

ANÁLISIS DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE Y PERIODOS DE VIBRACIÓN DEL SUELO. PARROQUIA JUBONES. CIUDAD DE MACHALA.

*Pedro Pablo Guaraca Tenesaca, David Eloy Pantoja Aguacondo, Wilmer Eduardo Zambrano Zambrano, Juan Carlos Berru Cabrera.

Universidad Técnica de Machala, Unidad Académica de Ingeniería Civil
Machala, Ecuador
yotiguaraca@utmachala.edu.ec

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 la región Costa donde está ubicada la Ciudad de Machala, la investigación presta atención en 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 estratigrafías de diferentes zonas de la ciudad donde se va a analizar estos suelos, las cuales son obtenidas de diferentes laboratorios de suelos en la ciudad, 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, para el cálculo de las velocidades medias de ondas de corte la clasificación del suelo se utilizan fórmulas definidas por la normas NEC-2015 y para el cálculo de los Periodos de vibración del suelo, son obtenidos mediante la aplicación del programa EDUSHAKE, programa que proporciona el periodo predominante que adquiere el suelo ante la presencia de un evento sísmico.

Palabras clave: actividad sísmica, ondas de corte, periodos de vibración, categorización del suelo, microzonificación.

“ANALYSIS SPEEDS CUTTING AND WAVES OF SOIL VIBRATION PERIODS IN JUBONES PARISH. CITY OF 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 is located the city of Machala, research pays attention to categorize the floor of the Jubones parish city Machala, for which first calculating speeds shear waves is performed, obtaining stratigraphy of different areas of the city where they will analyze these soils, which are obtained from different laboratories soils in the city, 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 proprietary correlations for calculating average speeds of shear waves classification soil formulas defined by the NEC-2015 standards and for the calculation of periods of vibration of the ground, are obtained by applying the EDUSHAKE program, a program that provides the predominant period that takes the floor in the presence of a seismic event are used.

Keywords: seismic activity, shear waves, periods of vibration, soil categorization, microzoning.

INTRODUCCIÓN

La Ciudad de Machala cuenta con perfiles estratigráficos, cuyos niveles freáticos son altos por lo que son suelos altamente saturados, la tipología y 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 evento 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 inestables 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.

La importancia de realizar la presente investigación es analizar las correspondientes estratigrafías, tomadas de diferentes estudios de suelos realizados en el cantón de Machala, para así investigar su composición y su resistencia que tendrá ante un evento 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.

MATERIALES Y MÉTODOS.

La presente investigación está referida al estudio de tipo experimental, permitiendo cuantificar las velocidades de ondas de corte y periodos de vibración del suelo de la parroquia Jubones de la Ciudad de Machala.

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS DE LOS SUELOS.

Para la realización del presente trabajo se procedió a la obtención 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 de perforaciones de 10 a 20 metros de profundidad correspondientes a cada sector de estudio de la presente investigación.

Tabla 1: 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.

CORRELACIONES EMPÍRICAS PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDADES DE ONDAS DE CORTE.

Para el cálculo de las velocidades de ondas de corte, emplearemos las correlaciones obtenidas en suelos de la ciudad de Guayaquil, debido que nuestra ciudad aún no cuenta con correlaciones propias para sus perfiles estratigráficos, recalando 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 eventos sísmicos y esto lograra evitar que afecte la estabilidad estructural de las edificaciones.

Las correlaciones que se desarrollaron en la Ciudad de Guayaquil para el cálculo de las velocidades de ondas de corte, son las siguientes formulas:

Para las arcillas y limos se utilizarán:

$$V_s = 150 (N_{60})^{0.10} \quad (1)$$

Para las arenas:

$$V_s = 96 (N_{60})^{0.28} \quad (2)$$

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:

$$N_{60} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (3)$$

Donde:

N_i= 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 N_{60} , correspondiente al estrato i. El valor de N_i a emplear para obtener el valor medio, no debe exceder de 100.(CAMICON & MIDUVI, 2014)

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

En la siguiente tabla del perfil estratigráfico se encuentra calculada su correspondiente velocidad de ondas de corte calculadas con los parámetros señalados anteriormente.

Tabla 2: Cálculo de las velocidades de ondas de corte con correlaciones de la Ciudad de Guayaquil – Perfil 1.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL ESTRATIGRAFÍA DE SUELOS 1 CÁLCULO 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

MÉTODO DEL SOFTWARE EDUSHAKE PARA LA OBTENCIÓN DE PERIODOS PREDOMINANTES DEL SUELO

Para ingresar los datos de los perfiles estratigráficos en el programa Edushake, acudimos a 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 con las correlaciones empleadas para la Ciudad de Guayaquil.

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 evento sísmico se adoptarán automáticamente al seleccionar el archivo para poder realizar el análisis.

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. 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 dirigimos 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:

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

Figura 11: Periodo predominante del suelo - Perfil estratigráfico 1

Fuente: Autor.

NORMATIVAS NEC-2015 – CLASIFICACIÓN DE SUELOS

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.(Fallis, 2013)

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.(Fallis, 2013)

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”.(Leoni, n.d.)

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.(Ordaz, 1997)

La “velocidad de las ondas de corte”(Godoy & González, 2015) 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.(Undécimo, n.d.)

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

- 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:

$$G = \rho VS^2 \quad (4)$$

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.”(Castillo & Ciencias, 2007)

RESULTADOS, DISCUSIÓN.

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 predominantes 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.

Tabla 3: 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

CONCLUSIONES.

- 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.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMICON, & MIDUVI. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC: NEC-SE-DS - Peligro Sísmico/Diseño Sismo Resistente*. <http://doi.org/10.4067/S0717-69962013000200001>
- Castillo, S. del, & Ciencias, M. en. (2007). Caracterización de suelos arenosos mediante análisis de ondas de superficie. *Academiadeingenieriademexico.Mx*. Retrieved from [http://www.academiadeingenieriademexico.mx/archivos/coloquios/3/Caracterizacion de Suelos Arenosos Mediante Analisis de Ondas de Superficie.pdf](http://www.academiadeingenieriademexico.mx/archivos/coloquios/3/Caracterizacion%20de%20Suelos%20Arenosos%20Mediante%20Análisis%20de%20Ondas%20de%20Superficie.pdf)
- Fallis, A. . (2013). No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Godoy, C., & González, L. (2015). Importancia de la velocidad de onda de corte y del período predominante para la evaluación de la respuesta de sitio en Santiago Introducción Metodología, 61–67.
- Leoni, A. (n.d.). Parametrización de suelos, 120.
- Ordaz, M. (1997). Sismicidad y riesgo sísmico. *Memorias Del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, 143–163.
- Undecimo, F. (n.d.). 1.7 Las ondas sísmicas.