

PREDOMINANT SOIL PERIODS IN THE BRIDGES OF THE CARRIZAL – CHONE PIPELINE IN MANABÍ FOR SOIL CLASSIFICATION ACCORDING TO NEC_15

Delgado D. ⁽¹⁾, García L. ⁽²⁾, Frau C. ⁽³⁾ y Vinces D. ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Profesora, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Circunvalación vía a San Mateo, Manta, Ecuador. Correo: dolly.delgado@uleam.edu.ec

⁽²⁾ Profesor, Facultad de Ciencias Matemáticas Físicas y Químicas Universidad Técnica de Manabí Avenida Urbina y Che Guevara, Portoviejo, Ecuador. Correo: lincoln.garcia@utm.edu.ec

⁽³⁾ Profesor, Ceredetec, Facultad Regional Mendoza, Universidad Tecnológica Nacional, Rodríguez 273. Ciudad de Mendoza, Argentina. Correo: cdfrau@frm.utn.edu.ar

⁽⁴⁾ Ingeniera Civil, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Circunvalación vía a San Mateo, Manta, Ecuador. Correo: dalejandrav@hotmail.com

Received: December 2020. Accepted: February 2021

Published: March 2021

ABSTRACT

The need to know the type of soil has become of utmost importance when designing a structure and especially the effect of soil-structure interaction, and especially, if the project is located in a high seismicity area and consider the seismic effects on the structure of the predominant period of the soil. The present work provides an analysis of the values of the predominant period of Bridges 1, 2 and 3, belonging to the Carrizal-Chone pipeline for the classification of the soil according to the Ecuadorian Construction Standard, since it is essential to know the periods of the Soils to characterize and classify them, according to the type of soil will be the amplification of the seismic wave and a greater excitation on the structure. The Nakamura method, also known as the H / V spectral quotient, was used, using a Geobox SR04 triaxial seismometer, the ambient vibration in each bridge were measured, three points with three readings each, following the SESAME criteria. The records were processed in the Geopsy program, the predominant periods of the site were calculated, obtaining ranges from 0.45 to 0.76 seconds, classifying them according to the type of site profile and it was determined that bridges one and two are located on a type D profile and bridge three on a type E profile.

Key Words: Nakamura method, environmental vibrations, SESAME criteria, predominant periods

PERÍODOS DE SUELO PREDOMINANTES EN PUENTES DE LA LÍNEA DE TUBERÍA CARRIZAL-CHONE EN MANABÍ PARA CLASIFICACIONES DE SUELO DE ACUERDO A LA NEC-15

RESUMEN

La necesidad de conocer el tipo de suelo se ha vuelto de suma importancia al momento de diseñar una estructura y en especial el efecto de la interacción suelo-estructura, y especial, si el proyecto se encuentra ubicado en zona de alta sismicidad y considerar los efectos sísmicos sobre la estructura, del periodo predominante del suelo. El presente trabajo aporta con un análisis de los valores del periodo predominante de los Puentes 1, 2 y 3, pertenecientes al ducto Carrizal-Chone

para la clasificación del suelo según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, ya que es fundamental conocer los periodos de los suelos para caracterizarlos y clasificarlos, de acuerdo con el tipo de suelo será la amplificación de la onda sísmica y una mayor excitación sobre la estructura. Se utilizó el método de Nakamura también conocido como Cociente Espectral H/V, mediante un sismómetro triaxial Geobox SR04, se midieron las vibraciones ambientales en cada puente, tres puntos con tres lecturas cada uno, siguiendo los criterios SESAME. Los registros fueron procesados en el programa Geopsy, se calcularon los periodos predominantes del sitio, obteniéndose rangos de 0,45 a 0,76 segundos, clasificándolos según el tipo de perfil de sitio y se determinó que los puentes uno y dos están ubicados sobre un perfil tipo D y el puente tres sobre un perfil tipo E.

Palabras Claves: Método de Nakamura, vibraciones ambientales, criterios SESAME, periodos predominantes.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer las características dinámicas de los suelos son fundamentales para la clasificación del suelo especialmente en zonas de alto peligro sísmico, por lo que se vuelve necesario investigar metodologías o técnicas que sean más precisas, de fácil aplicación y de bajo costo.

Se evalúa la respuesta de sitio mediante el método de Nakamura, que utiliza las vibraciones ambientales para obtener la frecuencia fundamental del suelo y se obtiene el periodo predominante que es necesario para estimar el efecto de la interacción suelo-estructura, que es el mecanismo por el que, la presencia de la estructura influye en el movimiento del terreno y consiste en la diferencia entre la respuesta de un punto donde está situada una estructura y la respuesta que debería experimentar ese punto de no estar allí la estructura.

Los Puentes pertenecientes al ducto Carrizal-Chone Chone están ubicados en los puntos: E 601519 - S 9902189, E 601531 – S 9902188, E 6014187 – S 99002214; E 59948 - S 9902937, E 599945 – S 9902915, E 599918 – S 99002911; E 597767 - S 9903106, E 597769 – S 9903099, E 597733 – S 9903084.

Es fundamental conocer los periodos de suelo, para caracterizarlos y clasificarlos según la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-15, para obtener las características de los suelos es necesario aplicar las metodologías y técnicas, recomendadas por la normativa, como el Método de Nakamura.

2. Peligrosidad Sísmica de Manabí – Ecuador

El Ecuador se encuentra en la zona de mayor peligrosidad sísmica del mundo, en el denominado Cinturón de fuego del Pacífico (figura 1), donde se libera la mayor cantidad de energía sísmica a nivel mundial (Aguiar 2010), tiene una historia de grandes terremotos relacionados con la zona de subducción, donde la placa de Nazca se hunde bajo la placa Sudamericana a una velocidad de 60 mm/año (Rivadeneira, et al. 2007). Sufre la interacción de cuatro placas: Sudamericana, Caribe, Nazca y Cocos; lo que genera movimientos sísmicos frecuentes, lo cual representa gran peligro, esto también produce que las características geomorfología ecuatoriana sean únicas, generando estructuras geológicas, como volcanes y fallas activas, razón por la cual en las últimas décadas ha sido afectado por terremotos de gran magnitud, causando grandes destrucciones, daños a gran escala y pérdidas humanas (Chunga, et al. 2010).

La provincia de Manabí esta ubica en las costas del Ecuador, lo que implica una amenaza sísmica real, que la vuelve propensa a sufrir sismos de gran intensidad. Ante esta realidad es

imprescindible conocer los efectos que los eventos sísmicos han producido en Manabí y así evitar posibles daños materiales y pérdidas de vidas humanas (Centro del Agua y Desarrollo Sustentable CADS-ESPOL 2013).

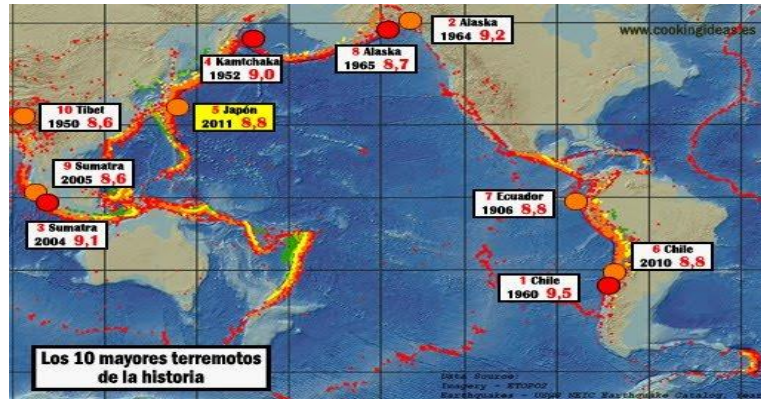


Figura 1 Círculo de Fuego del Pacífico

3. Clasificación de suelos según la Norma Ecuatoriana NEC-15

La Norma Ecuatoriana de la Construcción publicada en el año 2015 en su capítulo de Peligro Sísmico establece al V_{s30} como factor para la clasificación de suelos, y únicamente en los suelos tipo F se recomienda la estimación del período elástico como se indica:

Las velocidades de ondas de corte por medio de ensayos Sísmica de Refracción de acuerdo al ASTM D5777.

El período elástico del subsuelo mediante mediciones de la vibración ambiental, aplicando el Método de Nakamura (NEC - 15 2015)

La Nec-15 define seis tipos de perfil de suelo, la tabla siguiente muestra los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice i que va desde 1 en la superficie, hasta n en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil. Para el perfil tipo F se aplican otros criterios, como los expuestos en la sección 10.5.4 de la norma citada y la respuesta no debe limitarse a los 30 m superiores del perfil en los casos de perfiles con espesor de suelo significativo. (NEC - 15 2015).

Para la clasificación de suelos la NEC-SE-DS 15 "Peligro Sísmico" describe varios métodos V_{s30} , SPT y Nakamura, analiza la respuesta dinámica del sitio. Los parámetros que se utilizan para definir el tipo de perfil de suelo con base en los treinta primeros metros son: (a) la velocidad media de la onda de cortante, V_{s30} , en m/s. (b) el número medio de golpes del ensayo de penetración estándar para el 60% de la energía teórica, N_{60} , a lo largo de todo el perfil.

4. MÉTODO

4.1. Método de Nakamura o Cociente espectral H/V .

Nakamura diseñó un método que fuera de fácil aplicación, este método también es conocido como técnica de los cocientes espectrales H/V , la cual puede ser utilizada como una herramienta rápida y económica para determinar el período del suelo y realizar estudios de microzonificación en ambientes urbanos (Ritta, Suarez and Pando 2012).

El Método de Nakamura utiliza las componentes verticales y componentes horizontales que se obtienen a través de los micro temores para determinar el movimiento horizontal de las capas

superficiales (Nakamura 1989), es decir que estima la función de transferencia aproximada de las capas superficiales de suelo y supone que el ruido de los micro temblores está compuesto por varios tipos de ondas. El método elimina el efecto de las ondas Rayleigh y considera que los micro temblores en la base rocosa son similares horizontal y verticalmente (Alfaro, et al. 1999)

Se basa en las siguientes hipótesis:

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

El método de Nakamura consiste en hallar las razones espectrales suavizadas entre los componentes horizontales y verticales correspondientes a un mismo emplazamiento (Nakamura 1989)

Emplea mediciones de ruido ambiental, compuesto por ondas superficiales tipo Rayleigh, producido por la influencia del viento, olas, tráfico y varias formas de actividades humanas. El ruido existe en cualquier lugar de la superficie terrestre y es producido por el viento y ondas marinas, en forma natural, por elementos asociados a la actividad humana, en su forma artificial, esta última genera un mayor impacto. (Gálvez 2017)

A nivel espectral su función de transferencia sería:

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (1)$$

Donde S_{HS} y S_{HB} son, respectivamente, el espectro horizontal del terreno en la superficie y en el basamento. Pero S_{HS} viene contaminada por las ondas superficiales de Rayleigh. Por tanto, para que este cociente espectral sea realmente una función de transferencia, hay que eliminar de ellas la parte debida a las ondas Rayleigh.

Como se supone, que la componente vertical no es amplificada por el efecto de suelo, podemos utilizar el cociente espectral de esta componente para evaluar la contaminación, que provocan las ondas Rayleigh. Definimos el cociente espectral de las componentes verticales S_V :

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2)$$

Donde S_{VS} y S_{VB} son los espectros verticales en la superficie y en el basamento respectivamente. En el caso de no existir ondas de Rayleigh S_V sería igual a 1. Asumiendo que el efecto en la superficie de las ondas de Rayleigh es igual en las componentes vertical y horizontal, este último cociente sirve para eliminar la amplificación aparente, que provocan estas en el cociente S_T . Así la función de amplificación del suelo sería.

Si:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} \quad (3)$$

$$S_{TT} = \frac{R_S}{R_B} \quad (4)$$

Dónde:

$$R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (5)$$

$$R_B = \frac{S_{HB}}{S_{VB}} \quad (6)$$

Obteniendo R_S y R_B al dividir el espectro horizontal entre el espectro vertical, para los micro temblores en superficie y en el basamento. R_B está cerca de la unidad para un rango, relativamente amplio, de frecuencias para registros obtenidos en afloramiento rocoso.

Esto implica que para el basamento la propagación es la misma en todas las direcciones.

$$R_B \cong 1$$

Y por lo tanto

$$S_{TT} \cong R_{S5}$$

Esto significa que la función de transferencia de las capas superficiales puede ser estimada a partir, únicamente, del movimiento en superficie. En otras palabras, el movimiento vertical en la superficie retiene las características del movimiento horizontal en el substrato. Pero R_s se vuelve más o menos 1 en el rango de frecuencias donde la onda Rayleigh prevalece, y esto no es notorio en la función de transferencia estimada. (Alfaro, y otros 1999, Nakamura 1989)

4.2. Criterios SESAME

Los criterios SESAME son de importancia para garantizar la confiabilidad de los resultados y se enfocan en dos aspectos: técnicas que utilizan vibraciones sísmicas ambientales y el objetivo para aclarar su capacidad real en proporcionar información útil, directa o indirecta, para estimaciones del periodo del suelo. El trabajo incluye una parte teórica y numérica para comprender mejor la naturaleza del ruido sísmico y también incluye el procesamiento de datos para evaluar claramente la estabilidad, robustez y fiabilidad, con el fin de comprobar los resultados de frecuencia y periodo fundamental; se entrega nueve criterios que se enfocan en obtener una gráfica con una curva confiable y un peak claro o definido. (Saldivia 2014)

Curva H/V confiable:

- $f_0 > \frac{10}{l_w}$
- $n_c(f_0) > 200$
- $\sigma_A(f) < 2$ para $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$ si $f_0 > 0.5\text{Hz}$
- $\sigma_A(f) < 3$ para $0.5 * f_0 < f < 2 * f_0$ si $f_0 < 0.5\text{Hz}$

Peak H/V claro

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

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

5. Tipología de Curvas H/V

5.1. Peak Claro

Si la curva cumple al menos 5 de los 6 criterios para peak claro, entonces el valor de la frecuencia asociado al peak es considerada como una estimación confiable de la frecuencia fundamental del depósito de suelos. Además, si la amplitud del peak es mayor que 4, existe un marcado contraste de impedancia en profundidad y el sitio es susceptible a amplificación sísmica. En la figura 2 se presenta una curva H/V con peak claro (SESAME-Geopsy 2004).

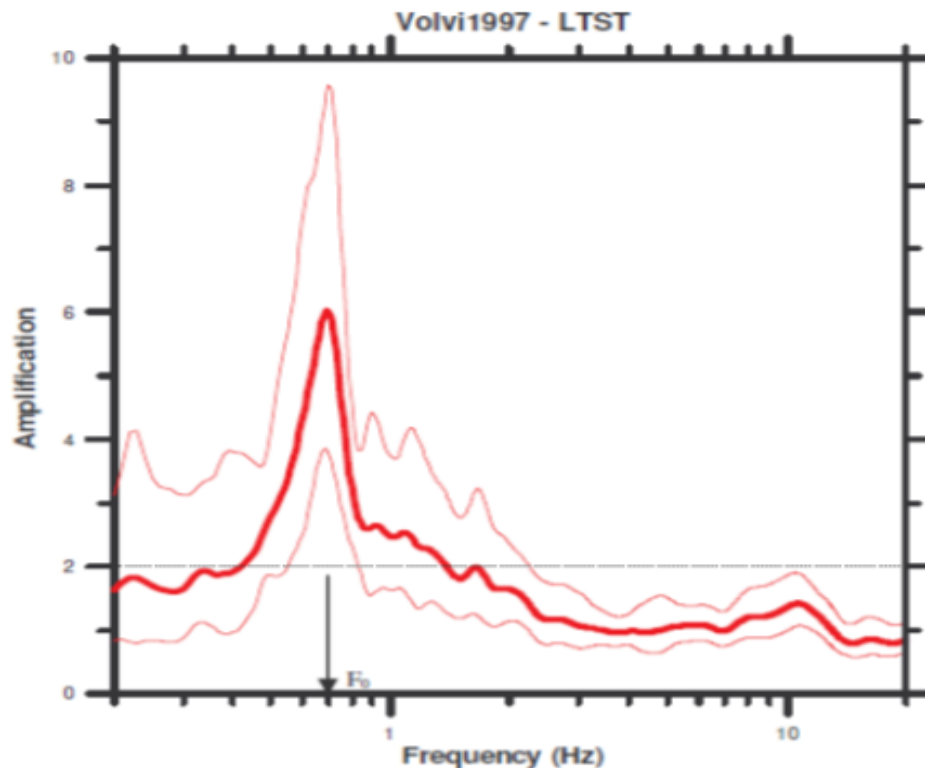


Figura 2 Curva H/V con Peak Claro

5.2. Curva Plana o Peak con baja amplitud en frecuencias bajas

Las curvas planas o con peaks de baja amplitud (Figura 3) pueden deberse a un bajo contraste de impedancia en profundidad (<3). En caso de que se tenga certeza de la presencia de suelos blandos, el problema puede ser explicado por malas condiciones climáticas, viento fuerte en el proceso de medición o mal acople suelo-sensor. Cuando curvas planas y/o peaks de baja amplitud, son observadas en sitios donde no hay roca visible (SESAME-Geopsy 2004).

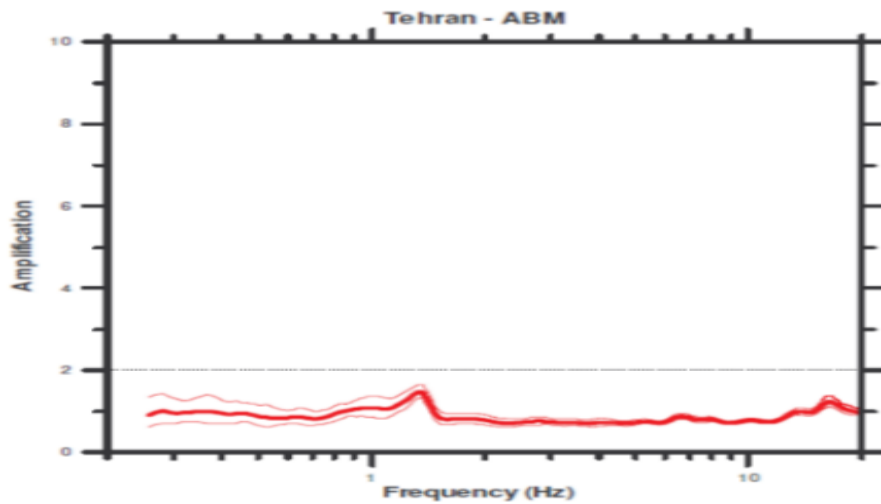


Figura 3 Curvas H/V plana y con baja amplitud en frecuencias bajas.

5.3. Peak Ancho o Múltiples Peak

Los peaks anchos o múltiples peaks (Figura 4) están relacionados a complejos campos de ondas debido a importantes variaciones 2D y 3D de la estructura subyacente.

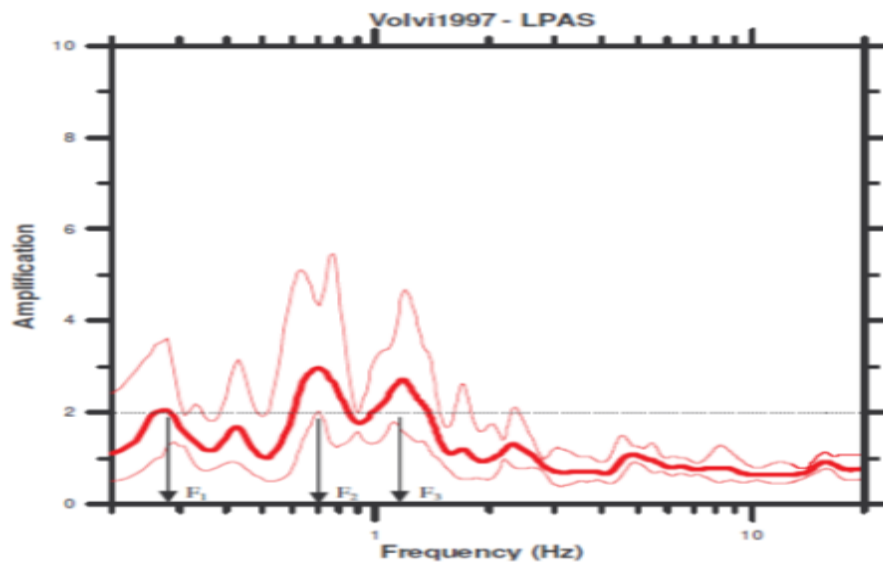


Figura 4 Curva H/V con peaks múltiples

La propagación de ondas sísmicas incluye ondas difractadas (de cuerpo y superficiales) generadas a lo largo de la pendiente y de discontinuidades (SESAME-Geopsy 2004)

5.4. Dos Peak

En algunos casos la curva H/V puede exhibir dos peaks (Figura 5) que satisfacen los criterios de peak claro, aunque es más bien extraño. Investigaciones teóricas y numéricas han mostrado que

esta situación ocurre cuando existen dos grandes contrastes de impedancia a dos diferentes escalas: uno para una estructura profunda y otro para una estructura superficial (SESAME-Geopsy 2004).

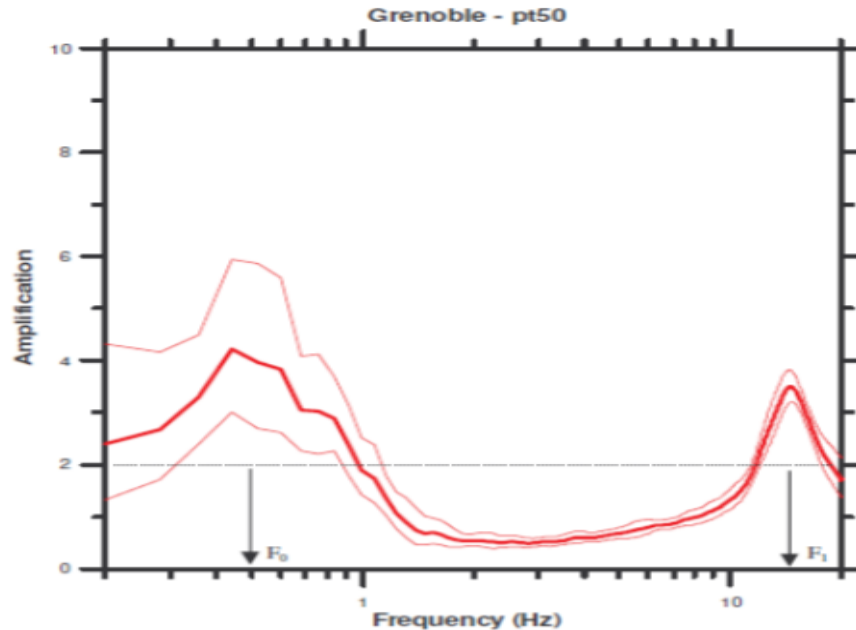


Figura 5 Curva H/V con dos peaks

6. Correlación de frecuencias fundamentales con la clasificación de suelos NEC-2015

En el apartado 3.2.1 de la norma NEC-SE-DS podemos encontrar la clasificación de los seis tipos de sitios, pero caracterizados por el parámetro vs30, que significa a la velocidad de onda de corte en los primeros treinta metros (NEC - 15 2015).

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (7)$$

La ecuación 7 determina el parámetro Vs30

Donde h_i es el espesor y v_i es la velocidad de las ondas S de la i capa y N el número total de capas. La Tabla 1 se puede visualizar la clasificación en la norma NEC-SE-DS y la propuesta de clasificación basada en el periodo de sitio. Según la siguiente formula, la frecuencia fundamental (f_0) es:

$$f_0 = \frac{v_s}{4H} \quad (8)$$

En base a la velocidad de onda de corte a los treinta metros la ecuación 8, permite determinar la Frecuencia Fundamental.

Tabla 1 Clasificación de sitio que relaciona los periodos y la velocidad de onda de corte para la NEC– 15. Basada en la propuesta de Zhao et al. (2006)

Clases del sitio	Período natural del suelo (seg.)	NEC - 15 Vs 30 (m/s)	NEC 15 Tipo de Perfil
SC I: (Roca / suelo rígido)	$T_s < 0.08$ seg	$V_{s30} > 1500$ m / seg	A
SC II: (Suelo duro)	0.08 seg = $T_s < 0.16$ seg	760 m / seg < $V_{s30} = 1500$ m / seg	B
SC III: (Suelo medio)	0.16 seg = $T_s < 0.33$ seg	360 m / seg < $V_{s30} = 760$ m / seg	C
SC IV: (Suelo blando)	0.33 seg = $T_s < 0.66$ seg	180 m / seg < $V_{s30} = 360$ m / seg	D
SC V: (Suelo colapsables)	$T_s > 0.66$ seg	$V_{s30} < 180$ m / seg	E- F

7. RESULTADOS

7.1. Ubicación de los puentes del ducto Carrizal-Chone

Las lecturas se realizaron en los puentes del ducto Carrizal – Chone, tres puentes con tres puntos de toma de lecturas. Tal y como se muestra a continuación:

Puente 1:



Figura 6a Ubicación de los puntos del Puente 1



Figura 7b Vista lateral del Puente 1

La Figura 6a muestra la ubicación de los puntos en el Puente 1, en donde se midieron los registros de vibraciones ambientales y la figura 6b muestra la vista el puente 2 sitio La Pavita-Quiroga-Calceta

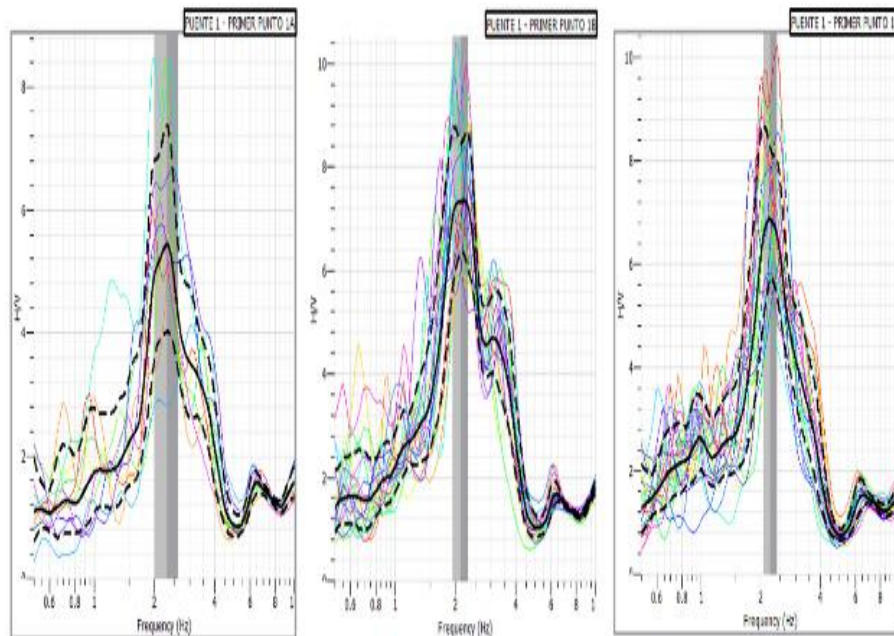


Figura 8 Curva H/V para el Puente 1 - Primer punto

En la Figura 7, se muestra la tipología de curva de la relación espectral H/V, obtenidas en el Puente 1, las curvas fueron Peak claro.

Tabla 2 Resumen de las frecuencias y periodos del puente 1

ENSAYO	UBICACION		FRECUENCIA f_o . (Hz.)	PERIODO T_o .(s)
	COORDENADAS E-W	COORDENADAS N-S		
1	601519	9902189	2,22	0,45
2	601531	9902188	2,14	0,47
3	601487	9902214	2,22	0,45
PERIODO PROMEDIO DEL PUENTE 1				0,46

En la tabla 3 se presentan las coordenadas de ubicación del cada punto en el Puente 1, las frecuencias calculadas mediante el software Geopsy, el periodo de vibración se obtiene de la inversa de la frecuencia y el periodo para el puente es el resultado promedio de las tres mediciones.

Puente 2:**Figura 9a** Ubicación de los puntos del Puente 2**Figura 8b** Vista lateral del Puente 2

La Figura 8a muestra la ubicación de los puntos del Puente 2, en donde se midieron los registros de vibraciones ambientales y la figura 8 b muestra la vista el puente 2 sitio Patón-Parroquia Quiroga.

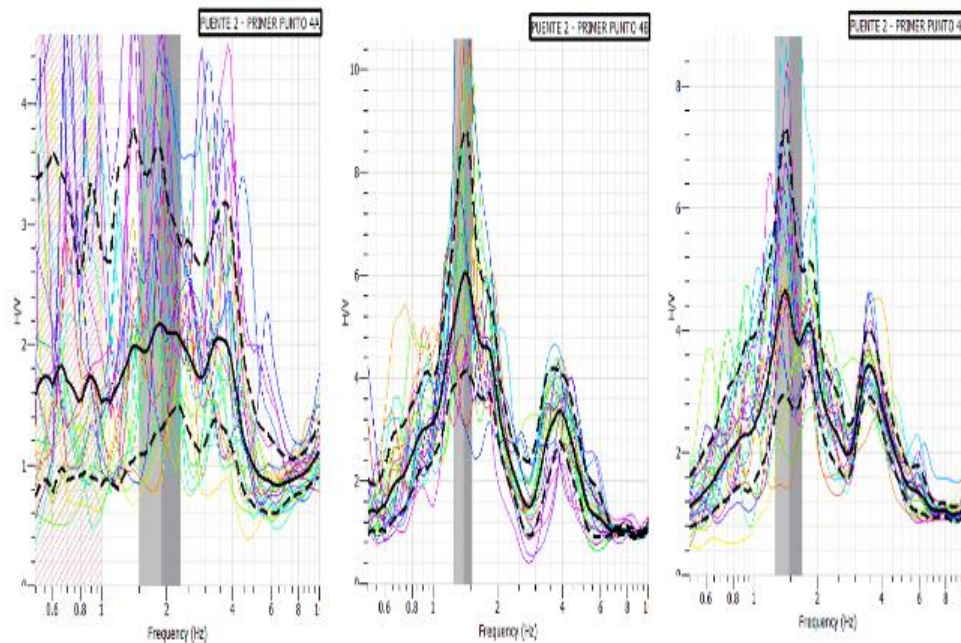


Figura 10 Curva H/V para el Puente 2 - Primer punto

En la Figura 9 se muestran las tipologías de curvas de la relación espectral H/V, en el Puente 2, resultando curvas de Dos Peak y Peak claro.

Tabla 1 Resumen de las frecuencias y periodos del puente 2

ENSAYO	UBICACION		FRECUENCIA f_o . (Hz.)	PERIODO T_o .(s)
	COORDENADAS E-W	COORDENADAS N-S		
1	599948	9902937	1,58	0,63
2	599945	9902915	1,64	0,61
3	599918	9902911	1,62	0,62
PERIODO PROMEDIO DEL PUENTE 2				0,62

En la tabla 4 se presentan las coordenadas de ubicación del cada punto en el Puente 2, las frecuencias calculadas mediante el software Geopsy, el periodo de vibración se obtiene de la inversa de la frecuencia y el periodo promedio de las tres mediciones.

Puente 3:



Figura 11a. Ubicación de los puntos del Puente 3



Figura 10b Vista lateral del Puente 3

En la Figura 10 muestra la ubicación de los puntos del Puente 3, en donde se midieron los registros de vibraciones ambientales. y la figura 8 b muestra la vista el puente 3 sitio Patón-Parroquia Quiroga.

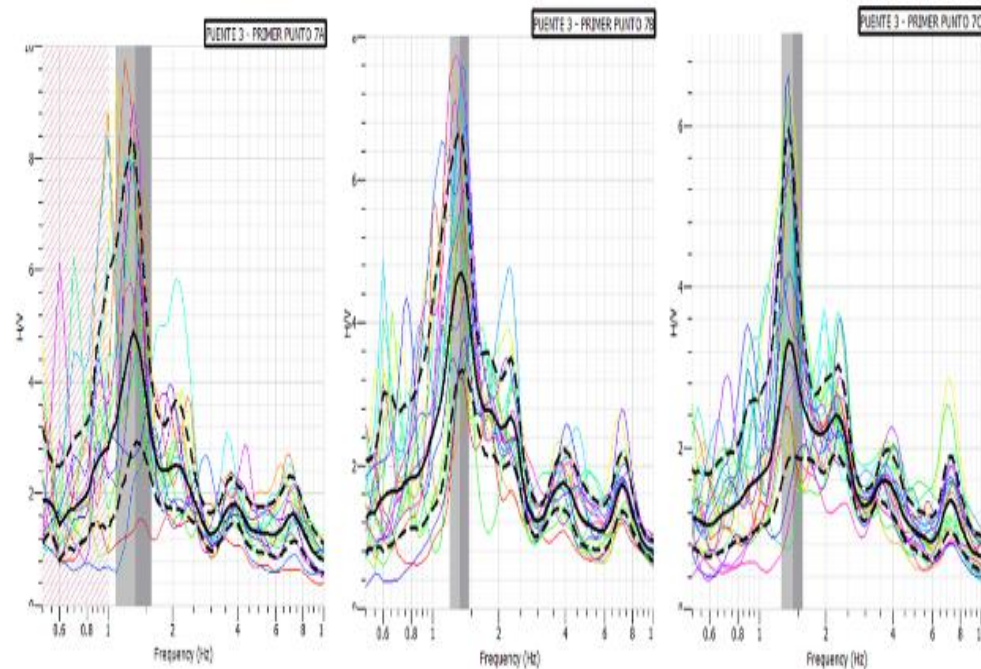


Figura 12 Curva H/V para el Puente 3 - Primer punto

En la Figura 11 se muestran las tipologías de curvas de la relación espectral H/V, en el Puente 3, resultando curvas Peak claro en cada lectura.

En la tabla 5 se presentan las coordenadas de cada punto en el Puente 3 con la frecuencia, el periodo promedio para el puente.

Tabla 2 Resumen de las frecuencias y periodos del puente 3

ENSAYO	UBICACION		FRECUENCIA f_0 (Hz.)	PERIODO T_0 (s)
	COORDENADAS E-W	COORDENADAS N-S		
1	597767	9903106	1,36	0,74
2	597769	9903099	1,31	0,76
3	597733	9903084	1,42	0,70
PERIODO PROMEDIO DEL PUENTE 3				0,73

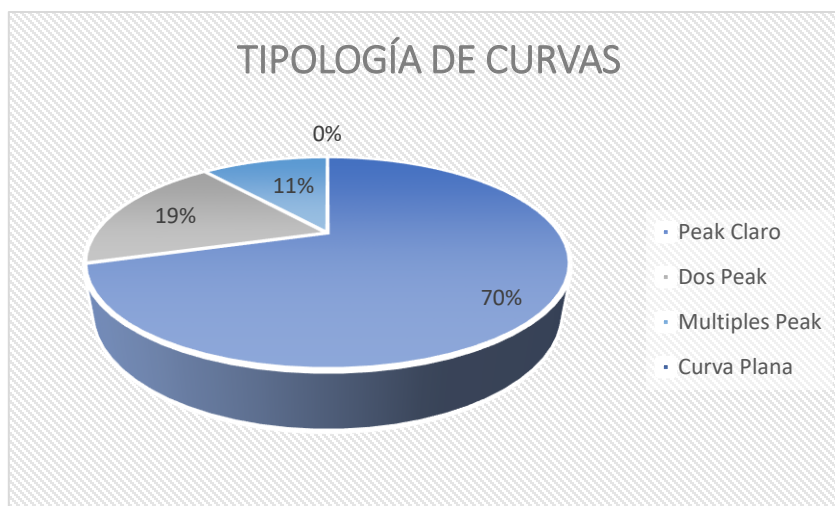
7.2. Resultados obtenidos mediante el criterio SESAME

Por medio de las lecturas realizadas en cada uno de los puentes del ducto Carrizal - Chone, se obtuvieron datos que en su mayoría cumplen con los rangos de curva de Peak Claro, que de acuerdo con su tipología cumplen con los criterios SESAME.

En la tabla 6 se muestra un resumen de la tipología encontrada en el estudio; mientras que en la figura 12 se ilustra de manera más gráfica estos resultados

Tabla 3 Tipología de curvas

Tipología de Curva	Cantidad
Peak Claro	19
Dos Peak	5
Multiples Peak	3
Curva Plana	0
TOTAL CURVAS	27

**Figura 13** Porcentaje de Tipología de Curva

Para el procesamiento de los datos, se utilizó el Programa Geopsy, el cual está normado por los criterios SESAME mostrados a continuación, en la tabla 7. De existir curvas planas o de baja amplitud, habría sido desechado o descartado para el análisis final.

En la tabla 7 se encuentran todos los puntos tomados en el terreno, nueve puntos y en cada punto tres lecturas con tiempos de veinte, diez y cinco minutos. Así también se observan los nueve criterios SESAME. Para que las curvas sean consideradas confiables, los datos registrados deben cumplir con dos de los tres primeros criterios mostrados y con los cinco de los seis de puntos de Peak definido, como se muestra en la tabla 7 todos los registros cumplieron siete de los nueve criterios.

Tabla 4 resumen de cumplimiento de criterios SESAME

DATOS ANALIZADOS Y RESULTADOS							CRITERIO SESSAME								
							RANGO DE CURVA CONFIABLE			PUNTO DE PEAK DEFINIDO					
REGISTRO	TIPO DE PEAK	nw	fo	Ao	lw	of	I	II	III	I	II	III	IV	V	VI
1A	Peak Claro	10	2,32	5,43	20	0,31	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
1B	Peak Claro	20	2,12	7,33	20	0,19	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
1C	Peak Claro	24	2,24	6,85	30	0,17	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
2A	Dos Peak	19	2,09	8,48	10	0,18	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
2B	Dos Peak	19	2,18	9,18	20	0,16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
2C	Dos Peak	30	2,17	10,91	30	0,13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
3A	Peak Claro	22	2,24	2,51	10	0,29	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
3B	Peak Claro	21	2,21	5,15	20	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
3C	Peak Claro	23	2,23	4,02	30	0,22	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
4A	Multiples Peak	25	1,9	2,16	10	0,4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
4B	Dos Peak	24	1,38	6	20	0,13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
4C	Dos Peak	24	1,48	4,39	30	0,21	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK
5A	Multiples Peak	23	2,07	2,06	10	0,35	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	NO CUMPLE
5B	Peak Claro	21	1,4	5,76	20	0,13	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5C	Peak Claro	22	1,47	6,64	30	0,17	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	NO CUMPLE	OK

Tabla 5 Resultados de los periodos de vibración predominantes del suelo y clasificación para la NEC-15, según la propuesta de Zhao.

PUENTE	PERIODO T _o (s)	PERFIL DEL SUELO
1	0,46	D
2	0,62	D
3	0,73	E

Las frecuencias predominantes obtenidas de las curvas H/V se encuentran entre valores de 1,31 Hz y 2,22 Hz. Los periodos de sitios de los dos primeros puentes dan un perfil tipo D, con un rango de periodo de 0,46 a 0,62 seg. y el tercero un perfil tipo E con un periodo de sitio de 0,73 seg. Se debe tener en cuenta que los periodos altos pueden ocasionar daños en estructuras de mayor altura, provocando el fenómeno conocido como resonancia al igualarse el periodo de vibración del suelo con el de la estructura.

8. CONCLUSIONES

Se presentó un estudio en que se evalúa **Periodos predominantes del suelo en los puentes del Ducto Carrizal – Chone-Manabí** –de acuerdo a las Normas Ecuatorianas de Construcción (NEC 2015) de los resultados obtenidos, y registrando las limitantes del estudio, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- a) Por medio del programa Geopsy que usa el método de Nakamura, se obtuvieron las curvas espectrales H/V, utilizando las mediciones de vibraciones ambientales que no tuvieron alteraciones en las tres componentes (N-S, E-W, Z).
- b) En este estudio no se descartó ninguna lectura, ya que cumplieron con los criterios recomendados en SESAME, se determinó el periodo de vibración de suelo en 9 puntos donde se obtuvo un rango de 0,45 a 0,76 segundos.
- c) Según la clasificación de suelo de la NEC-15 y basadas en la propuesta de Zhao, se pudo obtener la clasificación del tipo de sitio en dos de los tres puentes, tienen perfil tipo D y el tercero es tipo E.
- d) Después del proceso se comprobó que la aplicación de esta metodología permite una clasificación del tipo de suelo de un modo fácil y rápido, mediante la propuesta aplicada a la NEC-15, facilitando la información necesaria para el cálculo de la estructura.
- e) Con la obtención de los periodos de vibración del suelo en los lugares en donde estarán ubicados los puentes, se recomienda considerar los datos de periodos al construir las estructuras verticales, sabiendo que los periodos largos afectan a las estructuras de mayor altura. Es importante destacar la importancia de evitar que el periodo del suelo sea igual o próximo al

periodo de vibración de la estructura, porque de ser así se produciría el efecto de resonancia que aumenta el índice de daño en un evento sísmico.

9. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo de los ingenieros Marcos Zevallos y Jorge Palacios para la elaboración de este estudio que permitirá abrir más caminos para hacer este tipo de análisis en el suelo y conocer los periodos para así poder diseñar o reforzar correctamente las estructuras para futuros eventos sísmicos

10. REFERENCIAS

1. Aguiar, R. (2010). Peligrosidad sísmica del Ecuador y Descripción de los puentes construidos sobre el estuario del Río Esmeraldas con Aisladores de Base FPS. *Revista internacional de Ingeniería Estructural*, 86-116.
2. Alfaro, A., Navarro, M., Sanchez, J. G., & Pujades, L. (1999). Microzonificación Sísmica de Barcelona utilizando el Método de Nakamura ventajas y desventajas. *Primer Congreso Nacional Ingeniería Sísmica. Murcia. España*, (pp. 273-278). Murcia.
3. Centro del Agua y Desarrollo Sustentable CADS-ESPOL. (2013). *Proyecto de Evaluación de Vulnerabilidad y reducción de Riesgo de Desastres a Nivel Municipal en el Ecuador. Análisis del Cantón Manta*. Guayaquil: Espol.
4. Chunga, K., Martillo, C., Pazmiño, N., Quiñonez, M., & Huama, F. (2010). Estimación de máximos niveles de sismicidad para el litoral Ecuatoriano tras de la integración de datos geológicos y sismotectónicos. *Internacional Oro y Petrolera*, 46-57.
5. Gálvez, P. (2017). *Periodo Fundamental del Suelo*. Mexico.
6. Nakamura, Y. (1989, febrero). A method for Dynamic Characteristics Estimation of subsurface using Microtremor on the Ground Surface. *Quarterly Report of RTRI*, 30(1), 25-33.
7. Ritta, R., Suarez, L., & Pando, M. (2012). Determinación del período Fundamental del suelo usando vibración ambiental y el cociente espectral Horizontal-Vertical. *Mecánica Computacional*, 1400-1419.
8. Rivadeneira, G., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., & Yopez, H. (2007). *Breves fundamentos sobre tipos terremotos en el Ecuador*. Quito: Corporación Editorial Nacional.
9. Saldivia Pantanalli, J. C. (2014). *Determinación del período fundamental de vibración del suelo aplicando el Criterio SESAME*. Concepción: Universidad del Bío-Bío .
10. SESAME-Geopsy. (2004). *Description of the SESAME Project*.
11. Zhao, J. X. (n.d.). An empirical site-classification method for strong-motion stations in Japan using H/V response spectral ratio.
12. Carhualloclo, W. C. (2017). Análisis de la Interacción suelo estructura en cimentaciones superficiales. Piura: Perú.
13. Fernández Sola, L., & Avilés López, J. (1 de octubre de 2008). Efectos de interacción suelo-estructura en edificios con planta baja blanda. Scielo.
14. Nakamura, Periodo fundamental del Suelo Ts. Santiago de Chile: LEMCO.

15. Interacción suelo-estructura. (2014). Puebla: México.
16. Geometrics. (25 de mayo de 2005). Geometrics. Obtenido de <ftp://geom.geometrics.com/pub/seismo/seisimager>
17. Granda Sanz, A. (2005). El método de la sismica Pasiva: Una herramienta fiable para la caracterización geotécnica del terreno de las zonas urbanas. *Geofísica*, 78-84.
18. NEC. (2014). Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
19. GEORYS INGENIEROS S.A.C. (marzo de 2016). Análisis Multicanal de Ondas Superficiales – MASW. Recuperado el 28 de febrero de 2017, de <http://www.georys.com/wp-content/uploads/2016/04/Presentacion-masw.pdf>
20. Louie, J. N. (2001). Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth.
21. MACHUCA, N. C. (7 de Enero de 2015). Obtención del perfil de velocidad de onda de corte mediante método Masw y comparación con ensayo tipo Downhole en estaciones sismológicas de zona central.
22. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). Norma para estudios y diseños viales. Quito: N.A..
23. NEC. (2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Obtenido de Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente:
24. NEXT Xploration Technology. (Agosto de 2012). Servicios de geofísica y aplicación de métodos no destructivos y no invasivos para estudios de geotecnia, ingeniería civil y auditoria de obras.
25. O'Rourke, M. (2010). Snow Loads: Guide to the Provisions of ASCE 7-10. American Society of Civil Engineers.
26. Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (Mayo de 1999). Multichannel analysis of surface waves
27. Pazmiño Agualema, L. E. (2017). "Velocidades de onda vs v_p y su relación con los valores de ángulo de fricción interna, cohesión y $nspt$ para los suelos de Sangolquí". Sangolquí, Ecuador.
28. Sandoval Gómez, V. H., & Vera Catalán, M. J. (2013). "estudio de la robustez de la estimación espectral de la técnica h/v de Nakamura para estudios de caracterización dinámica de suelos". Valdivia, Chile.