender el comportamiento que va a tener el suelo ante la presencia de un movimiento sísmico y a la vez nos permite calcular el periodo predominante del suelo, el cual nos servirá para en un futuro incluirlos en sistemas de clasificación sísmica de suelos para la Ciudad de Machala.

4.3 Recomendaciones

Para el cálculo de las velocidades de ondas de corte fueron tomadas las correlaciones desarrolladas para los suelos de la Ciudad de Guayaquil, lo que sería recomendable que en la Ciudad de Machala se realicen los respectivos ensayos y estudios para poder desarrollar correlaciones propias para la Ciudad y que sean aplicables a sus respectivos tipos de suelos.

El trabajo desarrollado concluye en una clasificación del suelo de la ciudad de Machala para la posterior construcción de viviendas y edificaciones, una recomendación que se debe tener en cuenta para es que se realice esta clasificación del suelo para evitar daños estructurales y pérdidas económicas y sociales ante la presencia de movimientos sísmicos.

La Ciudad de Machala se encuentra en una zona de gran riesgo sísmico, por lo que es de mucha importancia realizar la microzonificación sísmica de la ciudad, el presente trabajo pretende dar una iniciativa para la realización de la microzonificación ya que en ciudades como Quito y Guayaquil ya presentan estos estudios, es recomendable iniciar el proceso de microzonificación en la Ciudad de Machala, para definir los lugares que podrían ser altamente afectados por los movimientos sísmicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Lincango and B. Salvador, "Departamento de ciencias de la tierra y la construcción," 2013.
- [2] I. Restrepo, "Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49613908>," 2003.
- [3] A. H. Barbat and L. Pujades, "Evaluación de la Vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona," *SÍSMICA 2004 - 6º Congr. Nac. Sismol. e Eng. Sísmica*, no. 1977, pp. 229–252, 2004.
- [4] C. Omar and J. Tintaya, "Procesamiento digital de señales sísmicas con matlab," vol. 10, pp. 45–50, 2007.
- [5] B. De, S. Geológica, and R. Pérez-gutiérrez, "Análisis de la vulnerabilidad por los deslizamientos en masa , caso : Tlacuitlapa , Guerrero," pp. 171–181, 2007.
- [6] D. Hiperbentos and E. De San, "Escuela Superior Politecnica Del Litoral," *Cib.Espol.Edu.Ec*, pp. 3–5, 2014.
- [7] D. De Salas, S. Alfaro, V. M. Mendoza Martínez, and C. M. Porras Morales, "Una guía para la elaboración de estudios de caso," *Razón y palabra*, no. 75, p. 39, 2011.
- [8] C. I. D. E. L. A. T. Ierra, F. J. Muñoz-burbano, C. A. Vargas-jiménez, and G. Chicangana, "Seismicity in colombian llanos foothills : Characterization , relocation and local seismic tomography Sismicidad en el piedemonte llanero colombiano : Caracterización , relocalización y tomografía sísmica local," no. 38, pp. 14–24, 2015.
- [9] A. Leoni, "Parametrización de suelos," p. 120.
- [10] L. E. Sánchez-Arias, J. Paolini, and J. P. Rodríguez, "Dinámica de las propiedades del suelo en bosques de *Rhizophora mangle* L. (*Rhizophoraceae*) en Isla de Margarita, Venezuela," *Rev. Biol. Trop.*, vol. 58, no. 2, pp. 547–564, 2010.
- [11] M. Ordaz, "Sismicidad y riesgo sísmico," *Memorias del XI Congr. Nac. Ing. Sísmica*, pp. 143–163, 1997.

- [12] C. Godoy and L. González, “Importancia de la velocidad de onda de corte y del período predominante para la evaluación de la respuesta de sitio en Santiago Introducción Metodología,” pp. 61–67, 2015.
- [13] F. Undecimo, “1.7 Las ondas sísmicas.”
- [14] E. L. Terremoto, Y. P. Tsunami, B. Elena, and E. Roldán, “DEL EDITOR,” 2005.
- [15] S. del Castillo and M. en Ciencias, “Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie,” *Academiadeingenieriademexico.Mx*, 2007.
- [16] C. D. E. Suelos, D. E. L. Centro, H. D. E. La, C. D. E. Cuenca, M. M. Geofísicos, J. Fernando, A. Tapia, B. Iván, and B. Urgilés, “ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL TEMA :,” 2016.
- [17] N. Correia, “Obtención del Perfil de Velocidad de Onda de Corte Mediante Método MASW y Comparación con Ensayo Tipo DownHole en Estaciones Sismológicas de Zona Central,” *Univ. Chile*, 2015.
- [18] L. S. B, “Terremotos , solidaridad y movilización nacional,” vol. 84, no. 1, pp. 20–25, 2013.
- [19] F. Leyton, S. Ruiz, and S. A. Sepúlveda, “Reevaluación de peligro Sísmico pobabilistico en Chile central,” *Andean Geology*, vol. 37, no. 2. pp. 455–472, 2010.
- [20] B. Glass, C. Leiva, and C. Meneses, “Estudio de la organización de la sismicidad en torno al terremoto del 24 de julio del 2001 en el norte de Chile Study of the seismic organization around the earthquake of July 24th , 2001 in northern Chile,” vol. 21, pp. 448–456, 2013.
- [21] S. Álvarez, “El Efecto Local sobre el Movimiento Sísmico del Suelo : Fenomenología y Resultados Recientes,” *Fis. la Tierra*, vol. 11, pp. 141–173, 1999.
- [22] I. N. Memoriam, “IN MEMORIAM A LBERTO S ARRIA M OLINA (1934-2015),” pp. 0–2, 2015.
- [23] R. Técnica, C. D. E. Las, C. Del, I. Roberto, and A. Falconí, “AGUIAR-

- Roberto_(Web),” pp. 15–17, 2011.
- [24] T. Ramírez-Huerta and J. Hugo-Hubp, “Efectos del sismo (7.0=Mw) del 15 de Junio de 199 en Puebla y estados vecinos,” *Investig. Geográficas, Boletín del Inst. Geogr. UNAM*, vol. 43, pp. 32–41, 2000.
- [25] L. A. R. S. D. E. Los, “3. La Respuesta Sísmica De Los Suelos 3.1.,” pp. 47–70, 1998.
- [26] P. a. Pech, C. O. Jiménez-González, and M. C. Soto, “Obtención de propiedades físicas del suelo del valle de México mediante interferometría sísmica,” *Rev. Ing. Sísmica*, vol. 82, no. 82, pp. 77–94, 2010.
- [27] S. P. López García, “Diseño sísmico de túneles,” *Rev. obras públicas*, vol. V, no. 3557, pp. 77–84, 2014.
- [28] “E5LADS_1.” .
- [29] “Acute toxicity of drilling muds on,” vol. 5, pp. 127–138, 2013.
- [30] P. Landázuri, Paúl/Salguero, “Escuela politécnica nacional,” p. 87, 2012.
- [31] J. A. Rodríguez and D. C. Bogotá, “Maestría en Ingeniería Civil Trabajo de Grado Evaluación de Métodos No Convencionales de Caracterización Geotécnica Presentado por : Javier Alexander Aponte González,” 2011.
- [32] F. C. Montiel, A. I. Mendoza, S. K. Singh, Z. Spica, and D. Legrand, “Tomografía de Velocidad de Grupo de Ondas de Rayleigh para el Oriente de México y el Istmo de Tehuantepec,” *Bol. la Soc. Geol. Mex.*, vol. 66, no. 3, pp. 441–457, 2014.
- [33] N. Ensayo, “Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá - Colombia,” pp. 13–23, 2007.
- [34] E. T. Ortega, X. V. Grunauer, D. Tesis, and I. Civil, “Ec-Correlacion,” no. Ref 2, pp. 1–10, 2006.
- [35] P. Alvarado, G. Sánchez, M. Saez, and B. C. de Machuca, “Nuevas evidencias de la

actividad sísmica del terreno Cuyania en la región de subducción de placa horizontal de Argentina,” *Rev. Mex. Ciencias Geol.*, vol. 27, no. 2, pp. 278–291, 2010.

- [36] R. Aguilar Falconí, *Microzonificación Sísmica de Quito*. 2013.
- [37] J. M. Londoño, O. P. Bohorquez, and L. F. Ospina, “Tomografía Sísmica 3D Del Sector De,” vol. 32, 2010.
- [38] D. Almería, “Mapa preliminar de períodos predominantes del suelo en Puerto Príncipe (Haití) a partir de medidas de ruido ambiental.,” vol. 5, p. 6, 2003.
- [39] J. A. Guartán M and M. Navarro, “Zonificación sísmica de la Cuenca de Loja (Ecuador), a partir de datos litológicos y medidas de ruido ambiental .,” 2010.
- [40] “Prefacio Geología del Valle de México,” 2014.
- [41] C. Miragall and A. Samartin, “Respuesta sísmica de suelos estratificados en régimen no lineal,” *Rev. Obras Publicas*, pp. 335–351, 1983.
- [42] B. A. Bolt, “Fuerzas Del Suelo,” 1989.
- [43] S. A. N. Luis, G. D. E. Ica, F. D. E. I. Civil, B. Gregorio, A. Cancho, B. Sergio, and A. Ccaulla, “Ingeniero civil,” 2011.
- [44] T. Obando, “Microzonificación sísmica I . Introducción ¿ Cuáles son los aspectos que reúnen estos Estudios ?”
- [45] P. C. Rica, L. D. I. Sísmica, I. De Investigaciones, F. De Ingeniería, U. D. C. Rica, S. Pedro, D. M. De Oca, S. José, and C. Rica, “Factores de amplificación del suelo en función del periodo obtenidos a partir de regresiones para costa rica,” pp. 27–39, 2011.
- [46] J. J. Hernández, M. Schmitz, F. Audemard, and G. Malavé, “Marco Conceptual Del Proyecto De Microzonificación De Caracas Y Barquisimeto,” *Geology*, no. May, p. 8, 2006.
- [47] F. R. Z. D. Madrid, “Notas introductorias sismología posgrado en ciencias de la tierra

centro de geociencias,” no. 1, pp. 1–36, 2011.

- [48] A. Y. A. S. A, “ $c' = 1$,” vol. 2016, no. 1, 2016.
- [49] R. Din, M. D. E. L. Subsuelo, and E. D. E. Sitio, “Respuesta dinámica del subsuelo y efectos de sitio.”
- [50] L. O. S. Suelos, “2. Los Suelos 2.1.,” pp. 7–46.
- [51] A. . Fallis, “No Title No Title,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [52] CAMICON and MIDUVI, *Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC: NEC-SE-DS - Peligro Sísmico/Diseño Sismo Resistente*. 2014.
- [53] A. Vi, “INGENIERÍA SÍSMICA.”

ANEXOS

ANEXO A – PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Perfil estratigráfico 1 de la Parroquia Urbana Jubones.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 1 						
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR (m)	CLASIF. SUCS	p. UNIT (T/ M3)	SPT (N)	qu (T/M2)
0	Relleno de grava y arena					
1	arcilla color café	1	CL	1,796		0,5
3	arcilla color plomo	2	CL	1,849		0,5
4,5	arcilla café color oscuro	1,5	CL	2,057	4	
6	arena fina color café	1,5	SM	2,128	16	
7	arena fina arcillosa	1	SM	1,825	19	
8,5	arena fina limosa	1,5	SM	1,907	14	
10	arena fina limosa	1,5	SM	1,879	10	

ZONA: Parroquia Urbana Jubones.

FUENTE: Ing. Luis Chaguay.

UBICACIÓN: 10 de Agosto y Guabo.

Perfil estratigráfico 2 de la Parroquia Urbana Jubones.


 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 2 						
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR (m)	CLASIF. SUCS	p. UNIT (T/ M3)	SPT (N)	qu (T/M2)
0						
1	relleno compactado natural	1	GP			
2	limo de alta compresibilidad	1	MH	1,249	10	
3	limo de alta compresibilidad	1	ML	1,272	18	
4	limo no plastico	1	ML	1,24	36	
5	limo no plastico	1	ML	1,258	37	
6,5	limo no plastico	1,5	ML	1,26	36	
8	limo no plastico con arena de grano fino	1,5	ML - SP	1,275	45	
9	limo no plastico	1	CL	1,249	11	
10	arcilla de baja plasticidad	1	CL	1,247	16	

ZONA: Parroquia Urbana Jubones.

FUENTE: Ing. Ángel Pontón.

UBICACIÓN: Guabo y Ayacucho.

Perfil estratigráfico 3 de la Parroquia Urbana Jubones.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRATIGRAFÍA DE SUELOS 3 						
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR (m)	CLASIF. SUCS	p. UNIT (T/ M3)	SPT (N)	qu (T/M2)
0						
1	relleno compactado natural	1	GP			
2	limo de alta compresibilidad	1	MH	1,249	15	
3	limo de alta compresibilidad	1	MH	1,272	19	
4,5	limo de alta plasticidad	1,5	MH	1,24	22	
6,5	limo de alta plasticidad	2	ML	1,258	27	
7,5	limo no plastico	1	SM	1,26	29	
10	arena limosa no plastica	2,5	SM	1,275	32	

ZONA: Parroquia Urbana Jubones.

FUENTE: Ing. Ángel Pontón.

UBICACIÓN: Buenavista y Boyacá.

Perfil estratigráfico 4 de la Parroquia Urbana Jubones.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 4 						
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR (m)	CLASIF. SUCS	p. UNIT (T/ M3)	SPT (N)	qu (T/M2)
0						
1	relleno compactado	1				
2,5	limo de alta compresibilidad	1,5	MH	1,529	25	
4	limo de alta plasticidad	1,5	MH	1,685	26	
5,5	limo no plastico	1,5	ML	1,762	29	
6,5	limo no plastico	1	ML	1,755	32	
7,5	limo no plastico	1	ML	1,687	36	
9,5	arena limosa	2	SM	1,725	31	
10	arcilla de baja plasticidad	0,5	CL	1,5	13	

ZONA: Parroquia Urbana Jubones.

FUENTE: Ing. Ángel Pontón.

UBICACIÓN: Kléber Franco y Juan Montalvo.

Perfil estratigráfico 5 de la Parroquia Urbana Jubones.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 5 						
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR (m)	CLASIF. SUCS	p. UNIT (T/ M3)	SPT (N)	qu (T/M2)
0,4	relleno con material de desalojo	0,4				
1,35	arcilla limosa	0,95	CL	1,703	3	
2	arena color café	0,65	SC	1,929	10	
3	arcilla color café	1	SC	2,104	10	
4,5	arena color café	1,5	SP	2,112	21	
6	arena con pocos finos	1,5	SP	2,2	23	
7,85	arena fina color gris	1,85	SM	2,043	11	
9	arena fina arcillosa	1,15	SC	1,984	9	
10,5	arcilla arenosa	1,5	CL	1,636	4	
12	arcilla de color gris	1,5	CL	1,743	3	
13,5	arcilla de color gris	1,5	CL	1,588	3	
15	arcilla color gris	1,5	CL	1,682	2	

ZONA: Parroquia Urbana Jubones.

FUENTE: Ing. Ángel Pontón.

UBICACIÓN: Marcel Laniado y Juan Montalvo.

Perfil estratigráfico 6 de la Parroquia Urbana Jubones.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 6 						
PROF. (m)	ESTRATIGRAFIA	ESPESOR (m)	CLASIF. SUCS	p. UNIT (T/ M3)	SPT (N)	qu (T/M2)
0	relleno de grava y arena					
1	arcilla color café	1	CL	1,928		0,8
2,5	arcilla color plomo	1,5	CL	1,891		0,5
4	arcilla color plomo	1,5	CL	1,988		0,5
5,5	arena fina color café	1,5	SM	1,862	6	
7	arena fina gris	1,5	SM	2,245	25	
8,5	arena fina gris	1,5	SM	2,185	25	
10	arcilla color gris	1,5	CL	1,916		0,5
12	arcilla color gris	2	CL	1,817	4	
13,5	arcilla gris verdosa	1,5	CL	1,797	6	
15	arcilla color gris	1,5	OH	1,875	4	
17	arcilla color gris	2	OH	1,635	4	
18	arcilla color gris	1	OH	1,798	6	
20	arcilla color gris	2	OH	1,819	7	



ZONA: Parroquia Urbana Jubones.

FUENTE: Ing. Luis Chaguay.

UBICACIÓN: Tarqui y Boyacá.

**ANEXO B - DETERMINACIÓN DE LAS VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE
CON LAS CORRELACIONES TOMADAS PARA LOS SUELOS DE GUAYAQUIL**

Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil
– Perfil 1.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA 							
UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL							
ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 1							
CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE							
ESTRATIGRAFIA	di	p. UNIT (T/ M3)	SPT (Ni)	di/Ni	N60	Vs (M/S)	
Relleno de grava y arena	0		0	0,000	12,84	0,0	
arcilla color café	1	1,796	0	0,000		0,0	
arcilla color plomo	2	1,849	0	0,000		0,0	
arcilla café color oscuro	1,5	2,057	4	0,375		193,6	
arena fina color café	1,5	2,128	16	0,094		196,2	
arena fina arcillosa	1	1,825	19	0,053		196,2	
arena fina limosa	1,5	1,907	14	0,107		196,2	
arena fina limosa	1,5	1,879	10	0,150		196,2	
	Σdi			Σdi/Ni			
	10			0,779			



Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil
 – Perfil 2.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 2 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE 							
ESTRATIGRAFIA	di	p. UNIT (T/ M3)	SPT (Ni)	di/Ni	N60	Vs (M/S)	
	0				22,791		
relleno compactado natural	1			0,000			
limo de alta compresibilidad	1	1,249	10	0,100		205,1	
limo de alta compresibilidad	1	1,272	18	0,056		205,1	
limo no plastico	1	1,24	36	0,028		205,1	
limo no plastico	1	1,258	37	0,027		205,1	
limo no plastico	1,5	1,26	36	0,042		205,1	
limo no plastico con arena de grano fino	1,5	1,275	45	0,033		205,1	
limo no plastico	1	1,249	11	0,091		205,1	
arcilla de baja plasticidad	1	1,247	16	0,063		205,1	
	Σdi			Σdi/Vs			
	10			0,439			


Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil
 – Perfil 3.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 3 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE 							
ESTRATIGRAFIA	di	p. UNIT (T/ M3)	SPT (Ni)	di/Ni	N60	Vs (M/S)	
relleno compactado natural	1		0	0,000	26,726		
limo de alta compresibilidad	1	1,249	15	0,067		208,3	
limo de alta compresibilidad	1	1,272	19	0,053		208,3	
limo de alta plasticidad	1,5	1,24	22	0,068		208,3	
limo de alta plasticidad	2	1,258	27	0,074		208,3	
limo no plastico	1	1,26	29	0,034		208,3	
arena limosa no plastica	2,5	1,275	32	0,078		240,9	
	Σdi			Σdi/Vs			
	10			0,374			

Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil
 – Perfil 4.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 4  CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE							
ESTRATIGRAFIA	di	p. UNIT (T/ M3)	SPT (Ni)	di/Ni	N60	Vs (M/S)	
	0		0	0,000	30,173		
relleno compactado	1		0	0,000			
limo de alta compresibilidad	1,5	1,529	25	0,060		210,9	
limo de alta plasticidad	1,5	1,685	26	0,058		210,9	
limo no plastico	1,5	1,762	29	0,052		210,9	
limo no plastico	1	1,755	32	0,031		210,9	
limo no plastico	1	1,687	36	0,028		210,9	
arena limosa	2	1,725	31	0,065		249,2	
arcilla de baja plasticidad	0,5	1,5	13	0,038		210,9	
	Σdi			Σdi/Vs			
	10			0,331			

Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil
 – Perfil 5.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 5 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE 							
ESTRATIGRAFIA	di	p. UNIT (T/ M3)	SPT (Ni)	di/Ni	N60	Vs (M/S)	
relleno con material de desalojo	0,4		0	0,000	5		
arcilla limosa	0,95	1,703	3	0,317		176,0	
arena color café	0,65	1,929	10	0,065		150,1	
arcilla color café	1	2,104	10	0,100		176,0	
arena color café	1,5	2,112	21	0,071		150,1	
arena con pocos finos	1,5	2,2	23	0,065		150,1	
arena fina color gris	1,85	2,043	11	0,168		150,1	
arena fina arcillosa	1,15	1,984	9	0,128		150,1	
arcilla arenosa	1,5	1,636	4	0,375		176,0	
arcilla de color gris	1,5	1,743	3	0,500		176,0	
arcilla de color gris	1,5	1,588	3	0,500		176,0	
arcilla color gris	1,5	1,682	2	0,750		176,0	
	Σdi			Σdi/Vs			
	15			3,039			

Fuente: Autor



Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil
 – Perfil 6.

 UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 6 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE CORTE 							
ESTRATIGRAFIA	di	p. UNIT (T/ M3)	SPT (Ni)	di/Ni	N60	Vs (M/S)	
relleno de grava y arena							
arcilla color café	1	1,928	0	0,000	8,172	0	
arcilla color plomo	1,5	1,891	0	0,000		0	
arcilla color plomo	1,5	1,988	0	0,000		0	
arena fina color cafe	1,5	1,862	6	0,250		172,9	
arena fina gris	1,5	2,245	25	0,060		172,9	
arena fina gris	1,5	2,185	25	0,060		172,9	
arcilla color gris	1,5	1,916	0	0,000		0	
arcilla color gris	2	1,817	4	0,500		185,1	
arcilla gris verdosa	1,5	1,797	6	0,250		185,1	
arcilla color gris	1,5	1,875	4	0,375		185,1	
arcilla color gris	2	1,635	4	0,500		185,1	
arcilla color gris	1	1,798	6	0,167		185,1	
arcilla color gris	2	1,819	7	0,286		185,1	
	Σdi			Σdi/Vs			
	20			2,447			

Fuente: Autor



**ANEXO C - DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA DE ONDA DE CORTE,
Y CLASIFICACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO SEGÚN LA NEC - 2015**

Cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del perfil del suelo de acuerdo a la NEC -2015 – Perfil 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA		 UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL				
ESTRATIGRAFÍA DE SUELOS 1						
CLASIFICACION SEGÚN NEC - 2015						
di	Vs	di/Vs	Vs media	Clas. Según NEC - 2015		
0	0,0	0,000	279,50	D		
1	0,0	0,000				
2	0,0	0,000				
1,5	193,6	0,008				
1,5	196,2	0,008				
1	196,2	0,005				
1,5	196,2	0,008				
1,5	196,2	0,008				
Σdi		Σdi/Vs				
10		0,036				



Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del perfil del suelo de acuerdo a la NEC -2015 – Perfil 2.

		UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 2				
CLASIFICACION SEGÚN NEC - 2015						
di	Vs	di/Vs	Vs media	Clas. Según NEC - 2015		
0	0,0	0,000	227,84	D		
1	0,0	0,000				
1	205,1	0,005				
1	205,1	0,005				
1	205,1	0,005				
1	205,1	0,005				
1,5	205,1	0,007				
1,5	205,1	0,007				
1	205,1	0,005				
1	205,1	0,005				
Σdi		Σdi/Vs				
10		0,044				

Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del perfil del suelo de acuerdo a la NEC -2015 – Perfil 3.

		UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 3 CLASIFICACION SEGÚN NEC - 2015							
di	Vs	di/Vs	Vs media	Clas. Según NEC - 2015					
0	0,0	0,000	240,52	D					
1	0,0	0,000							
1	208,3	0,005							
1	208,3	0,005							
1,5	208,3	0,007							
2	208,3	0,010							
1	208,3	0,005							
2,5	240,9	0,010							
Σdi		Σdi/Vs							
10		0,042							



Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del perfil del suelo de acuerdo a la NEC -2015 – Perfil 4.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRATIGRAFÍA DE SUELOS 4 CLASIFICACIÓN SEGÚN NEC - 2015							
di	Vs	di/Vs	Vs media	Clas. Según NEC - 2015					
0	0,0	0,000	242,61	D					
1	0,0	0,000							
1,5	210,9	0,007							
1,5	210,9	0,007							
1,5	210,9	0,007							
1	210,9	0,005							
1	210,9	0,005							
2	249,2	0,008							
0,5	210,9	0,002							
Σdi		Σdi/Vs							
10		0,041							



Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del perfil del suelo de acuerdo a la NEC -2015 – Perfil 5.

		UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA UNIDAD ACADEMICA DE INGENIERIA CIVIL ESTRATIGRAFIA DE SUELOS 5 CLASIFICACION SEGÚN NEC - 2015								
di	Vs	di/Vs	Vs media	Clas. Según NEC - 2015						
0,4	0,0	0,000	167,63	E						
0,95	176,0	0,005								
0,65	150,1	0,004								
1	176,0	0,006								
1,5	150,1	0,010								
1,5	150,1	0,010								
1,85	150,1	0,012								
1,15	150,1	0,008								
1,5	176,0	0,009								
1,5	176,0	0,009								
1,5	176,0	0,009								
1,5	176,0	0,009								
1,5	176,0	0,009								
Σdi		Σdi/Vs								
15		0,089								

Fuente: Autor

Cálculo de las velocidades media de onda cortante, y clasificación del perfil del suelo de acuerdo a la NEC -2015 – Perfil 6.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRATIGRAFÍA DE SUELOS 6								
CLASIFICACIÓN SEGÚN NEC - 2015										
di	Vs	di/Vs	Vs media	Clas. Según NEC - 2015						
0	0,0	0,000	249,79	D						
1	0,0	0,000								
1,5	0,0	0,000								
1,5	0,0	0,000								
1,5	172,9	0,009								
1,5	172,9	0,009								
1,5	172,9	0,009								
1,5	0,0	0,000								
2	185,1	0,011								
1,5	185,1	0,008								
1,5	185,1	0,008								
2	185,1	0,011								
1	185,1	0,005								
2	185,1	0,011								
Σdi		Σdi/Vs								
20		0,080								

Fuente: Autor

ANEXO D – RESUMEN DE RESULTADOS

Resultados de velocidades y periodos de las estratigrafías del suelo en la Parroquia Jubones del Cantón Machala.

ITEM	UBICACIÓN	VELOCIDADES MEDIAS DE ONDAS DE CORTE	CLASIF. SUELO SEGÚN NEC-2015	PERIODO DE VIBRACION
1	10 de Agosto y Guabo	279,5	D	0,6827
2	Guabo y Ayacucho	227,84	D	0,6432
3	Buenavista y Boyaca	240,52	D	0,6031
4	Kleber Franco y Juan Montalvo	242,61	D	0,5987
5	Tarqui y Boyaca	167,63	E	0,6997
6	Marcel Laniado y Juan Montalvo	249,79	D	0,6584

Fuente: Autor