



1  
2 **EVALUACIÓN DEL SUBSUELO, Y SU COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO EN EL**  
3 **CANTÓN PORTOVIEJO, PARROQUIA 12 DE MARZO.**

4  
5  
6 **Eduardo Humberto Ortiz Hernández <sup>1</sup>**

7 Ingeniero Civil. Master en Obras viales y Pavimentos  
8 Profesor en la Universidad Técnica de Manabí e-mail ehortiz@utm.edu.ec

9 **Lucia Katherine Macías Sánchez <sup>2</sup>**

10 Ingeniera Civil. Especialista en Laboratorio de Mecánica de suelos, concreto  
11 y asfalto. Investigadora / Consultora e-mail chinkams@hotmail.com

12 **Delgado Gutiérrez Daniel Alfredo<sup>3</sup>**

13 Ingeniera Civil. Magister en Ingeniería Civil y Construcciones Civiles  
14 Profesor en la Universidad Técnica de Manabí cdelgado9859@utm.edu.ec  
15  
16

17 Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

18  
19 Eduardo Humberto Ortiz Hernández, Lucia Katherine Macías Sánchez y Delgado Gutiérrez Daniel Alfredo  
20 (2019): "Evaluación del subsuelo, y su comportamiento geotécnico en el Cantón Portoviejo, parroquia 12  
21 de marzo", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (diciembre 2019). En línea:  
22 <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/12/subsuelo-comportamiento-geotecnico.html>  
23

24 **RESUMEN**

25 Luego del terremoto del 16 de abril del 2016 ocurrido en las zonas costeras de Ecuador de Magnitud  
26 de 7.8 grados en la escala de Richter, las construcciones sufrieron daños en las infraestructuras  
27 viales y viviendas, producidos por fallas en el suelo como agrietamiento, asentamiento y  
28 deslizamientos de masas, es por ello que se ha realizado una investigación sobre la evaluación del  
29 comportamiento del suelo en el Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí, Sector Ciudadela Universitaria  
30 en las Calle Wilfrido Looor Moreira e Italia de la Parroquia 12 de Marzo.

31 Se procedió a la elaboración de ensayos de campo con exploración de forma indirecta que consistieron  
32 en Perforaciones con SPT y CPT; exploración directa con métodos de sísmica de refracción  
33 complementando con ensayos de laboratorio de suelos, demostrando que estos suelos presentan  
34 diversas características Físicas - Mecánicas evaluando sus estratos e identificando sus propiedades  
35 del suelo.

36 Con los resultados obtenidos de campo se obtuvieron velocidad de ondas sísmicas y distribución de  
37 números de golpes mediante el ensayo de SPT- CPT verificando la compacidad del suelo,  
38 correlacionando con la sísmica los parámetros de resistencia del suelo, todo esto permiten el  
39 reconocimiento de unidades litológicas en el contexto del peligro geológico e identificar el estrato  
40 resistente más adecuado para la cimentación profunda.

41 **Palabras claves:** Velocidad de onda sísmica, Sondeos Eléctricos Verticales, Sísmica de Refracción,  
42 Ensayo de Penetración Estándar, Ensayo de penetración de cono.

### 43 **ABSTRACT**

44 After the earthquake occurred on April 16, 2016 in the coastal areas of Ecuador with a magnitude of 7.8  
45 degrees on the Richter scale, there were several damages in buildings, road infrastructure, housing,  
46 among others. , produced by faults in the ground as cracking, settlement and mass landslides; that is why  
47 an investigation has been carried out on the evaluation of the behavior of the soil in the Canton Portoviejo,  
48 Province of Manabí, Sector Ciudadela University in the Wilfrido Loor Moreira Street and Italy of the Parish  
49 12 of March.

50 We proceeded to the elaboration of field trials with indirect exploration that consisted of Perforations with  
51 SPT and CPT; direct exploration with vertical electric sounding methods, refraction seismic complements  
52 with soil laboratory tests.

53 Proving that these soils have an expansion degree of low to medium characteristics according to the  
54 results of the Soil Mechanics Laboratory, in addition, the behavior and physical - mechanical  
55 characteristics were evaluated, identifying properties of Clays and Limes.

56 With the results obtained from the field, the seismic wave velocity  $V_p$ ,  $V_s$ , distribution of shock numbers  
57 was obtained by means of the SPT – CPT test, verifying the compactness of the soil, the soil resistance  
58 parameters such as cohesion and soil cohesion were correlated with the seismic. friction, all these  
59 parameters allow the recognition of the lithological units in the context of the geological hazard and  
60 identify the most suitable resistant stratum for the deep foundation capable of supporting the loads of the  
61 building.

62  
63 **Keywords:** Seismic wave velocity, Shockwaves, Vertical Electrical Probes, Refraction Seismic Standard  
64 Penetration Test, Cone Penetration Test.

### 65 **1.- INTRODUCCIÓN**

66 A pesar de los desarrollos que existen en la prueba de penetración de cono (CPT), el ensayo de  
67 penetración estándar (SPT) todavía se utiliza ampliamente en las investigaciones de campo. Por lo tanto,  
68 existe una necesidad constante de actualizar las correlaciones entre CPT-SPT para aprovechar la  
69 creciente experiencia con el CPT (Ahmed, Agaiby,& Abdel-Rahman, 2014). Aunque ha habido avances  
70 recientes en el CPT y otros métodos de prueba in situ contemporáneos, el SPT continúa siendo una  
71 herramienta de investigación de sitios de elección en muchas partes del mundo, debido a su bajo costo y  
72 amplia base de datos de experiencias pasadas (Ahmed, Agaiby,& Abdel-Rahman, 2014).

73 Como base, para el estudio, se ha tomado todos los resultados Geológico - Geotécnico, en donde se  
74 utilizó información verificada y validada en el campo para entender la morfogénesis del sitio del proyecto.  
75 Sabiendo que de acuerdo al mapa de zonas sísmica para efectos de diseños proveniente de peligros  
76 sísmico de las zonas del Ecuador, la ciudad de Portoviejo se encuentra ubicada en la zona IV. En este  
77 proceso interviene el relieve, el clima y los rasgos litológicos en donde prácticamente todo el proyecto  
78 mantiene una amenaza sísmica alta (NEC-11, 2015).

79 En el Ecuador se distinguen tres regiones geográficas: Costa, Sierra, y Oriente, y la cuarta región es el  
80 Archipiélago de las Islas Galápagos ubicada a una distancia de 1.000 Km del continente. Ecuador es un  
81 país mega diverso por la gran variedad de flora y fauna presentes en el territorio, además está ubicado  
82 en el Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que es susceptible a la ocurrencia de amenazas naturales  
83 como los sismos, tsunamis, actividad volcánica, inundaciones y movimientos en masa principalmente  
84 (Mayorga, 2007)

### 85 **2.- ALCANCE DEL ESTUDIO.**

86 Para el desarrollo de esta investigación nos hemos respaldado en la geología, morfología y estabilidad  
87 del sector con el fin de obtener información relativa de las características geomecánicas del subsuelo  
88 mediante los ensayos de campo, es decir, identificación de los estratos subyacentes, de eventuales  
89 variaciones litológicas, en base a los valores de las velocidades sísmicas, así como también se dio a  
90 conocer los espesores de dichas variaciones. Además también se elaboró estudios demostrando que los

91 suelos de Portoviejo tienen propiedades expansivas de diferentes características, de medio a alto grado  
92 de acuerdo con los resultados del Laboratorio de Mecánica de Suelos, donde se analizaron muestras  
93 para analizar el comportamiento según el tipo de suelo (Hernández E. H. O., Moncayo E. H. O., Sánchez  
94 L. K. M., & de Calderero, R. P., 2017) y posterior mente ensayos de SPT donde se menciona  
95 correlaciones realizadas entre el valor de N del Ensayo de Penetración Estándar, ampliamente utilizado  
96 en Colombia y en el mundo, y la velocidad de ondas de corte Vs obtenidos en ensayos down hole en la  
97 ciudad de Bogotá (Castillo, 2007). Además menciona (Kramer, 1996) que el ensayo de penetración  
98 estándar (SPT) es el ensayo de campo más antiguo y más usado en la ingeniería geotécnica y en todo el  
99 mundo. El valor de N, que resulta de hincar 12 pulgadas en el suelo un muestreador cilíndrico, con un  
100 martillo de 140 libras desde una altura de 18 pulgadas, depende del tipo de suelo, de la presión de  
101 confinamiento y de la densidad del suelo; pero también está influenciado por el equipo de ensayo y los  
102 procedimientos utilizados. Esto genera cambios significativos en la energía suministrada al martillo en  
103 cada golpe (Castillo, 2007).

104 Posteriormente se realizó el ensayo de CPT, que consiste en empujar en el suelo una punta cónica  
105 colocada al final de una serie de tubería, con una velocidad constante (2 cm/s), realizando mediciones  
106 continuas o intermitentes de la resistencia a la penetración del cono Qs y de la fricción Fs que se  
107 desarrolla en la superficie de una camisa colocada inmediatamente después de la punta cónica. El  
108 equipo de referencia consiste en un cono de 60°, con 10 cm<sup>2</sup> de área en la base y 150 cm<sup>2</sup> de área en la  
109 camisa de fricción, la cual se localiza detrás del cono. También se utilizan conos de 15 cm<sup>2</sup> ,  
110 especialmente cuando se colocan sensores adicionales (Gutiérrez, A. C., & Lizcano, A.).

### 111 **3.-ANÁLISIS FOTOGEOLÓGICO**

112 La Costa, está formada por 4 cuencas sedimentarias de ante arco, desarrolladas sobre un basamento  
113 oceánico y/o basamento sedimentario, y rellenas por espesas secuencias sedimentarias cenozoicas.  
114 Estas cuencas de ante arco de Norte a Sur son: Cuenca neógena de Borbón o Esmeraldas, de eje  
115 Noreste - Suroeste que continúa en Colombia con el nombre de Tumaco; la Cuenca de Manabí de eje  
116 Noreste – Suroeste; la Cuenca Progreso de eje Noroeste – Sureste, y la Cuenca Sumergida Jambelí  
117 (Toro, 1994).

118 Las puntas de la costa de Manabí son determinadas por la presencia de fallas regionales, falla Puerto  
119 Libre para Punta Galera y falla Jama para el Cabo Pasado. La Península de Manta está marcada por  
120 la falla Portoviejo hacia el continente, y la falla Montecristi corre a lo largo del eje de la  
121 Península, saliendo al mar en el Cabo San Lorenzo. Más al sur el sistema de fallas de Posorja  
122 y de la Cuenca Progreso controlan la forma de la Puntilla de Santa Elena Las puntas de la costa de  
123 Manabí son determinadas por la presencia de fallas regionales, falla Puerto Libre para Punta Galera y  
124 falla Jama para el Cabo Pasado. La Península de Manta está marcada por la falla Portoviejo hacia  
125 el continente, y la falla Montecristi corre a lo largo del eje de la Península, saliendo al mar en  
126 el Cabo San Lorenzo. Más al sur el sistema de fallas de Posorja y de la Cuenca Progreso  
127 controlan la forma de la Puntilla de Santa Elena

### 128 **4.- DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA- GEOTÉCNICA DEL SUELO.**

129 Este terreno se encuentra en la intersección de las calles Wilfrido Loor Moreira e Italia de la ciudad de  
130 Portoviejo y se desarrolla sobre una planicie que forma parte de las terrazas antiguas del río Portoviejo;  
131 cuya pendiente transversal es suave.

#### 132 **4.1.- BASAMENTO Y FORMACIONES SUPERFICIALES**

- 133 - Geológicamente el basamento de este sector está conformado por aluviales antiguos del
- 134 río Portoviejo.
- 135 - Estratigráficamente consisten en una secuencia de capas de material de Limos Arcillosos
- 136 con presencia de material de Limos Arenoso, donde superficialmente presentan escombros
- 137 propios de la construcción por lo sucedido del terremoto del 16 de Abril del 2016 ocurrido en
- 138 Ecuador de 7.8 en la escala de Richter.

139 **5.- TRABAJOS REALIZADOS.-** El estudio comprendió en las fases de campo cumpliendo actividades  
 140 como: Ensayos de Sísmica de Refracción, recopilando información geológica y la localización de las  
 141 líneas sísmicas (LS), donde se ilustra en la tabla 1 con su cota y coordenadas.

142 **Tabla 1. Coordenadas UTM - Línea sísmicas de Portoviejo**

<b>COORDENADAS FINALES</b>			
<b>Ubicación</b>	<b>Latitud - N</b>	<b>Longitud - E</b>	<b>Cotas (msnm)</b>
Línea Sísmica 1-Vp	9'884.678	559.847	35
Línea Sísmica 2-Vs	9'884.679	559.851	35
Línea Sísmica 3-Vp	9'884.708	559.831	35

143 **6.- ZONIFICACIÓN GEOLÓGICA:**

144 La zonificación geológica o delimitación de las diferentes unidades litológicas a lo largo de esta  
 145 investigación, obtenida del levantamiento geológico, se sintetiza en la tabla 2.

146 **Tabla 2. Zonificación geológica**

<b>.UBICACIÓN</b>	<b>UNIDAD GEOLÓGICA</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>
Portoviejo	Terrazas Aluviales	Presencia de limos y limos arcillosos - arenosos algo plásticos probablemente intercalados con clastos de lutitas y sedimentos marinos representados por detritos rocosos resultantes de la erosión que son depositados cuando disminuye la energía del fluido que lo transporta

147 **7.- LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO:**

148 En el área de influencia del terreno podemos definir la siguiente unidad litológica.

149 - Los materiales observables cercanos a la ciudad de Portoviejo se ha podido ver una secuencia  
 150 de limos húmedos con presencia de material arenoso, y fragmentos de roca tipo lutita poco  
 151 compactas, estratificadas horizontalmente, con espesores de hasta 2.50 m, de tipo de suelos  
 152 CH, CL, ML, SM. de acuerdo a la clasificación (Casagrande, 1948).

153 - La capacidad portante es baja a media para los limos arcillosos que están inter-estratificadas con  
 154 los clastos de roca.

155 **8.- MATERIALES Y METODOLOGÍA DE LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN**

156 **8.-1.- INVESTIGACIÓN DE CAMPO**

157

158

159

**Figura 1. Tipo de Sismógrafo utilizado PASI GEA 24**

160



161

162 La sísmica de refracción se basó en la medida del tiempo requerido para que una onda de choque, pasa  
 163 de un punto a otro a través del subsuelo. Las ondas de choque son generadas por la explosión de  
 164 dinamita; localizadas en los extremos y en algunos casos en el intermedio de la base sísmica. La  
 165 velocidad de estas ondas está en proporción directa a la densidad, así como también a su estructura,  
 166 ligazón y humedad del suelo. Los cambios de velocidades de un medio a otro determinan los contactos  
 167 sísmicos, que pueden o no estar relacionados a los contactos geológicos. Los tiempos de las ondas que  
 168 tardan en llegar a los geófonos receptores desde cada sitio de explosión que se encuentra a  
 169 determinada distancia nos da una curva de distancia en función del tiempo (DROMOCRONA).

170 Las bases de los perfiles sísmicos fueron de 60m, en donde los puntos de golpeo están a 5m del primero  
 171 y del décimo segundo geófono. Además también se puede realizar ensayos geofísicos con equipos tipo  
 172 Down-Hole, para determinar la velocidad a la que se pueden transmitir las ondas sísmicas en el subsuelo  
 173 (Ulloa, A, 2002).

174 **9.-PARÁMETROS GEOMECÁNICOS OBTENIDOS.-**

175 Para realizar una estimación de las propiedades físico-mecánicas de los materiales, especialmente en lo  
 176 que se refiere a los parámetros de resistencia: Cohesión (c), ángulo de fricción interna (φ), de los  
 177 diferentes horizontes sísmicos interpretados, hemos utilizado las siguientes expresiones que toman como  
 178 base las velocidades de las ondas transversales y longitudinales según I. G. Mindel:

179 En los suelos saprolíticos de los Urales la cohesión C se la puede determinar con la siguiente ecuación  
 180 (1):

181 • Cohesión (c).-

182 
$$c = \frac{0,554}{\sqrt{\frac{V_p}{V_s} - 1,41}} - 0,073 \quad (\text{Kg/cm}^2) \quad \text{Ecuación (1)}$$

183 En los suelos saprolíticos el ángulo de Fricción se la puede determinar con la siguiente ecuación (2):

184

185 • Ángulo de fricción interna (φ).-

186

187

$$\phi = \frac{9,17}{\sqrt{\frac{Vp}{Vs} - 1,41}} + 16 \quad (\text{Grados}) \quad \text{Ecuación (2)}$$

188  
189  
190  
191

Es así, que hemos calculado para los diferentes horizontes sísmicos los respectivos valores de: (c) - (φ), que servirán como parámetro geotécnico. De esta manera se tomaron valores promedios de los parámetros para cada línea sísmica, que fueron utilizados en el diseño de la cimentación.

192

**Tabla 3. Parámetros de resistencias al Corte**

UBICACIÓN	COHESIÓN (Kg/cm2)	ANGULO INTERNA (°)	FRICCIÓN
Línea Uno	0.45	24.81	
Línea Dos	0.86	31.54	

193

194  
195  
196  
197  
198

Este sector presenta una litología heterogénea conformado por estratos de suelos limo – arcillosos arenosos, intercalados probablemente con fragmentos de lutitas y restos de gravas; estos materiales superficialmente están siendo atacados especialmente por la erosión eólica e hídrica. El sector se caracteriza por ser una zona morfológicamente suave y que debido a la existencia de las aguas superficiales y sub superficiales pueden dar lugar a la presencia de asentamientos diferenciales.

199

**10.- INVESTIGACIÓN DE CAMPO DE SÍSMICA DE REFRACCIÓN.-**

200  
201  
202  
203  
204  
205

Las técnicas de prospección geofísica mediante tomografía de refracción sísmica han permitido identificar los distintos niveles del terreno en función de la relación entre la velocidad de propagación de las ondas y las características geotécnicas de cada uno de ellos. El análisis conjunto de todos estos resultados junto con las columnas litológicas obtenidas en el estudio geotécnico mediante sondeos, ha permitido realizar una interpretación geofísica de los datos obtenidos procediendo a la atribución litológica y estimación de parámetros de los diferentes estratos identificados (Pérez C., Mateo M., & Maciá A., 2013).

206  
207  
208  
209

Se realizaron 3 Líneas Sísmicas (LS) de 60m cada una que corresponden a dos velocidades de onda de Vp y una Vs para un total de la investigación de 180m. Estas líneas fueron ubicadas paralelas y transversalmente al terreno objeto de investigación. La profundidad investigada fue aproximadamente a 20m.

210  
211  
212  
213  
214

En el procesamiento se procedió a la determinación de los primeros arribos obtenidos a partir de los registros sísmicos; éstos se representaron en función de las distancias mutuas entre geófonos, en la forma habitual de Dromocronas Figuras 2, 3, 4. Una vez efectuado el trazado de las dromocronas se determinaron los tiempos interceptados, las distancias críticas y las velocidades aparentes de propagación, calculándose las profundidades.

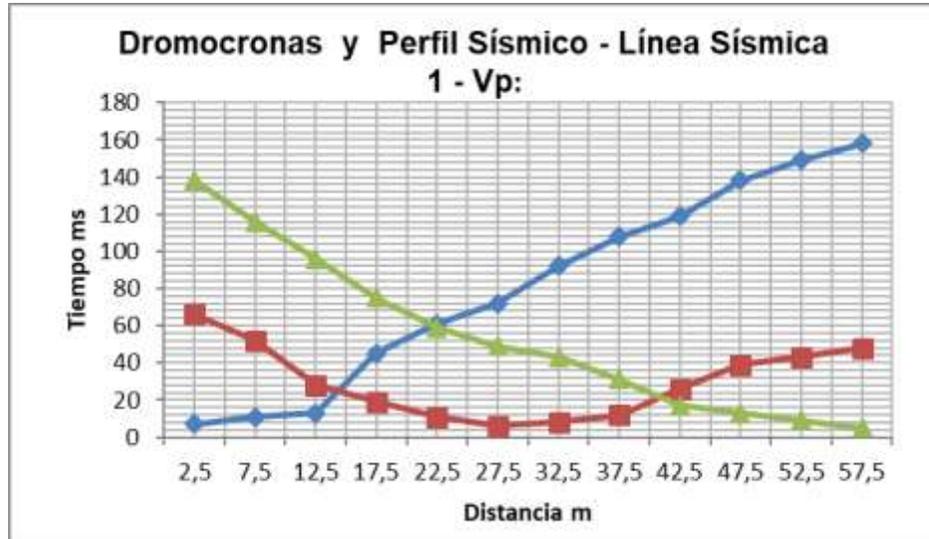
215  
216  
217  
218  
219  
220  
221

Con este último se calculó la velocidad y profundidad de los refractores bajo cada geófono Figura 5, 6, 7 Velocidades y profundidades calculadas, extendiéndose las determinaciones de profundidades y velocidades bajo cada punto de disparo. Por último, los modelos finales se representaron en forma de perfiles sísmicos, en forma separada y de acuerdo a la progresiva de la traza, con información de las variaciones laterales y en profundidad de la velocidad de onda compresional (m/s) (Imhof, 2010). Esta información de tiempos - distancias es entonces manipulada para convertirla en un formato de variaciones de velocidad con la profundidad llamado “dromocrona” (Redpath, 1973).

222  
223  
224

225

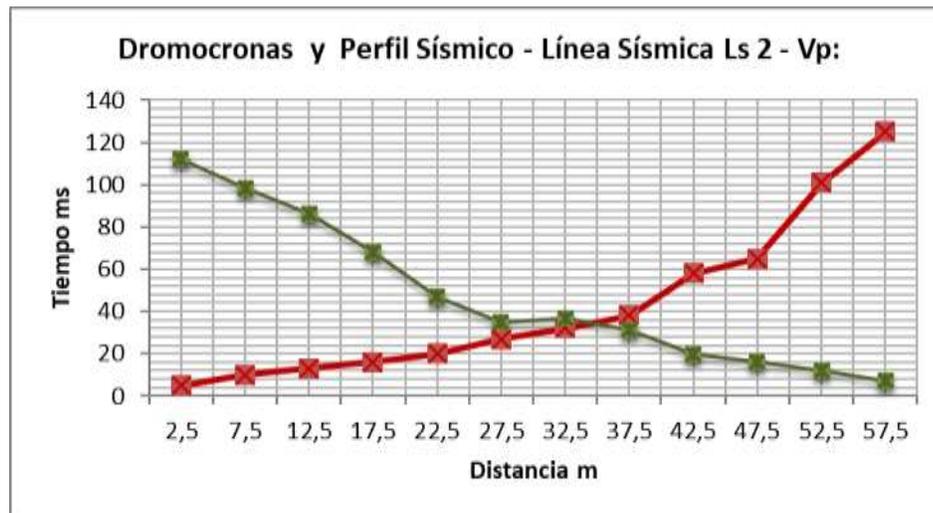
Figura 2. Dromocronas y Perfil Sísmico - Línea Sísmica 1 - Vp:



226

227

Figura 3. Dromocronas y Perfil Sísmico - Línea Sísmica 2 - Vp:



228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

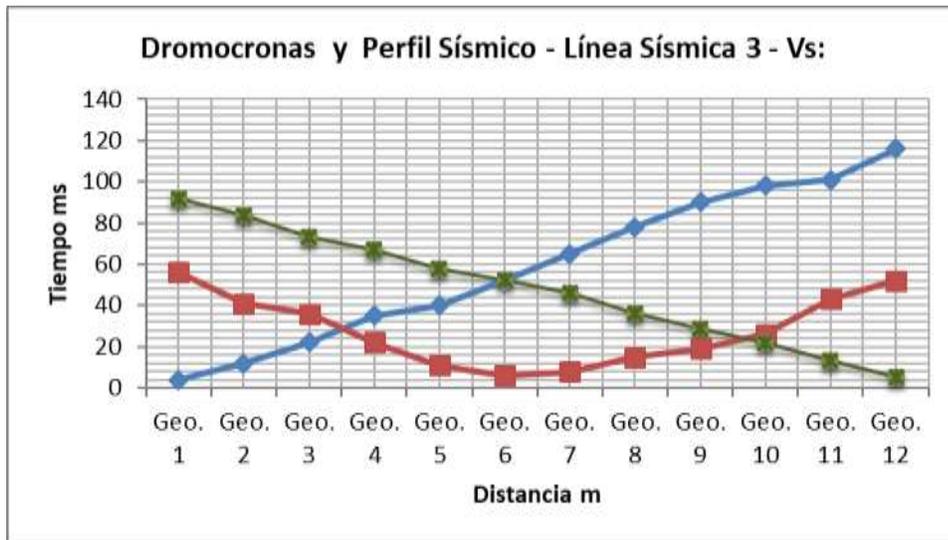
240

241

242

243

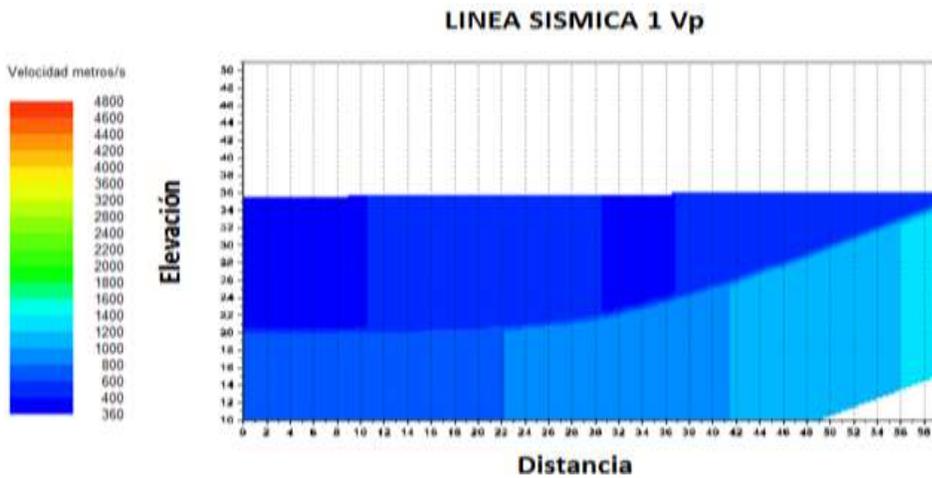
Figura 4. Dromocronas y Perfil Sísmico - Línea Sísmica Ls 3 - Vs:



244

245

Figura 5. Velocidades y profundidades calculadas

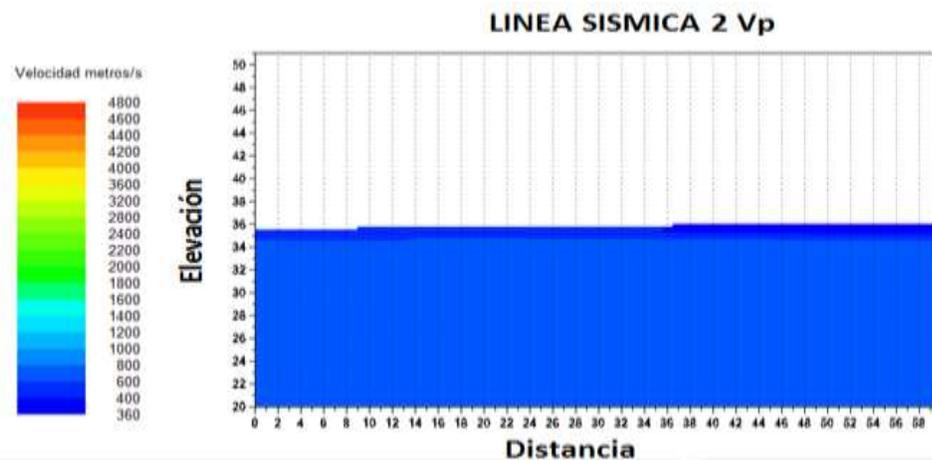


246

247

248

Figura 6. Velocidades y profundidades calculadas



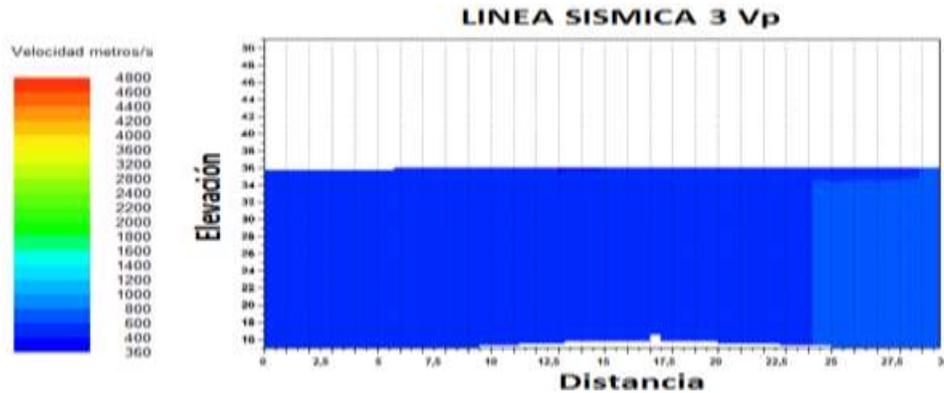
249

250

251

252

Figura 7. Velocidades y profundidades calculadas



253

254 En el área de estudio del suelo de Portoviejo se ha determinado los siguientes horizontes sísmicos de  
 255 acuerdo con la NEHRP, sus condiciones locales de la respuesta sísmica de sitio se pueden clasificar  
 256 en seis diferentes grupos según la Tabla 4 donde al suelo se lo dividió en 3 capas: En este trabajo su  
 257 correlación han sido utilizados como un indicador de la respuesta sísmica de sitio, tomando como partida  
 258 los estudios de (Park & S Elrick S., 1998) y (Wills et al, C.J., Petersen, M., Bryant, W.A., Reichle, M.,  
 259 Saucedo, G.J., Tan, S., Taylor, G., & Treiman, J., 2000).

260

261

Tabla 4. Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP\*

262

\*NEHRP: National Earthquake Hazard reduction Program

Tipo de Suelo	Clasificación Roca / Suelo	Vs <sub>30</sub> (m/s)
A	Roca dura	>1500
B	Roca	760-1500
C	Suelo muy denso o roca Suave	360-760
D	Suelo duro	180-360
E	Suelo suave	< 180
F	Suelos especiales que requieren Evaluación específica de sitio	

263

264 De la investigación sísmica se determinó tres tipos de estratos

265 **LÍNEA SÍSMICA 1:**

266 La primera unidad estratigráfica, en los primeros 2.60 hasta 15.60 metros de profundidad, está  
 267 caracterizada por velocidades Vp desde 360 hasta 400 m/s y velocidades Vs desde 316 hasta 400 m/s y  
 268 corresponde a una Cobertura superficial de suelos limo arcillosos y limo arenosos sueltos con presencia  
 269 de humedad, consideradas según Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP como Suelo muy denso  
 270 o roca Suave.

271 **LÍNEA SÍSMICA 2:**

272 Se realizó paralelo al sitio en donde se realizó la Línea sísmica LS1; La segunda unidad estratigráfica,  
 273 comprendida desde los 3.80 – 5.60 hasta los 24-25.80 metros de profundidad, está caracterizada por  
 274 velocidades de Vp de 800-1200 m/s y velocidades Vs de 316 - 400 m/s, y corresponde a la capa de Sub  
 275 estrato limo arcillosos y arenoso probablemente intercalado con fragmentos de roca, algo compacto,  
 276 consideradas según Clasificación de suelos de acuerdo a la NEHRP como Roca.

277 **LÍNEA SÍSMICA 3:**

278 Se investigó en la parte Sur del área la tercera unidad estratigráfica, comprendida desde los 10-12 hasta  
279 los 20- 25 metros de profundidad, está caracterizada por velocidades  $V_p$  de 600-800 m/s y velocidades  $V_s$   
280 de 382 - 400 m/s, y corresponde a la capa de Sub estrato de limo, arcilla arenosa probablemente  
281 intercalado con fragmentos de roca, algo compactos, consideradas según Clasificación de suelos de  
282 acuerdo a la NEHRP como Roca.

283

**Figura 8. Terreno de Portoviejo Ejecución del ensayo de sísmica**



284

285

286 A partir de los tres perfiles litológicos obtenidos (P1, P2, P3), se ha procedido a representar gráficamente  
287 las diferentes profundidades estimadas y reales de la capa de gravas, arenas, limos arcillosos y roca de  
288 la unidad estratigráfica.

## 289 **11.- SUSCEPTIBILIDAD GEOTÉCNICA**

290 Por una parte, se muestran las profundidades estimadas en los perfiles simplificados propuestos por el  
291 estudio geotécnico, a partir de los datos obtenidos en los tres sondeos realizados de forma mecánica  
292 con pruebas de SPT obteniendo además muestras inalteradas y alteradas, identificadas en el lugar de  
293 estudio como: **Perforación P-1** de Coordenadas 559803 - 9884698, **Perforación P-2** de Coordenadas  
294 559834 - 9889670, **Perforación P-3** de Coordenadas 559805 - 9884687. El análisis comparativo de  
295 los resultados obtenidos permite constatar los niveles de precisión y limitaciones de los diferentes  
296 métodos de prospección empleados en este estudio.

297 Como se aprecia los resultados obtenidos con las diferentes técnicas, los sondeos mecánicos han  
298 permitido obtener datos precisos y veraces sobre las características geotécnicas de los estratos y sus  
299 profundidades, pero sólo en los puntos de realización de los tres sondeos.

300

301 Como se ha podido comprobar en el caso de estudio, los tres sondeos realizados, distribuidos  
302 estratégicamente de manera equidistante y a la distribución de la edificación, no han permitido detectar  
303 las graves alteraciones del terreno, resultando como una estimación de los perfiles litológicos deducidos  
304 a partir de los sondeos realizados en el estudio geotécnico y geológicos es por ello que en la figura 9.  
305 Se evalúa el número de golpes obtenidos mediante el SPT.

306

307

308

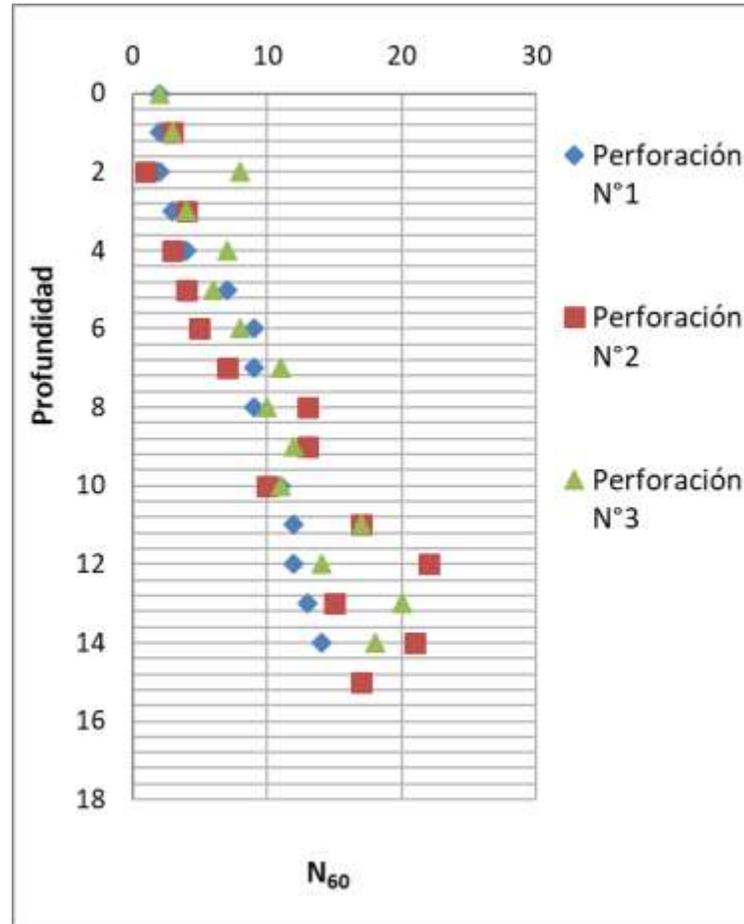
309

310

311

312  
313  
314

Figura 9. Esquema estratigráfico del número de golpes del SPT



315  
316

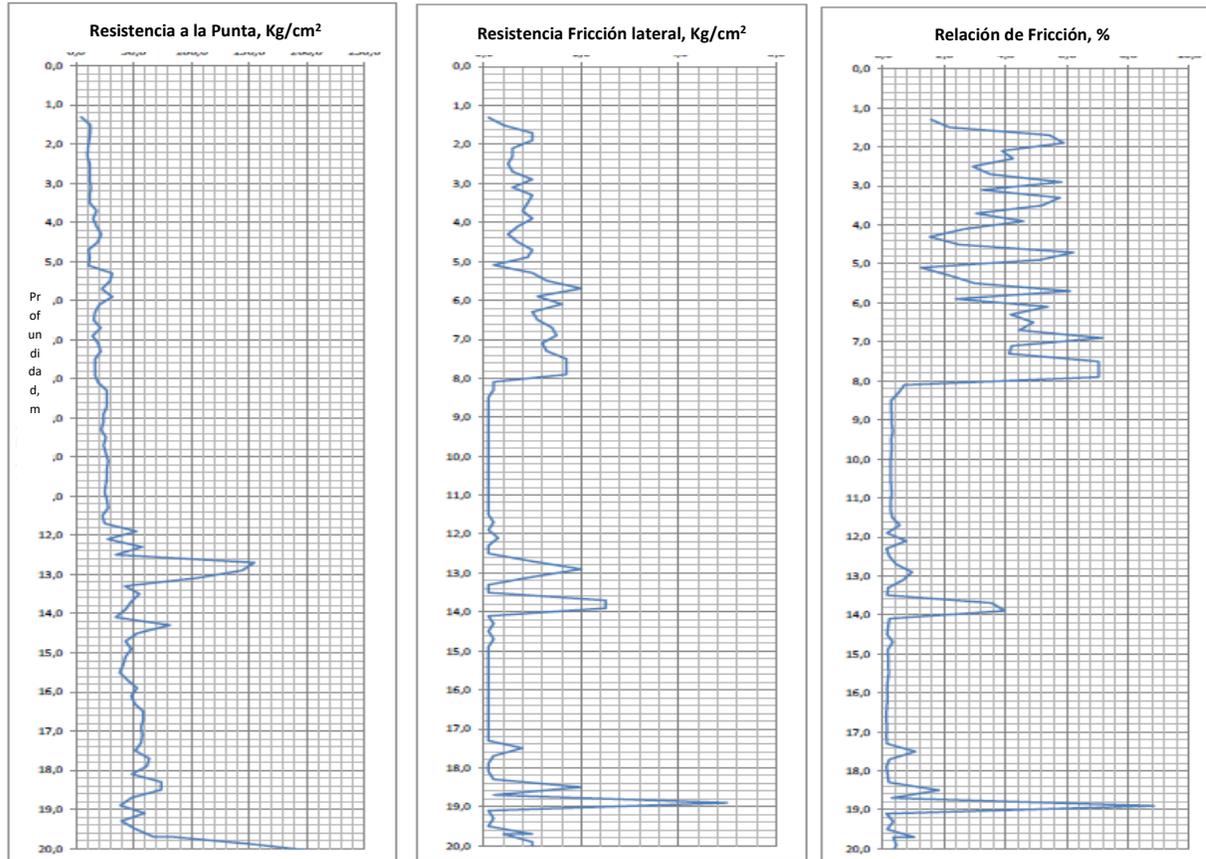
317 Además se puede determinar las velocidad de onda del suelo partiendo del ensayo de SPT donde  
318 menciona satisfactorio la utilización de la ecuación utilizada por (Ohta, Y. & Goto, N, 1978). Donde  
319 recomendó utilizar la ecuación  $V_s = 99.783N^{0.383}$  ya que tiene un coeficiente de correlación aceptable y  
320 comparable con las ecuaciones equivalentes del mencionado autor. En el caso de  $V_s = 91.44h^{0.291} N^{0.298}$   
321 la ecuación tiene un coeficiente de correlación bajo donde sugiere que es mejor utilizar las ecuaciones de  
322 (Ohta, Y. & Goto, N, 1978) en caso de no contar con datos de campo.

323 Por otro lado el ensayo de CPT tiene tres aplicaciones principales dentro de las exploraciones de  
324 subsuelo: determinar la estratigrafía e identificar los materiales presentes, estimar parámetros  
325 geotécnicos y proveer resultados para el diseño geotécnico. El ensayo de CPT se ha utilizado para  
326 determinar de manera muy precisa la estratigrafía y parámetros geotécnicos asociados a los estratos de  
327 un sitio (Gutiérrez, A. C., & Lizcano, A.)

328  
329  
330  
331  
332  
333  
334  
335  
336  
337

338  
339  
340

Figura 10. Esquema estratigráfico del ensayo del CPT



341

342 La clasificación de suelos es una de las grandes utilidades del ensayo de CPT, para esto se pueden  
343 utilizar gráficos de clasificación como se ilustra la figura 11, o correlaciones estadísticas y ecuaciones  
344 derivadas de diferentes teorías de comportamiento de suelos (Gutiérrez, A. C., & Lizcano, A.).

345 En la figura 10 muestra un ejemplo de perfil de CPT en un sitio con aproximadamente de 5 m de arcilla  
346 muy blanda, con capas de limos arenoso - limos arcillosos entre 6 - 8 m y con estratos de arenas a una  
347 profundidad de aproximadamente entre los 8 a 12 m, arena – Arena limosa 14.5 – 17.3 m, y una capa  
348 de Arena gravosa en los 20 metros de profundidad. El perfil piezométrico es aproximadamente  
349 hidrostático con agua subterránea a una profundidad de aproximadamente 1.5 m.

350 La Figura 10 presenta los parámetros medidos de CPT en términos de resistencia de cono (qt), relación  
351 de fricción (Rf), así como los perfiles de índice SBT basadas en el gráfico que se muestra en la tabla 5.  
352 Las zonas SBT están codificadas por colores para ayudar en la representación visual.

353 Si se requiere clasificar el suelo utilizando únicamente el CPT, con el gráfico de la figura 11 dentro del  
354 gráfico se encuentra incluida una zona que representa el comportamiento de un suelo normalmente  
355 consolidado. (Gutiérrez, A. C., & Lizcano, A.).....

356

357

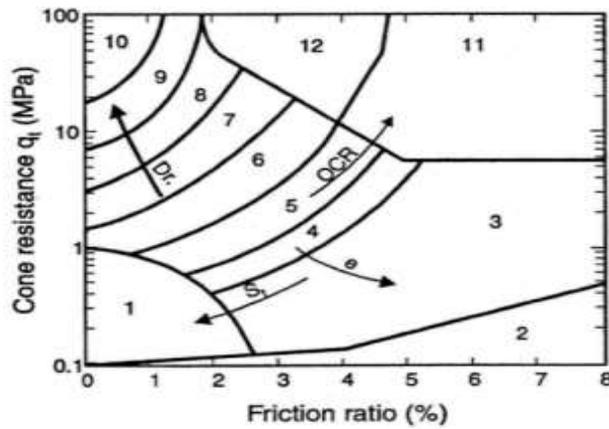
358

359

360

361

Figura 11 Grafico de clasificación de suelos según (Robertson. P.K., 1986)



362

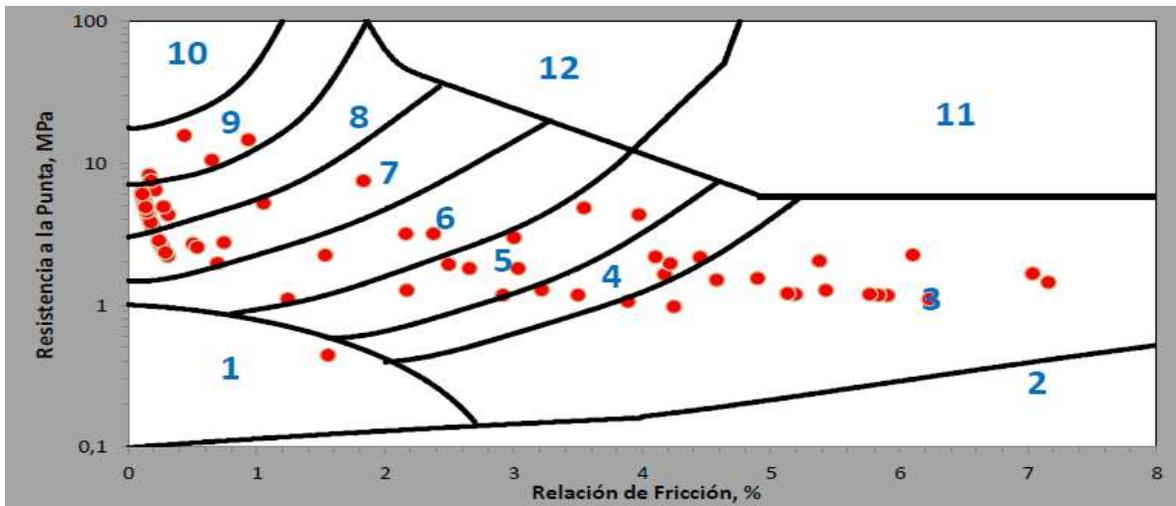
363 **Tabla 5 de SBT de (Robertson. P.K., 1986) basado en la resistencia del cono CPT, resistencia a la**  
364 **punta q<sub>c</sub>, y la relación de fricción R<sub>f</sub>**

365

Zone	Soil Behavior Type
1	Sensitive fine grained
2	Organic material
3	Clay
4	Silty Clay to clay
5	Clayey silt to silty clay
6	Sandy silt to clayey silt
7	Silty sand to sandy silt
8	Sand to silty sand
9	Sand
10	Gravelly sand to sand
11	Very stiff fine grained*
12	Sand to clayey sand*

366

367 **Figura 12 Grafico de clasificación de suelo de Portoviejo según Robertson et al, 1986**



368

## 370 12.- PARÁMETROS GEOTÉCNICOS OBTENIDOS.-

371 La evaluación de los parámetros geotécnicos de las 3 perforaciones nos ha permitido extraer muestras  
 372 donde se han realizado ensayos de laboratorio de Mecánicas de suelos, permitiéndonos describir e  
 373 identificar sus características físicas mecánicas según la Tabla 6 y su compacidad de los estratos  
 374 existente que ha sido realizada en este estudio.  
 375

Parámetros Litológicos del Suelo	Fc	Sr	$\gamma_d$	IP	LL	N1 <sub>SPT60</sub>
	(%)	(%)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(%)	
	Min-Max Promedio	Min-Max Promedio	Min-Max Promedio	Min-Max Promedio	Min-Max Promedio	Min-Max Promedio
Perforación 1	4,11-99,06 88,77	76,4-98,9 87,65	1,318-1,449 1,3835	10,59-43 28	35,89-81,89 59,41	2-20. 10
Perforación 2	80,68-99,45 94,52	85,56-99,56 92,56	1,219-1,423 1,321	9,62-62,64 34,51	36,42-94,87 67,48	1-22. 10
Perforación 3	9,58-97,59 53,59	86,97-98,56 92,77	1,345-1,547 1,446	15,21-64,83 27,71	35,45-65,08 56,43	2-14. 8

376 **Tabla 6. Propiedades físicas mecánicas del suelo de Portoviejo**

377  
378  
379

Dónde: Fc Fracción de las partículas finas, Grado de saturación Sr, Densidad seca  $\gamma_d$ , Límite de líquido LL, Límite de plasticidad IP, N1<sub>SPT60</sub> Penetración estándar SPT.

## 380 13.- RESULTADOS

381 El primer nivel (Nivel I), que comprende desde la superficie hasta una profundidad aproximada  
 382 comprendida entre los 0,50 y los 5,00 m según la zona, se caracteriza por la presencia de materiales  
 383 altamente heterogéneos con sedimentos procedentes de la excavación de materiales naturales de la  
 384 zona (gravas, limos, arcillas, etc.) junto con otros de clara influencia antrópica (restos de ladrillo, hormigón  
 385 visto, etc.). La calidad de estos materiales resulta no óptima como terreno de soporte para edificación  
 386 debido a su heterogeneidad y su poca compacidad que se evidencian con valores de ensayo de  
 387 S.P.T. entre 2 - 4 golpes, y su alto contenido de humedad.

388 El segundo nivel detectado (Nivel II), consistente en materiales detríticos gruesos como limos arenosos y  
 389 gravas, donde presenta un moderado incremento de resistencia a la penetración, como se desprende de  
 390 los resultados de los ensayos de penetración estándar efectuados en los sondeos mecánicos (S.P.T.).  
 391 Este segundo nivel se sitúa desde los 5,00 hasta 10,20 metros de profundidad según la localización del  
 392 sondeo.

393  
394  
395  
396

El tercer nivel (Nivel III) localizado por debajo del nivel anterior desde los 10,20 hasta los 15 metros, consistente en limos arenosos y arcillas limosas, presenta igualmente una alta consistencia.

## 397 14.- CONCLUSIÓN.-

398 En consecuencia el análisis Geológico - Geotécnico apoyado por los resultados del mapeo geológico y  
 399 exploración geofísica por sísmica de refracción y sondeos eléctricos verticales permite determinar que  
 400 los depósitos de aluviones están dispuestos de manera aleatoria con cambios laterales y verticales, por  
 401 lo cual servirá para definir los factores del sitio de cimentación. Estructuralmente no se ha encontrado en  
 402 la zona del estudio presencia de fallas, asentamientos o discontinuidades geológicas.

403 Geológicamente corresponde a la Formación Villingota que está compuesta por lutitas tobáceas e inter -  
404 estratificada con areniscas. Localmente se observó materiales tipo limos arcillosos. Actualmente está  
405 cubierto por un relleno de fragmentos de materiales producto del derrocamiento del edificio antiguo  
406 afectados por el terremoto del 16 de Abril del 2016.

407 El sitio de estudio se encuentra dentro de la zona de alto peligro sísmico, con un espectro de respuesta  
408 no favorable por los suelos blandos. Durante las tres perforaciones geotécnicas realizadas se ha  
409 determinado la presencia de agua a partir de 1.50 metros.

410 En base a la presente investigación se ha determinado que es necesario realizar cimentaciones profunda  
411 para el caso de edificaciones medias, altas y especiales en la zona de estudio.

412

## 413 **15.- BIBLIOGRAFÍA**

414 Ahmed, Agaiby, & Abdel-Rahman. (2014). A unified CPT–SPT correlation for non-crushable and crushable  
415 cohesionless soils. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(1), 63-73.

416 Casagrande, A. (1948). Classification and identification of soils. *American Society of Civil Transactions*,  
417 Vol. 113, 901-991.

418 Castillo, A. J. (2007). Correlación entre el valor N del ensayo de penetración estándar y velocidad de  
419 ondas de corte para arcillas en Bogotá-Colombia. *Revista Épsilon*( N° 8), 13-23.

420 Gutiérrez, A. C., & Lizcano, A. (s.f.). Metodología con redes neuronales para la clasificación de suelos por  
421 medio de sondeos con CPT. *Universidad de los Andes*, 7.

422 Hernández E. H. O., Moncayo E. H. O., Sánchez L. K. M., & de Calderero, R. P. (2017). Behavior of  
423 clayey soil existing in the portoviejo canton and its neutralization characteristics. *International*  
424 *research journal of engineering, IT & scientific research*, 3(6), 1-10.

425 Imhof, A. L. (2010). CARACTERIZACIÓN GEOSÍSMICA DE UN SECTOR DE TRAZA DE LA RUTA N°  
426 40. PROVINCIA DE SANTA CRUZ – ARGENTINA. *Asociación Argentina de Geofísicos y*  
427 *Geodestas*.

428 Kramer, S. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. . Prentice-Hall, Inc.

429 Mayorga, T. T. (2007). Evaluation of common data and usefulness of a national SDI to confront multi-risk  
430 in Ecuador. . *International Institute for Geo-information Science and Earth Observation - ITC*.  
431 *Enschede-Los Países Bajos, Universidad de Twente. Master of Science: 117*.

432 NEC-11. ( 2015). Norma Ecuatoriana de la Construcción. del . *Registro Oficial No. 413*.

433 Ohta, Y. & Goto, N. (1978). "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil  
434 indexes". *Earthq. Eng. Struc. Dyn* 6., 167 - 187.

435 Park & S Elrick S. (1998). Predictions of shear–wave velocities in southern California using surface  
436 geology:. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 677–685.

437 Pérez C., Mateo M., & Maciá A. (2013). Aplicación de tomografía de refracción sísmica y análisis de  
438 microtemores como técnicas de prospección geofísicas en estudios geotécnicos en edificación.  
439 *Informes de la Construcción*.

440 Redpath, B. B. (1973). SEISMIC REFRACTION EXPLORATION FOR ENGINEERING SITE  
441 INVESTIGATIONS. SPRINGFIELD, USA. *NATIONAL TECHNICAL INFORMATION SERVICE*.

- 442 Robertson. P.K., C. R. (1986). Soil classification using the cone penetration test. *En Use of in situ tests in*  
443 *geotechnical engineering*, 1263-1280.
- 444 Toro, J. (1994). Geodinámica de la cuenca sedimentaria Progreso, provincia del Guayas. *Tesis de grado*  
445 *por la obtención del título de Ingeniero geólogo. Quito: Univ. Escuela Politecnica National.*
- 446 Ulloa, A. (2002). Microzonificación Sísmica del Campus de la Pontificia Universidad Javeriana – Sede  
447 Bogota. *Prospección Geosísmica.*
- 448 Wills et al, C.J., Petersen, M., Bryant, W.A., Reichle, M., Saucedo, G.J., Tan, S., Taylor, G., & Treiman, J.  
449 (2000). A site–conditions map for California based on geology and shear–wave velocity. *Bulletin*  
450 *of the Seismological Society of America*, 90, 187–208.
- 451