

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra.**

**"PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE PERFILES  
GEOFÍSICOS Y COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS EN UNA ZONA NORTE  
DE LOS DEPÓSITOS DELTAICOS-ESTUARINOS EN GUAYAQUIL"**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL\*<sup>1</sup>**

**INGENIERO EN GEOLOGIA\*<sup>2</sup>**

Presentado por:

**JIMMY LEONARDO VARGAS CELI\*<sup>1</sup>**

**JAIME DANIEL ULLOA LAMÁN\*<sup>2</sup>**

Guayaquil - Ecuador

2015

## DEDICATORIA

A DIOS, por darme las fuerzas necesarias para hacer realidad mis metas.

A mi mamá, Norma, por ser ese faro que guía mi camino cada día.

***Jaime Ulloa Lamán***

## **DEDICATORIA**

A mis abuelitos por formar los excelentes padres que tengo y darme siempre consejos que han sido de mucha ayuda a lo largo de mi vida.

A mis padres por darme todo el amor y dedicación para que sea un hombre de provecho para la sociedad.

***Jimmy Vargas Celi***

## **AGRADECIMIENTO**

*No existe frase capaz de expresar la gratitud que siento a todas las personas que de forma directa o indirecta, están involucradas en mi formación, a mi director de tesis y a la empresa Geoestudios, por toda la ayuda brindada para la realización de este proyecto.*

**Jaime Ulloa Lamán**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios en primer lugar por darme las fuerzas para sobreponerme ante las circunstancias de la vida. A mis compañeros de trabajo y a todas las personas que ayudaron en la realización de esta tesis.*

***Jimmy Vargas Celi***

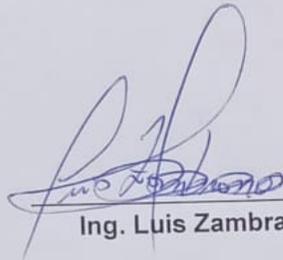
## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

PhD. Eddy Sanclemente

Director



---

Ing. Luis Zambrano

Vocal Principal



---

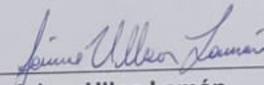
MSc. Daniel Garcés

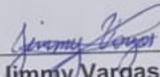
Presidente del Tribunal

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
Jaime Ulloa Lamán

  
Jimmy Vargas Celi

## RESUMEN

El diseño de las estructuras de las cimentaciones para edificios, puentes y presas requiere de varios análisis para el reconocimiento adecuado del subsuelo con el fin de determinar las condiciones geológicas en la que se depositó, conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo de tal manera que al ser sometido a esfuerzos transmitidos por la estructura de la cimentación se pueda determinar su comportamiento.

Para la localización del estrato adecuado que pueda soportar la estructura y la profundidad a la que se encuentra dicho estrato, son empleados métodos directos e indirectos de investigación.

El presente proyecto nos ofrece una guía de los pasos a seguir para realizar una investigación del subsuelo, siguiendo las normas establecidas por el ente regulador que nos indica los pasos a seguir, los métodos de exploración que debemos emplear, las normas internacionales que debemos respetar y todos los ítems necesarios para obtener una correcta investigación del subsuelo, con resultados adecuados y representativos de los materiales existentes en la zona a estudiar.

La utilización de ensayos de Geofísica como método indirecto de investigación, en Geotecnia es cada vez mayor, a medida que avanza la

tecnología aparecen nuevas técnicas de investigación que nos lleva cada vez un paso más adelante en la determinación de parámetros importantes al momento de diseñar los cimientos de una estructura, por lo que es necesaria la implementación de estos métodos, así como de conocer los pro y contras de cada uno y determinar cuáles serían los más adecuados para la zona que se pretende estudiar.

En este texto encontraremos como los métodos geofísicos debidamente bien analizados y comparados con métodos tradicionales como lo son las perforaciones, nos ofrecen una buena analogía de los materiales del subsuelo y nos guiara a una conclusión oportuna.

La analogía de estos métodos debe quedar plasmada en un solo perfil que sea la representación gráfica de la disposición en profundidad de las unidades y estructuras geológicas de la zona de estudio, este es el perfil Geológico-Geotécnico.

Para la realización de este proyecto se utilizaron datos de perforaciones existentes cercanas a la zona de estudio, estos datos corresponden a 7 perforaciones realizadas con el método de percusión, 4 sondeos con el ensayo de CPT-u y datos de geofísica. Toda esta información fue proporcionada por la empresa GEOESTUDIOS S.A.

# ÍNDICE GENERAL

	PAGINA
<b>RESUMEN.....</b>	<b>I</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>III</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>SIMBOLOGÍA .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. LOCALIZACIÓN .....	5
1.4. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	8
1.5. OBJETIVOS.....	9
1.5.1. Objetivos del proyecto .....	9
1.5.2. Objetivos de la investigación .....	9

## **CAPÍTULO II**

<b>MÉTODOS DE EXPLORACION.....</b>	<b>11</b>
2.1. MÉTODOS INDIRECTOS.....	12
2.1.1. Método sísmico .....	14
2.1.2. Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) .....	37
2.2. MÉTODOS DIRECTOS .....	44
2.2.1. Perforaciones .....	46
2.2.2. Calicatas .....	57
2.2.3. Ensayo de Penetración de Cono (CPT-u) .....	59

## **CAPÍTULO III**

<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>72</b>
3.1. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA PRELIMINAR.....	74
3.1.1. Reconocimiento de la zona de estudio .....	74
3.1.2. Caracterización geológica de la zona de estudio.....	76
3.1.3. Estudios geotécnicos de obras cercanas.....	80
3.1.4. Construcción de la columna estratigráfica preliminar.....	85
3.2. SELECCIÓN DE MÉTODOS DE EXPLORACIÓN .....	88
3.2.1. Métodos indirectos .....	88
3.2.2. Métodos directos .....	92

## **CAPÍTULO IV**

### **OBTENCIÓN DE DATOS USANDO MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS**

.....	<b>95</b>
4.1. DATOS GEOFÍSICOS (M. INDIRECTO).....	95
4.2. TOMA DE DATOS USANDO CPTU (M. DIRECTO).....	102
4.3. OBTENCIÓN DE DATOS Y MUESTRAS USANDO PERFORACIONES .....	103

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y MUESTRAS.....107**

5.1. INTERPRETACIÓN DE DATOS GEOFÍSICOS .....	107
5.2. ANÁLISIS DE MUESTRAS Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS MEDIANTE LA NORMA ASTM .....	123
5.2.1. Granulometría .....	126
5.2.2. Límites de Atterberg .....	128
5.2.3. Contenido de humedad .....	130
5.2.4. Método SUCS .....	131
5.3. INTERPRETACIÓN DE DATOS DEL ENSAYO CPTU.....	139

## **CAPÍTULO VI**

### **RESULTADOS.....143**

6.1. PERFILES GEOLÓGICO-GEOFÍSICO.....	143
6.2. COLUMNAS GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA.....	162
6.3. PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO FINAL.....	182

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

## **ABREVIATURAS**

AET	Asesorías y Estudios Técnicos C. Ltda.
AGI	Advance Geosciences, Inc.
ASTM	American Society of Testing Materials
CPT, CPT-u	Ensayo de Penetración de Cono
LSR	Línea Sísmica de Refracción
MASW	Análisis Multicanal de Ondas Superficiales
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
REMI	Refracción de Microtremores
RQD	Calidad Asignada de la Roca
SBT	Tipo de Comportamiento de Suelo
SCS	Seismodule Controller Software
SPT	Ensayo de Penetración Estándar
SUCS	Unified Soil Classification System

## SIMBOLOGÍA

A	Amperio
Bq	Relación de Presión de Poros
Cf	Velocidad de Fase
CR	Eficiencia del Martillo
Dr	Densidad Relativa
ER	Eficiencia de la Energía
F	Angulo de Fricción
Fa, Fd Y Fs	Coefficientes de Amplificación de la Onda Sísmica
Fn	Frecuencia Natural del Subsuelo
Fs	Resistencia por Fricción
H	Potencia de los Estratos
Hz	Hertzio
Ic	Índice del Comportamiento del Tipo de Suelo
IP	Índice de Plasticidad
kB	Kilo Bytes
kPa	Kilo Pascales
lb	Libras
LL, WI	Límite Líquido
LP, Wp	Límite Plástico
m	Metros
m/s	Metros por Segundo
mm	Milímetros
MPa	mega Pascales
NSPT, N60	Número de Golpes Ensayo SPT

PQ, HQ, NQ, BQ, AQ	Tuberías de Serie Q
PW, HW, NW, AW, BW	Tuberías de Serie W
Q	Índice de Barton
$Q_c$	Resistencia a la Penetración en Punta
$Q_t$	Resistencia Total del Cono
$R_f$	Relación de Fricción
$S_u$	Resistencia al Esfuerzo Cortante no Drenado
T200	Pasante Tamiz # 200
U	Presión de Poros; U1, U2 Y U3 depende de la ubicación del sensor.
$V_p$	Velocidad de la Onda P
$V_r$	Velocidad de Ondas Rayleigh
$V_s$	Velocidad de la Onda S
$V_{s30}$	Velocidad de la Onda S en los Primeros 30 Metros
W	Contenido de Humedad
Z	Valor de Impedancia
$\rho$	Resistividad
$\rho_a$	Resistividad Aparente
$\Phi$	Porosidad
$\Omega$	Ohmio
$\Omega/m$	Ohmio por Metro
$\gamma$	Densidad del Medio

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
<b>Figura 1.1</b> Mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil. ....	7
<b>Figura 1.2</b> Localización del proyecto. ....	8
<b>Figura 2.3</b> Representación de los tipos de ondas .....	15
<b>Figura 2.4</b> Tipos de ondas sísmicas.....	17
<b>Figura 2.5</b> Tiempos de arribo de la onda (PICK). ....	20
<b>Figura 2.6</b> DROMOCRONAS de una línea sísmica.....	21
<b>Figura 2.7</b> Representación final de un perfil sísmico, modelo 2D. ....	22
<b>Figura 2.8</b> Dispersión de las ondas Rayleigh .....	27
<b>Figura 2.9</b> Curva de dispersión previa.....	29
<b>Figura 2.10</b> Curva de dispersión luego de la inversión. ....	30
<b>Figura 2.11</b> Resultado del ensayo de REMI. ....	32
<b>Figura 2.12</b> Resultado del ensayo MASW.....	35
<b>Figura 2.13</b> Tabla de resistividad de rocas y minerales.....	39
<b>Figura 2.14</b> Sondeo a percusión, ejecutando SPT .....	49

<b>Figura 2.15</b> Tubos para toma de muestras inalteradas .....	<b>50</b>
<b>Figura 2.16</b> Muestreador barrenos-partido usado en SPT .....	<b>52</b>
<b>Figura 2.17</b> Martillo de Seguridad. (Safety Hammer) .....	<b>53</b>
<b>Figura 2.18</b> Muestra de suelo obtenida con penetrómetro estándar.....	<b>54</b>
<b>Figura 2.19</b> Ejecución de una calicata con toma de datos de Geogauge. ....	<b>58</b>
<b>Figura 2.20</b> Tipos de conos y sus parámetros.....	<b>60</b>
<b>Figura 2.21</b> Tablas de clasificación de suelos mediante ensayo CPT-u (Robertson et al, 1986) .....	<b>62</b>
<b>Figura 2.22</b> Tablas de clasificación de suelo mediante ensayo CPT-u normalizado (Robertson, 1990).....	<b>63</b>
<b>Figura 2.23</b> Ic respecto al ensayo de CPT-u normalizado .....	<b>65</b>
<b>Figura 3.24</b> Edificaciones cercanas a la zona de estudio. ....	<b>75</b>
<b>Figura 3.25</b> Mapa geomorfológico de Guayaquil .....	<b>77</b>
<b>Figura 3.26</b> Ampliación mapa Geotécnico de la ciudad de Guayaquil.....	<b>79</b>
<b>Figura 3.27</b> Ubicación de sondeos cercanos a nuestra zona de estudio. ....	<b>80</b>
<b>Figura 3.28</b> Ubicación de sondeos de una obra cercana (vista en planta) ...	<b>81</b>

<b>Figura 3.29</b> Parámetros Geotécnicos, resultado de perforaciones de una obra cercana.....	<b>82</b>
<b>Figura 3.30</b> Perfil Geotécnico, sección EE' .....	<b>83</b>
<b>Figura 3.31</b> Columna Estratigráfica Preliminar. ....	<b>87</b>
<b>Figura 4.32</b> Disposición de los geófonos, toma de datos ensayo REMI. ....	<b>96</b>
<b>Figura 4.33</b> Disposición de los geófonos, toma de datos ensayo MASW. ....	<b>98</b>
<b>Figura 5.34</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 1. ....	<b>111</b>
<b>Figura 5.35</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 2. ....	<b>111</b>
<b>Figura 5.36</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 3. ....	<b>112</b>
<b>Figura 5.37</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 4. ....	<b>112</b>
<b>Figura 5.38</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 5. ....	<b>113</b>
<b>Figura 5.39</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 6. ....	<b>113</b>
<b>Figura 5.40</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 7. ....	<b>114</b>
<b>Figura 5.41</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 8. ....	<b>114</b>
<b>Figura 5.42</b> Análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 9. ....	<b>115</b>
<b>Figura 5.43</b> Curva de dispersión para el ensayo REMI+MASW 1 .....	<b>116</b>
<b>Figura 5.44</b> Curva de dispersión para el ensayo REMI+MASW 2 .....	<b>117</b>

<b>Figura 5.45</b> Ingreso de datos ensayo SEV, paso 1. ....	<b>119</b>
<b>Figura 5.46</b> Análisis de resultados SEV 1, paso 3.....	<b>120</b>
<b>Figura 5.47</b> Análisis de resultados SEV 2, paso 3.....	<b>121</b>
<b>Figura 5.48</b> Juego de tamices .....	<b>127</b>
<b>Figura 5.49</b> Kit para ensayo de límite líquido y plástico. ....	<b>130</b>
<b>Figura 5.50</b> Carta de Plasticidad .....	<b>132</b>
<b>Figura 5.51</b> Diagrama de flujo, descripción de los materiales de grano fino por metodo SUCS.....	<b>133</b>
<b>Figura 5.52</b> Diagrama de flujo con descripción de los materiales de origen orgánico por metodo SUCS .....	<b>134</b>
<b>Figura 5.53</b> Diagrama de flujo, descripción de los materiales de grano grueso por metodo SUCS.....	<b>135</b>
<b>Figura 5.54</b> Caracterización Geotécnica del Subsuelo .....	<b>137</b>
<b>Figura 5.55</b> Caracterización Geotécnica del Subsuelo.....	<b>138</b>
<b>Figura 5.56</b> Caracterización del suelo mediante ensayo CPTu. ....	<b>142</b>
<b>Figura 6.57</b> Resultado del ensayo REMI 1, Vs30= 163,8 m/s. ....	<b>146</b>
<b>Figura 6.58</b> Resultado del ensayo REMI 2, Vs30= 182,4 m/s .....	<b>151</b>

<b>Figura 6.59</b> Perfil Sísmico .....	<b>155</b>
<b>Figura 6.60</b> Resultado del ensayo SEV 1.....	<b>157</b>
<b>Figura 6.61</b> Resultado del ensayo SEV 2.....	<b>159</b>
<b>Figura 6.62</b> Perfil Eléctrico. ....	<b>161</b>
<b>Figura 6.63</b> Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-1 .....	<b>164</b>
<b>Figura 6.64</b> Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-2 .....	<b>167</b>
<b>Figura 6.65</b> Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-4 .....	<b>170</b>
<b>Figura 6.66</b> Columna Geológica- Geotécnica de la perforación GEO-5 .....	<b>174</b>
<b>Figura 6.67</b> Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-6 .....	<b>177</b>
<b>Figura 6.68</b> Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-7 .....	<b>181</b>
<b>Figura 6.69</b> Vista en planta del perfil Geológico-Geotécnico final.....	<b>184</b>
<b>Figura 6.70</b> Ampliación de vista en planta del perfil Geológico-Geotécnico final.....	<b>185</b>
<b>Figura 6.71</b> Ampliación de la vista en planta del perfil Geológico-Geotécnico final.....	<b>186</b>
<b>Figura 6.72</b> Perfil Geológico-Geotécnico Final, sección 1-1'. ....	<b>193</b>

<b>Figura 6.73</b> Sección del Perfil Geológico-Geotécnico Final, desde 0+000 hasta 0+140.....	<b>194</b>
<b>Figura 6.74</b> Sección del Perfil Geológico-Geotécnico Final, desde 0+140 hasta 0+260.....	<b>195</b>
<b>Figura 6.75</b> Sección Perfil Geológico-Geotécnico Final, desde 0+260 hasta 0+400. ....	<b>196</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>TABLA I</b> Métodos Geofísicos, clasificación, aplicación y resultados .....	<b>13</b>
<b>TABLA II</b> Posibilidad de Ripabilidad. ....	<b>23</b>
<b>TABLA III</b> IBC, clasificación de suelos según Vs 30. ....	<b>33</b>
<b>TABLA IV</b> Tubos serie Q y W. ....	<b>55</b>
<b>TABLA V</b> Elementos del sistema de rotación. ....	<b>56</b>
<b>TABLA VI</b> Clasificaciones de Robertson (1986) y Robertson (1990).....	<b>64</b>
<b>TABLA VII</b> Cuadro de Categorías según Niveles de Construcción.....	<b>93</b>
<b>TABLA VIII</b> Cuadro de Categoría de Unidades de Construcción.....	<b>94</b>
<b>TABLA IX</b> Ubicación de Ensayos REMI y MASW .....	<b>99</b>
<b>TABLA X</b> Ubicación de Ensayos SEV .....	<b>100</b>
<b>TABLA XI</b> Valores del arreglo geométrico de los electrodos y resistividades aparentes en cada SEV. ....	<b>101</b>
<b>TABLA XII</b> Ubicación de Ensayos CPTu.....	<b>103</b>
<b>TABLA XIII</b> Ubicación de Perforaciones a percusión – rotación .....	<b>104</b>
<b>TABLA XIV</b> Resistencia de las arcillas a partir de datos SPT.....	<b>124</b>

<b>TABLA XV</b> Resistencia de SPT en arenas limpias de tamaño medio.....	<b>125</b>
<b>TABLA XVI</b> Clasificación de materiales por tamaño de partícula .....	<b>127</b>
<b>TABLA XVII</b> Resultado del ensayo sísmico, velocidad de la onda $V_p$ y $V_s$ , y la densidad de los suelos atravesados. REMI+MASW 1.....	<b>147</b>
<b>TABLA XVIII</b> Resultado del ensayo sísmico, velocidad de la onda $V_p$ y $V_s$ , y la densidad de los suelos atravesados. REMI+MASW 2.....	<b>152</b>

# CAPÍTULO I

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Introducción

El diseño de los cimientos para todo tipo de edificación requiere de estudios minuciosos para analizar la disposición de los materiales en el subsuelo y determinar las condiciones geológicas de depósito, categorizarlo de acuerdo al desempeño geotécnico evaluando sus propiedades físico-mecánicas con la finalidad de conocer el estrato que va a ofrecer resistencia a los esfuerzos transmitidos por la estructura a la cimentación y se pueda determinar su comportamiento.

Estos parámetros se determinan por medio de fórmulas propuestas por varios investigadores a partir de los resultados obtenidos en los laboratorios de suelos por ensayos realizados a muestras de perforaciones, pero en ciertas ocasiones, el Estudio de Mecánica de Suelos no provee información suficiente para definir la mayoría de los parámetros necesarios en el diseño de

los cimientos, por lo cual, es necesario auxiliarse de métodos alternativos, tal es el caso de la geofísica (López et al, 2008).

La exploración del subsuelo por métodos directos conlleva el uso de varios recursos: económicos, por sus altos costos y tiempo prudente para la realización de los ensayos de laboratorio, por lo que es necesaria la búsqueda de otros métodos de exploración que sean rentables, fáciles de realizar y en un tiempo menor y con capacidad suficiente para dar solución a problemas de caracterización geotécnica, este es el caso de la prospección geofísica.

Para el correcto análisis geotécnico del subsuelo se precisa incorporar de una manera integral conocimientos de geología, geofísica é ingeniería civil, con el fin de realizar una mejor aproximación de las propiedades mecánicas del suelo.

El presente estudio pretende demostrar que los métodos actuales de investigación geofísica, conociendo las capacidades de cada método y seleccionando los más adecuados para el propósito que se requiere, pueden constituir una herramienta fundamental en la determinación de parámetros geotécnicos y aportar en la investigación del subsuelo, detallando mejor las secciones geológicas.

## 1.2. Justificación

Obras de Ingeniería Civil de gran magnitud o de carácter especial como lo son: puentes, edificios, represas, etc. son obras ideadas en base al desarrollo socio-económico y urbanístico que atraviesa un País, son estructuras diseñadas para trascender en el tiempo, por lo tanto los estudio realizados para su desarrollo deben someterse a los procesos que impone el órgano regulador: Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), que establece lo siguiente: ***“Los estudios geotécnicos en cualquiera de las etapas del proyecto son obligatorios para todas las edificaciones que se erijan sobre territorio ecuatoriano...”***

Para la realización de estos diseños es fundamental recopilar información necesaria del subsuelo que sirva como herramienta al ingeniero estructural, esta información debe ser sintetizada en función de parámetros como: módulo de elasticidad, coeficiente de poisson, cohesión, ángulo de fricción interna, resistencia a la compresión, límites de atterberg, etc.

Los métodos tradicionales para la obtención de estos parámetros son las calicatas, los sondeos mecánicos ya sean a percusión -como el Ensayo de Penetración Estándar (S.P.T.) ó el Ensayo de Penetración de Cono (C.P.T.)- o rotativos.

Los suelos de la ciudad de Guayaquil comprenden una compleja mezcla de depósitos Deltaicos-Estuarinos debido a este fenómeno, son altamente variables lo que puede generar un aumento en el uso de estos ensayos (J.H. Schmertmann, 1978).

La falta de información al momento de ejecutar una obra de ingeniería civil puede desencadenar una serie de inconvenientes técnicos, estos daños se relacionan con la inestabilidad global del suelo lo cual redundan en asentamientos diferenciales y totales importantes debido a la compactación de suelos granulares sueltos; asentamientos y desplomos en estructuras desplantadas en suelos blandos; generación de presiones de poro que conducen a la licuación de suelos granulares; movimientos en presas de tierra y enrocamiento; deslizamientos de apoyos de puentes, etc.. (Vera Grunauer et al. 2005), que pueden llevar a la paralización y hasta no ejecución de la obra. Este tipo de proyectos de investigación está enfocado al progreso de una ciudad, aportando información valiosa para el desarrollo de proyectos futuros, además permite evaluar las condiciones de los proyectos ya ejecutados cercanos a la zona de estudio.

### 1.3. Localización

El presente proyecto está localizado en la costa ecuatoriana, en la ciudad de Guayaquil, que debido a los procesos de formación comprende una gama variable de depósitos de suelos que van desde depósitos Aluviales, Coluviales, Estuarinos y Aluvio-Lacustre. Como se puede apreciar en la **Figura 1.1**, el mapa geotécnico de Guayaquil elaborado en el proyecto: **“Micro zonificación Geotécnica de la ciudad de Guayaquil”** (Vera Grunauer et al., 2014), este proyecto de tesis se sitúa en un ambiente de depósitos Deltaicos-Estuarinos, la flecha de color rojo indica donde se encuentra localizado el proyecto. Este mapa se elaboró detallando las zonas geotécnicas según el origen de depositación y variación en las propiedades geotécnicas de las series estratigráficas que dominan el ambiente de la zona.

La zona de depósitos Deltaicos-Estuarinos se extiende desde el pie de los cerros de la cordillera Chongón-Colonche (Santa Ana, del Carmen) hacia el Sur. Comprende el conjunto de islas y esteros asociados con la ría o estuario Guayas. Los suelos Estuarinos consisten principalmente en arcilla limosa de coloración gris verdosa con láminas de arena limosa, y con menos frecuencia, bancos de arena con detritos de concha. La zona de depósitos Deltaico-Estuarino consta de 3 subdivisiones: D-1, D-2 y D-3, donde se han identificado diferencias significativas entre los sedimentos de los suelos, probablemente debido a que las partículas suspendidas fueron expuestas a

diferentes regímenes de agua incluyendo marina, salobre o de agua dulce (modificando así las propiedades geotécnicas de los suelos depositados) (Vera Grunauer et al., 2005). El área de estudio se encuentra localizada al norte de los depósitos Deltaico-Estuarino determinada como zona D-3.

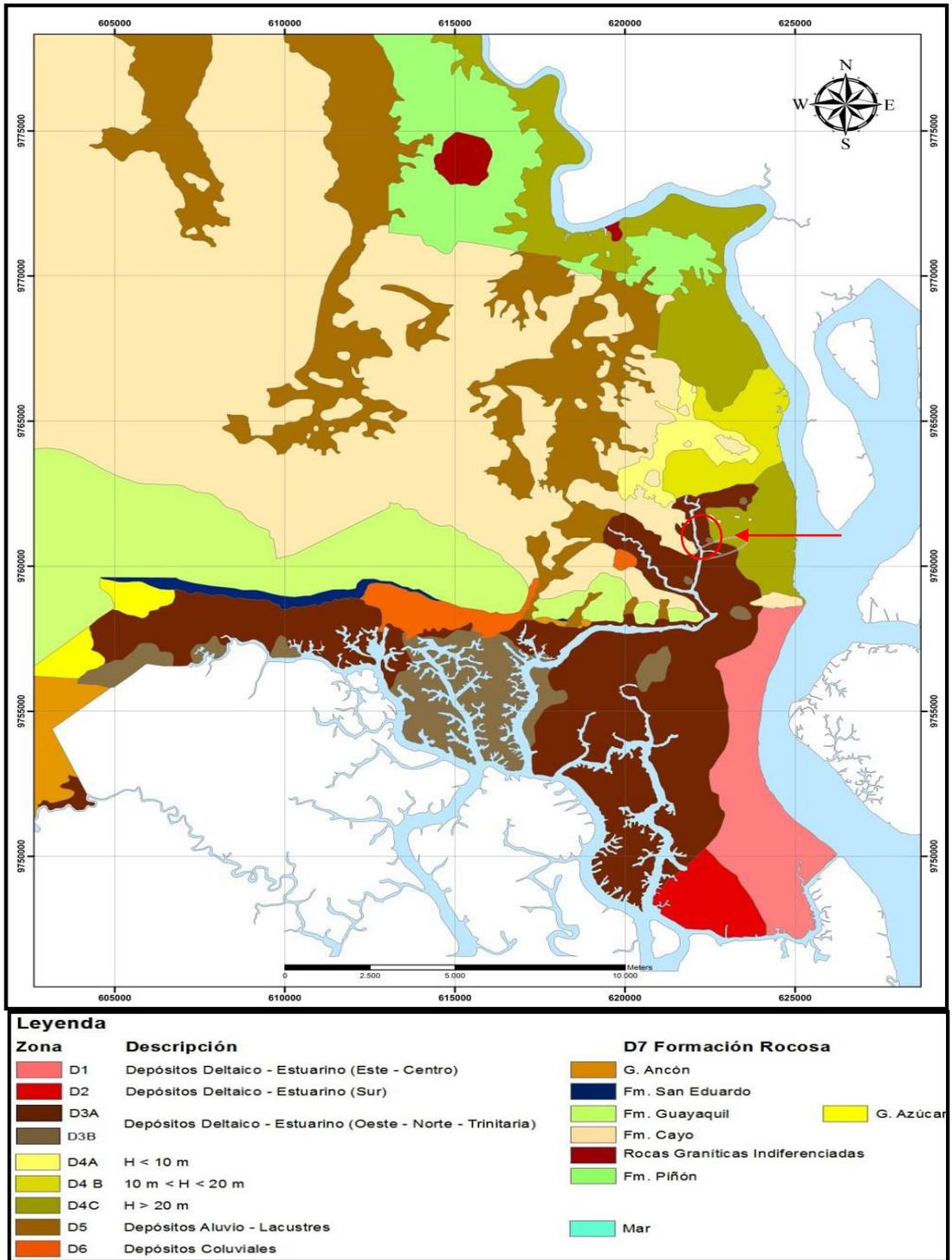
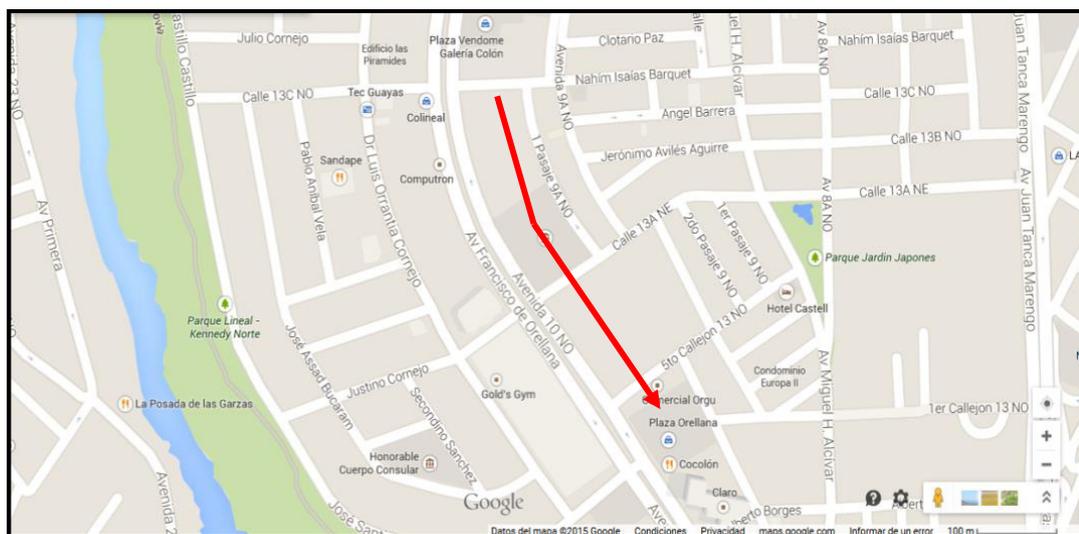


Figura 1.1 Mapa de Zonificación Geotécnica de Guayaquil

Fuente: Vera Grunauer et al., 2014.

#### 1.4. Ubicación de la zona de estudio

El área determinada para el siguiente proyecto se encuentra en la Provincia del Guayas, en el cantón Guayaquil, en la zona Norte de la ciudad de Guayaquil. Se encuentra ubicado en la Avenida Francisco de Orellana y limitado por las calles Nahin Isafas Barquet y Pompilio Ulloa Reyes, como se muestra en la **Figura 1.2**, la línea roja corresponde a la vista en planta de la ubicación del perfil final que tiene una dirección Noroeste-Sureste.



**Figura 1.2** Localización del proyecto.

Fuente: GOOGLE MAPS 2015.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivos del proyecto**

El objetivo principal de esta investigación es establecer un perfil Geológico-Geotécnico que sea referente de la zona de estudio, utilizando perfiles geofísicos y estratigráficos para la obtención de los parámetros geotécnicos necesarios para el desarrollo del mismo, demostrando que es posible utilizar métodos nuevos de investigación en la resolución de problemas tradicionales en el área de la construcción.

### **1.5.2. Objetivos de la investigación**

- Determinar los métodos de investigación más adecuados para esta zona de estudio basado en estudios cercanos dentro del mismo ambiente de depósito.
- Demostrar que los métodos indirectos de investigación (Geofísica) al combinarlos con los métodos directos (perforaciones), da como resultado una caracterización más acertada del subsuelo.

- Determinar parámetros, necesarios para el diseño de cimientos de futuras estructuras, que sirvan de referencia en la cercanía de la zona de estudio.
- Establecer un perfil Geológico-Geotécnico del sitio a partir de los parámetros determinados con los diferentes métodos de exploración.

# **CAPÍTULO II**

## **2. METODOS DE EXPLORACION**

La exploración del subsuelo es una parte fundamental, tal vez la más importante, en la construcción de obras de ingeniería civil. Nos permite obtener en detalle las características físicas y químicas de los estratos sobre los que se considera edificar.

Existe una variedad de métodos de exploración, por sus capacidades y metodología se pueden subdividir en dos clases: métodos indirectos, corresponden a ensayos geofísicos que pueden ser realizados desde la superficie, y métodos directos, corresponden a sondeos, calicatas y otros tipos de ensayos directos sobre el terreno.

## 2.1. Métodos indirectos

Los métodos indirectos de exploración, también llamados métodos geofísicos, corresponden a los análisis realizados en superficie cuyo resultado nos da una proyección del terreno en profundidad. La utilización de los diferentes métodos geofísicos en exploración se llama prospección geofísica o geofísica aplicada. Existen varios métodos de exploración geofísica donde se obtienen parámetros que reflejan las propiedades físicas del subsuelo tabla.

Como se puede observar en la **TABLA I**, Los métodos más comunes usados en Geotecnia son el método Sísmico de refracción y el método Eléctrico que son detallados más adelante.

**TABLA I.** Geofísica, clasificación, aplicación y resultados por cada método.

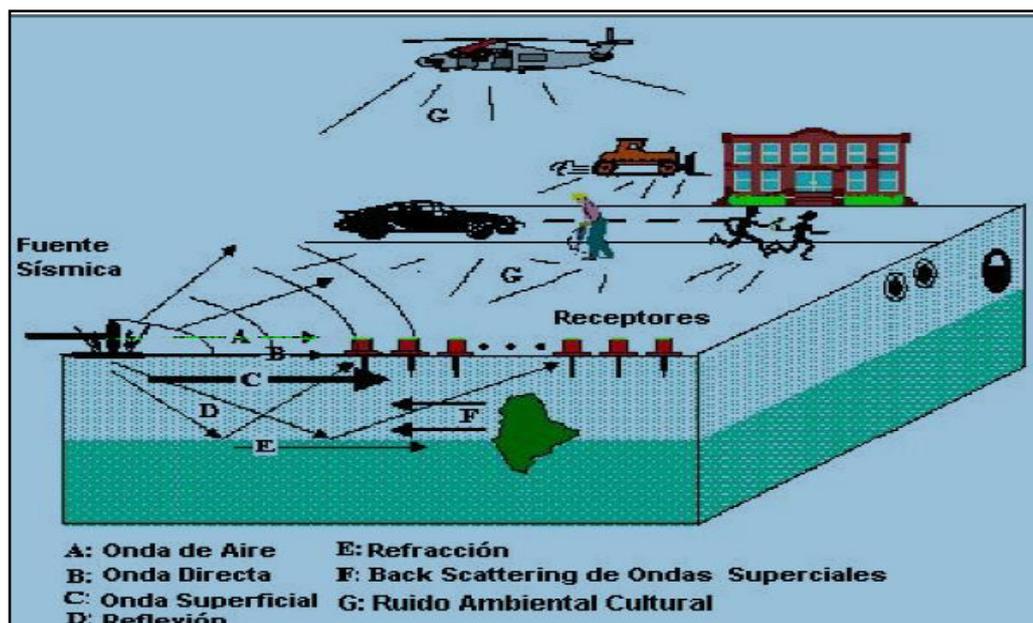
<b>Método</b>	<b>Sub-clasificación</b>		<b>Aplicación</b>	<b>Información</b>
Sísmico	Reflexión		Geotecnia Minería Petróleo Geología	Modelo del subsuelo Velocidad de propagación de la onda
	Refracción			Velocidad de propagación de la onda Profundidad de los estratos
Eléctrico	Campo Natural	Potencial Espontáneo	Geotecnia Minería Petróleo Agua Subterránea Geología	Contrastes de Resistividad Modelo del subsuelo por Resistividad Zonas de Potencial Natural Zonas con Efectos de Polarización
	Campo Artificial	Equipotencial SEV Calicatas IP		
Gravimétrico			Geotecnia Minería Petróleo Geología	Contrastes de Densidades o Masas Variaciones en el Campo Gravitacional
Radiométrico			Minería Petróleo Geodinámica	Radio Actividad natural de los Materiales Terrestres
Magnético			Minería Petróleo Geología	Variaciones en el Campo Magnético

Fuente: Información de la tabla sacada de internet.

### 2.1.1. Método sísmico

Este método de investigación está basado en el estudio de los tiempos de propagación (arribo) y de las amplitudes de las ondas sísmicas, producidas con fuentes artificiales o naturales, en función de la distancia desde la fuente. Para la realización de este tipo de ensayo se requieren explosivos, cañones de aire u otras fuentes de energía, para los ensayos realizados en este proyecto se usó el impacto de un martillo de 10 lb sobre una placa metálica, que genere ondas de sísmicas en el terreno, que serán receptadas por los sismómetros (geófonos o hidrófonos), registradas en el sismógrafo y finalmente analizados en un software especializado.

La exploración sísmica consiste en generar ondas sísmicas en el terreno como se muestra en la **Figura 2.3**, y determinar el tiempo requerido para que las ondas viajen desde la fuente hasta los receptores.



**Figura 2.3** Representación de los tipos de ondas.

Fuente: Giselle linares, 2005

Los receptores pueden ser distribuidos generalmente en línea recta en dirección de la fuente o dispuestos de tal manera que se pueda obtener un mejor resultado, tomando en cuenta la disposición de los estratos en el subsuelo, la posición de la fuente generadora de ondas, el software con el que se vaya a realizar la interpretación y el método a utilizar. Conociendo los tiempos de arribo de las ondas en los receptores se pueden reconstruir las trayectorias de las ondas sísmicas obteniendo la velocidad de propagación en el medio y con ello realizar una interpretación geológica.

Las ondas sísmicas se pueden subdividir en dos tipos: las ondas de cuerpo y las ondas superficiales, como se puede apreciar la **Figura 2.4**, Derecha

ondas de cuerpo: arriba ondas P o de compresión, abajo ondas S o de cizalla. Izquierda ondas de superficie: arriba ondas Rayleigh, abajo ondas Love.

Las ondas de cuerpo se propagan en el interior de la tierra en forma radial alejándose de la fuente y son las más usadas para caracterizar el interior de la tierra. Las ondas de cuerpo se pueden subdividir en dos clases: ondas primarias o de compresión y ondas secundarias o de cizalla.

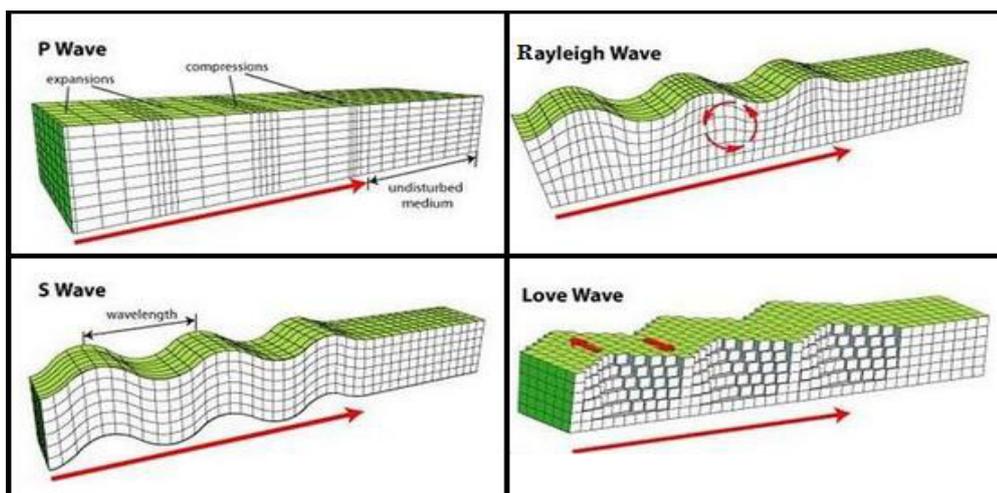
Las ondas primarias o de compresión son las primeras ondas que llegan a los sismómetros debido a que las partículas del medio son desplazadas en la misma dirección de propagación de la onda, extendiendo y comprimiendo el medio a medida que se propaga. Las ondas secundarias o de cizalla, son ondas que se propagan más lento que las ondas primarias a través de un medio, las partículas del terreno oscilan perpendicularmente a la dirección de propagación. El movimiento de esta onda es atribuido a dos componentes ortogonales donde se puede distinguir las ondas Sh, cuyas partículas oscilan en el plano horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, y las ondas Sv, cuyas partículas oscilan en el plano vertical y perpendicular a la dirección de propagación.

Las ondas superficiales, son ondas que se propagan a lo largo de la superficie del medio y su energía decae con la profundidad y la distancia.

Este tipo de ondas se puede subdividir en dos clases: ondas Love y ondas Rayleigh.

Las ondas Love se originan en la zona de contacto de dos medios con propiedades físicas diferentes, el movimiento de las partículas es de forma perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Las ondas Rayleigh, son ondas que se originan en la superficie del medio y viajan a lo largo de una superficie “libre”, tal como las interfaces tierra-aire o tierra-agua (Xia et al., 1999). Son ondas que se caracterizan por tener baja velocidad, baja frecuencia y gran amplitud, cuyo movimiento describe una trayectoria elíptica retrograda. Las ondas Rayleigh dependen de la frecuencia de los medios heterogéneos del subsuelo a estudiar, por ello son las más usadas para caracterizar el subsuelo.



**Figura 2.4** Tipos de ondas sísmicas.

Fuente: Sacada de Internet.

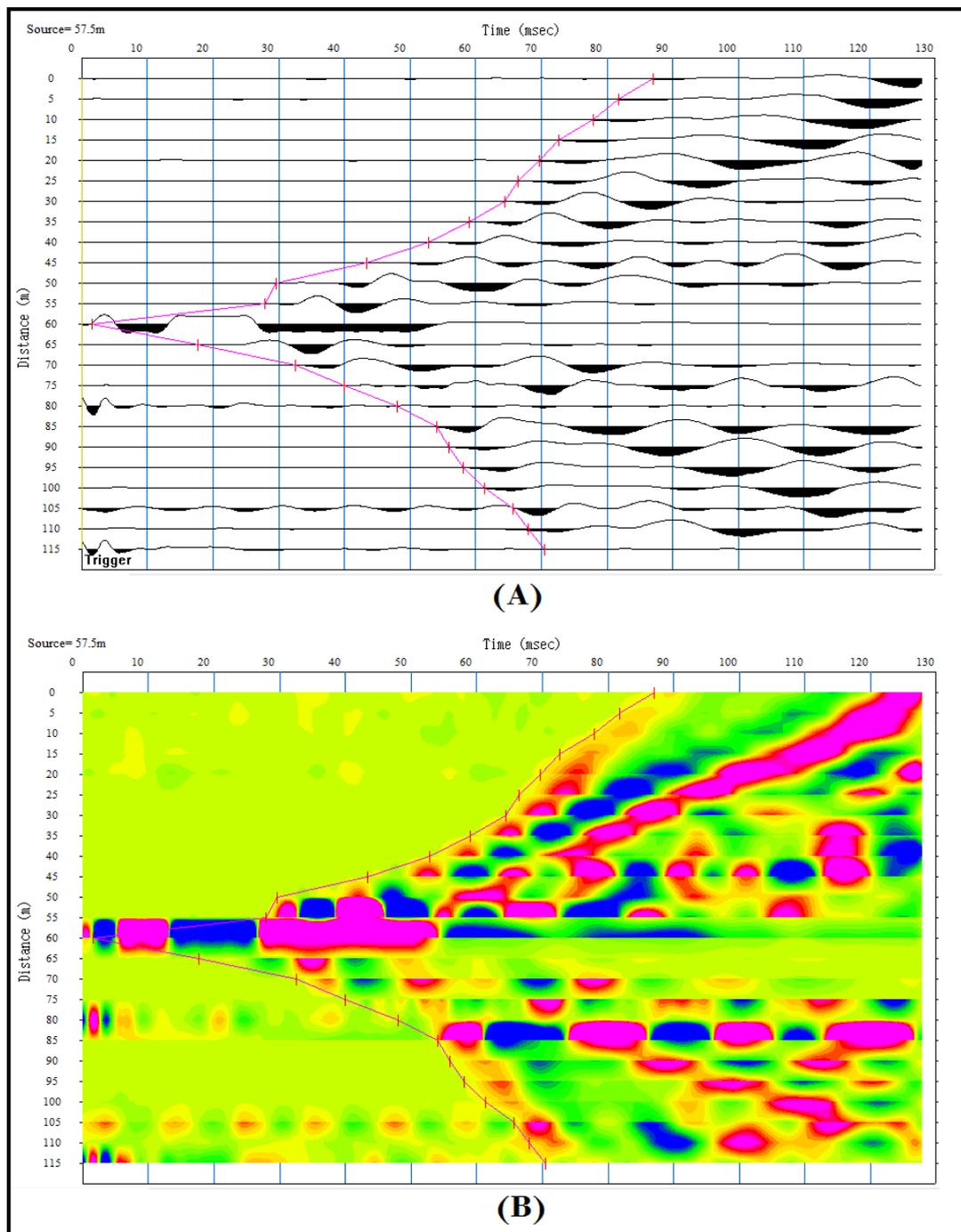
### 2.1.1.1. Línea Sísmica de Refracción (LSR)

La línea sísmica de refracción tiene como objetivo principal obtener un modelo bidimensional, perfil sísmico, a lo largo de la línea de ejecución donde se muestra las variaciones de las velocidades de las ondas P con la profundidad. El parámetro que se analiza es la velocidad con la que se propaga la onda  $V_p$  a través del medio, este parámetro aportara información que nos ayudara a realizar una caracterización geomecánica los diferentes estratos del subsuelo.

En este método se emplean sólo ondas refractadas, observándose solo las primeras oscilaciones producto del arribo de las ondas que son captados en cada uno de los sismómetros colocados en forma equidistante a lo largo de una línea, llamada línea sísmica, la fuente de energía que genera las ondas sísmicas en el medio es un martillo de 10 libras aproximadamente.

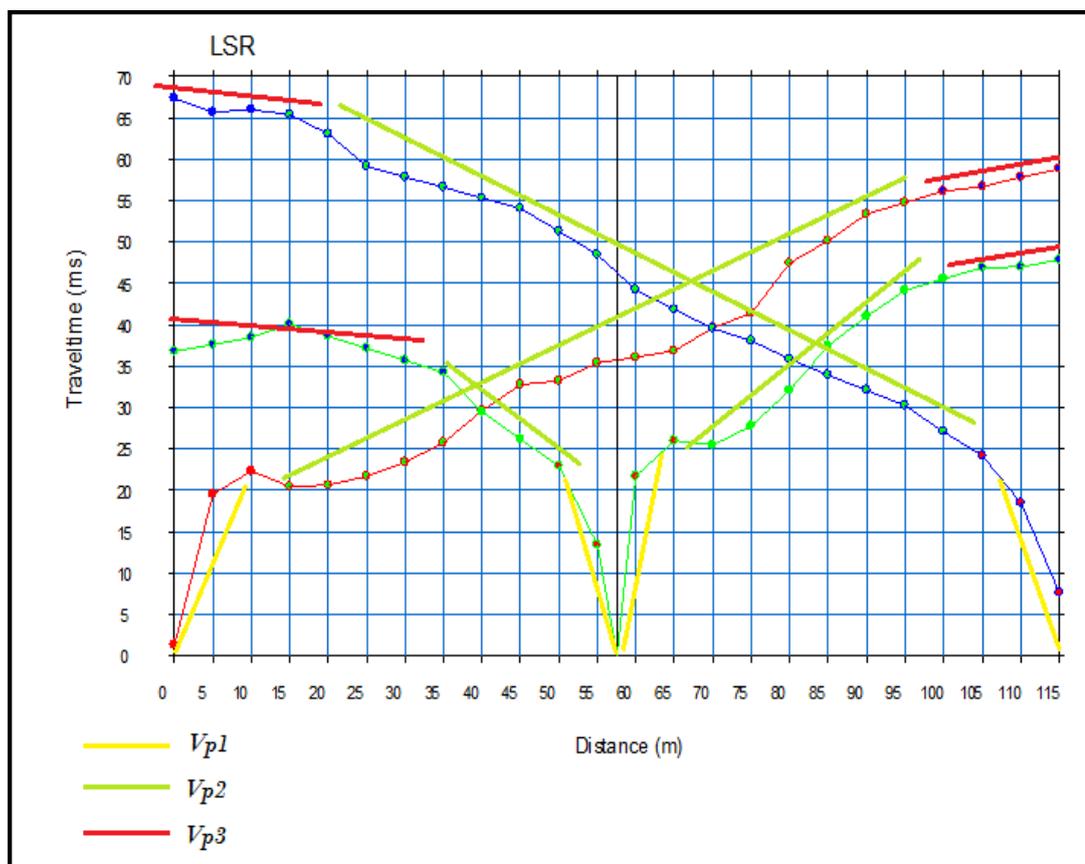
El martillo contiene un sensor ubicado cerca del mazo, que al momento del impacto nos da un tiempo de partida  $t_0$ , el tiempo que tarda la onda en llegar a cada uno de los sismómetros es registrado  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ . La representación gráfica del tiempo de arribo a cada sismómetro con la distancia a los mismos, se denomina "DROMOCRONA", como se muestra en la **Figura 2.5**, los tiempos de arribo de la onda a cada uno de los sismómetros, la línea roja une los puntos de primer arribo (PICK). A:

sismograma muestra los arribos en forma de ondas, B: Tomografía sísmica muestra los arribos de las ondas en colores rojo intenso. Se puede apreciar en ambos gráficos los efectos que tiene el ruido en este tipo de ensayo, señales obtenidas antes del pick. Para poder analizar en mejor detalle las diferentes capas del subsuelo se necesitan de varias Dromocronas en una misma línea sísmica, como se muestra en la **Figura 2.6**, ejemplo clásico de línea sísmica con tres puntos de investigación: Inicio, Centro y Final, las líneas  $V_{p1}$ ,  $V_{p2}$  y  $V_{p3}$  representan las velocidades de las diferentes capas, que se pueden calcular mediante las pendientes de cada sección.



**Figura 2.5** Muestra los tiempos de arribo de la onda (PICK).

Fuente: Elaborado por los autores.



**Figura 2.6** Representación de las DROMOCRONAS de una línea sísmica.

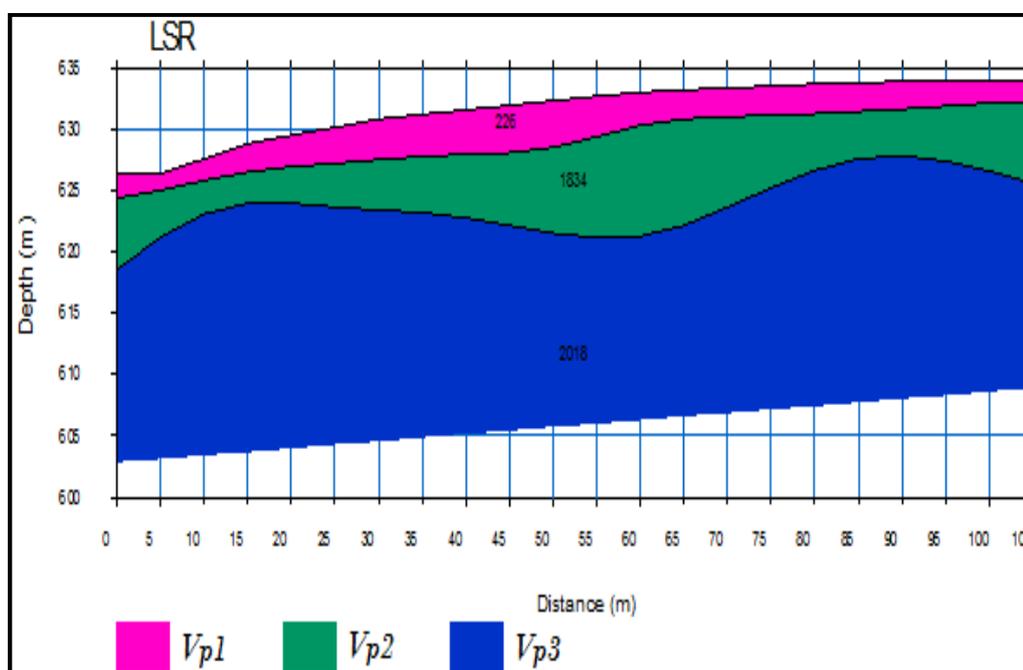
Fuente: Elaborado por los autores.

La gráfica Tiempo - Distancia que representa las DROMOCRONAS está compuesta de tres secciones: dos rectas y una parábola, que representa los distintos tipos de ondas medidas:

- I. La primera recta que parte del origen, lugar donde se colocó la fuente generadora de ondas, representa la onda directa, que viaja por la capa más superficial hasta cada uno de los sismómetros y representa la velocidad de la primera capa.

- II. La segunda recta representa la onda refractada en la interface entre la primera y la segunda capa, representa la velocidad de la segunda capa.
- III. La parábola representa la onda reflejada, se da en la interface entre la segunda y tercera capa, representa la velocidad de la tercera capa.

Los resultados de las líneas sísmicas son expresados en una gráfica Vp-Profundidad se puede apreciar la variación de la velocidad de la onda Vp, **Figura 2.7**, Vp1, Vp2 y Vp3 representan las velocidades para cada medio, ejemplo de tres capas.



**Figura 2.7** Representación final de un perfil sísmico, modelo 2D.

Fuente: Elaborado por los autores.

Este método de exploración sísmica tiene sus ventajas, entre ellas está el conocer la ripabilidad para cada capa del subsuelo, y es posible estimarla si se conoce la velocidad de la onda  $V_p$  de cada una. Para cada tipo de roca se definen rangos de  $V_p$  para los que la roca es ripable o no, según el criterio del Colegio de Geólogos de Gran Bretaña, el límite de ripabilidad es  $V_p=1850$  m/s. En la **TABLA II** se muestra la Posibilidad de Ripabilidad en función de la velocidad de las ondas  $V_p$  para una maquinaria Caterpillar modelo D-9.

**TABLA II** Posibilidad de Ripabilidad.

$V_p$ (m/s)	Ripabilidad
< 600	Material suelto
600 – 1300	Fácil
1300 – 1700	Normal
1700 – 1850	Duro
> 1850	No Ripable

Fuente: M Arlandi Rodríguez, GEOCONSULT S.A.

Además de la ripabilidad se pueden conocer otros parámetros geotécnicos como son: la densidad del medio puede ser estimada gracias a la siguiente relación (Gardner, 1974):

$$\rho = a \cdot V_p^{0.25}$$

Dónde:

$a$  = Constante igual a 1670

$\rho$  = Densidad de la Roca en (kg/m<sup>3</sup>)

$V_p$  = Velocidad de propagación de las ondas P, en (km/s)

La porosidad de una arenisca es posible estimarla mediante la siguiente expresión (Wyllie, 1958):

$$(1 / V_{p_{sat}}) = (\phi / V_{p_{flu}}) + [(1 - \phi)] / V_p$$

Dónde:

$\phi$  = Porosidad de la arenisca

$V_{p_{sat}}$  = Velocidad de las ondas P en las areniscas saturadas

$V_{p_{flu}}$  = Velocidad de las ondas P en el fluido que llena los poros (agua)

$V_p$  = Velocidad de las ondas P

Con la siguiente relación entre la  $V_p$  y el índice de fracturación RQD (Rock Quality Designation) se puede determinar el grado de fracturación de la roca (Merkler, 1970):

$$RQD = 100 (V_p / V_{p_{lab}})^2$$

Dónde:

$V_p$  = velocidad de las ondas P medidas en campo

$V_{p_{lab}}$  = velocidad de las ondas P medidas mediante ensayos de laboratorio en testigos de sondeo.

El índice Q o índice de Barton, desarrollado en Noruega por Barton, Lien y Lunde, del NGI (Instituto Geotécnico Noruego), basado en el análisis de cientos de túneles, asignando a cada terreno un valor numérico que va desde 0.001 para terrenos muy malos hasta 1000 para terrenos muy buenos. La relación entre la  $V_p$  y el índice Q se muestra en la siguiente expresión Barton (1991):

$$Q = 10^{[(V_p - 3500) / 1000]}$$

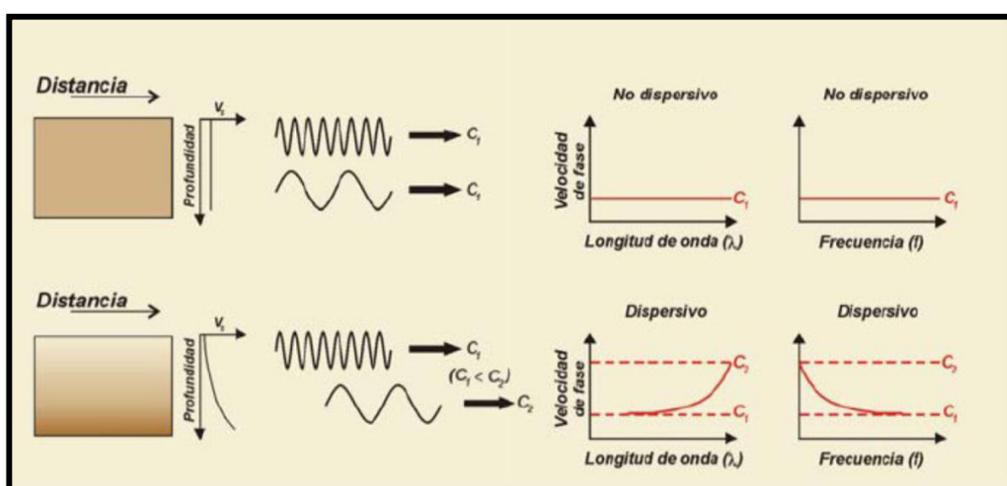
### **2.1.1.2. Refracción de Micro Tremores (REMI)**

A diferencia de la línea sísmica de refracción, donde el ruido se considera algo negativo y que se debe anular al momento de tomar los datos, el método REMI determina la velocidad de las ondas secundarias o de cizalla  $V_s$ , a través del análisis espectral de las ondas de ruido, para cada uno de los diferentes estratos del subsuelo (Granda et al, 2005). Al usar el ruido como herramienta para caracterizar y obtener las propiedades dinámicas del terreno el método REMI es aplicable en zonas urbanas e industriales, al mismo tiempo resulta útil en zonas donde los métodos tradicionales, como la línea sísmica de refracción, están limitados, donde existe inversiones de velocidad.

Los microtremores ocasionados por actividad humana, ocurren en intervalos de frecuencia de 0,1 Hz hasta los 30 Hz, sin embargo en la exploración geofísica el intervalo usado es de 0,1 Hz a 10 Hz, en este intervalo parte de la energía se transmite como ondas Rayleigh, estimando su velocidad, se logra obtener información acerca de las características del subsuelo (Flores et al., 2004).

Cada componente de frecuencia de una onda tiene una velocidad de propagación diferente llamada velocidad de fase  $C_f$ , al existir variaciones verticales de velocidad se obtiene una longitud de onda diferente por cada

frecuencia propagada, esta propiedad es llamada Dispersión (Park et al., 1999), para un mejor entendimiento véase la **Figura 2.8**. Las longitudes de onda grandes penetran en mayor profundidad, obteniendo mayor velocidades de fase caracterizando mejor capas más profundas, mientras que longitudes de onda cortas caracterizan mejor capas superficiales.



**Figura 2.8** Dispersión de las ondas Rayleigh.

Fuente: Giselle linares, 2005

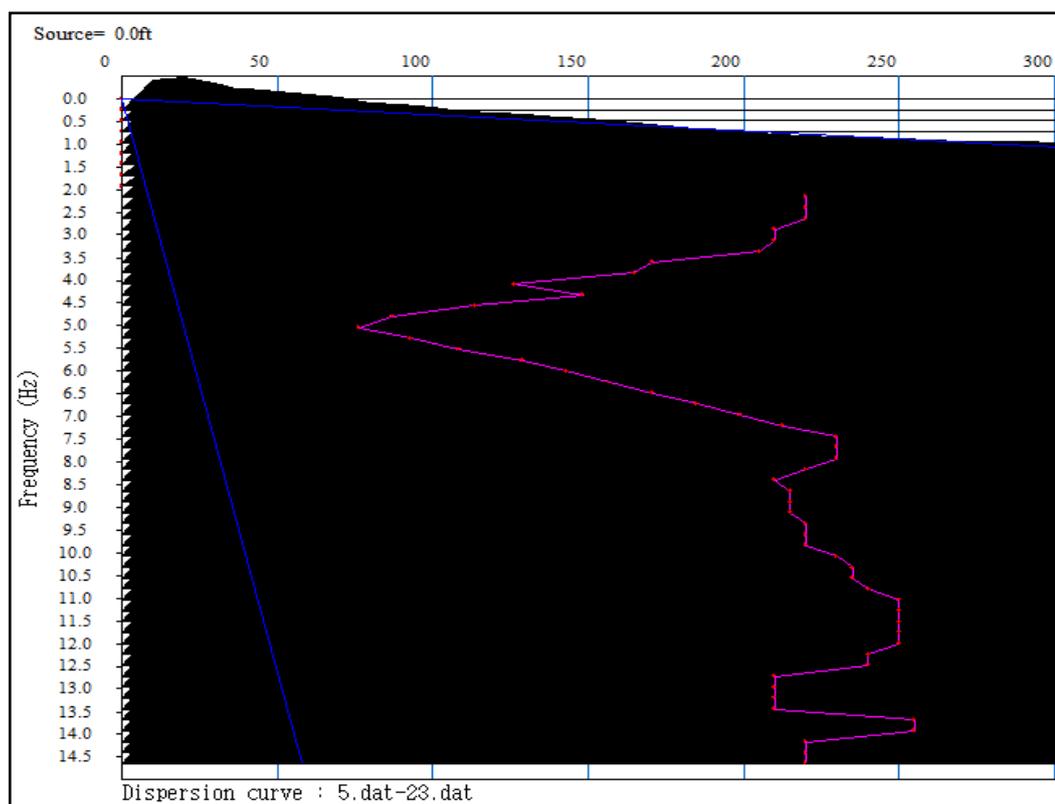
Horike (1985) demostró mediante mediciones de campo y análisis de dispersión de velocidades, que los microtremores verticales consisten de ondas Rayleigh. Nakamura (1989, 2000), consideró que el efecto de las ondas Rayleigh aparece en las componentes H y V de los microtremores, pero más acentuado en la componente V, siendo confirmado mediante simulaciones numéricas (Lermo & Chavez-Garcia, 1994) y (Lachet & Bard,

1994) estableciendo que los microtemores consisten de ondas Rayleigh propagándose en un semiespacio de una sola capa.

El subsuelo, siendo un medio heterogéneo tiene capas superpuestas con diferentes propiedades físico-mecánicas, variando las longitudes de onda y convirtiendo a las ondas Rayleigh en dispersivas, la velocidad de la onda de cizalla  $V_s$ , puede ser obtenida invirtiendo la velocidad de fase dispersiva de la onda Rayleigh en un gráfico Frecuencia-Velocidad de Fase. La velocidad de las ondas Rayleigh es menor que la velocidad de las ondas Secundarias y es aproximadamente:

$$V_R = 0,94 V_s$$

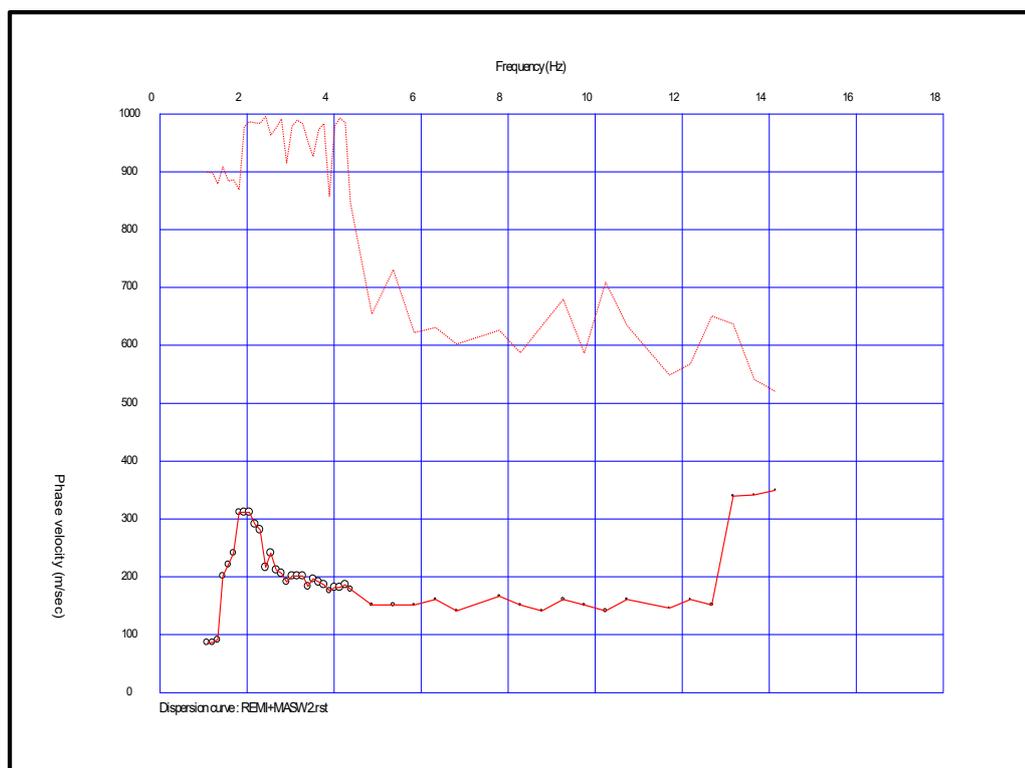
La **Figura 2.9** muestra la curva de dispersión previa a la inversión, las líneas de color azul muestran los rangos de valores máximos y mínimos de Frecuencia Y Velocidad de Fase, la línea lila une los diferentes puntos dispersivos mostrados en color rojo, analizado con el programa Surface Wave Analysis Wizard del software Seismodule Controller (SCS).



**Figura 2.9** Curva de dispersión, previa.

Fuente: Elaborado por los autores.

La **Figura 2.10** muestra el gráfico Frecuencia-Velocidad de fase donde se puede apreciar la curva de dispersión luego de la inversión y se escogerán los rangos de frecuencia que serán evaluados finalmente, la línea roja une los puntos dispersivos, analizado con el programa Surface Wave Analysis Wizard del software Seismodule Controller (SCS).

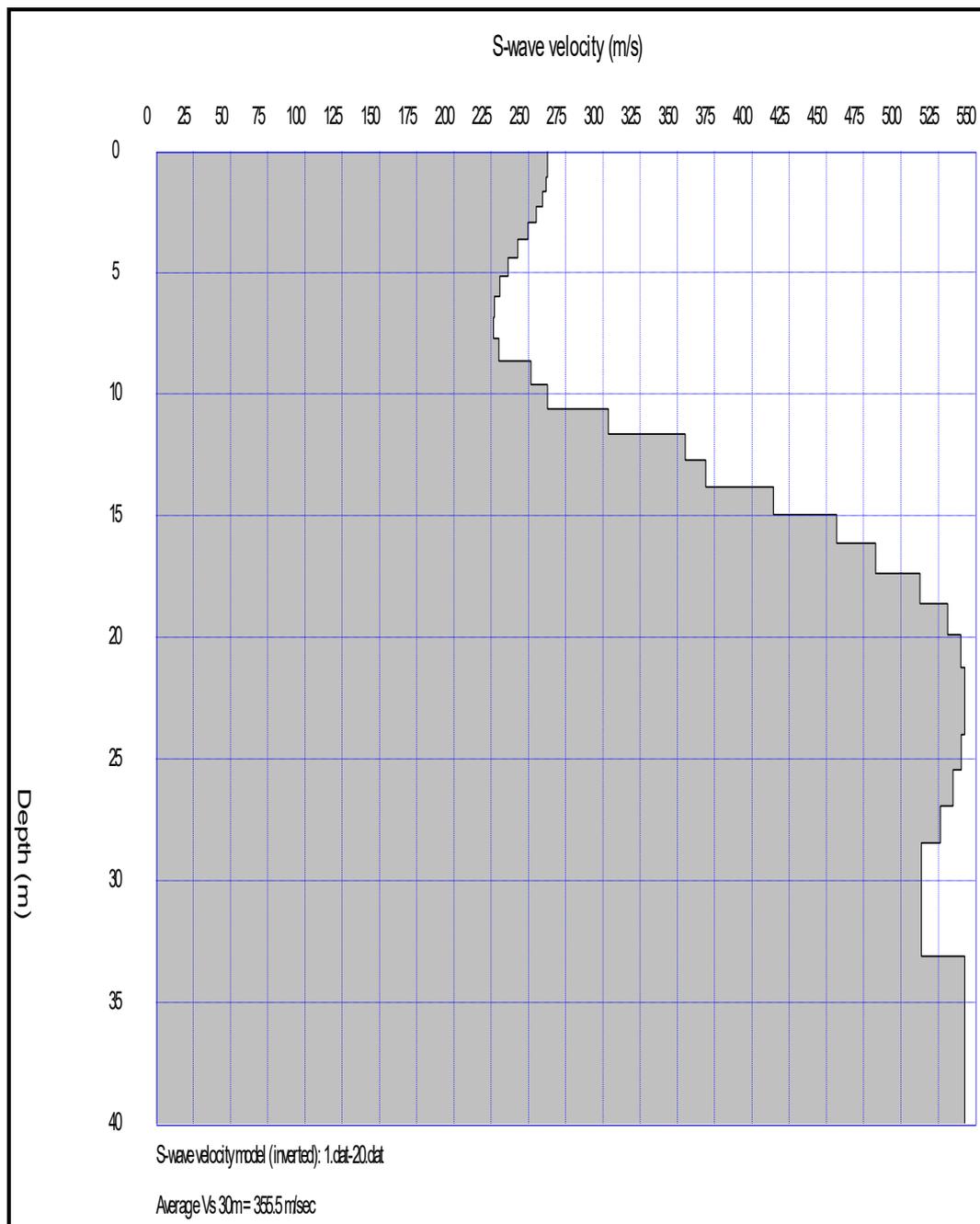


**Figura 2.10** Curva de dispersión luego de la inversión.

Fuente: Elaborado por los autores.

Este método tiene la capacidad de evaluar medios donde se dan inversiones de velocidad, intercalaciones de capas blandas y rígidas, donde la velocidad de la onda de corte  $V_s$  no necesariamente crece con la profundidad. Los sismómetros usados en este ensayo son de baja frecuencia 4,5 Hz aproximadamente y pueden distribuirse en el terreno conforme a los objetivos del estudio y la dirección de propagación de las ondas, existen varias configuraciones: forma lineal, en L (con arreglos de 5, 7, 9 u 11 sismómetros), triangular, circular, etc.

Como resultado obtenemos un perfil 1D, semejante a una perforación, donde podemos observar la variación de la velocidad de onda de corte  $V_s$  con la profundidad, véase **Figura 2.11**, además se obtiene el valor del  $V_{s30}$ , promedio de velocidad de onda de corte para los primeros 30 metros, parámetro importante en el diseño sísmico con el cual se obtiene los coeficientes de amplificación dinámica del terreno  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ . Los valores de  $V_{s30}$  para cada tipo de suelo los establece la International Building Code (IBC) como se muestra en la **TABLA III**.



**Figura 2.11** Resultado del ensayo de Refracción de Microtremores.

Fuente: Elaborado por los autores.

**TABLA III IBC, clasificación de suelos según Vs 30.**

<b>PERFIL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
<b>C</b>	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	$N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos 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 rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero especialista en geotecnia. 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 débilmente 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 > 7.5 m con índice de Plasticidad $IP > 75$ )	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia á ocurriendo dentro de los primeros 30 m 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: NEC-SE-DS, 2015.

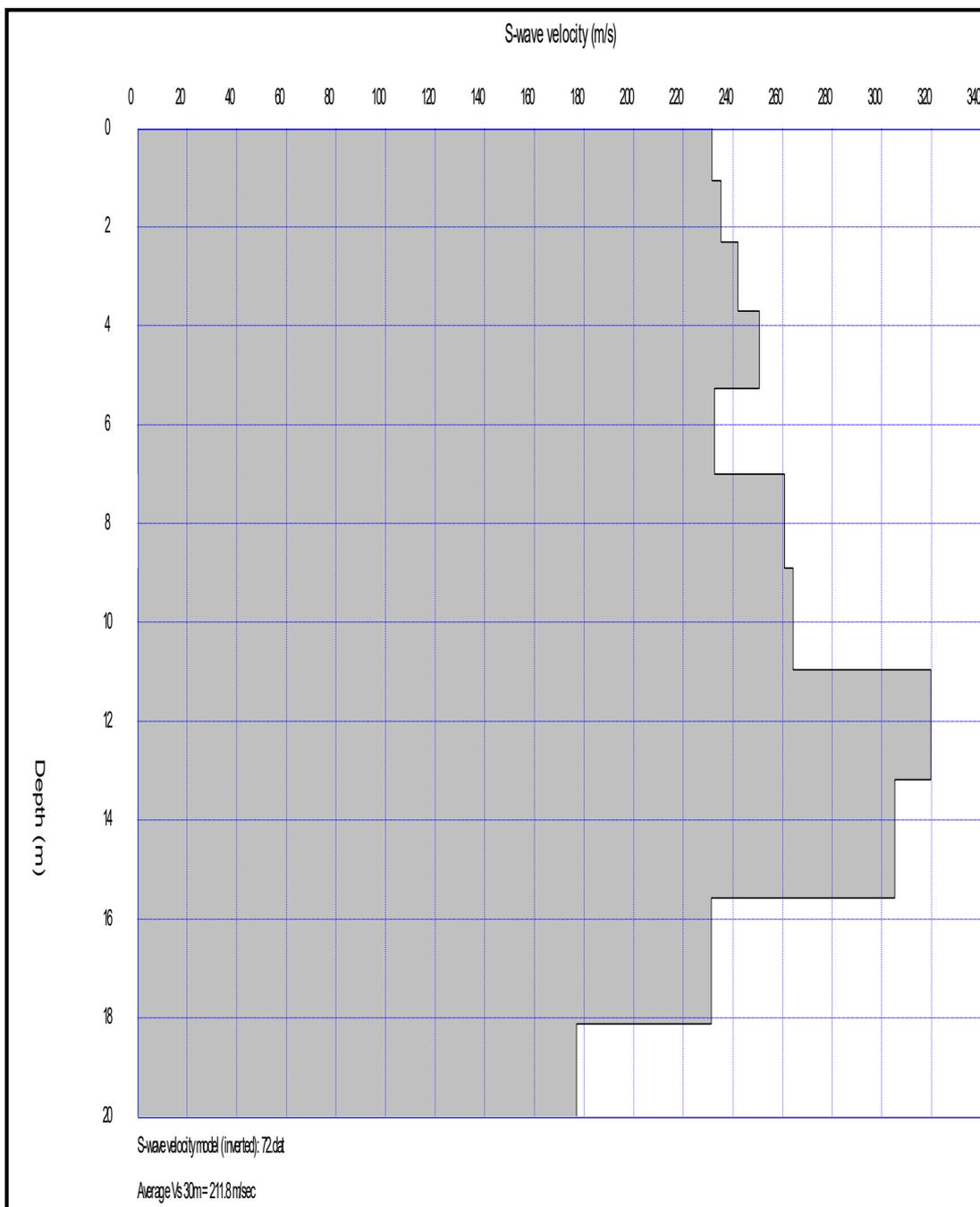
### 2.1.1.3. Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)

El Método de Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW) (Park et al., 1999), es un método sísmico usado para caracterizar estratos de suelos muy superficiales, 10 a 20 metros aproximadamente, a diferencia del Método de Análisis Espectral de Ondas Superficiales (SASW) puede ser usado en áreas urbanas donde el ruido generado por acción antropológica no afecta el ensayo. La técnica MASW se puede utilizar para aislar el modo fundamental de la curva de dispersión de la onda Rayleigh de los modos más altos (Park et al., 1999) y se puede utilizar en zonas donde inversiones de velocidad son esperadas.

La técnica del MASW es un método activo-pasivo, activo porque se genera una onda en el medio, similar al método de Línea Sísmica de Refracción y pasivo porque analiza las ondas superficiales Rayleigh generadas por el impacto, similar al método REMI, se puede realizar con configuraciones geométricas de los sismómetros de baja frecuencia similares a la técnica de Refracción de Microtremores (REMI).

Como resultado obtenemos un perfil 1D, como el de la **Figura 2.12**, similar al método REMI, donde podemos observar la variación de la velocidad de onda de corte  $V_s$  con la profundidad y el  $V_{s30}$  de ese tipo de suelo, analizado con

el programa Surface Wave Analysis Wizard del software Seismodule Controller (SCS).



**Figura 2.12** Resultado del ensayo MASW.

Fuente: Elaborado por los autores.

Al realizar los ensayos correspondientes al método sísmico y obtener los valores de las velocidades de las ondas  $V_p$  y  $V_s$ , se puede calcular los valores de los parámetros dinámicos del medio, por ejemplo: el Coeficiente de Poisson Dinámico, el Módulo de Elasticidad Dinámico  $E_{din}$ , el Módulo de Corte Dinámico  $G_{din}$ , y el Módulo Volumétrico Dinámico  $K_{din}$ , mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Coeficiente de Poisson} \quad \mathbf{U} = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2 \cdot \left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

$$\text{Módulo de Young} \quad \mathbf{E_{din}} = 2 \cdot G_{din} (1 + U)$$

$$\text{Módulo de Corte} \quad \mathbf{G_{din}} = \gamma \cdot V_s^2$$

$$\text{Módulo Volumétrico} \quad \mathbf{K_{din}} = \frac{E_{din}}{3 \cdot (1 - 2U)}$$

Al obtener estos parámetros resulta sencillo identificar los contactos entre las diferentes unidades litológicas y caracterizar geotécnicamente cada una de estas unidades identificando posibles zonas de riesgo que serían vulnerables al momento de edificar.

### 2.1.2. Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

El método eléctrico se utiliza para medir la resistividad de los materiales del subsuelo. Al realizar estos ensayos y obtener los valores de resistividad de los materiales del subsuelo, se puede detectar cuerpos y estructuras geológicas que harán posible una interpretación geológica basados en los contrastes resistivos, aunque este parámetro único no es suficiente para una caracterización final.

El suelo es un medio heterogéneo y varía por su composición, según el ambiente en que se depositó, y dependiendo de las condiciones del medio que lo gobierna, humedad, temperatura o presión, la resistividad de estos materiales varia, por lo tanto no se puede atribuir una resistividad específica a un tipo de suelo.

El método eléctrico fue propuesto por primera vez por el ingeniero francés Schlumberger, en el año 1912, el cual consiste en introducir corriente eléctrica al subsuelo y determinar el potencial que produce entre dos puntos en la superficie del terreno. A partir de los valores de corriente y voltaje obtenidos, se puede calcular el valor de la resistividad del medio. La resistividad de un material  $\rho$  se define como la resistencia que encuentra la corriente eléctrica al paso por el mismo, mientras que la conductividad  $\sigma$  es lo

contrario, es la facilidad con la que se transmite la corriente eléctrica por el material.

La resistencia al paso de la corriente eléctrica de un material está dominada por la ley de Ohm:

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

Y la resistividad del mismo puede ser obtenida de la siguiente fórmula:

$$\rho = kR$$

Donde obtenemos que

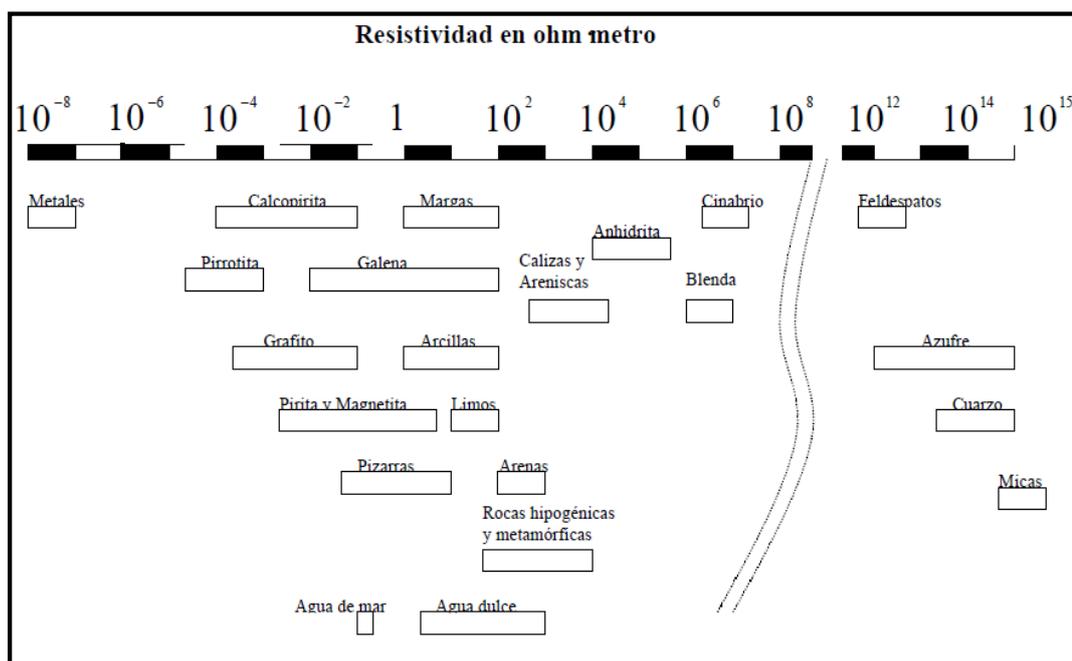
$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

El valor de K es una contante que depende de la geometría del circuito:

$$k = 2\pi \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

La unidad de medida de la resistividad es ohmios por metro ( $\Omega\text{m}$ ).

Los valores de resistividad de las rocas varía en función de: su composición, compactación, temperatura, presión, la porosidad, la cantidad de agua que contiene y la salinidad del mismo. En la **Figura 2.13** y la **TABLA 4** encontramos rangos de resistividad para ciertos tipos de roca y minerales.



**Figura 2.13** Valores de resistividad de rocas y minerales

Fuente: Orellana, 1982.

**TABLA IV** Rangos de resistividad de materiales saturados

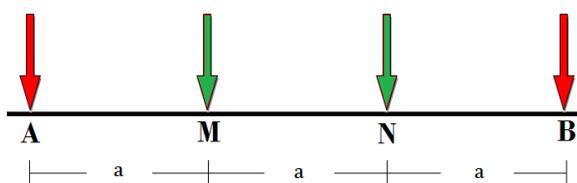
<b>Material</b>	<b>Resistividad (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

Fuente: Arias Eduardo, 2011.

Para medir los valores de resistividad en el subsuelo existe una serie de dispositivos geoelectricos, entre los más comunes encontramos: Schlumberger, Wenner, Polo-Dipolo, Dipolo-Dipolo y Wenner-Schlumberger. Estos dispositivos difieren entre sí en el valor de la constante k, que varía debido a la distancia entre los electrodos y la posición de los electrodos de corriente respecto a los de potencial.

### Dispositivo Wenner

En este dispositivo los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB, a medida que aumenta la distancia entre los electrodos de corriente, aumenta la distancia de los electrodos de potencia, de forma que se cumpla esta relación  $AM=MN=NB=a$ , como se muestra a continuación.

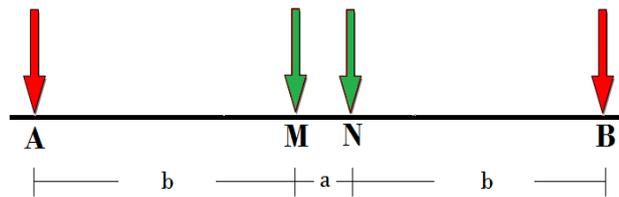


El factor geométrico del dispositivo es:

$$k = 2\pi a$$

### Dispositivo Schlumberger

En este dispositivo los electrodos están dispuestos de tal manera que la distancia de los electrodos de potencial MN sea mucho menor que la de los electrodos de corriente AB, los valores de esta relación pueden variar  $AB/5 < MN < AB/20$ , como se muestra a continuación.



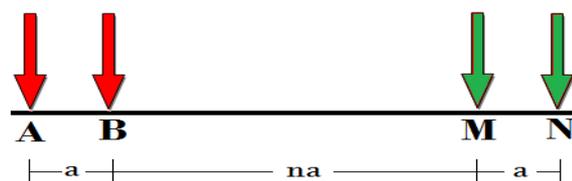
El factor geométrico del dispositivo es:

$$k = \pi \frac{L^2}{a}$$

Donde  $L = b + a/2$

### Dispositivo Dipolo – Dipolo

En este dispositivo los electrodos se disponen sobre una línea en el orden ABMN, las distancias entre los electrodos de corriente AB es igual a la distancia entre los electrodos de potencia MN, a su vez este par de electrodos estos se encuentran separados una distancia  $na$ , formando así un doble dipolo, como se muestra a continuación.



El factor geométrico del dispositivo es:

$$k = -\pi n(n + 1)(n + 2)a$$

Este dispositivo se implementa normalmente con  $n \gg 1$ . El factor geométrico cuando  $n \gg 1$  se puede expresar como:

$$k = -\pi a n^3$$

La desventaja en este dispositivo es que el campo dipolar decrece con el cubo de la distancia entre los dipolos, por lo que se necesita detectores más sensibles.

## 2.2. Métodos directos

Los métodos directos corresponden a técnicas convencionales que nos permiten la observación, acceso y/u obtención de muestras de las diferentes estratos del subsuelo, a su vez permiten la realización de ensayos “in situ”.

Los métodos directos de exploración más comunes son:

- Perforaciones (sondeos)
- Calicatas (Pozos a cielo abierto)

Generalmente al usar estas técnicas de exploración se obtienen muestras, excepto en ciertos ensayos como el de Penetración de Cono (CPT), que serán evaluadas en el laboratorio de suelos por diferentes ensayos para obtener los parámetros geotécnicos y así poder clasificar de los diferentes estratos, con la finalidad de elaborar una columna estratigráfica por cada sondeo realizado.

Las muestras deben ser representativas de la zona de estudio y en porciones suficientes para garantizar la ejecución de los ensayos de laboratorio. Las muestras dependiendo de la metodología en su obtención pueden ser de dos tipos, alteradas e inalteradas.

### **Muestras Alteradas**

Son aquellas muestras cuyas propiedades “in situ” se han perdido o modificado al ser obtenidas. Los ensayos de laboratorio empleados generalmente para estas muestras son los siguientes:

- Análisis Granulométrico Por Tamización O Hidrómetro
- Límites De Atterberg
- Contenido De Humedad
- Clasificación Del Suelo
- Gravedad Específica
- Contenido De Materia Orgánica

### **Muestras Inalteradas**

Son aquellas muestras cuyas propiedades “in situ” prácticamente se conservan al ser obtenidas. Se pueden realizar los mismos ensayos de

laboratorio que en las muestras alteradas, adicionalmente se puede realizar los ensayos que se mencionan a continuación:

- Consolidación
- Compresión Simple
- Corte Directo
- Permeabilidad
- Compresión Triaxial

### **2.2.1. Perforaciones**

Las Perforaciones o sondeos geotécnicos son métodos de exploración de campo que permiten reconocer los diferentes estratos del suelo, pudiendo ser realizadas de forma manual o mecánica, y presentan las siguientes características:

- Son de diámetro relativamente pequeño (entre 51mm y 102mm)

- Se pueden obtener muestras alteradas o inalteradas así como muestras de agua.
- Permiten estimar el nivel freático del terreno durante la perforación y a través de la instalación de piezómetros.
- Permite realizar ensayos “in situ” tales como el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y la realización de ensayos de permeabilidad como Lefranc (suelos) y Lugeon (roca).
- Permiten atravesar suelo resistente e inclusive estrato rocoso para conocer sus propiedades.

Los sondeos de acuerdo al tipo de terreno y los objetivos que se pretenda alcanzar, pueden ser:

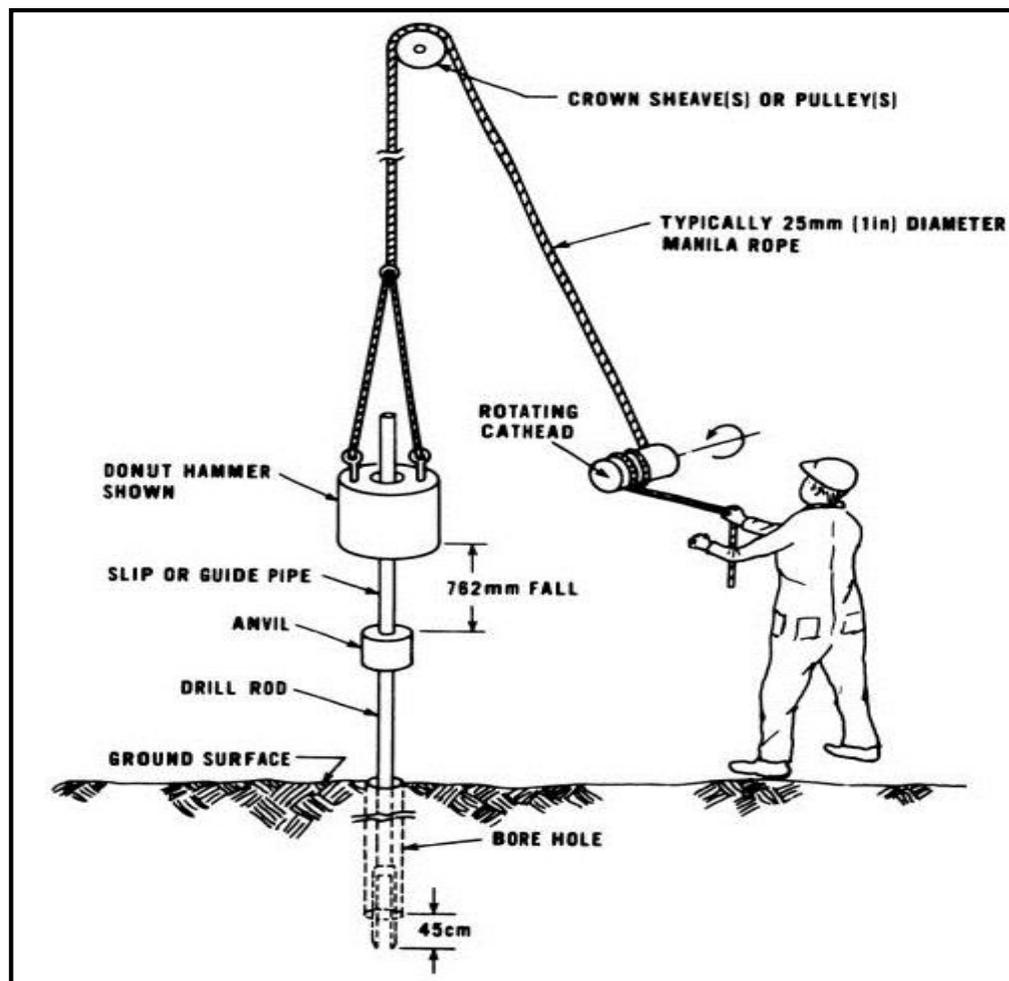
- Sondeos a Percusión
- Sondeos a Rotación

Dependiendo de la finalidad del estudio del que se va a hacer uso de perforaciones generalmente se usa una combinación de los tipos de sondeos.

## **Sondeos a Percusión**

Son sondeos que se caracterizan por el uso de la energía potencial provocado por la caída de un martillo a una altura determinada y cuyo efecto de golpeo produce que un muestreador, sujeto a un varillaje, sea hincado en el suelo, como se muestra en la **Figura 2.14**. Estos sondeos usan diferentes sistemas y ensayos de penetración según el tipo de muestra que se deseé obtener teniendo como principales los siguientes:

- **Sistema a Presión**, para muestras inalteradas
- **Ensayo de Penetración Estándar (SPT)**, para muestras alteradas



**Figura 2.14** Sondeo a percusión, ejecutando SPT

Fuente: Kovacs et al., 1981

### Sistema a Presión

El sistema a presión se usa en suelos con predominancia de finos para obtener muestras inalteradas, Su grado de perturbación depende del procedimiento usado para el hincado. Dependiendo de la consistencia (rigidez) de los suelos finos se emplea diferentes tipos de muestreador como

son: tubos Shelby y el Barril Denison. Generalmente para muestras blandas se usa tubos de pared delgada, más comúnmente usado es el tubo **Shelby**, y para muestras más rígidas se emplea el barril **Denison**, una muestra de estos está en la **Figura 2.15**.

Los tubos Shelby cuyas dimensiones estándar son 0,91 metro de longitud y 3 pulgadas de diámetro con un espesor de 1,65 milímetros, de acuerdo a la norma ASTM D-1587. El tubo Shelby al ingresar a presión actúa como cuchillo cortando la muestra sin alterarla.



**Figura 2.15** Tubos para toma de muestras inalteradas. Izquierda tubo Shelby, derecha barril Denison.

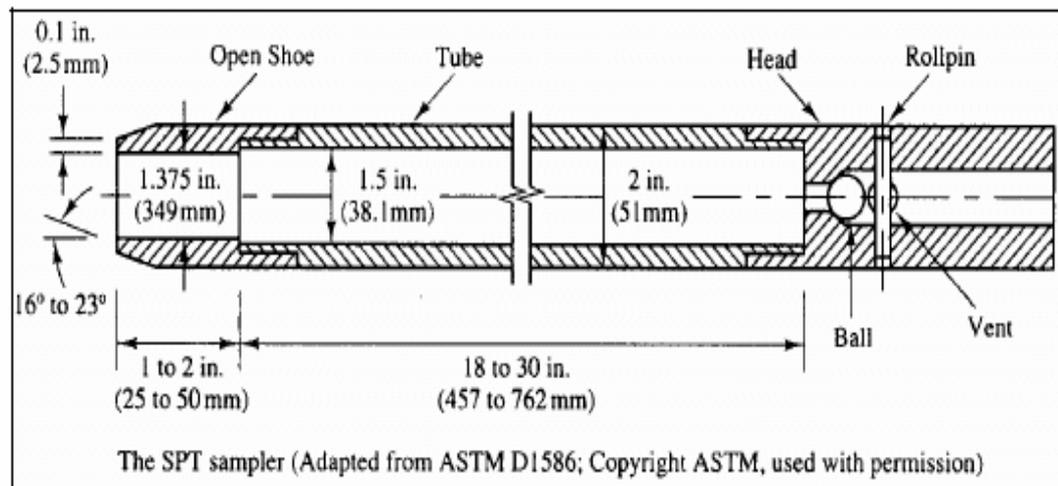
Fuente: Imagen tomada del sitio web: Talleres PCJ

## **Ensayo de Penetración Estándar (SPT)**

El ensayo de penetración estándar SPT es el ensayo más recurrente por la información que proporciona de las capas del subsuelo en la exploración geotécnica, permitiéndonos conocer la compacidad de los suelos granulares y la consistencia de los suelos cohesivos, a través de la resistencia del subsuelo medido con el número de golpes “N”.

El ensayo determinado por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, en la norma ASTM D-1586, permite la recuperación de muestras alteradas a través del manejo de un muestreador denominado **Penetrómetro Estándar** (Cuchara Partida), **Figura 2.16**, muestras que luego son analizadas por medio de ensayos de laboratorio y clasificadas.

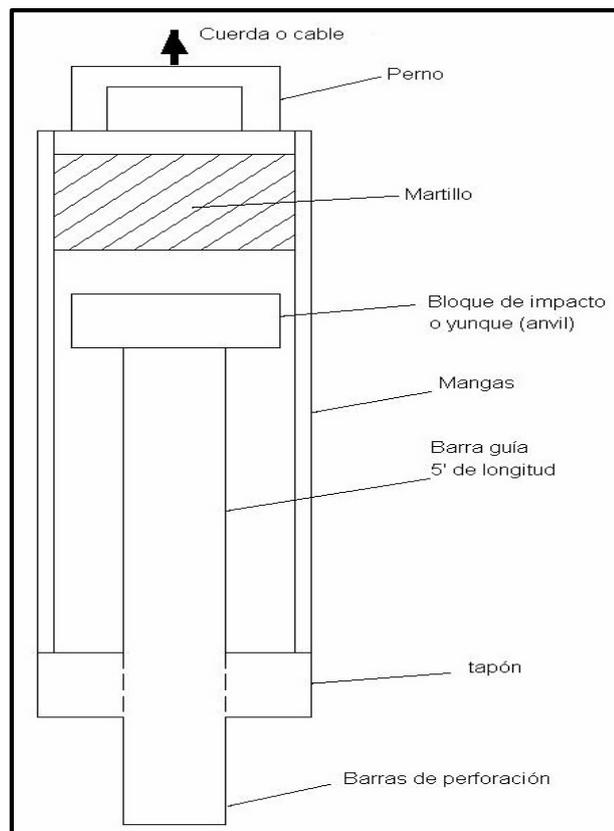
La cuchara partida es un tubo de 2 pulgadas de diámetro exterior y 1 3/8 pulgadas de diámetro interior, que se enrosca a una tubería de diámetro AW o BW por la cual se deja caer un martillo tipo Donut o Safety de  $63,5 \pm 0,5$  kg ó 140 lb, a una altura de  $75 \pm 1$  cm ó 30 in.



**Figura 2.16** Muestreador barreno-partido usado en SPT

Fuente: ASTM D1997

El tipo de martillo más usado es el Safety, **Figura 2.17**, porque tiene una eficiencia del 60% de la energía transmitida. El martillo es guiado por la tubería y levantado por un sistema de poleas, desde la altura mencionada se deja caer el martillo y se cuenta los números de golpes necesarios para que el muestreador penetre 15 cm. en el suelo, realizándose este procedimiento en 3 ocasiones para una misma muestra que luego es extraída, en la **Figura 2.18** podemos verificar una muestra de suelo extraída aplicando este ensayo.



**Figura 2.17** Martillo de Seguridad. (Safety Hammer)

Fuente: SPT Manual Duncan et al., 1998.

El parámetro obtenido en este ensayo es el NSPT ó  $N_{60}$ , se define como el número de golpes necesarios para hincar los últimos 30 cm. Del muestreador.



**Figura 2.18** Muestra de suelo obtenida con penetrómetro estándar.

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

### **Sondeos a rotación**

Los sondeos a rotación son usados generalmente cuando se desea obtener muestras de roca ó atravesar capas de suelo muy resistentes, para obtener estas muestras es necesario utilizar un muestreador denominado barril, puede ser sencillo o de doble tubo, en el extremo de este se acopla una broca diamantada, la cual corta la roca y la introduce dentro del muestreador.

Los sondeos a rotación se realizan con circulación de agua o lodos de perforación a través del varillaje cuyo espesor y contenido puede variar de

acuerdo a la particularidad del terreno. La extracción de testigos es continua y el porcentaje de recuperación puede variar, dependiendo del material que se está rotando. Algunos materiales son difíciles de rotar con son las gravas y arenas muy densas en estratos aluviales o coluviales donde es necesario el empleo de lodos de perforación. Las tuberías para sondeos pueden tener varios diámetros dependiendo de la serie que se use, a continuación se muestra la **TABLA V** con las series Q y W, y la **TABLA VI** que muestra los diferentes elementos que contiene un sistema de perforación a rotación.

**TABLA V** Tubos serie Q y W.

TIPO	INTERIOR	TUBO EXTERIOR	TIPO	TUBO EXTERIOR
PQ	85,0 mm	122,0 mm	PW	139,3 mm
HQ	63,5 mm	96,7 mm	HW	114,3 mm
NQ	47,6 mm	75,8 mm	NW	88,9 mm
BQ	36,4 mm	60,0 mm	BW	73,0 mm
NQTK(NQ2)	50,6 mm	75,7 mm		
BQTK(BQ2)	40,7 mm	60,0 mm		
AQTK(AQ2)	35,5 mm	48,0 mm	AW	57,1 mm

Fuente: Información de la tabla tomada de los sitios web: Internacional Wheel S.A.C. - Metalúrgica Tassaroli; Corporación Tecnodrill C.A.

**TABLA VI** Elementos del sistema de rotación.

<b>INGLES</b>	<b>ESPAÑOL</b>	<b>NOMBRE COMÚN</b>
Overshot	Sobrepasado	Pescante
locking coupling	Acoplamiento de Bloqueo	Candado
adapter coupling	Adaptador de acoplamiento	Adaptador de candado
head assembly	Conjunto de Cabezal	Cabezal
outer tube	Tubo exterior	Tubo exterior
inner tube	Tubo Interior	Tubo interior
reaming shell	Cascara escariada	Rima
coring bit	Extractor de muestra	Broca o Corona
rod shoes	varilla de zapatos	Zapata
core lifter case	Caja levantadora de núcleo	Cajuela
core lifter	levantador de núcleo	Retenedor de muestra
stop ring	anillo de tope	Anillo
landing ring	anillo de aterrizaje	Anillo superior
inner tube stabilizer ring	anillo estabilizador del tubo interior	Anillo inferior

Fuente: Información tomada del sitio web: Acker Drill Company

### 2.2.2. Calicatas

Las calicatas son excavaciones realizadas de forma manual o por medios mecánicos, las cuales permiten la observación directa del subsuelo a una profundidad pequeña, generalmente de entre 1 a 4 metros, como se muestra en la **Figura 2.19**.

Las calicatas permiten observar variaciones de las capas de suelo más superficial, así como su estructura y discontinuidades. Además de permitir realizar ensayos de campo y obtención de muestras alteradas o inalteradas. Aunque están limitadas por el nivel freático del sitio.

Un ensayo comúnmente realizado es el de Geogauge, el cual se rige con la norma ASTM D-6758 02, que sirve para obtener los módulos de Young y de Rigidez del suelo utilizados para el diseño de pavimentos.



**Figura 2.19** Ejecución de una calicata con toma de datos de Geogauge.

Las calicatas son de rápida ejecución y su costo es económico por lo que su uso es muy común en la obtención de datos superficiales del terreno. Para realizar una calicata hay que cumplir con las normas de seguridad para evitar derrumbes de sus paredes cuando estas alcanzan cierta profundidad.

De las calicatas se pueden obtener muestras alteradas o inalteradas, en forma de bloques, que deben ser colocadas dentro de una envoltura ya sea plástica o en parafina con la finalidad que no pierda su humedad natural, los bloques deben ser transportados en cajas de madera para que no sufran alteraciones y ser analizadas en el laboratorio de suelos.

### 2.2.3. Ensayo de Penetración de Cono (CPT-u)

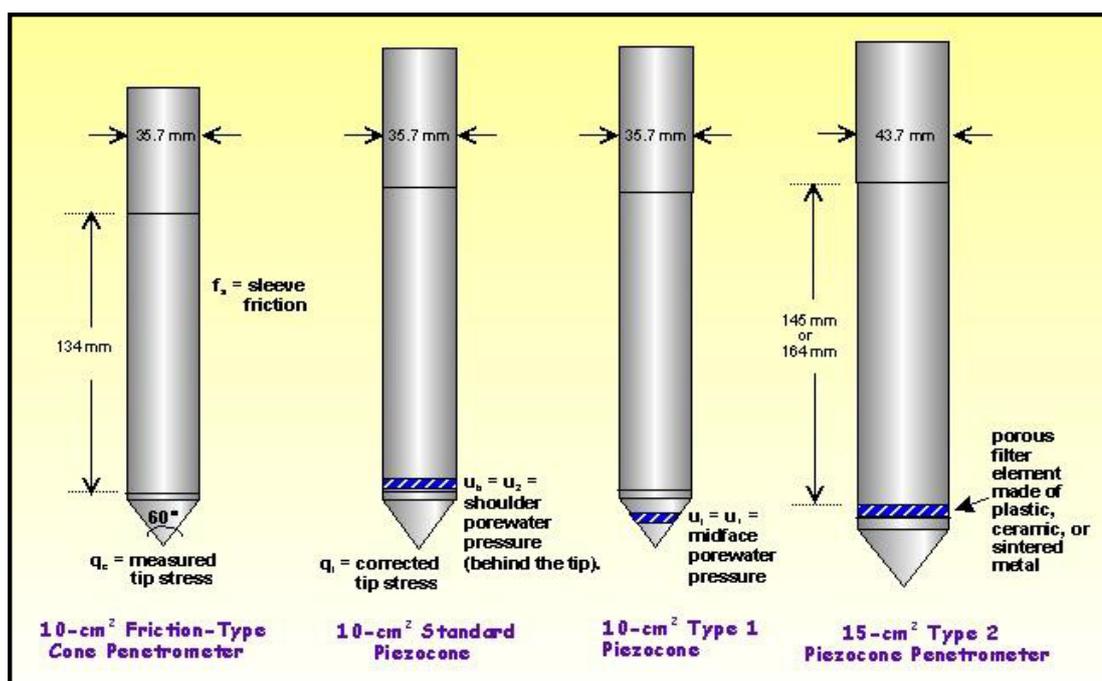
Es una herramienta de investigación geotécnica, que nos permiten obtener prácticamente y de forma continua un perfil estratigráfico del terreno, además de predecir propiedades de las diferentes capas del subsuelo.

El ensayo consiste en el hincado a velocidad constante de 2 cm/s de un cono en el terreno para medir, la resistencia a la penetración desarrollada por la punta del cono ( $q_c$ ), la resistencia por fricción ( $f_s$ ) en un manguito ubicado encima de la punta cónica, y la presión de poros ( $u$ ). Cuando el ensayo mide la presión de poros se denomina Piezocono o CPT-u, pero si solo mide  $q_c$  y  $f_s$  se denomina CPT. El ensayo se aplica en suelos cohesivos blandos a firmes; los suelos con geomateriales granulares dificultan o no permiten la penetración del cono, aunque ahora ya hay equipos modernos y conos más resistentes.

La resistencia de cono ( $q_c$ ) es igual a la fuerza vertical aplicada al cono dividido entre su área horizontal proyectada y la resistencia por fricción es igual a la fuerza vertical aplicada al manguito dividido entre su área superficial. La punta del cono tiene un ángulo de  $60^\circ$  y con un área de base de  $10\text{cm}^2$ , el manguito de fricción tiene un área de  $150\text{cm}^2$ , como se muestra en la **Figura 2.20**, tipos de cono, sus características y los parámetros que se

miden, y según donde se encuentre el filtro para medir la presión de poros ( $u$ ) esta adquiere diferentes nomenclaturas:

- $u_1$ : En el cono
- $u_2$ : Sobre el cono
- $u_3$ : Encima del manguito de fricción



**Figura 2.20** Tipos de conos y sus parámetros.

Fuente: Imagen tomada del sitio web: Geotechdata.info

El equipo consiste en un cono, con las dimensiones ya descritas, unido a varillas huecas por donde pasa el cable de los transductores que son los que miden las resistencias en punta, por fricción y la presión de poros.

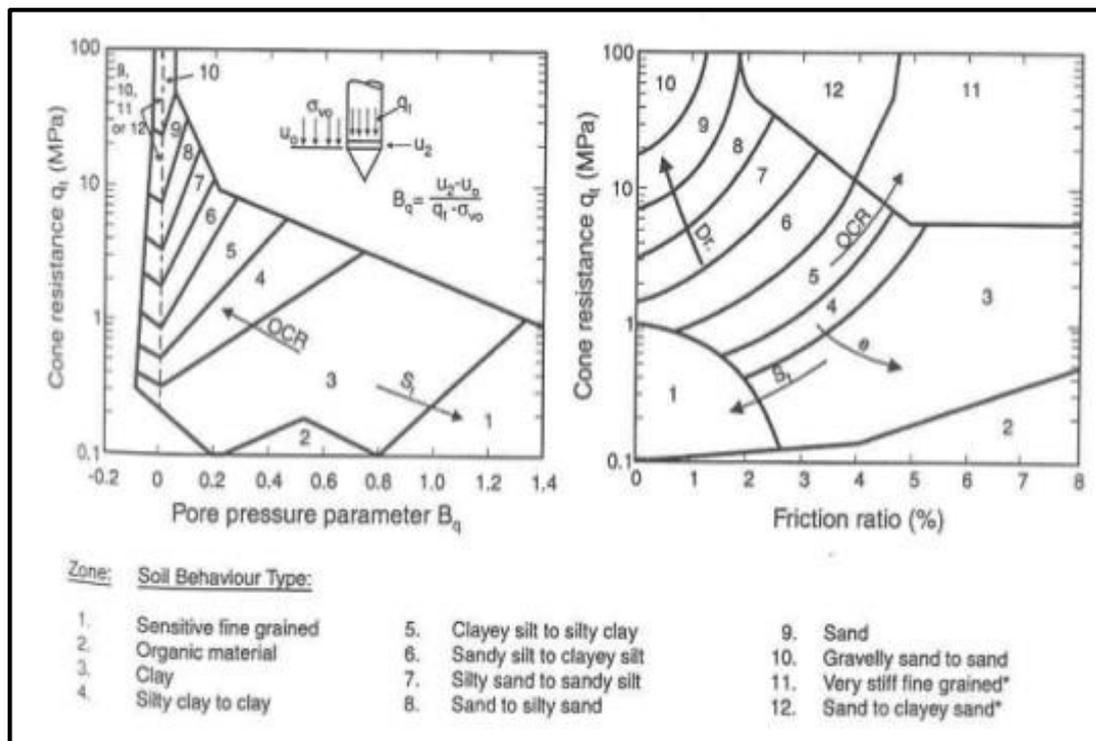
Entre las aplicaciones del ensayo tenemos que se puede medir la disipación de poros y como mencionamos con anterioridad poder realizar una clasificación y obtener una perfil estratigráfico del terreno. Existen algunos métodos para clasificar el suelo con el ensayo de CPT-u siendo uno de los más usados el método de clasificación de Robertson.

#### **Método de clasificación de Robertson (1986 y 1990)**

El ensayo da una guía para la caracterización mecánica del suelo como son los parámetros de resistencia y rigidez (Lunne, Robertson y Powell 1997); ya que no se puede esperar que el ensayo de lecturas exactas del tipo de suelo, por lo que a esta caracterización se la conoce como Tipos de Comportamiento de Suelo, "Soil Behaviour type" (SBT).

Los gráficos de (Robertson et al, 1986), usan esta caracterización (SBT), la tabla utiliza los parámetros básicos del ensayo como son la resistencia total del cono ( $q_t$ ) y la relación de fricción ( $R_f$ ) proporcionando predicciones razonables hasta los 20m de profundidad. Robertson los clasifico según el

tipo de suelo en 12 diferentes zonas y les asigno un número tal como se ve en la **Figura 2.21**.



**Figura 2.21** Tablas de clasificación de suelos con el ensayo CPT-u

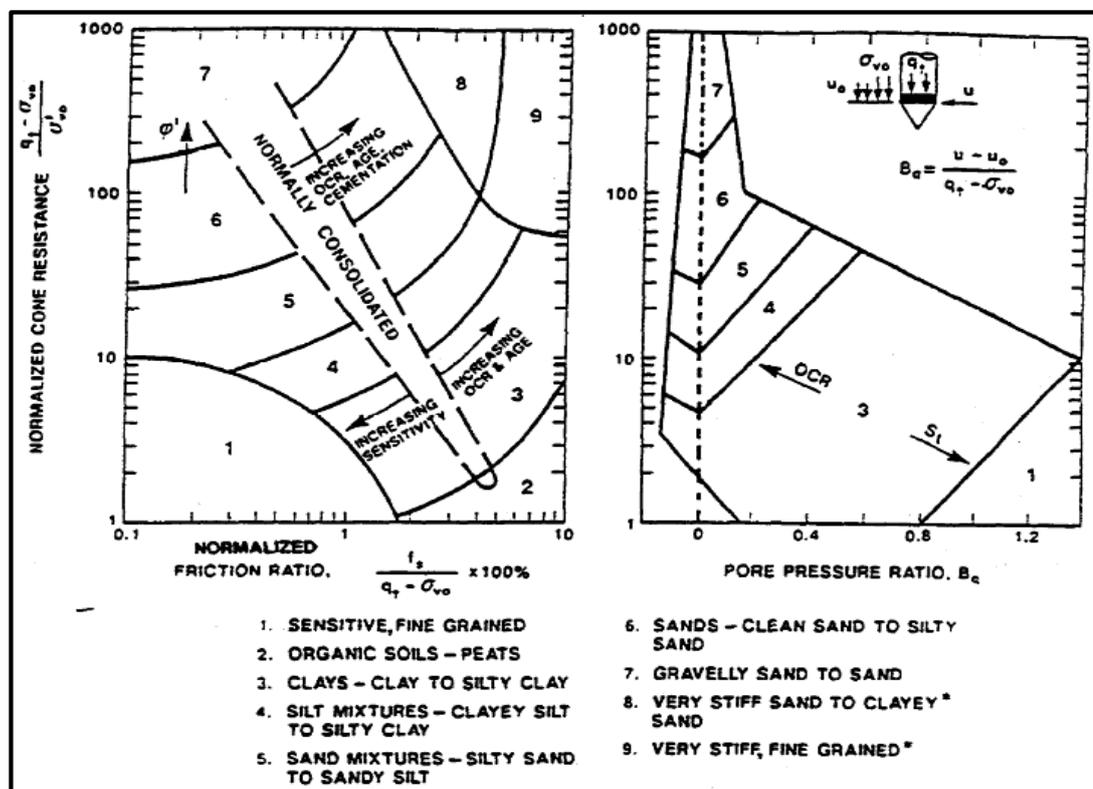
Fuente: Robertson et al, 1986.

Robertson (1990), presenta una nueva gráfica en la cual normaliza los parámetros medidos en la prueba en función del esfuerzo total y esfuerzo efectivo **Figura 2.22**, obteniendo nuevos parámetros:

- Resistencia del cono normalizada ( $Q_t$ )

- La relación de fricción normalizada ( $F_r$ )
- La relación de presión de poros ( $B_q$ )

Robertson simplifica de 12 a 9 zonas los tipos de suelo como se aprecia en la **TABLA VII.**



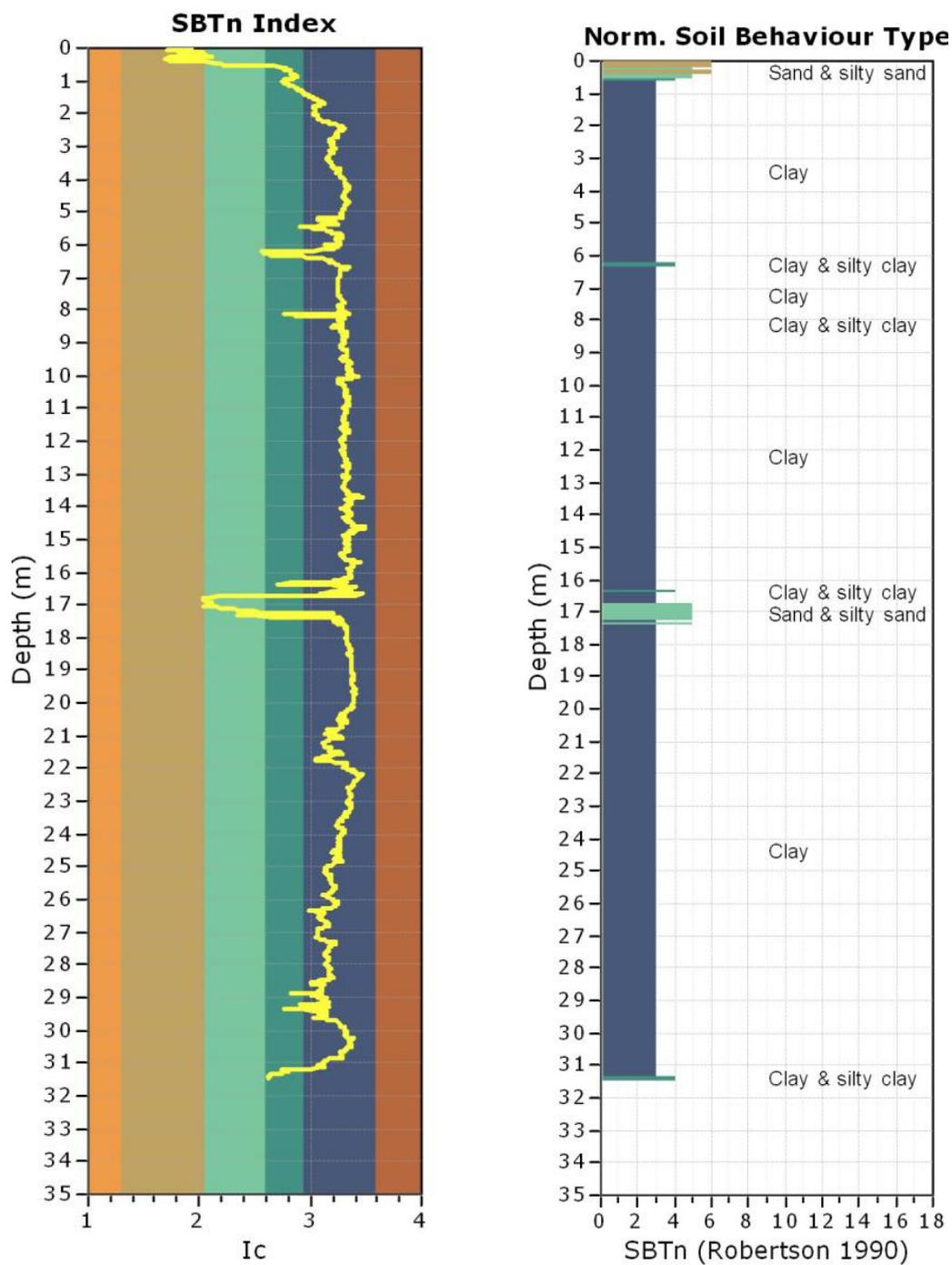
**Figura 2.22** Tablas de clasificación de suelos con el ensayo CPT-u normalizado

Fuente: Robertson, 1990.

**TABLA VII** Clasificaciones de suelos, comparación de Robertson (1986) y Robertson (1990)

Zona SBT Robertson et al 1986	Zona SBTn Robertson (1990)	Propuesta común de descripción SBT
1	1	Suelos finos sensitivos
2	2	Arcillas – suelos orgánicos
3	3	Arcillas: Arcillas a arcillas limosas
4&5	4	Mezclas de limos: Arcillas limosas y limos arcillosos
6&7	5	Mezclas de arenas: Arenas limosas a limos arenosos
8	6	Arenas: Arenas limpias a arenas limosas
9 & 10	7	Arena densa a arena gravosa
12	8	Arena firme a arena arcillosa (sobreconsolidada o cementada)
11	9	Suelos finos firmes (Sobreconsolidado o cementado)

Robertson simplifica la aplicación de las tablas de clasificación de suelo, combinando los parámetros normalizados  $Q_t$  y  $F_r$ , en el índice de comportamiento del tipo de suelo ( $I_c$ ), ver **Figura 2.23**, en donde  $I_c$  es el radio concéntrico que representa límites entre las zonas de la tabla (Robertson 2009). Hay que tener en cuenta que este índice no aplica para las zonas 1, 8 y 9. Estas tablas proporcionan sólo una guía del tipo de suelo y cómo se comporta.



**Figura 2.23** Gráficas de  $I_c$  con respecto al ensayo de CPT-u normalizado

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

### 2.3. Normas de control

Este subtema se tratara de las normas de control que regulan los ensayos, ya sea de exploración ó de análisis en laboratorio de suelos y que van a ser ejecutadas al momento de adquirir la data, tomar las muestras o analizarlas en el laboratorio de suelos. Estas normas están establecidas por la NEC 2015, capítulo de Geotecnia y Cimentaciones, para el manejo de regulaciones estándar y calidad en estudios geotécnicos y son elaborados por la **American Society of Testing Materials (ASTM)**.

Para la clasificación del suelo se basó en el método determinado por El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos **Unified Soil Classification System (SUCS)**, El sistema los clasifica por el tamaño de la partícula de suelo, suelos gruesos y los finos, distinguiendo ambos por el cribado a través de la malla No 200; las partículas gruesas son mayores que dicha malla y las finas menores. Un suelo se considera grueso si más del 50% de sus partículas son gruesas, y fino si más del 50% de sus partículas son finas, en relación de peso. Las arenas y las gravas (Gravel, **G**; Sand, **S**) son consideradas suelos gruesos, mientras que las arcillas y los limos (Clay, **C**; limos del sueco Mjala, **M**) son considerados suelos finos. También se clasifican las arcillas y limos de origen orgánico, **O**, y la materia orgánica, **PT**.

Las normas que regulan los ensayos de exploración geofísica son las siguientes:

Para los ensayos que corresponden al método Sísmico por refracción tenemos la norma ASTM D-5777 - 00(2011) e1 **Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation**. Esta guía resume los equipos, los procedimientos de campo, y la interpretación métodos utilizados para la determinación de la profundidad, el espesor y la velocidad sísmica del subsuelo y las rocas o materiales de ingeniería, utilizando el método de sísmica de refracción.

Las limitaciones de este método son: La velocidad de la onda sísmica calculada está relacionada con las propiedades mecánicas del material. Por lo tanto, la caracterización del material (tipo de roca, grado de meteorización, y rippability) se hace sobre la base de la velocidad sísmica y otra información geológica. Esta guía ofrece una visión general del método de sísmica de refracción utilizando ondas de compresión (P). No se ocupa de los detalles de la teoría de la sísmica de refracción, los procedimientos de campo, o la interpretación de los datos. En esta guía se limita al método que se usa para las mediciones de refracción sísmica realizadas en tierra. El método de refracción sísmica puede ser adaptado para un número de usos especiales, en tierra, dentro de un pozo de agua. La medición de las ondas de corte

sísmicos es un subconjunto de refracción sísmica. Esta guía no pretende incluir este tema y se centra sólo en las mediciones de ondas P.

Para los ensayos que corresponden al método Eléctrico tenemos la norma ASTM D-6431 - 99(2010) **Standard Guide for Using the Direct Current Resistivity Method for Subsurface investigation**. La técnica de resistividad se utiliza para medir la resistividad de los materiales del subsuelo.

Las limitaciones específicas para el método de resistividad son las siguientes: Mientras que el método de resistividad se utiliza para medir la resistividad de materiales de la tierra, es el intérprete quien basado en el conocimiento de las condiciones geológicas locales y otros datos, debe interpretar los datos de resistividad y llegar a una interpretación geológica e hidrológica razonable. El método de la resistividad es sensible a las interferencias eléctricas de una variedad de fuentes. Materiales extremadamente resistentes evitarán inyección de corriente en el suelo. El método de interpretación asume las condiciones de las capas, horizontales o paralelas, donde cada capa tiene una resistividad eléctrica uniforme. Las capas finas o múltiples capas con resistividades similares no se pueden detectar. Es sensible a interferencias eléctricas.

Las normas que regulan los ensayos de exploración directa son las siguientes:

Para los ensayos que corresponden al método de penetración estándar tenemos la norma ASTM D-1586 - 11 **Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils**. Este método provee muestras de suelo alteradas para propósitos de identificación y clasificación y para análisis de laboratorio apropiados para estos suelos. Este método es el más común usado en estudios geotécnicos para estimar las condiciones de diseño de los cimientos, de los que se han resultado muchas correlaciones locales para corregir el valor del NSPT.

La principal desventaja de este método es el tamaño de la partícula de suelo, el método es bastante aceptable en suelos finos y hasta arenosos, mientras que se complica su uso en suelos gravosos. El método involucra también sistemas de perforación a rotación.

Para los ensayos que corresponden al método de penetración de cono CPTu tenemos la norma ASTM D-5778 - 12 **Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils**. Este método provee un registro detallado de la resistencia del cono que puede ser usado en la evaluación de sitios estratigráficos, homogeneidad y profundidad de capas firmes, cavidades u otras discontinuidades. Este método usa la presión

en punta, la resistencia por fricción y la presión de poro para estimar las propiedades de los suelos. Además puede realizar disipación de la presión de poro para estimar valores de consolidación y permeabilidad.

La limitante para este método es el tamaño de partícula de suelo, funciona bien en suelos finos, además que con este método no se pueden recuperar muestras de suelos para análisis en el laboratorio.

Las normas que regulan los ensayos de análisis de muestras en el laboratorio son las siguientes:

Ensayo para determinar los límites de Atterberg tenemos la norma ASTM D.4318 **Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.**

Ensayo para determinar el contenido de agua tenemos la norma ASTM D-2216 - 10 **Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.**

Obtención de muestras para probetas de ensayo, Método para tubos de pared delgada, tubos Shelby, tenemos la norma ASTM D-1587 **Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes.**

Ensayo para análisis granulométrico tenemos la norma ASTM D-422. **Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.** Este método determina la distribución del tamaño de las partículas por medio de los porcentajes retenidos en los Tamices, la limitante para este ensayo son las partículas menores a 75 micrómetros o retenida en el tamiz #200, esta partícula se clasifica por un procesos de sedimentación llamado Hidrómetro.

# CAPÍTULO III

## 3. METODOLOGÍA

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), decide que el ingeniero responsable de los estudios geotécnicos deberá investigar sobre las características del sitio donde se ejecutara la obra designada y da orientación de los acápites que puede requerir en sus estudios:

- Geología.
- Clima.
- Vegetación.
- Edificaciones e infraestructuras vecinas.
- Estudios anteriores.

- Otros aspectos adicionales que el ingeniero geotécnico considere necesarios.

Para la realización de este proyecto de investigación se adoptó la siguiente metodología:

- Compendio de la información existente.
- Identificación de las unidades geológicas existentes en la zona de estudio.
- Interpretación precedente a la campaña de exploración y selección de métodos de exploración.
- Recopilación y procesamiento de datos y análisis de laboratorio.
- Elaboración de perfiles y columnas estratigráficas con la información obtenida.
- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos, que reflejan la consecución de los objetivos.

La misma que se encuentra detallada a continuación.

### **3.1. Columna estratigráfica preliminar**

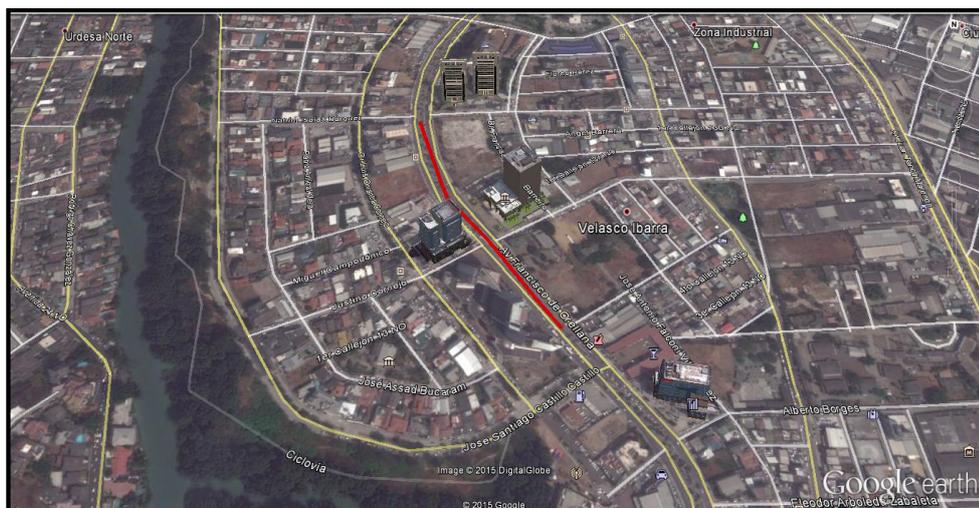
Como parte fundamental en la elaboración de este proyecto de investigación se realizó la construcción de una columna estratigráfica preliminar consultando información geológica cercana a la zona de estudio y que se encuentre dentro del mismo ambiente de depositación, y que nos dará detalles acerca de: la disposición de los estratos del subsuelo, la secuencia estratigráfica que existe en la zona y los espesores de cada estrato. Con esta información previa podemos aproximar los espesores y tipos de suelos que encontraremos en el área de estudio y realizar una campaña de exploración, que se ajuste a cada tipo de suelo y sea rentable económicamente.

#### **3.1.1. Reconocimiento de la zona de estudio**

La zona de estudio, ya previamente ubicada en la ciudad de Guayaquil, avenida Francisco de Orellana y limitada por las calles Nahin Isaías Barquet y Pompilio Ulloa Reyes. Se encuentra en la parte norte de la urbe porteña, una de las zonas más transitadas de la ciudad donde se ubican grandes estructuras como lo son: en la parte norte el hotel Hilton Colon, en la parte central al oeste el edificio del Banco del Pichincha y el edificio del Gobierno Zonal de Guayaquil al este, en la parte suroeste las torres del World Trade Center y un poco más al sur alejada del área de estudio el Edificio Matriz

Claro, como se puede observar en la **Figura 3.24**, la línea de color rojo representa el perfil visto en planta.

Así como hay grandes estructuras, hay construcciones más pequeñas de orden comercial que están ubicadas en la parte oeste de la vía, en la parte este hay grandes áreas que actualmente se encuentran vacíos. Estos terrenos nos indica el tipo de relleno que hubo en la zona previa a la construcción de las edificaciones aledañas además de la fauna y flora existente aun en la zona.



**Figura 3.24** Vista de las edificaciones cercanas a la zona de estudio.

Fuente: Google Earth 2015.

### **3.1.2. Caracterización geológica de la zona de estudio**

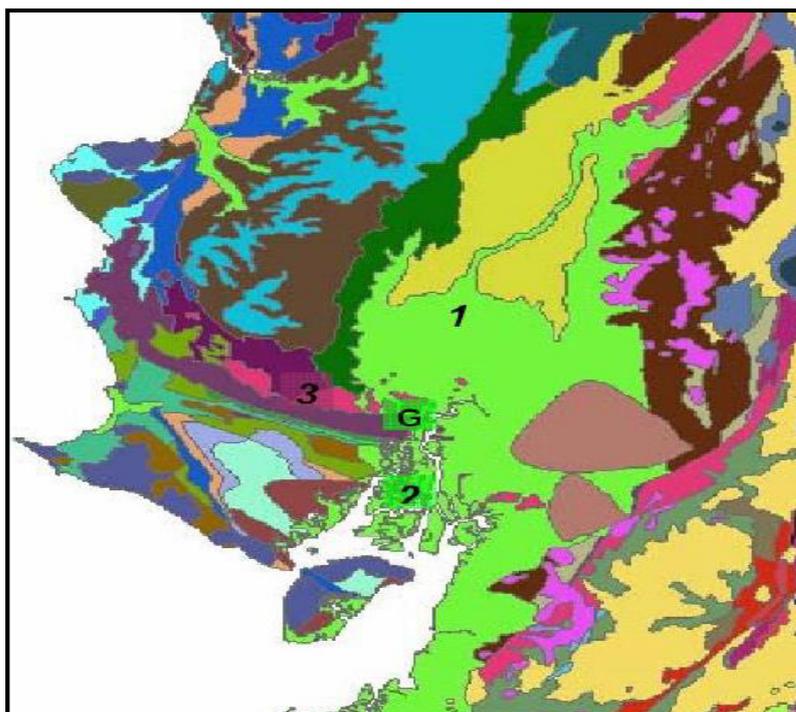
La ciudad de Guayaquil está ubicada en la costa ecuatoriana, al occidente de la cordillera de los Andes, donde por procesos de su formación encontramos desde rocas mesozoicas, cenozoicas y depósitos sedimentarios cuaternarios hasta emplazamientos volcánicos y plutónicos.

Siguiendo la secuencia estratigráfica de las formaciones geológicas presentes en la ciudad obtenemos lo siguiente: El basamento está conformada por rocas de origen volcánico, Formación Piñon (Jurásico-Cretácico), que corresponden a rocas basálticas con pillow lavas, diabasas y piroclastos; seguido encontramos las rocas de la Formación Cayo (Cretáceo superior), rocas de origen vulcano-clásticas de ambiente marino profundo de hasta 3000 m de espesor que corresponden a lutitas calcáreas, lutitas tobáceas, grauwas, brechas y aglomerados; luego encontramos las rocas de la formación Guayaquil (Benítez S., 1985), de 450 m de espesor y corresponden a lutitas silíceas y por último encontramos las rocas de la formación San Eduardo (Eoceno Superior), que corresponden a rocas calcáreas y depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y deltaico-estuarino.

La ciudad de Guayaquil se encuentra ubicada sobre 3 macrodominios geomorfológicos importantes (E. Benítez, 2005), estos son:

1. La Llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo
2. El complejo Deltaico-Estuarino de la Ría Guayas
3. La Cordillera costanera de Chongón Colonche

De acuerdo con el mapa geomorfológico presentado en la **Figura 3.25** nuestro proyecto se ubica en el complejo Deltaico-Estuarino de la Ría Guayas.



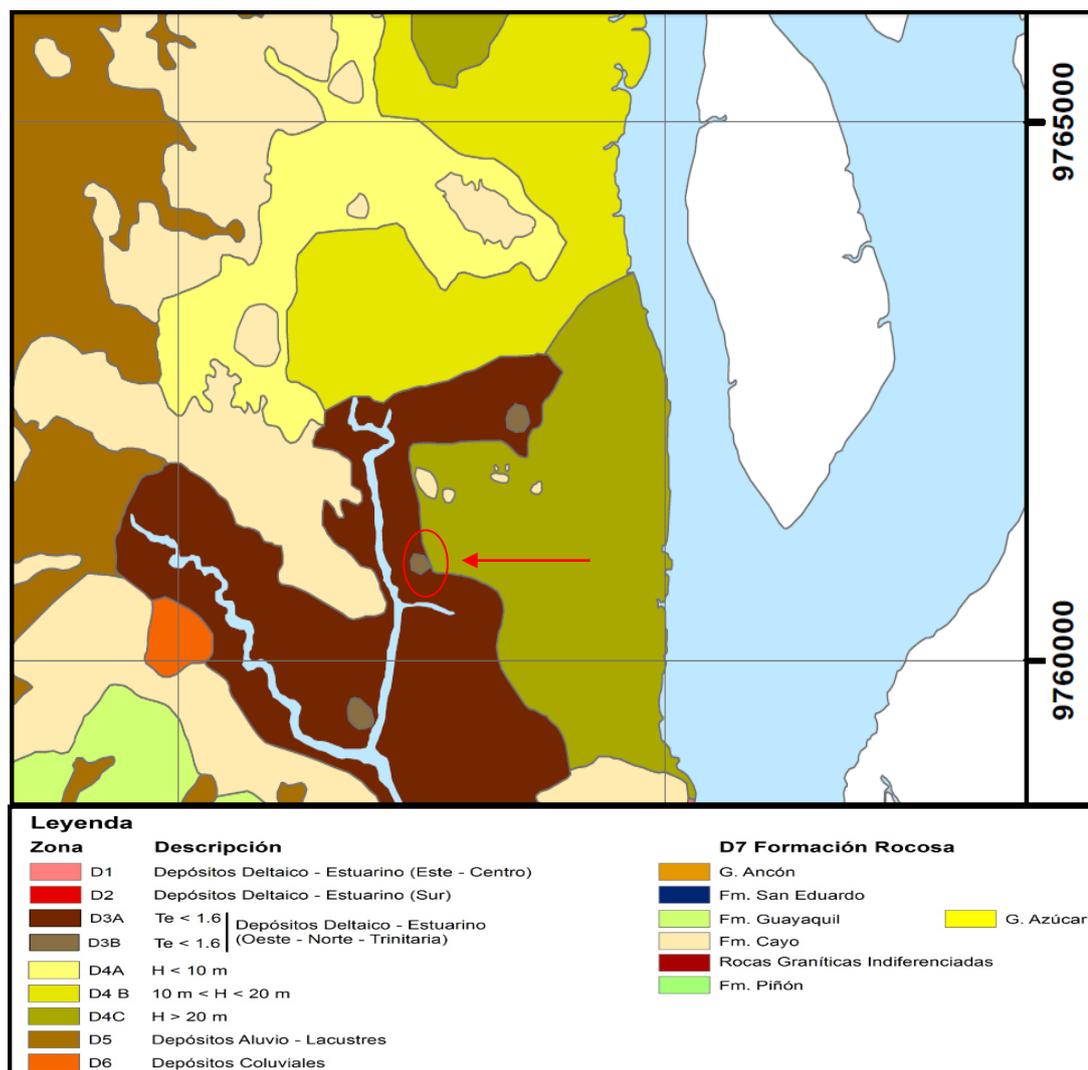
**Figura 3.25** Mapa geomorfológico, macrodominios de la ciudad de Guayaquil: 1- Llanura aluvial de los ríos Daule y Babahoyo; 2- Complejo deltaico-estuarino de la ría Guayas; 3- Cordillera Chongon-Colonche; G- Guayaquil.

Fuente: E. Benítez, 2005

Luego de consultar el mapa geomorfológico y regresando al mapa geológico consultado (X. Vera Grunauer, 2014), en la **Figura 3.26**, se evidencia que el área donde se ejecutara el proyecto está ubicada en depósitos de suelo correspondientes al complejo Deltaico Estuarino de la Ría Guayas, zona D, la zona de estudio se encuentra marcado con un círculo rojo dentro de la misma **Figura 3.26**. La mayor parte de la ciudad se encuentra localizada sobre este ambiente de depositación, que comprende suelos arcillosos, arcillo limosos y limo arenosos.

Esta clasificación se puede subdividir en tres depósitos diferentes: D-1, D-2 y D-3, esta subdivisión es posible probablemente debido a que las partículas suspendidas fueron expuestas a diferentes regímenes de agua incluyendo marina, salobre o de agua dulce, modificando así las propiedades geotécnicas de los suelos depositados (Vera Grunauer et al., 2005). El área de estudio se encuentra localizada al norte de los depósitos Deltaico-Estuarino determinada como zona D-3.

La zona D-3 puede clasificarse como D3A o D3B de acuerdo al periodo elástico de los suelos como respuesta ante un movimiento sísmico. Los rangos de valores de los periodos elásticos asignados son: para D3A  $1,4 < T_e < 1,6$ , y para D3B  $1,6 < T_e < 1,8$ .



**Figura 3.26** Ampliación del Mapa Geotécnico de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: Vera Grunauer et al., 2014.

### 3.1.3. Estudios geotécnicos de obras cercanas

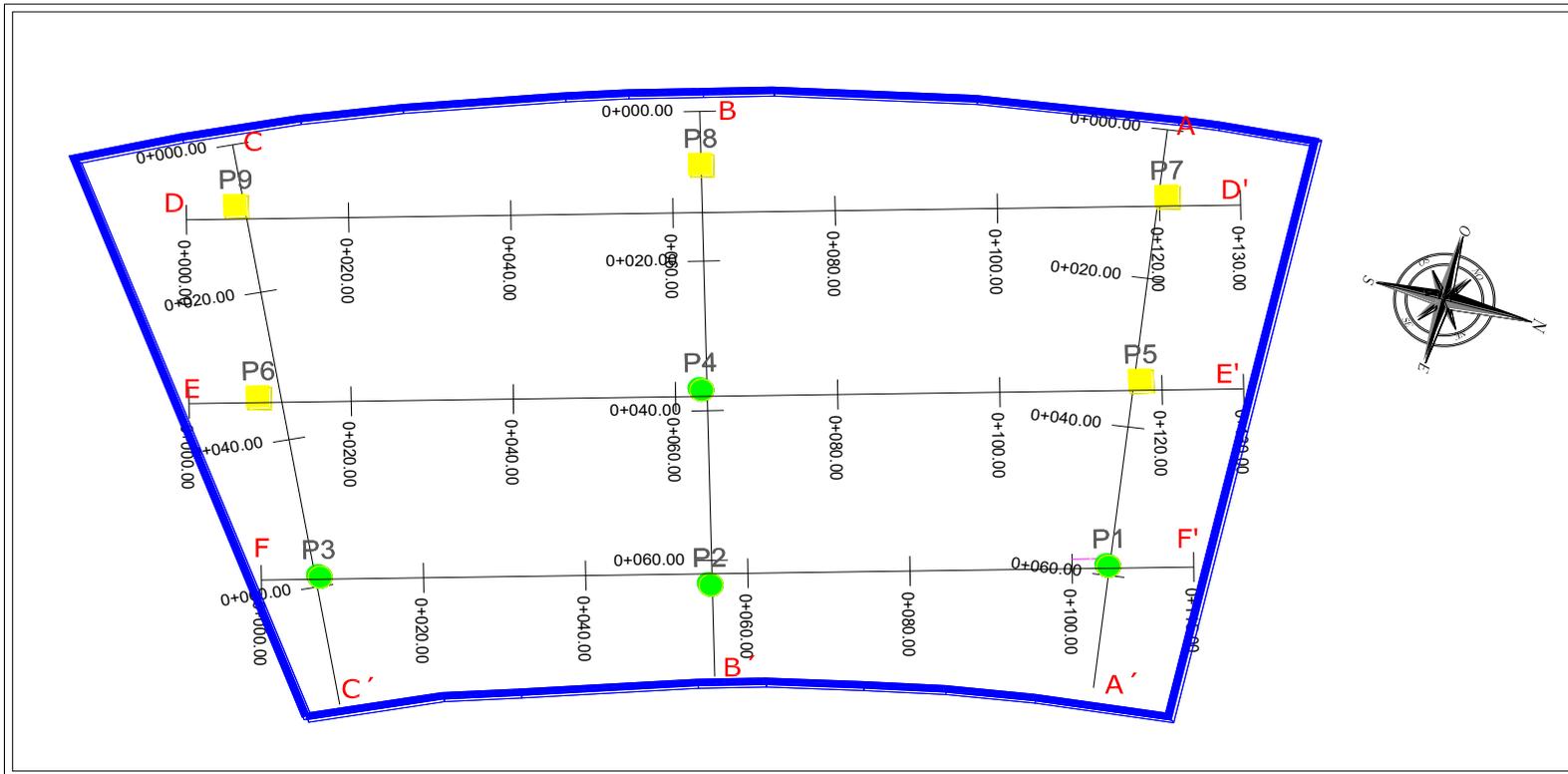
Para poder realizar el perfil en la zona de estudio, se obtuvo información de estudios previos proporcionada por la empresa Geoestudios S.A de una obra cercana como son parámetros geotécnicos de 9 sondeos mecánicos realizados por Asesorías y Estudios Técnicos C. Ltda. (AET), información que ha servido para conocer la variación espacial de los geomateriales en el sitio del proyecto.

La ubicación de las perforaciones P1 al P9, vista en planta se ha incluido en la **Figura 3.27** y en la **Figura 3.28**, la primera muestra la ubicación de las perforaciones en una imagen satelital del terreno tomada del Google 2015 y la segunda muestra la ubicación de las perforaciones y los perfiles que se realizaron con ellos en las secciones AA', BB', CC', DD', EE', FF'.



**Figura 3.27** Ubicación de sondeos cercanos a nuestra zona de estudio.

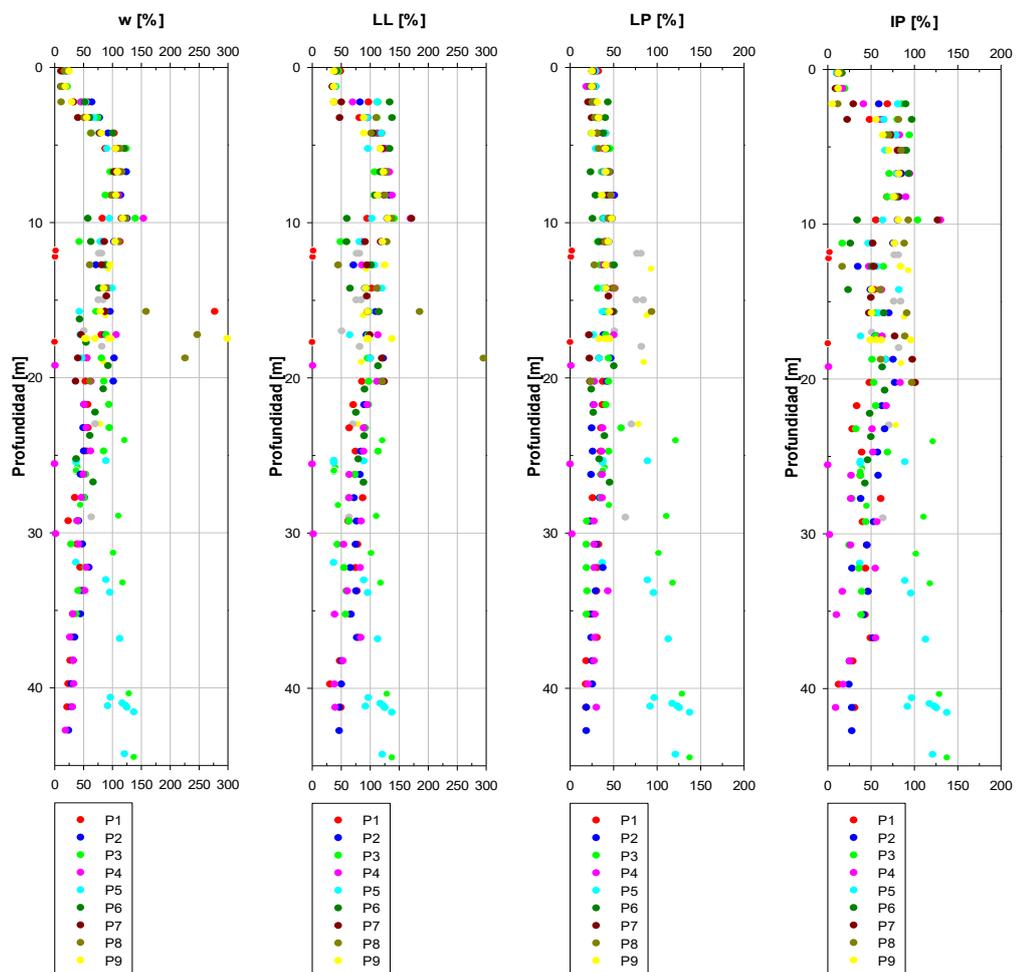
Fuente: Google Earth 2015.



**Figura 3.28** Ubicación de sondeos de una obra cercana (vista en planta)

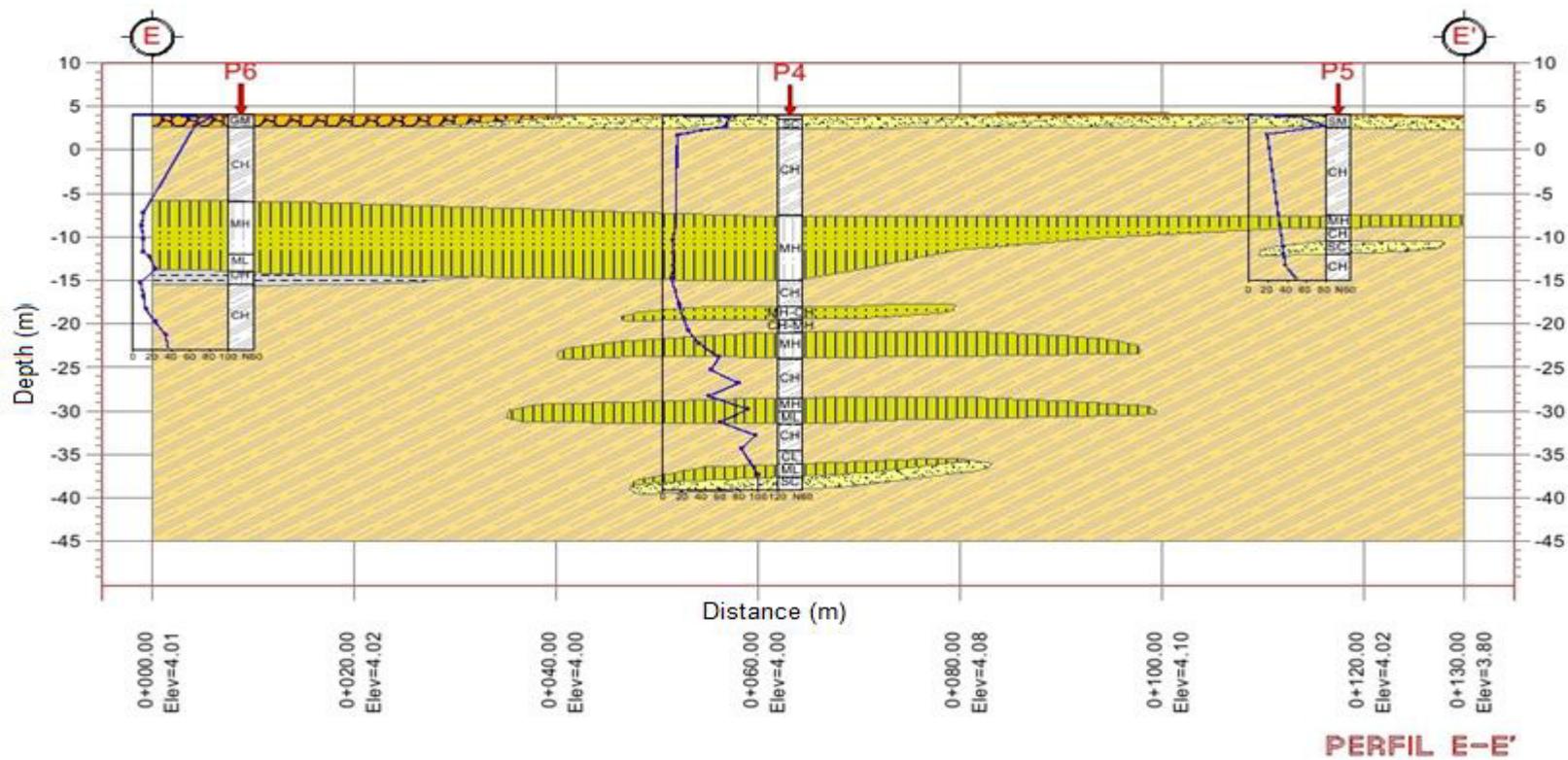
Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

Los parámetros geotécnicos como el contenido de humedad, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad obtenidos de los ensayos de laboratorio para las perforaciones P1 al P9, se presentan en la **Figura 3.29** y un perfil geotécnico construido a partir de estas perforaciones lo encontramos en la **Figura 3.30**, perfil Geotécnico de la sección EE'.



**Figura 3.29** Parámetros Geotécnicos de perforaciones de una obra cercana.

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.



**Figura 3.30** Perfil Geotécnico de la sección EE'

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

Como se muestra en el perfil EE', **Figura 3.30**, tenemos un relleno de espesor variable de aproximadamente 2 metros, seguidos de un estrato de arcillas de alta plasticidad (CH) de consistencia blanda a muy blanda de un espesor de entre 8 a 10 metros, continua la estratigrafía con un estrato de limo de espesor muy variable, en los sondeos P6 (5 m), P4 (4 m) y P5 (1 m).

La P5 a una profundidad estimada de 11 metros posee una intercalación de arena de 1 m de espesor; Mientras que la P6 a una profundidad estimada de 15 m presenta una capa de arcilla con residuos de materia orgánica de espesor 1,50 m. La P5 y P6 finalizan con un espesor de arcilla de 3 a 8 m, que van desde una consistencia firme a dura a medida que avanza en profundidad.

La P4 por su lado presenta estratos arcillosos con intercalaciones de capas de limos cuyas consistencias varían de rígidas a duras. Al final en la P4 se observa una capa de arenas arcillosa de compacidades muy densas.

Esta estratigrafía es consistente con los suelos Estuarinos los cuales consisten principalmente en arcilla limosa de coloración gris verdosa con láminas de arena limosa.

Adicionalmente, se pudo obtener información geotécnica de varios sondeos cercanos a la zona de estudio, realizados por la consultora NYLIC y proporcionados por la empresa GEOESTUDIOS S.A. Estos sondeos permitieron corroborar la profundidad del estrato resistente. Aunque no se posee coordenadas precisas de la ubicación de los sondeos se pueden proyectar en el perfil geológico-geotécnico para caracterizar los estratos de la zona de estudio.

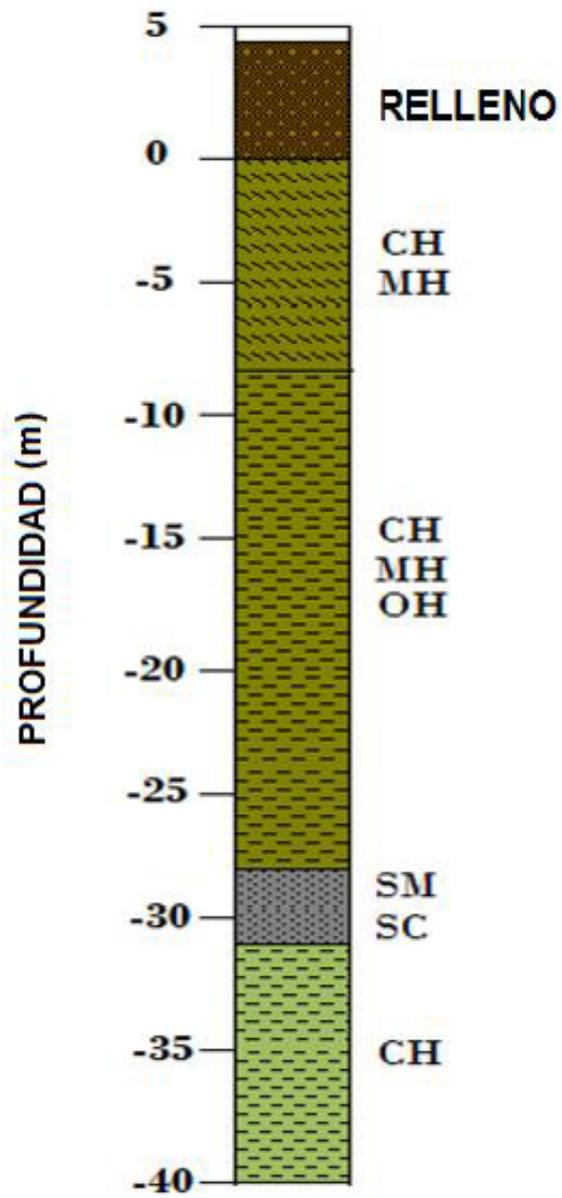
Con esta información se puede ya pensar en la selección de métodos para la campaña de exploración definitiva que servirá para obtener nuestro perfil Geológico-Geotécnico del proyecto.

#### **3.1.4. Construcción de la columna estratigráfica preliminar**

De acuerdo a la información consultada previamente, se espera que los suelos bajo la zona de estudio se comporten de acuerdo a la siguiente columna estratigráfica mostrada en la **Figura 2.31**.

- Una capa superior de material de relleno de 3 a 4 metros de espesor.
- Seguido de un estrato de arcilla o arcilla limosa, con plasticidad alta, humedad natural muy alta a saturado, de consistencia blanda a muy blanda, con  $N_{60} < 20$  y espesor aproximado de 6 a 8 metros.

- Luego aparece un estrato de arcilla gris verdosa con intercalaciones de lentes de arena fina gris, de consistencia blanda, puede contener restos de materia orgánica, con un porcentaje de humedad que disminuye con la profundidad, con un  $20 < N_{60} < 40$  y espesores de 20 a 30 metros. Al final de esta serie se puede encontrar capas pequeñas de orden decimétrica de arena fina gris intercalado con arcilla o limos gris verdoso.
- Podríamos encontrar en algunos sondeos estratos de arena de grano fino a medio, limosa, de coloración gris a gris verdosa, que podrían llegar a los 5 metros de espesor.
- Al final tenemos una arcilla de color gris verdosa, de consistencia rígida, con un  $N_{60} > 40$ , con una humedad natural baja.



**Figura 3.31** Columna Estratigráfica Preliminar.

Fuente: Elaborado por los autores.

## **3.2. Selección de métodos de exploración**

Con la información de la visita a la zona de estudio, la geología de sitio y el perfil preliminar realizado con los sondeos de obras cercanas tenemos idea de los geomateriales que se encuentran en el área del proyecto y como están dispuestos en el subsuelo. En base a estos conocimientos previos estableceremos una campaña de exploración acorde a las propiedades de estos materiales, campaña que comprenderá tanto métodos indirectos como directos en su ejecución. A continuación se describirán los métodos seleccionados para la exploración.

### **3.2.1. Métodos indirectos**

Los métodos de exploración geofísica corresponden a ensayos realizados en superficie que reflejan las diferentes propiedades del subsuelo y que pueden llegar a ser muy exactas en su descripción, sin embargo cada uno de estos ensayos tienen ventajas y desventajas, establecidas como parte de su concepción, para cada tipo de depósito de suelo.

Estos depósitos de suelo, deltaico-estuarino, varían su composición entre arcillas, limos y arenas, al existir una capa de relleno en la superficie, aproximadamente 3 a 5 m, que se encuentra compacta en relación a la capa inferior, que corresponde a arcillas o limos arenosos con intercalaciones de

láminas de arena fina con espesores de 25 m aproximadamente, antes de llegar al estrato resistente. El contraste entre las velocidades de las capas es variable, resultando en capas blandas coexistiendo entre capas más rígidas.

Conociendo este fenómeno, lo más lógico es evitar la utilización del método de Línea Sísmica de Refracción, LSR, cuya principal desventaja es el poder captar capas de material más blando entre capas de material más rígido, basado en su principio fundamental que es: la velocidad de propagación de la onda es estrictamente creciente con la profundidad. Además por ser esta una zona muy transitada, las ondas generadas por procesos antropológicos, ofrecen cierta interferencia al momento de captar la señal, lo que causaría un incremento en el ruido y un fallo en la interpretación de los datos.

El método de Refracción de Microtremores, REMI, dentro del método sísmico, es con el que se va a obtener mayor beneficio al ejecutarse ya que puede captar esas capas menos de menor resistencia entre capas de mayor resistencia, y el ruido generado por los procesos antropológicos ayudaría al registro de las ondas con una excelente profundidad de lectura de 50 a 70 m.

El método MASW, a diferencia del REMI, la máxima profundidad de investigación suele ser de 20 a 30 m. también puede captar capas blandas entre capas más rígidas. La combinación de los métodos MASW y REMI, permiten obtener perfiles de ondas S hasta profundidades promedio de 60 a

100 m. de penetración con una lectura más próxima y detallada que si lo analizaran por separado.

Los sondeos eléctricos verticales son una buena fuente de información ya que nos da los valores de resistividad de los suelos en relación con la profundidad es de fácil ejecución y interpretación. Sin embargo la limitante en este caso particular es la abertura máxima para cada ensayo y los errores inducidos por fuentes cercanas como cables de energía eléctrica por ejemplo.

Las ventajas del dispositivo Schlumberger: son menos susceptibles a problemas de contacto y la influencia de las condiciones geológicas cercanas que pueden afectar a las lecturas. El dispositivo proporciona un medio para reconocer los efectos de variaciones laterales y corregir parcialmente para ellos, son ligeramente más rápido en operaciones de campo, ya que sólo los electrodos de corriente se deben mover entre las lecturas.

Las ventajas del dispositivo Wenner: proporciona una señal a ruido más alto que otras matrices debido a sus potenciales electrodos son siempre más separados y situados entre los electrodos de corriente, por lo que mide una tensión más grande para una corriente dada que se mide con otros dispositivos. Es óptima en ambientes con mucho ruido, como las zonas

urbanas. Esta variedad requiere menos corriente para una capacidad de profundidad dada, requiriendo menos recursos en su aplicación.

Las ventajas del dispositivo dipolo-dipolo: Se requieren longitudes de cable relativamente cortos para explorar las grandes profundidades, reduciendo las fugas de corriente. Se obtiene información más detallada sobre la dirección de la caída de los horizontes eléctricos.

Para la realización de este proyecto se ha escogido los siguientes ensayos por métodos indirectos:

- Por el Método Sísmico

1. Refracción de Microtremores REMI.
2. Análisis Multicanal de Ondas Superficiales MASW.

- Por el método Eléctrico

1. Sondeo Eléctrico Vertical SEV. Con el dispositivo de lectura Schlumberger, con una razón de  $1/5AB=MN$ .

### 3.2.2. Métodos directos

Para la zona de estudio se deberá definir la campaña de exploración definitiva con sondeos a roto-percusión y CPTu:

- Sondeos exploratorios, que incluyan obtención de muestras en suelo, alteradas, con el Ensayo de Penetración Estándar SPT, e inalteradas por medio de tubos Shelby, además de extracción de muestras de suelos coluviales sobreconsolidados, usando un equipo a rotación, con un muestreador tipo doble barril de diámetro NQ, con brocas de diamante
- Ejecución de ensayos de laboratorio en muestras de suelo
- Ejecución de ensayos de CPT-u

El número de sondeos necesarios para realizar los estudios de cimentación y la profundidad de los mismos se determinan en base al número de unidades de construcción y a su categoría. La **TABLA VIII**, tomada de la NEC 2015, muestra dicha información dependiendo de la categoría de la unidad de construcción.

**TABLA VIII** Cuadro de Categorías según Niveles de Construcción.

	<b>SEGÚN LOS NIVELES DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>SEGÚN LAS CARGAS MÁXIMAS DE SERVICIO EN COLUMNAS (KN)</b>
<b>BAJA</b>	Hasta 3 niveles	Menores de 800
<b>MEDIA</b>	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4000
<b>ALTA</b>	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4001 y 8000
<b>ESPECIAL</b>	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8000

Fuente: *NEC-2015*

El número mínimo de sondeos para cada unidad de construcción de la categoría especial debe ser 5 y la profundidad mínima 30 m, **TABLA IX**. Según lo estipula la NEC 2015, los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos ejecutados. Por lo tanto se requiere que el número de perforaciones debe ser superior al de ensayos de CPT-u.

**TABLA IX** Cuadro de Categoría de Unidades de Construcción.

CATEGORÍA DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN			
<b>Categoría Baja</b>	<b>Categoría Media</b>	<b>Categoría Alta</b>	<b>Categoría Especial</b>
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m.	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m.
Número mínimo de sondeos: 3	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 5
* El número mínimo de perforaciones serán tres			
* Los sondeos realizados en la frontera entre unidades adyacentes de construcción de un mismo proyecto, se pueden considerar válidos para las dos unidades siempre y cuando domine la mayor profundidad aplicable.			

Fuente: *NEC-2011*

# **CAPÍTULO IV**

## **4. OBTENCIÓN DE DATOS USANDO MÉTODOS DIRECTOS E INDIRECTOS**

La obtención de los datos para este proyecto se realizó en campo, en el área determinada para la ejecución del proyecto. Se realizaron ensayos de geofísica y sondeos mecánicos cuyos datos son obtenidos con las características a continuación descritas para cada método.

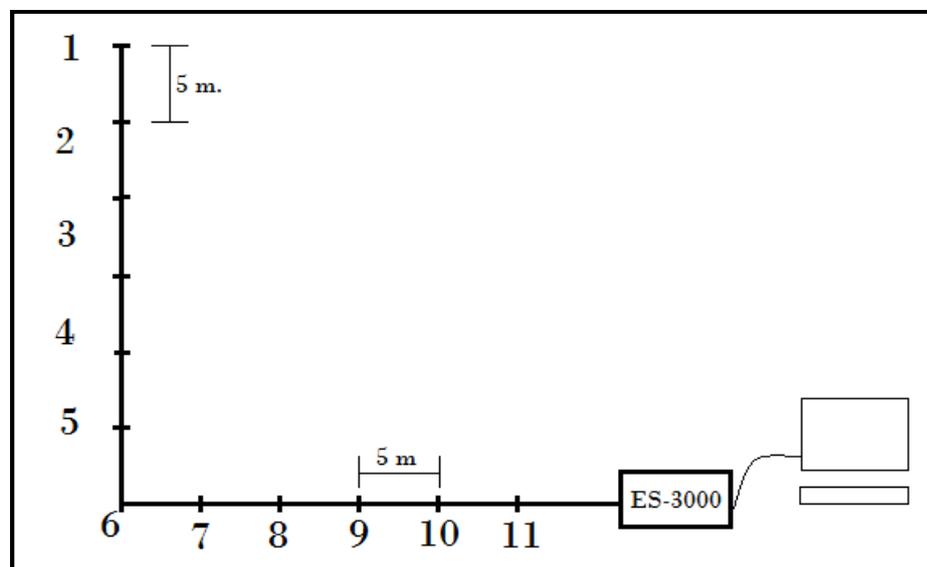
### **4.1. Datos geofísicos (M. Indirecto)**

Los datos obtenidos en los ensayos geofísicos corresponden a ensayos de: sísmica de refracción por los métodos de refracción de microtemores (REMI) y análisis multicanal de ondas superficiales (MASW) y de sondeo eléctrico vertical (SEV).

### Refracción de Microtremores (REMI)

Los datos correspondientes a los ensayos de sismica de refracción fueron adquiridos con el equipo de sismica ES-3000, con el software SEISMODULE CONTROLLER de la marca GEOMETRICS.

El ensayo de refracción de microtremores se realizó con el siguiente arreglo geométrico: 11-L 5m, que corresponden a 11 geófonos dispuestos de forma equidistante, 5 metros, y colocados en L de tal manera que el sexto geófono sería el centro de lectura y el vértice del arreglo geométrico en superficie como se muestra en la **Figura 4.32**.



**Figura 4.32** Muestra la disposición de los geófonos al momento de la toma de datos en el ensayo REMI.

Fuente: *Elaborado por los autores*

Al realizar este tipo de ensayo se tomó una serie de datos, aproximadamente 25 datos, con las siguientes características en su adquisición:

- ✓ Periodo de lectura de 30 segundos
  
- ✓ Intervalos de lectura de 2.000 milisegundos
  
- ✓ Una longitud máxima de lectura de 131.072 segundos
  
- ✓ Tamaño de la memoria aproximado de 1.50 MB por cada lectura.
  
- ✓ Se evitó el uso de filtros, ya que se requiere analizar las frecuencias naturales del medio.

Los datos generados fueron guardados en una carpeta exclusiva para cada ensayo.

### **Análisis Multicanal de Ondas Superficiales (MASW)**

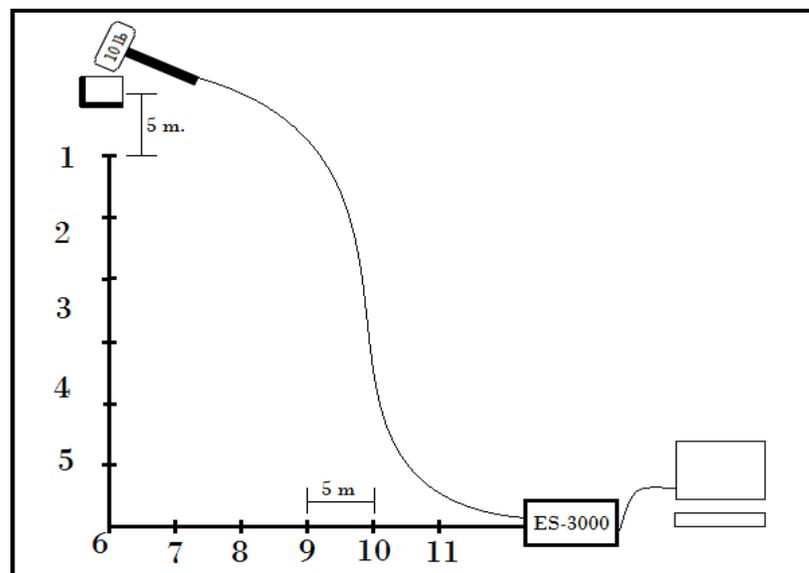
Este ensayo se realizó con un arreglo geométrico similar al del ensayo REMI, 11-L 5m, donde se obtuvo varios datos con las siguientes características:

- ✓ Periodo de lectura de 3 segundos

- ✓ Intervalos de lectura de 0.500 milisegundos
- ✓ Una longitud máxima de lectura de 32.768 segundos
- ✓ Tamaño de la memoria aproximado de 600 KB por cada lectura.

Los datos generados fueron guardados en una carpeta exclusiva para cada ensayo.

Al ser este un método activo, se generó ondas sísmicas a través de un martillo de 10 libras aproximadamente, fuera de la zona de lectura a una distancia mínima equivalente al 10% de la línea sísmica, 5 metros, como se muestra en la **Figura 4.33**.



**Figura 4.33** Disposición de geófonos en toma de datos en el ensayo MASW.

Fuente: *Elaborado por los autores*

A continuación en la **TABLA X**, mostramos las ubicaciones de los ensayo por el método sísmico, REMI y MASW, con sus respectivas coordenadas.

**TABLA X** Ubicación de Ensayos REMI y MASW

<b>Código</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Coord. Norte</b>
REMI 1; MASW 1	622694	9760895
REMI 2; MASW 2	622521	9761104

### **Sondeos eléctricos verticales (SEV)**

El ensayo de SEV se realizó utilizando el dispositivo de lectura Schlumberger en el cual se obtienen los valores de resistividad aparente de cada estrato. Los datos en este ensayo fueron adquiridos con el equipo MiniSting de la marca Advance Geosciences, Inc. (AGI), que tiene las siguientes características:

- ✓ Ejecuta los siguientes ensayos: resistividad aparente, potencial espontaneo, polarización inducida.
- ✓ Rango de medidas de resistividad desde  $1 \mu\Omega$  hasta  $400K\Omega$
- ✓ Intensidad de corriente transmitida desde 1 mA hasta 500 mA

- ✓ Exactitud en la lectura, el sistema muestra el error en porcentaje cada lectura.
- ✓ Varios dispositivos de lectura: Wenner, Schlumberger, Polo-Dipolo, Dipolo-Dipolo.
- ✓ Memoria interna hasta 3000 lecturas

Se realizaron dos ensayos de SEV en lugares específicos dentro del área de estudio, ver coordenadas en la **TABLA XI**, donde se tomaron las resistividades aparentes de cada estrato.

**TABLA XI** Ubicación de Ensayos SEV

<b>Código</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Coord. Norte</b>
SEV-1	622678	9760894
SEV-2	622519	9761086

La abertura final del ensayo fue de 60 metros con un arreglo geométrico de  $1/5(AB) = (MN)$ , y se obtuvieron los siguientes resultados de resistividades aparentes para los SEV 1 y SEV 2, como se muestra en la **TABLA XII**.

**TABLA XII** Valores del arreglo geométrico de electrodos, pa SEV-1 y pa SEV-2 son las resistividades aparentes en cada sondeo.

<b>N°</b>	<b>AB</b> (m)	<b>AB/2</b> (m)	<b>MN</b> (m)	<b>MN/2</b> (m)	<b>pa SEV-1</b> ( $\Omega/m$ )	<b>pa SEV-2</b> ( $\Omega/m$ )
<b>1</b>	2,50	1,25	0,50	0,25	9,310	10,210
<b>2</b>	5,00	2,50	1,00	0,50	3,593	3,534
<b>3</b>	7,50	3,75	1,50	0,75	1,526	1,392
<b>4</b>	10,00	5,00	2,00	1,00	1,189	1,195
<b>5</b>	15,00	7,50	3,00	1,50	0,765	0,814
<b>6</b>	20,00	10,00	4,00	2,00	0,679	0,708
<b>7</b>	25,00	12,50	5,00	2,50	0,635	0,622
<b>8</b>	35,00	17,50	7,00	3,50	0,584	0,584
<b>9</b>	40,00	20,00	8,00	4,00	0,593	0,570
<b>10</b>	45,00	22,50	9,00	4,50	0,602	0,602
<b>11</b>	50,00	25,00	10,00	5,00	0,613	0,661
<b>12</b>	55,00	27,50	11,00	5,50	0,569	0,546
<b>13</b>	60,00	30,00	12,00	6,00	0,514	0,534

#### 4.2. Toma de datos usando CPT-u (M. Directo)

Para los ensayos de CPT-u se utilizó un penetrómetro de compresión electrónico con punta de cono sujeto a un mango para estimar la fricción, cuyas características son: resistencia en punta  $Q_c$  50-100 MPa, resistencia por fuste  $F_s$  1,6 MPa, presión de poro  $U_2$  2,5 Mpa. El cono contiene deformímetros calibrados e independientes para obtener las lecturas de resistencia de punta y fricción lateral. Al inicio del ensayo, el cono fue saturado con aceite de silicona y un filtro poroso de bronce que se encuentra inmediatamente detrás de la punta.

El cono fue avanzado con el equipo de empuje Pagani TG-63 de 15 toneladas de capacidad a una velocidad constante de 2.0 cm/s, este fue anclado a las capas superficiales del terreno con barras helicoidales para alcanzar la capacidad de reacción necesaria. Posteriormente, se tomaron las mediciones del CPT cada 10 mm y fueron receptadas por el sistema de adquisición de datos TGAS07-B, este es un sistema de pantalla táctil que grafica en tiempo real las mediciones del ensayo, son almacenados manera digital y luego descargados en formato ASCII, EXCEL, PDF and DXF files. Los ensayos de CPT-u fueron ubicados en las coordenadas que se muestran en la **TABLA XIII**.

**TABLA XIII** Ubicación de Ensayos CPTu

<b>Código</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Coord. Norte</b>
CPTu1	622718	9760916
CPTu2	622528	9761079
CPTu3	622522	9761146
CPTu4	622677	9760888

Fuente: *GEOESTUDIOS S.A.*

#### **4.3. Obtención de datos y muestras usando perforaciones**

Para cumplir con los objetivos planteados y conforme lo estipula la NEC 2015, con el fin de obtener un buen perfil geotécnico de la zona y parámetros geotécnicos que servirán para realizar el diseño de futuras edificaciones, se ha tomado información de perforaciones cercanas a la zona de estudio, cuya ubicación y profundidad final de perforación se describen en la **TABLA XIV**.

**TABLA XIV** Ubicación de Perforaciones a percusión – rotación

<b>Perforaciones</b>			
<b>Denominación</b>	<b>X (UTM)</b>	<b>Y (UTM)</b>	<b>Profundidad [m]</b>
GEO1	622696	9760903	33.55
GEO2	622661	9760861	45.10
GEO3	622740	9760934	40.10
GEO4	622664	9760967	37.90
GEO5	622545	9761057	39.85
GEO6	622519	9761130	38.85
GEO7	622533	9761098	45.00

Fuente: *GEOESTUDIOS S.A.*

Las perforaciones se realizaron a nivel del terreno natural y las muestras fueron obtenidas de forma continua usando como muestreador la cuchara partida, para el ensayo de penetración estándar (SPT), empleando un martillo tipo Safety y varillas de diámetro AW. Los valores de N60 reportados ya consideran la afectación por la energía transmitida por el martillo.

Las muestras obtenidas del ensayo SPT fueron tomadas a diferentes profundidades para cada sondeo. Durante la ejecución de los sondeos y operaciones de muestreo, el personal de campo mantenía un registro de las

actividades realizadas in situ y se daba por finalizada la perforación con metodología a percusión cuando se presentaba uno de los siguientes casos:

- a. Cuando se alcanzaba la profundidad proyectada para el sondeo
- b. En el caso de obtener 50 golpes en los primeros 15 cm de penetración de la cuchara, o
- c. Cuando se presentaban 100 golpes en los últimos 30 cm de penetración de la cuchara, entendiéndose esto como rechazo. El número de golpes fue registrado en cada tramo de los sondeos ejecutados.

Previo a los trabajos mencionados, el mismo martillo de seguridad fue calibrado mediante un sistema de varillas instrumentadas (Vera Grunauer, et al. 2006). El sistema incluía dos acelerómetros piezoresistentes diametralmente opuestos, sobre un bloque de acero, soldados a la barra y dos medidores de deformación (Strain Gages), los cuales consistían en un puente tipo Wheastone de 350 Ohm adherido en una barra de 60 cm de longitud tipo AWJ, estos instrumentos fueron conectados en un analizador de señales, SPT Analyzer<sup>TM</sup> (Pile Dynamics Inc.2000) el cual es similar al analizador de pilotes, Pile Driving Analyzer (PDA-PAL) pero adaptado para medir la energía en pruebas SPT. Los resultados de esta calibración

obtenidos con el martillo de seguridad tuvieron una eficiencia de energía (ER) de 61% a 63% y una eficiencia de martillo CE ( $CE=ER/60$ ) de 1.02 a 1.04.

Una vez cumplida cualquiera de las tres condiciones descritas anteriormente se procedió a perforar mediante la metodología de rotación hasta la profundidad proyectada para cada sondeo. Para este tramo se perforó con tubería de diámetro NQ hasta el final del sondeo, tomando muestras, las mismas que fueron colocadas en cajas identificadas para su inspección y análisis.

Con el objetivo de mantener la estabilidad de las paredes del sondeo para permitir el avance del elemento muestreador, se aplicó revestimiento metálico con tubería de mayor diámetro (HQ).

Las cajas de muestras debidamente identificadas se encuentran resguardadas con las muestras obtenidas durante los trabajos de perforación para que quede constancia directa de los materiales existentes. Las muestras de cada perforación fueron obtenidas para caracterizar las condiciones del subsuelo y consecuentemente realizar los ensayos en el laboratorio. Luego de que el muestreador es retirado del sondeo, las muestras son observadas, registradas, etiquetadas y selladas herméticamente en frascos y protegidas con fundas plásticas, para su posterior análisis en el laboratorio.

# **CAPÍTULO V**

## **5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS Y MUESTRAS**

### **5.1. Interpretación de datos geofísicos**

La interpretación de datos geofísicos se hace con softwares especializados para cada uno de los métodos. La interpretación se realiza en cada ensayo por separado y como se muestra a continuación.

#### **Método Sísmico**

Los datos a analizar correspondientes a los ensayos de sísmica de refracción fueron realizados por el software SEISMODULE CONTROLLER de la marca GEOMETRICS, que cuenta con un paquete de programas que interpretan los datos de sísmica generados por el mismo software, uno de estos programas es el SURFACE WAVE ANALYSIS WIZARD con el que se interpretan los

datos de sismica de refracción por microtemores ya sea del método activo o pasivo.

El método REMI al captar longitudes de ondas mayores puede caracterizar mejor profundidades mayores, 50 a 100 m. mientras q el método MASW caracteriza mejor las capas someras, dando un mejor detalle de los primeros 20 a 30 m, la combinación de estos métodos al momento de interpretarlos da un mejor resultado que hacerlo por separado.

Para el correcto análisis de estos datos hay que seguir una serie de pasos que nos ayudan a llegar a una buena interpretación. Los pasos están detallados a continuación:

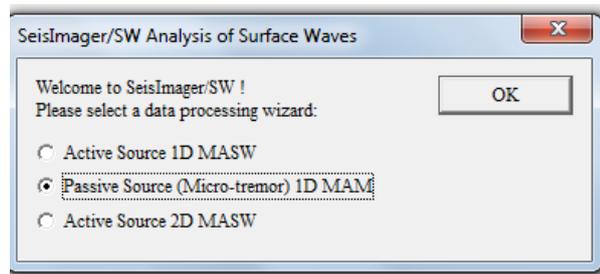
1. Seleccionar el método con el que se adquirió la data que se va a analizar, ver **Figura 5.34**, luego de la selección se despliega el programa PICKWIN.
2. Presionar ENTER para ingresar la data al programa y seleccionar los datos que fueron previamente adquiridos y guardados en la carpeta determinada para cada ensayo, ver **Figura 5.35**.

3. Luego se despliega un gráfico Tiempo-Distancia que muestra el tiempo de adquisición de la señal y la cantidad de geófonos con la que se utilizó al momento de la adquisición, ver **Figura 5.36**.
4. Presionar ENTER para continuar con el ingreso de los datos al programa, aquí se registra el arreglo geométrico con el que se realizó la adquisición, ver **Figura 5.37**.
5. Luego seleccionar los rangos de frecuencia y velocidad de fase con los que se va a realizar el análisis, ver **Figura 5.38**.
6. Luego se despliega un gráfico Velocidad de fase-Frecuencia, en el cual se puede observar la curva de dispersión previa a la inversión, ver **Figura 5.39**.
7. Seguido se presiona intro para realizar una inversión de los datos obteniendo un gráfico Frecuencia Vs velocidad de fase, curva de dispersión que va a ser objeto final de nuestro análisis, y se escoge el rango de frecuencias que se va a analizar, ver **Figura 5.40**.
8. Luego se puede observar el método estadístico con el que realiza el análisis, mínimos cuadrados, y se escoge el número de iteraciones que se va a realizar, ver **Figura 5.41**.

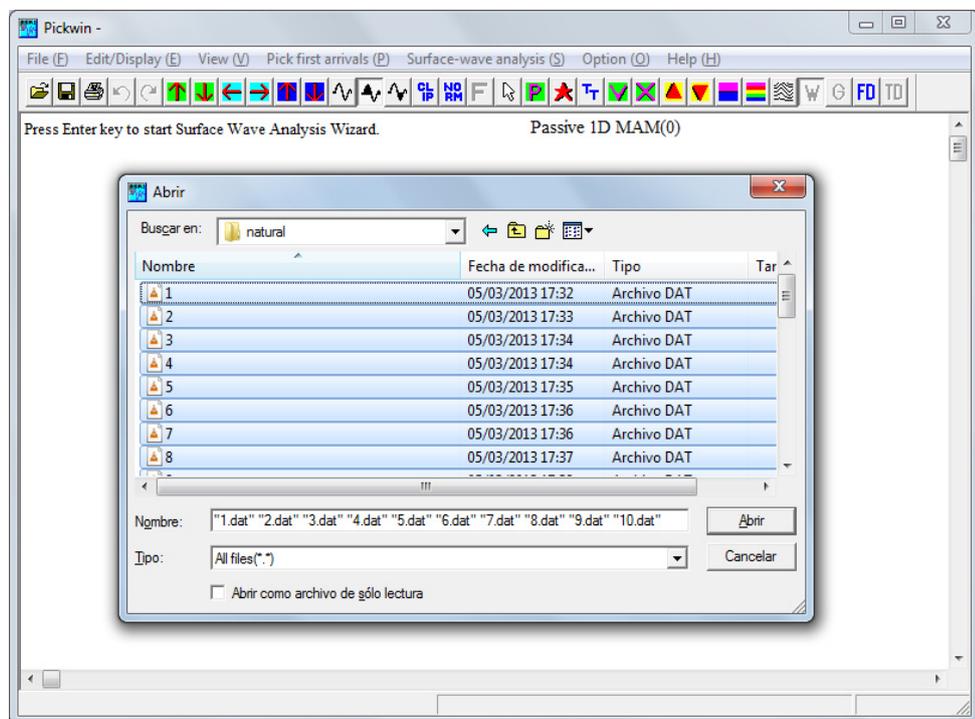
9. Resultado final, gráfico de Velocidad de onda de corte - Profundidad, ver **Figura 5.42**.

10. Se analiza la data de los ensayos REMI y MASW de forma individual y luego se realiza la combinación de los dos resultados, se repite desde el paso 8.

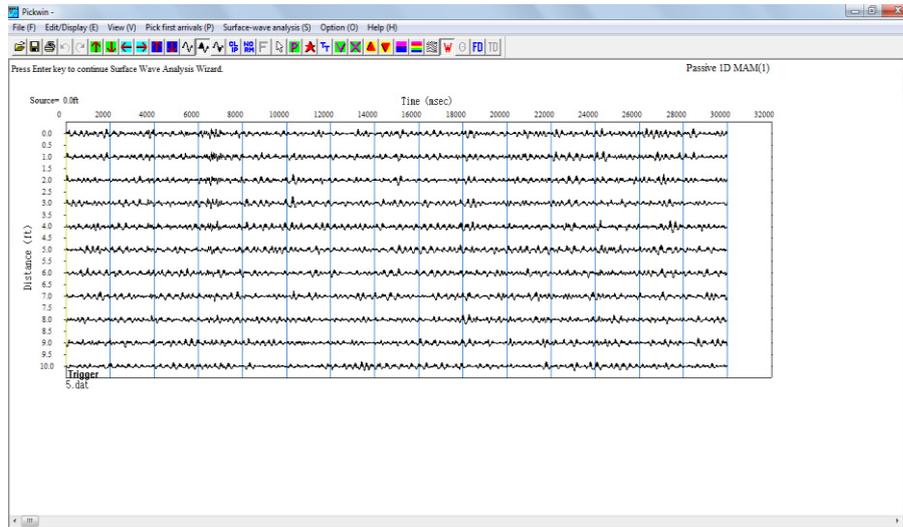
El resultado final es la variación de la onda de corte con la velocidad con el que podemos determinar las propiedades físico-mecánicas de los materiales en profundidad.



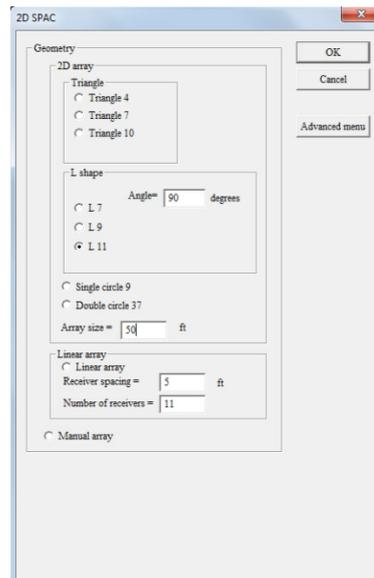
**Figura 5.34** Muestra la selección del método con el que se adquirió la data, paso 1.



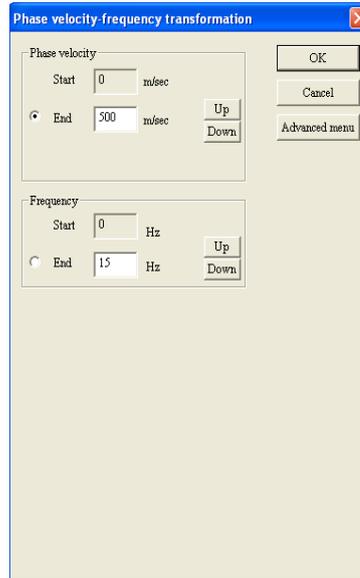
**Figura 5.35** Muestra la selección de la data a analizar, paso 2.



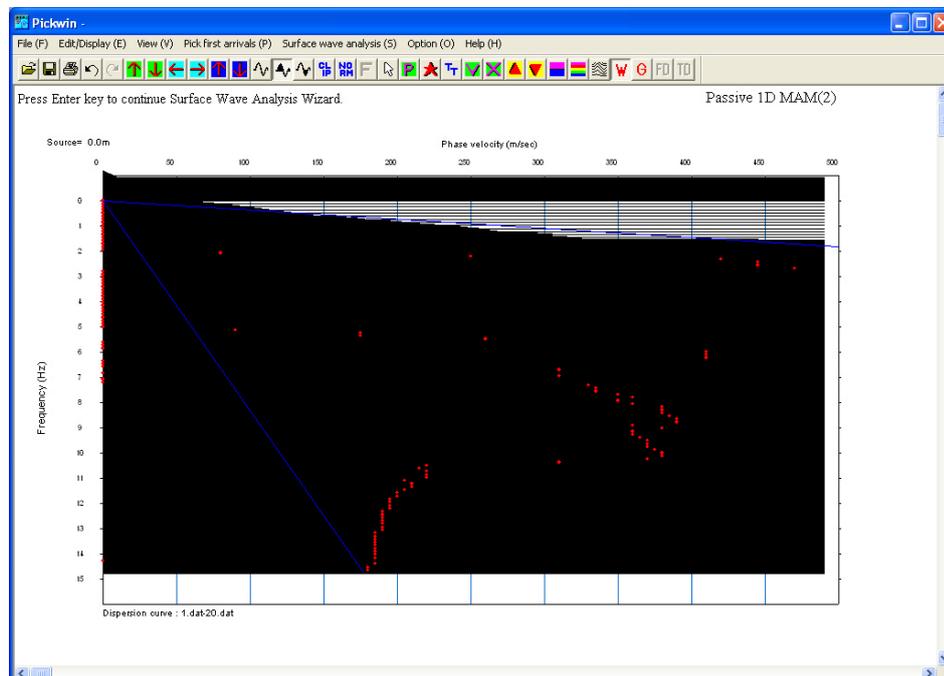
**Figura 5.36** Muestra el tiempo de adquisición y número de geófonos utilizados, paso 3.



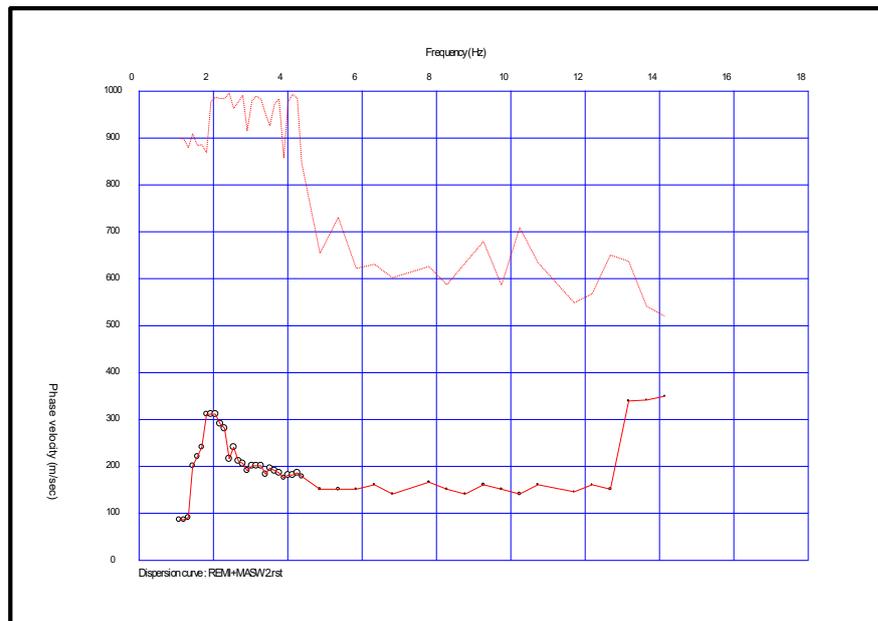
**Figura 5.37** Muestra el arreglo geométrico con el que se adquirió la data, paso 4.



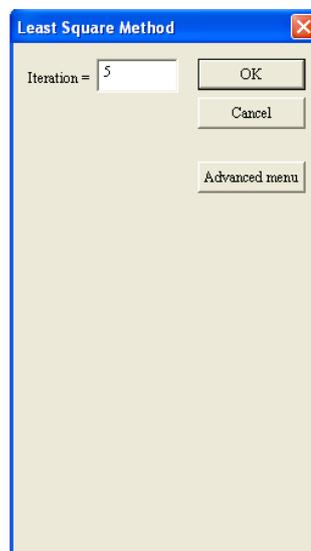
**Figura 5.38** Muestra los rangos de frecuencia y velocidad de fase a interpretar, paso 5.



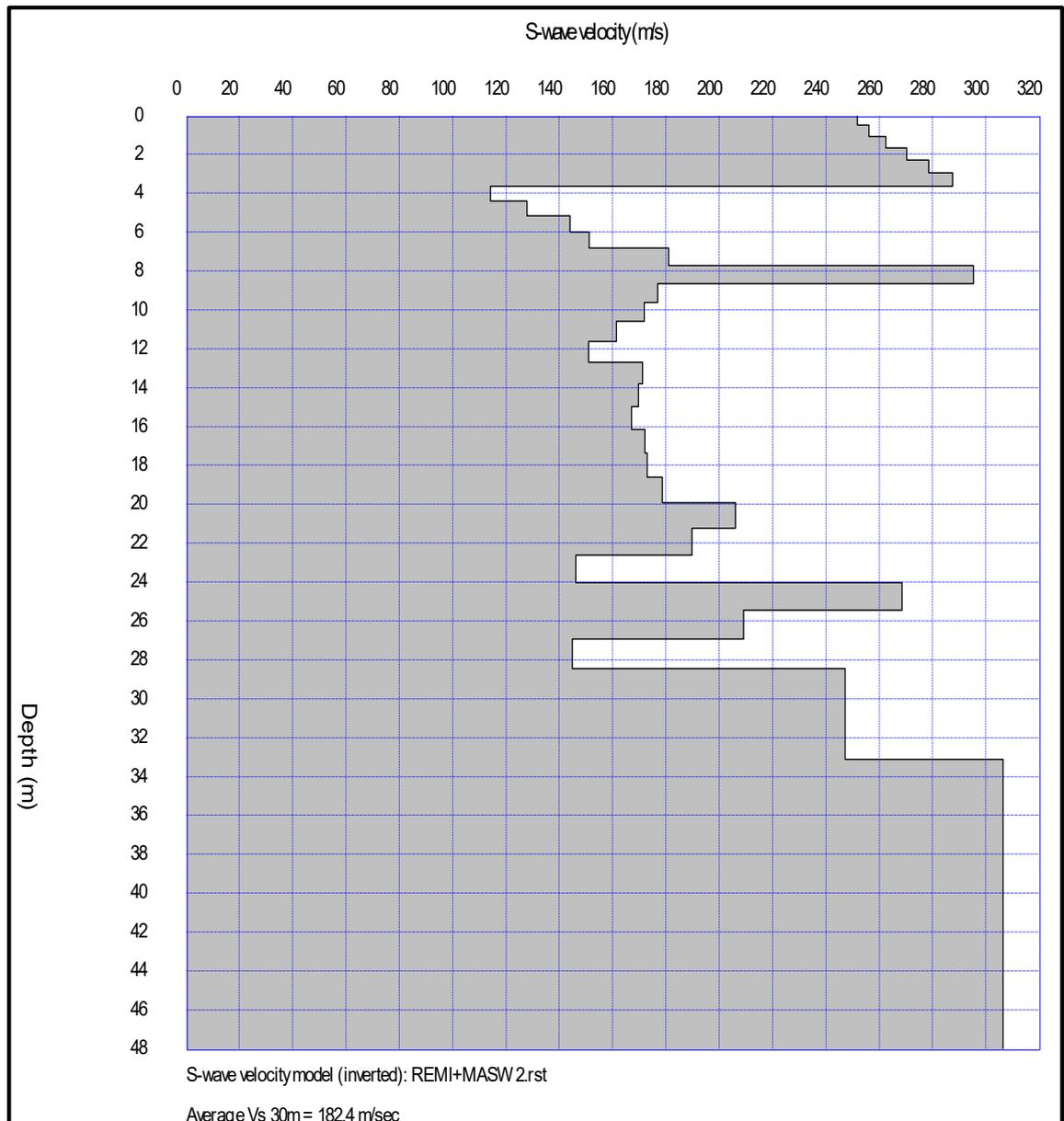
**Figura 5.39** Muestra la curva de dispersión, paso 6.



**Figura 5.40** Muestra la curva de dispersión luego de la inversión, paso 7.



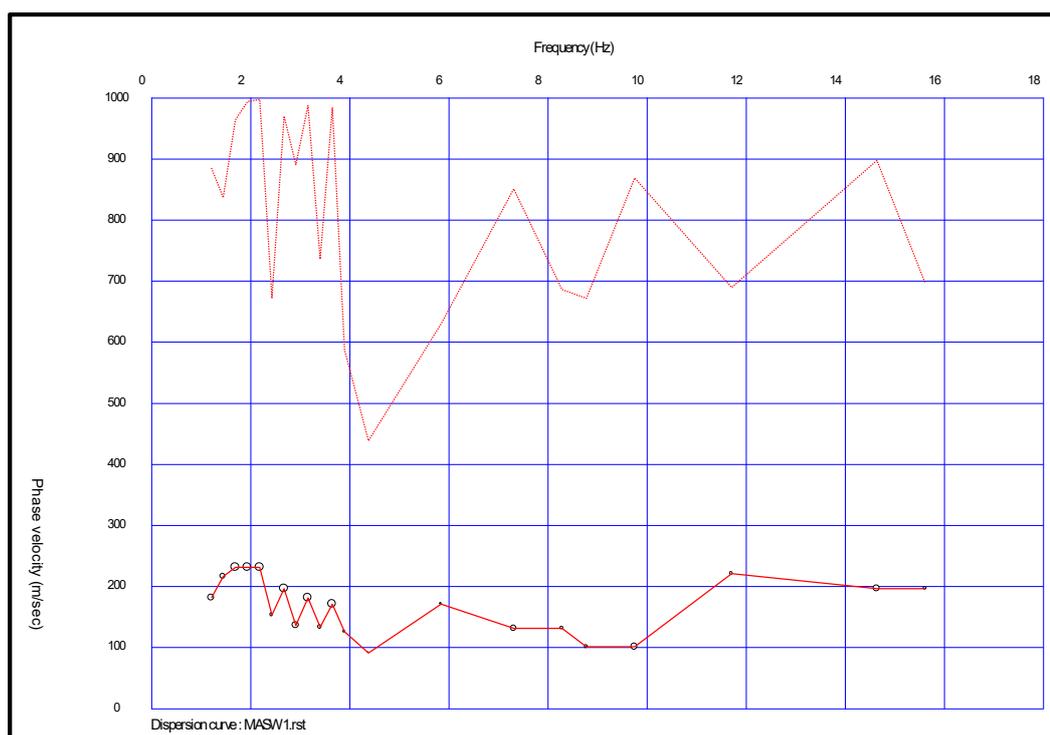
**Figura 5.41** Muestra el número de iteraciones a realizar y el método estadístico con el que realiza el análisis, mínimos cuadrados, paso 8.



**Figura 5.42** Resultado final del análisis de los ensayos de sísmica de refracción, paso 9.

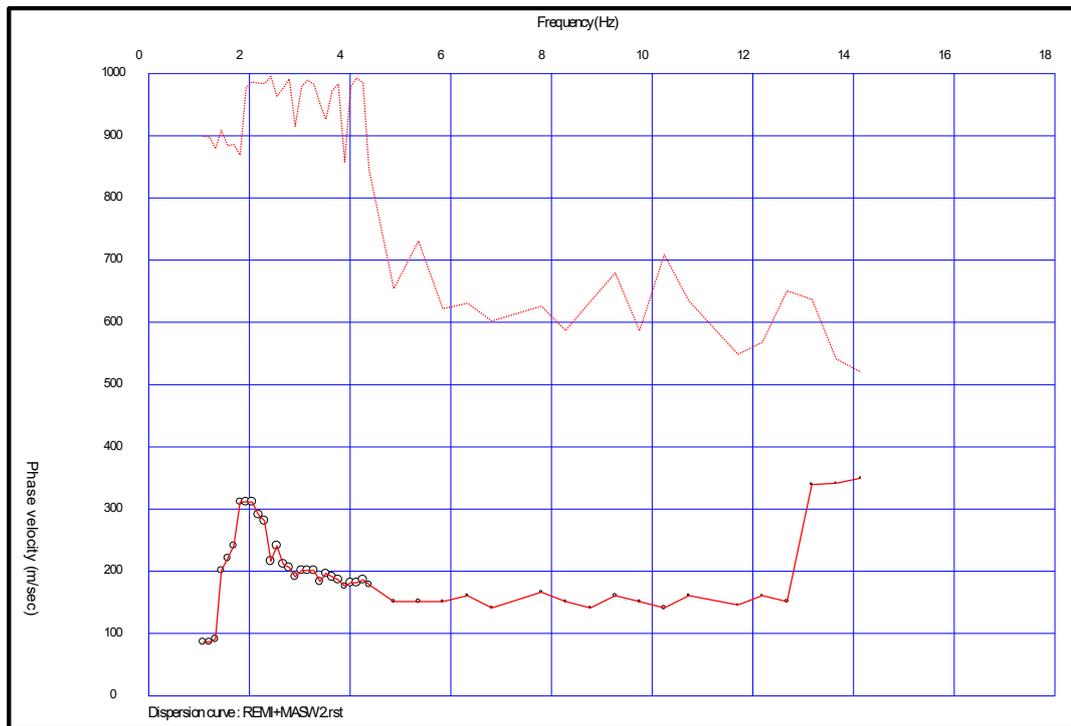
Fuente: *GEOESTUDIOS S.A.*

Se realizaron cuatro ensayos de sismica de refracción: dos ensayos por el método REMI y dos ensayos por el método MASW en dos puntos diferentes del área de estudio. se analizaron en combinación el REMI y el MASW de cada punto, luego de la inversión de la primer curva de dispersión obtenida se escoge el rango de frecuencia óptimo para cada ensayo, como se muestra en la **Figura 5.43** y en la **Figura 5.44**. Se realizó la inversión final con 5 iteraciones por el método de los mínimos cuadrados. La interpretación final se realizó de acuerdo a la tabla de rangos de valores de la IBC.



**Figura 5.43** Muestra la curva de dispersión para el ensayo REMI+MASW 1

Fuente: *GEOESTUDIOS S.A.*



**Figura 5.44** Muestra la curva de dispersión para el ensayo REMI+MASW 2

Fuente: *GEOESTUDIOS S.A.*

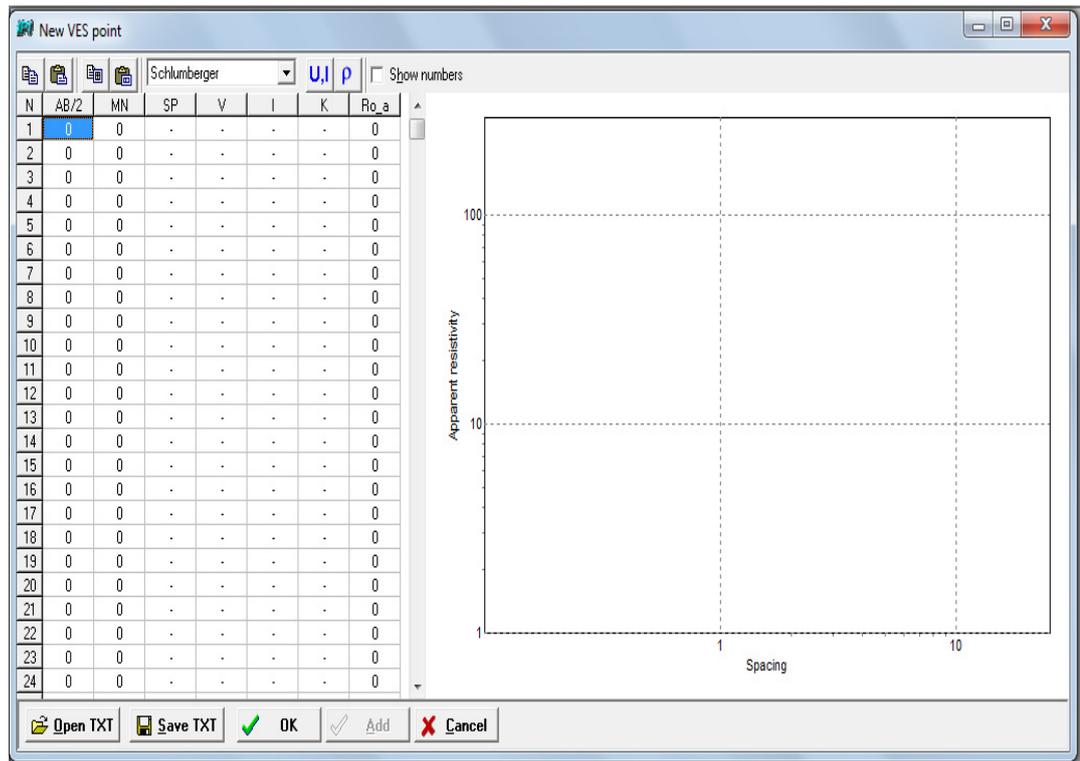
## Método Eléctrico

Los datos correspondientes al ensayo de SEV fueron analizados con el software IPI2WIN, que es un software especializado en datos geoelectrónicos.

Los pasos a seguir para el análisis de estos datos son los siguientes:

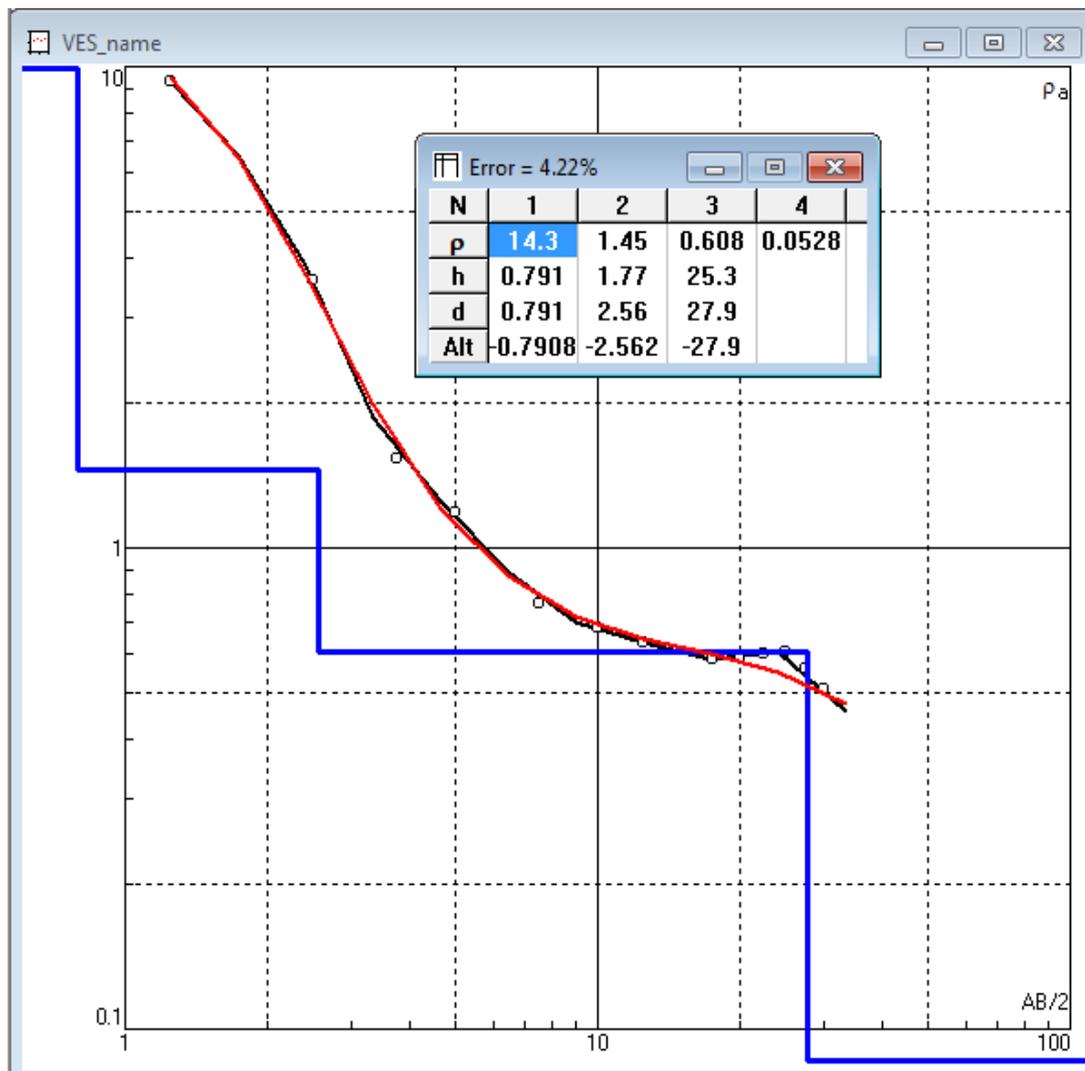
1. Ingresar los datos de las aberturas  $AB/2$ ,  $MN$  y  $\rho$ , las resistividades obtenidas en campo, ver **Figura 5.45**.
2. Luego generar una carpeta para el análisis de estos ensayos y guardarlo con el nombre asignado en campo, ejemplo SEV 1 y SEV 2.
3. Elegir el número de capas de tal manera que los valores de la curva teórica se asemejen a los de la curva de campo, ver la **Figura 5.46** y la **Figura 5.47** donde se muestra el análisis de los datos para los SEV 1 y SEV 2 respectivamente, en la parte superior el error porcentual de aproximación, el número de capas a analizar, la curva de campo en color negro y la curva teórica en color rojo.

4. Copiar los valores de la curva y modelo teóricos y crear un gráfico resistividad-profundidad con los valores de esa curva y modelo actual.



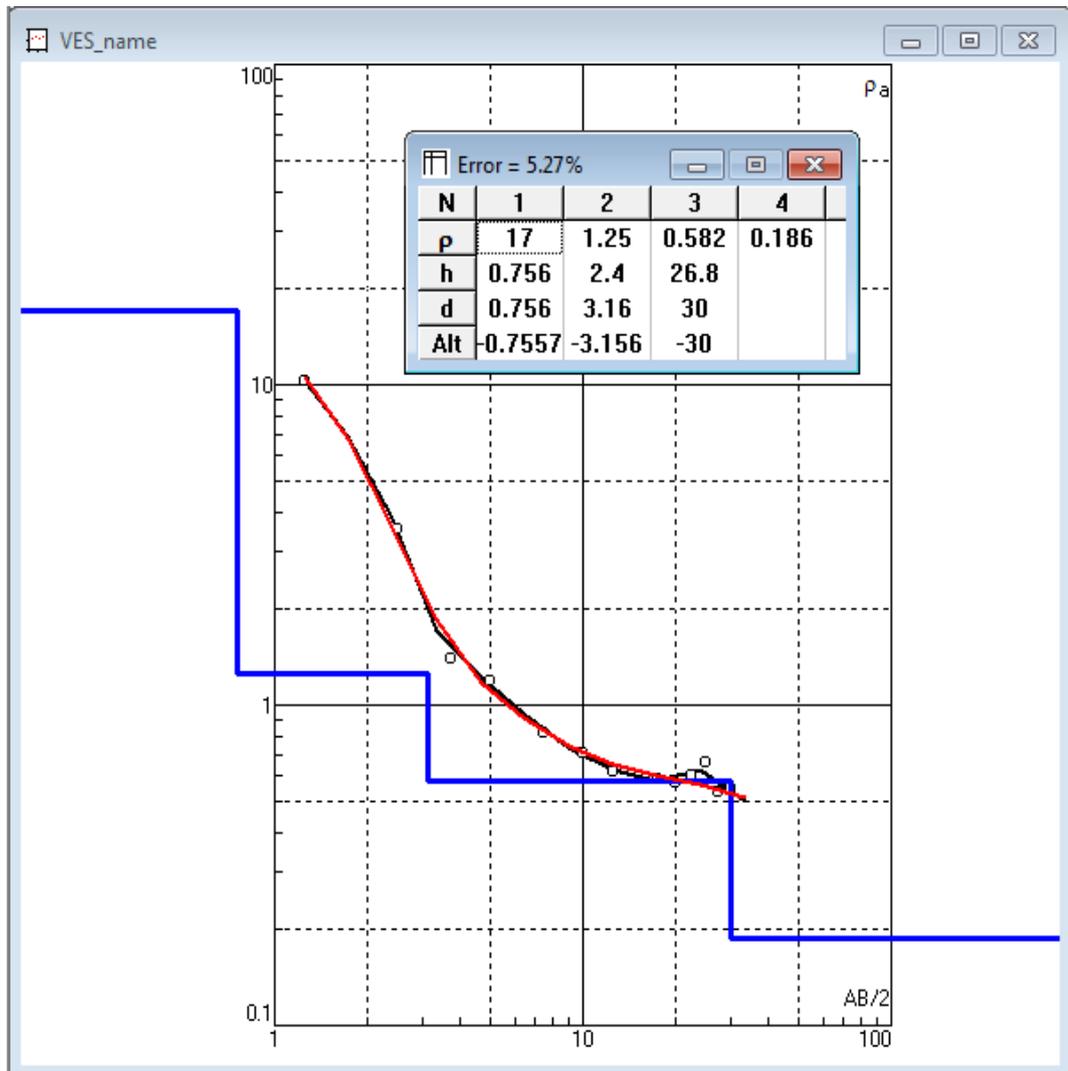
**Figura 5.45** Valores a ingresar de la data, AB/2, MN y  $\rho_o$ , paso 1.

Fuente: Elaborado por los autores.



**Figura 5.46** Análisis de resultados SEV 1, paso 3.

Fuente: Elaborado por los autores.



**Figura 5.47** Análisis de resultados SEV 2, paso 3.

Fuente: Elaborado por los autores.

De la interpretación de los SEV realizados nos dio un modelo de 4 capas con los siguientes espesores:

1er capa. De 0,5 a 1,0 m con resistividades de 15-20 ohm/m

2da capa. De 2,0 a 3,0 m con resistividades de 1,25-1,50 ohm/m

3ra capa. De 25 a 30 m con resistividades de 0,50-0,70 ohm/m

4ta capa. Desde los 30 m de profundidad en adelante, con resistividades de 0,05-0,20 ohm/m

## **5.2. Análisis de muestras y clasificación de suelos mediante la norma**

### **ASTM**

Las muestras obtenidas de las perforaciones en campo son llevadas al laboratorio de suelos y sometidas a ensayos bajo las normas ASTM para conocer sus propiedades físicas tales como contenido de humedad natural, tamaño de partícula, plasticidad, entre otros, para poderlos clasificar según las normas en arcillas limos arenas y gravas.

Además con la información de número de golpes del NSPT del ensayo de campo SPT se puede saber mediante correlaciones la consistencia o compacidad según sean materiales finos o granulares, obtenidos en las perforaciones, completando así una descripción más precisa de los geomateriales del subsuelo, como se puede observar en la **TABLA XV** y **TABLA XVI**.

Debido a la cantidad de muestras obtenidas en cada perforación se obtiene un número mayor de ensayos, por lo siguiente los resultados de los análisis de laboratorio son presentados en los anexos.

**TABLA XV** Resistencia de las arcillas a partir de datos SPT.

<b>Material</b>	<b>Descripción</b>	<b>SPT-N (golpes/300mm)</b>	<b>Resistencia</b>
Arcillas	Muy blanda	≤2	0-12 Kpa
	Blanda	2-5	12-25 Kpa
	Firme	5-10	25-50 Kpa
	Rígida	10-20	50-100 Kpa
	Muy rígida	20-40	100-200Kpa
	Dura	>40	>200 Kpa

Fuente: Burt Look, 2007

**TABLA XVI** Resistencia de SPT en arenas limpias de tamaño medio solamente.

Descripción	Densidad relativa (Dr)	SPT-N (golpes/300mm)		Resistencia
		Valor de campo sin corregir	Valor corregido	Ángulo de fricción
Suelta	<15%	$N \leq 4$	(NO)60 $\leq 3$	$F < 28^\circ$
Muy suelta	15-35%	$N = 4-10$	(NO)60 = 3-8	$F = 28^\circ - 30^\circ$
Medianamente densa	35-65%	$N = 10-30$	(NO)60 = 8-25	$F = 30^\circ - 40^\circ$
Densa	65-85%	$N = 30-50$	(NO)60 = 25-42	$F = 40^\circ - 45^\circ$
Muy densa	>85%	$N > 50$	(NO)60 > 42	$F = 45^\circ - 50^\circ$
	100%		(NO)60 = 60	$F < 50^\circ$

Fuente: Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables” Burt Look, 2007.

### 5.2.1. Granulometría

El ensayo de granulometría se realiza para determinar cuantitativamente la curva de distribución de partículas de suelo, mediante tamizado para las partículas de suelo mayores a 0.075mm (Tamiz N°200) cuya clasificación se puede observar en la **TABLA XVII**, para partículas menores a 0.075mm se determina por el ensayo de Hidrómetro.

Las muestras de las perforaciones solo serán analizadas mediante el proceso de tamizado el cual consiste en pasar una muestra de suelo seca por una serie de tamices de mallas de diferentes diámetros que van desde la malla 3" (75mm) hasta la malla N°200 (0.075mm), ver la **Figura 5.48**, y llega a un tamiz fondo donde quedan las partículas que pasan el tamiz N°200. Todas las partículas retenidas en los diferentes tamices son pesadas, información con la cual se elabora la curva de distribución granulométrica.

**TABLA XVII** Clasificación de los materiales de acuerdo al tamaño de partícula

<b>Geomaterial</b>	<b>Tamiz pasante</b>	<b>Tamiz retiene</b>
Grava	3" (75mm)	N°4 (4.75mm)
Arena Gruesa	N°4 (4.75mm)	N°10 (2.00mm)
Arena Media	N°10 (2.00mm)	N°40 (0.425mm)
Arena Fina	N°40 (0.425mm)	N°200 (0.075mm)
Finos (arcillas o limos)	N°200 (0.075mm)	-



**Figura 5.48** Juego de tamices.

### 5.2.2. Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg son ensayos de laboratorio que permiten calcular las fronteras de los estados de consistencia de un suelo fino, según su humedad, siendo estos estados:

- Sólido
- Semisólido
- Plástico
- Líquido.

Denominados también límites de consistencia, fueron definidos por el Sueco Albert Atterberg quien definió seis límites de consistencia de los cuales solamente dos se definirán para el estudio.

**Limite Líquido (LL,  $w_l$ ):** Es la frontera entre los estados plástico y líquido, definido a través del contenido de agua en porcentaje.

**Limite Plástico (LP,  $w_p$ ):** Es la frontera entre los estados semisólido y plástico, definido a través del contenido de agua en porcentaje.

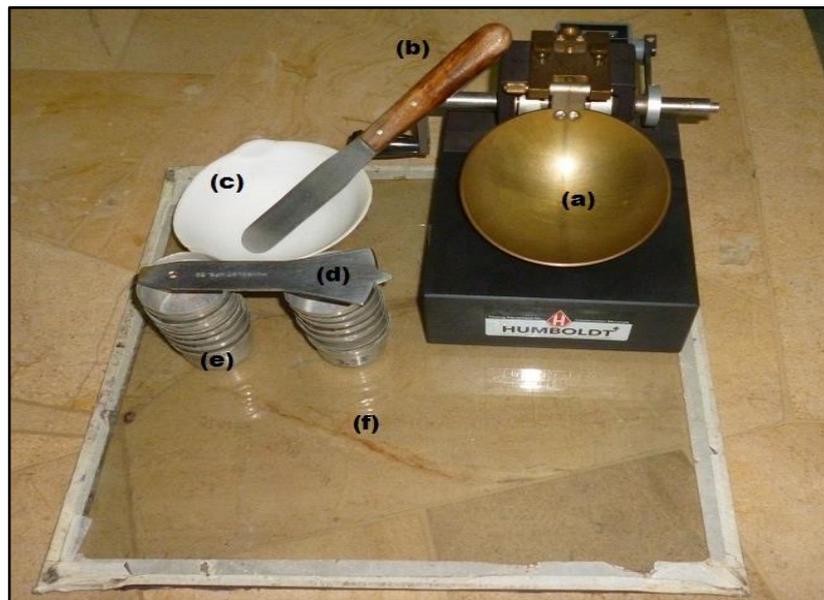
Con estos dos límites y el contenido de humedad se pueden obtener otros parámetros importantes tales como:

**Índice de plasticidad (IP):** Es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico,  $(w_l - w_p)$ , definido como el rango de contenido de agua en el cual un suelo se comporta plásticamente, (estado plástico).

**Índice de Liquidez:** También conocida como relación de humedad-plasticidad, se calcula como la diferencia en el contenido de humedad  $(w_n)$  menos el límite plástico  $(w_p)$  dividido para el índice de plasticidad (IP).

Para ejecutar el ensayo de límites de Atterberg se necesitan ciertos utensilios como los que se encuentran en la **Figura 5.49**, Copa de Casagrande (a), Espátula (b), Capsula de porcelana (c), Ranurador (d), Recipiente para muestras (e), Vidrio esmerilado (f). El límite líquido consiste en una mezcla homogénea de suelo y agua que se coloca en la copa metálica, se realiza un surco por el centro y se empieza hacer golpear la copa contra la base del aparato mediante un sistema mecánico hasta que este surco se cierre. Se define al límite líquido cuando el cierre ocurre a los 25 golpes. Generalmente se realiza varios puntos de cierre a diferentes números de golpes para mediante una gráfica determinar el límite líquido.

El límite plástico consiste en someter una pequeña muestra de suelo plástico a un amasado para modelar un cilindro de aproximadamente 3mm de diámetro, reduciendo su contenido de agua hasta el límite plástico, lo cual ocurre cuando el cilindro se desmigaja.



**Figura 5.49** Kit para ensayo de límite líquido y plástico.

### 5.2.3. Contenido de humedad

El ensayo permite conocer el porcentaje de agua que contiene una muestra de suelo en estado natural. Este ensayo consiste tomar una porción de la muestra de suelo, colocarla en un recipiente y pesarla ( $w_h$ ), someterla a secado al horno a una temperatura de  $110^\circ \pm 5^\circ$  durante aproximadamente

16 horas. Después de secada la muestra se pesa ( $w_s$ ), el porcentaje de agua se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\%W = \frac{wh - w_s}{w_s - r}$$

Donde  $r$  es la masa del recipiente.

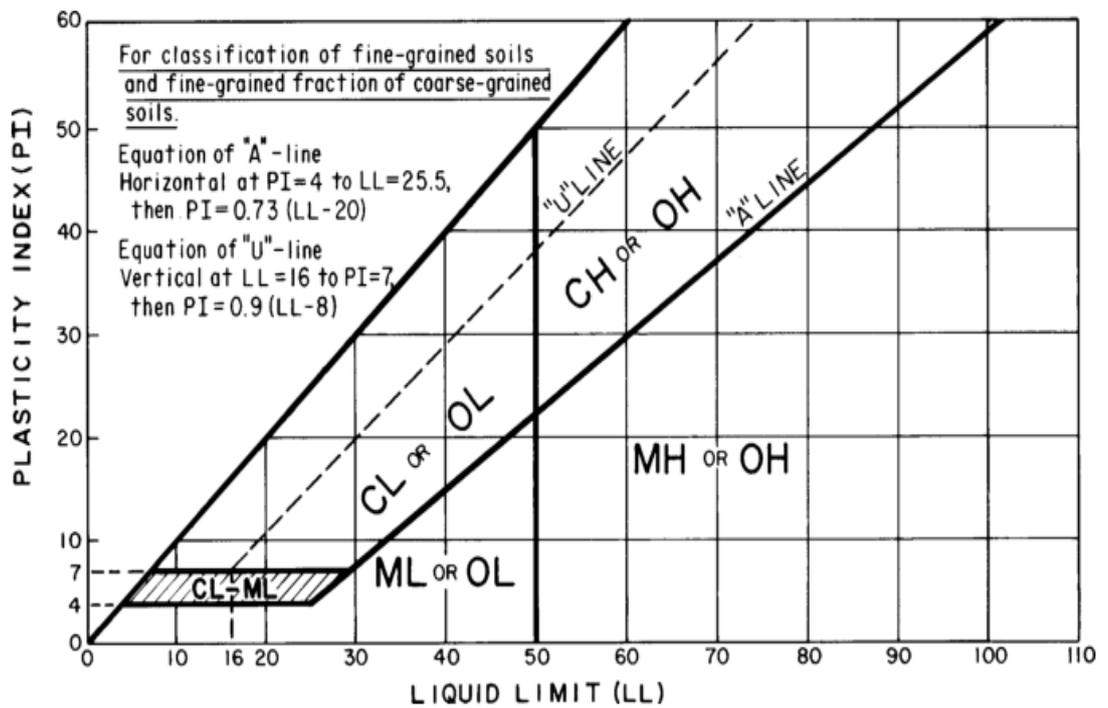
#### 5.2.4. Método SUCS

Sistema unificado de clasificación de suelos o por sus Siglas SUCS, basa su clasificación en los ensayos de laboratorio de análisis granulométrico y los límites de Atterberg con lo cual clasifica al suelo en tres grandes grupos:

- Suelos de grano grueso.
- Suelos de grano fino
- Suelos Orgánicos

La SUCS clasifica Los suelos finos mediante la Carta de Plasticidad en Arcillas o Limos, **Figura 5.50** y **Figura 5.51**. Los suelos orgánicos son suelos finos con materia orgánica **Figura 5.52**. Los suelos de grano grueso clasificados por el ensayo de análisis granulométrico, los divide en arenas y

gravas, **Figura 5.53**. Se tiene también una clasificación especial para la Turba que son suelos compuestos de tejido vegetal en varias etapas de descomposición usualmente con olor orgánico, de color café oscuro a negro, y de textura fibrosa.



**Figura 5.50** Carta de Plasticidad

Fuente: ASTM D-2487

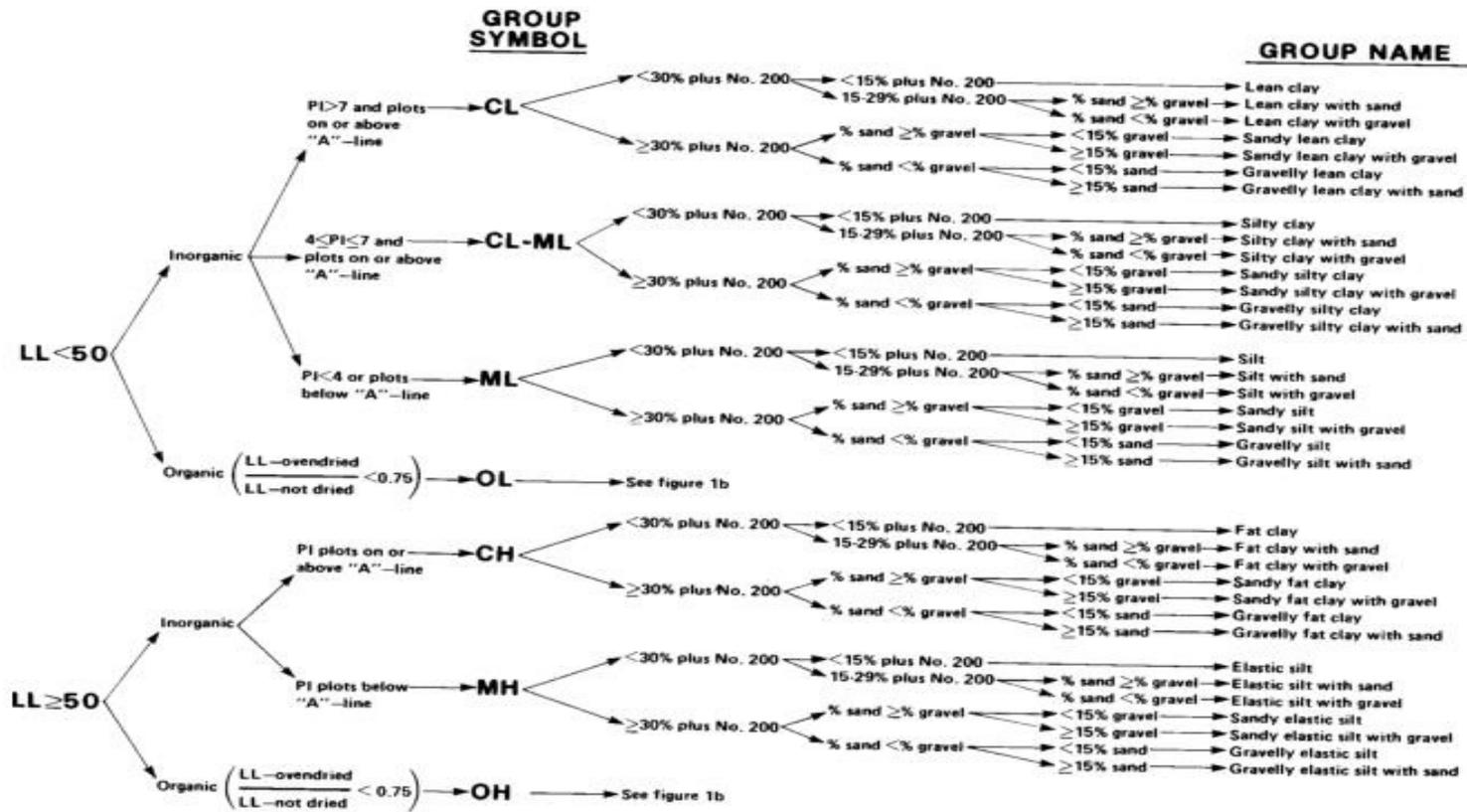


Figura 5.51 Diagrama de flujo con las descripciones de los materiales de grano fino dados por la SUCS

Fuente: ASTM D-2487

GROUP SYMBOL

GROUP NAME

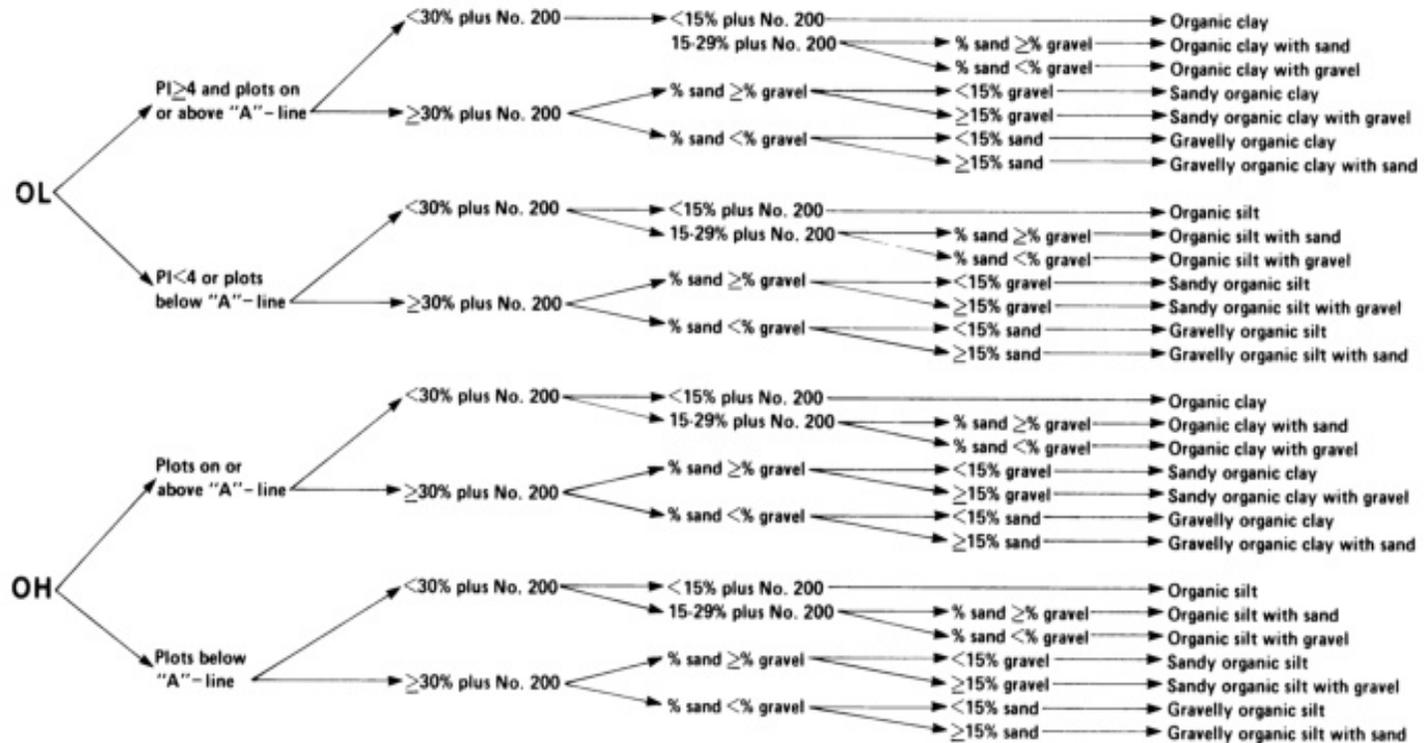


Figura 5.52 Diagrama de flujo con las descripciones de los materiales de grano fino orgánicos dados por la SUCS

Fuente: ASTM D-2487

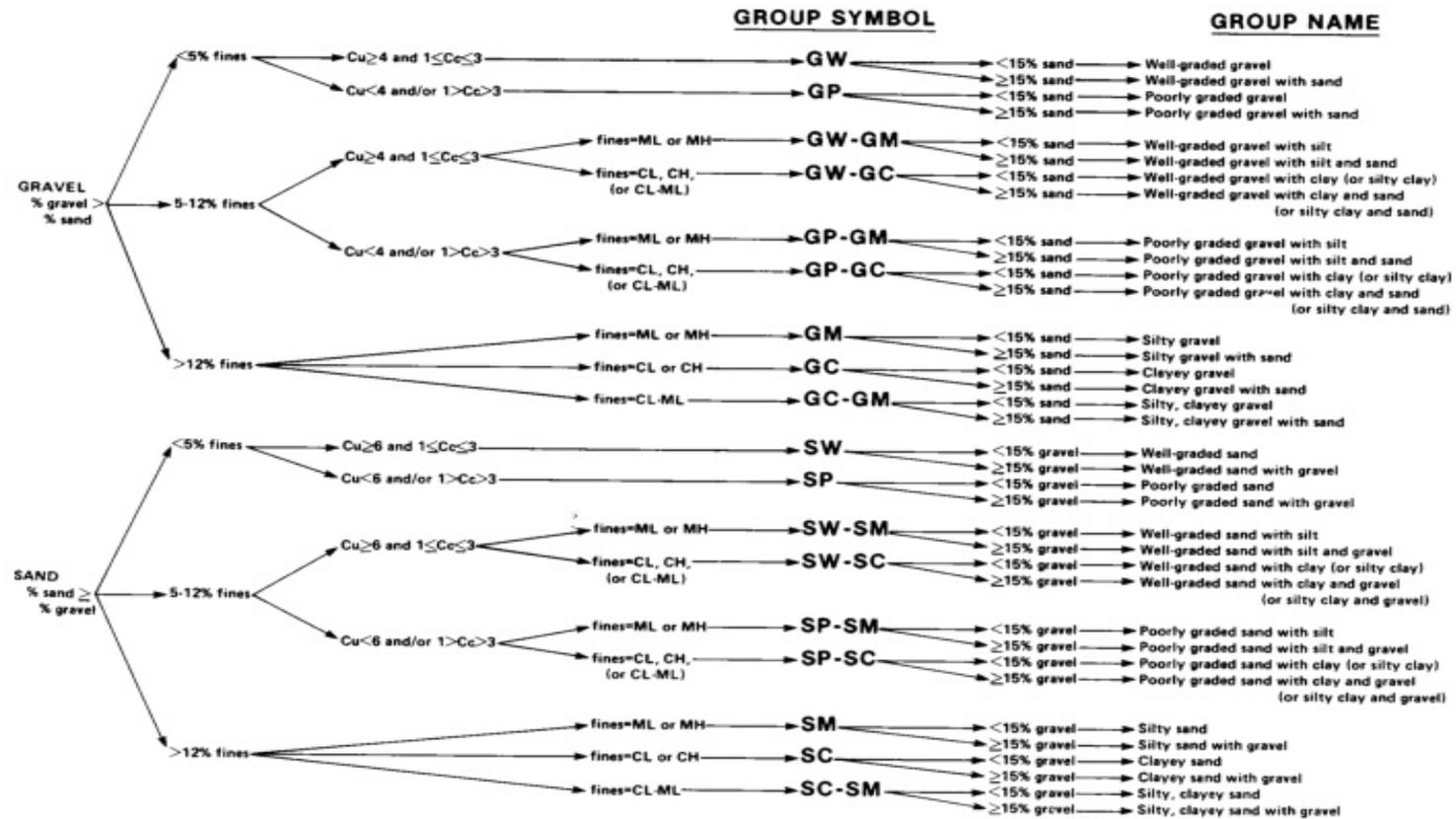
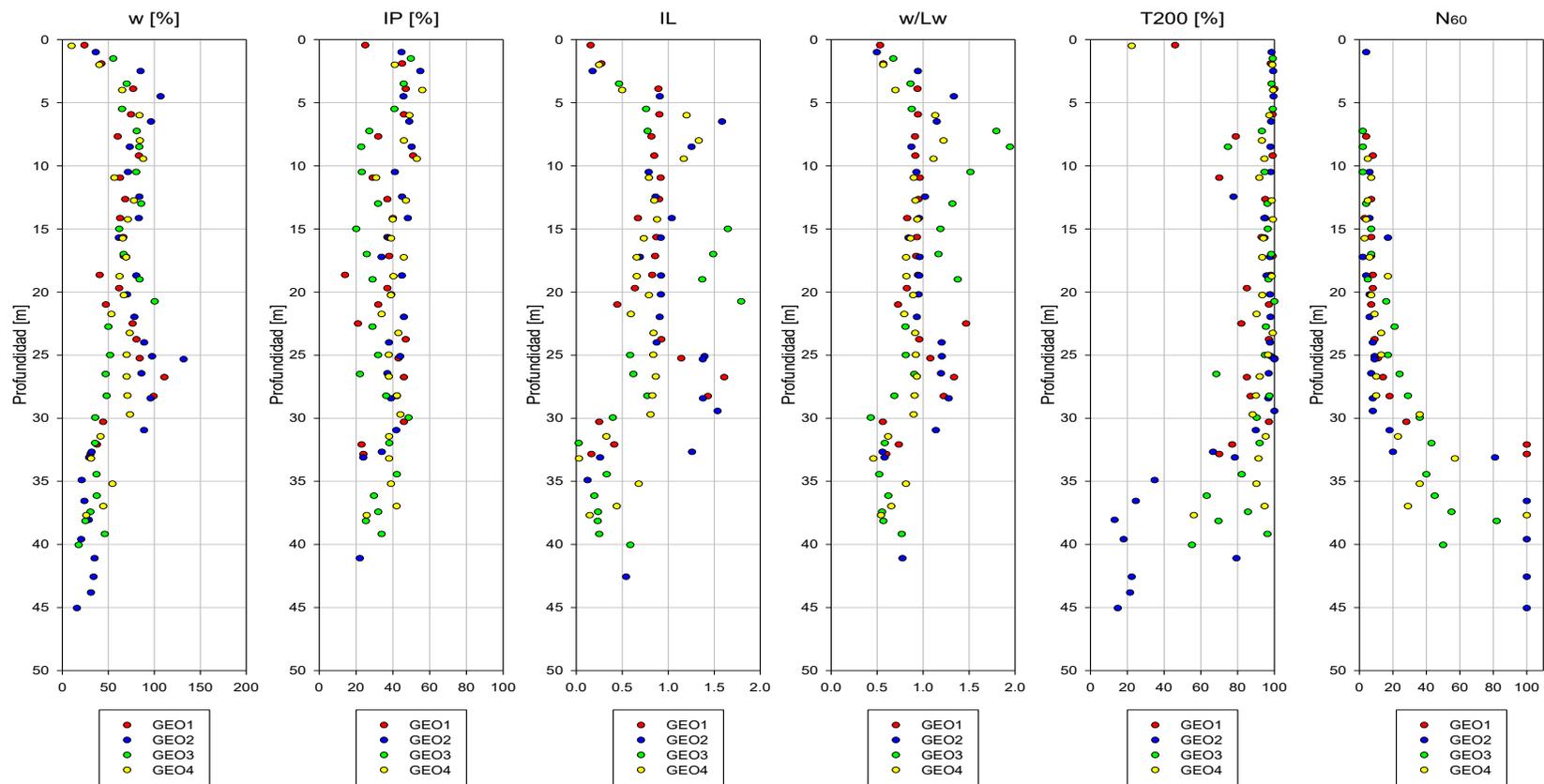


Figura 5.53 Diagrama de flujo con las descripciones de los materiales de grano grueso dados por la SUCS.

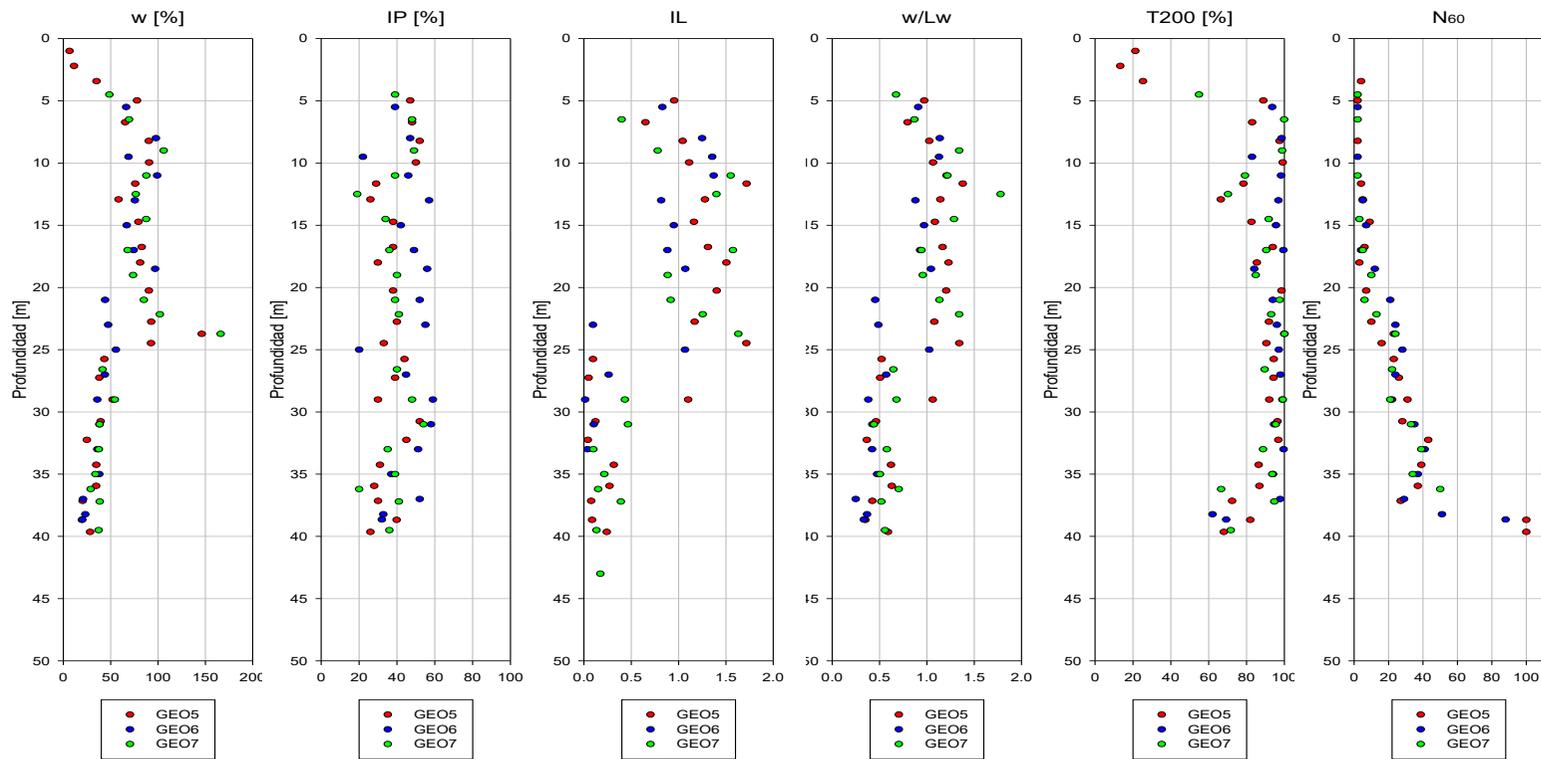
Fuente: ASTM D-2487.

Una vez realizados los ensayos de laboratorio a todas las muestras de las perforaciones, se procede a agrupar los resultados de las perforaciones que están más próximas entre sí, para así compararlos y poder observar tendencias que nos ayudan a interpretar los diferentes estratos del suelo como se muestra en la **Figura 5.54** y la **Figura 5.55**.



**Figura 5.54** Caracterización Geotécnica del Subsuelo (Contiene w, IP, IL, w/Lw, T#200 y N60) .

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.



**Figura 5.55** Caracterización Geotécnica del Subsuelo (Contiene w, IP, IL, w/Lw, T#200 y N60) .

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

### 5.3. Interpretación de datos del ensayo CPTU.

Los datos de campo,  $q_c$ ,  $f_s$  y  $u_2$ , almacenados en la data del sistema TGAS07-B, son procesados por el software CPeT-IT v.1.7.6.42, el cual posee algunas aplicaciones como:

- Procedimientos de evaluación de los tipos de suelo (licuefacción cíclica y ablandamiento cíclico) basado en Robertson 2009.
- Prueba de disipación de Piezocono
- Cálculos estimados de parámetros geotécnicos como: Esfuerzo Vertical Total y Efectivo, OCR,  $S_u$ , Sensibilidad de las arcillas, SPT N60 entre otros.
- Clasificación de suelos basadas en las ecuaciones de Robertson 1986, 1990 y 2009.

Esta última aplicación es la que nos interesa para nuestro estudio. Las ecuaciones de Robertson que usa el software para clasificar el suelo son las siguientes:

Resistencia total del cono corregida,  $q_t$ .

$$q_t = q_c + u_2(1 - a_n) ; \text{Robertson et al, 1986}$$

En donde:

$a_n$ = cociente del área neta.

Constante según la calibración del equipo  $a_n = 0.68$ .

Relación de fricción,  $F_r$ .

$$R_f = \left( \frac{f_s}{q_c} \right) * 100 ; \text{Robertson et al, 1986}$$

En donde:

$f_s$ = resistencia a la fricción por fuste.

$q_c$ = resistencia del cono

Resistencia del cono normalizada,  $Q_t$ .

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} ; \text{Robertson 1990}$$

Relación de fricción normalizada,  $F_r$ .

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{vo}} ; \text{Robertson 1990}$$

Relación de presión de poros,  $B_q$ .

$$B_q = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_{vo}} ; \text{Robertson 1990}$$

En donde:

$\sigma_{vo}$ = esfuerzo vertical total

$\sigma'_{vo}$ = esfuerzo vertical efectivo

$\Delta u$ = exceso de presión de poros ( $u_2 - u_0$ )

$U_0$ = presión de poros

Índice de comportamiento del tipo de suelo,  $I_c$ .

$$I_c = ((3.47 - \log Q_t)^2 + (\log F_r + 1.22)^2)^{0.5} ; \text{Robertson 2009}$$

En la **Figura 5.56** se muestran los resultados del ensayo de CPTu-1, los resultados de la interpretación de los estratos de suelo del resto de los ensayos de CPT-u mediante la clasificación de Robertson se adjuntan en los anexos respectivos.

Project:  
Location:

CPT: CPT1

Total depth: 31.44 m, Date: 12/06/2014  
Coords: lat -2.852653° lon -79.896456°

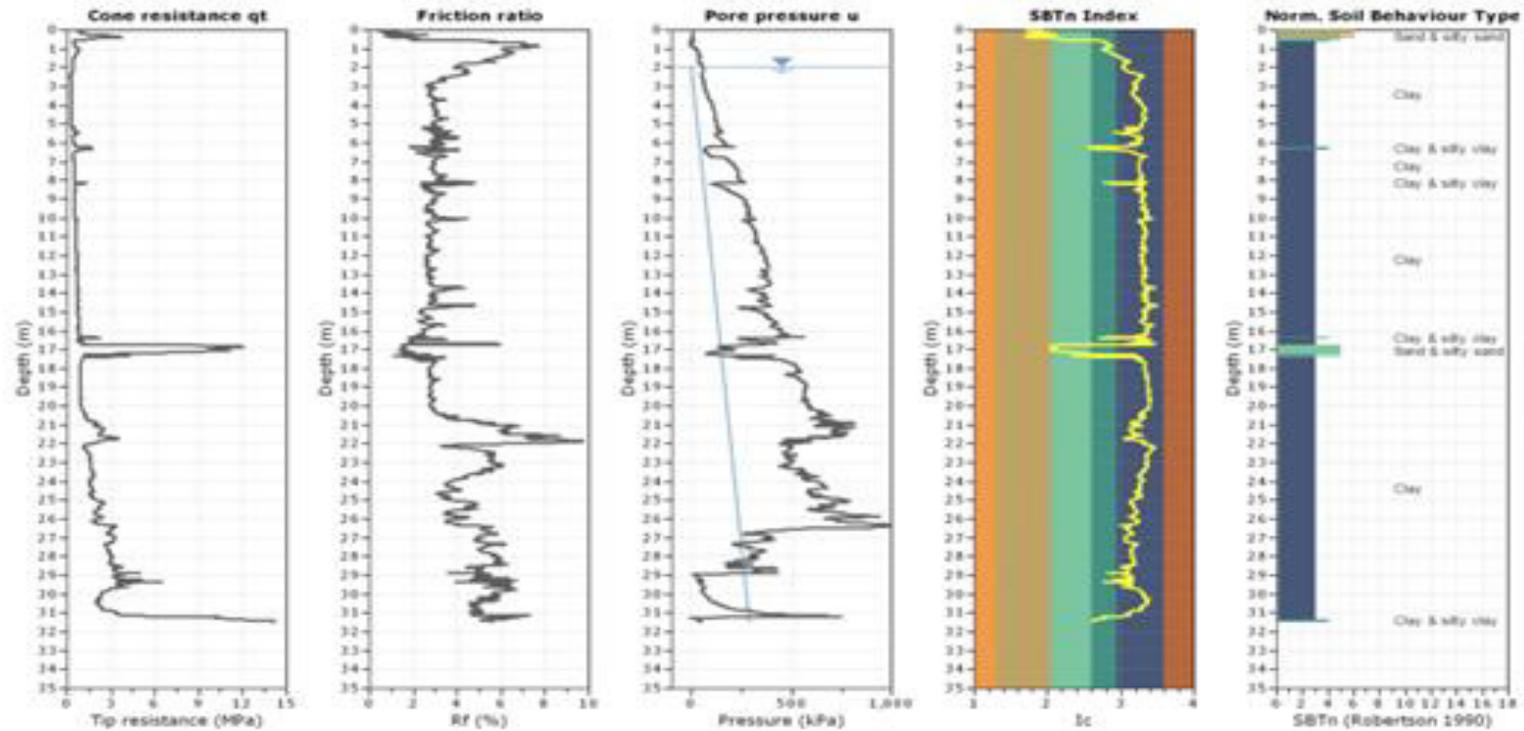


Figura 5.56 Caracterización del suelo mediante ensayo CPT-u.

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

# **CAPÍTULO VI**

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Perfiles geológico-geofísico**

Este perfil resulta de la comparación entre los ensayos de un mismo método de prospección geofísica en las que se han analizado las propiedades de cada estrato de acuerdo al principio de cada ensayo realizado.

#### **Método de prospección sísmica**

La interpretación de los ensayos de sísmica nos dio un modelo de 4 capas donde los resultados fueron los siguientes:

**REMI + MASW 1**

1. Capa superficial de 3,0 m. de espesor, cuyos valores de  $V_s$  fluctúan entre 205 y 210 m/s. Se relaciona estos valores de velocidad con la capa superficial de material de relleno.
2. Desde los 3,0 m hasta los 24,0 m de espesor, cuyos valores de  $V_s$  fluctúan entre 100 y 185 m/s corresponden a intercalaciones de suelo blandos a muy blandos, pudiendo ser arcillas y limos arenosos saturados.
3. Desde los 24,0 m hasta los 33,0 m cuyos valores de  $V_s$  fluctúan entre 210 y 220 m/s corresponden a suelos ligeramente rígidos, pudiendo ser arcillas y limos arenosos con mayor resistencia y no saturados.
4. Desde los 33 en adelante el valor de  $V_s$  se mantiene constante en 230 m/s y corresponden a suelos rígidos.
5. El valor del  $V_{s30}$  es de 163,8 m/s lo que correspondería a un suelo tipo F, según la IBC.

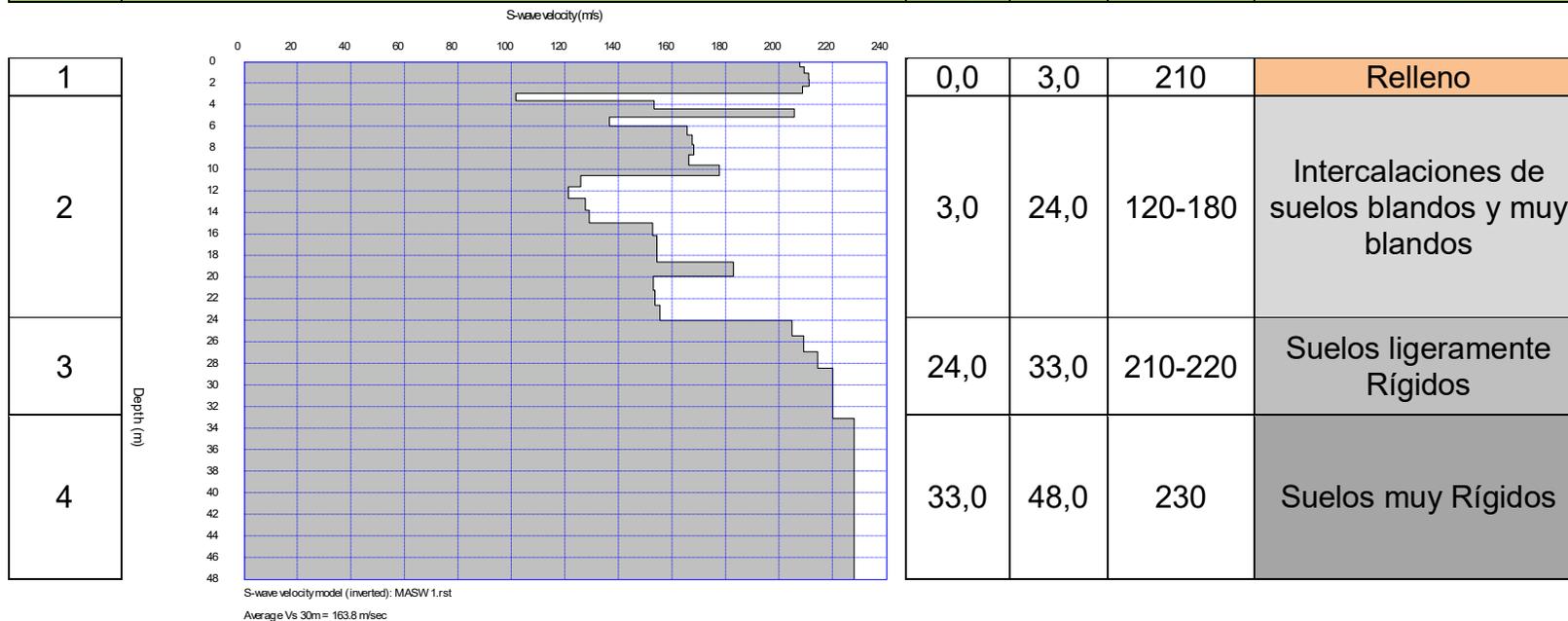
Los resultados de la interpretación del ensayo sísmico REMI+MASW 1 se muestran en la **Figura 6.57**, y los valores exactos de profundidad, velocidad de onda de corte  $V_s$ , velocidad de la onda P y densidad para cada estrato mostrado se encuentran expresados en la **TABLA XVIII**.

# GEOESTUDIOS S.A.

## ARREGLO GEOMETRICO EN L ENSAYO DE SISMICA PASIVA

Coordenadas			
Inicio		622674-9760913	
Centro		622694-9760895	
Fin		622720-9760913	
AB	50	N° Geof	11
Desde (m)	Hasta (m)	Vs (m/s)	Clasificación IBC/Descripción

N° Capa	REMI +MASW 1
---------	--------------



**Figura 6.57** Resultado del ensayo REMI 1, Vs30= 163,8 m/s. Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

**TABLA XVIII** Valores de Velocidad de la onda Vp y Vs, y la densidad de los suelos atravesados. REMI+MASW 1

<b>Depth (m)</b>	<b>S-wave velocity(m/s)</b>	<b>P-wave velocity(m/s)</b>	<b>Density (g/cc)</b>
<b>0,00</b>	207,75	1524,00	1,80
<b>0,52</b>	209,36	1524,00	1,80
<b>1,07</b>	211,18	1524,00	1,80
<b>1,66</b>	211,24	1524,00	1,80
<b>2,29</b>	208,79	1524,00	1,80
<b>2,96</b>	101,73	1410,00	1,76
<b>3,66</b>	153,38	1467,00	1,78
<b>4,40</b>	205,77	1524,00	1,80
<b>5,17</b>	136,61	1446,00	1,77
<b>5,99</b>	165,67	1476,00	1,78
<b>6,83</b>	167,56	1476,00	1,78
<b>7,72</b>	168,17	1476,00	1,78
<b>8,65</b>	166,33	1476,00	1,78
<b>9,61</b>	177,77	1494,00	1,79
<b>10,60</b>	125,86	1440,00	1,77

<b>Depth (m)</b>	<b>S-wave velocity(m/s)</b>	<b>P-wave velocity(m/s)</b>	<b>Density (g/cc)</b>
<b>11,64</b>	121,31	1440,00	1,77
<b>12,71</b>	127,62	1449,00	1,77
<b>13,82</b>	129,10	1449,00	1,77
<b>14,96</b>	152,79	1473,00	1,78
<b>16,15</b>	154,38	1473,00	1,78
<b>17,36</b>	154,43	1473,00	1,78
<b>18,62</b>	182,91	1506,00	1,79
<b>19,91</b>	152,99	1473,00	1,78
<b>21,24</b>	153,57	1473,00	1,78
<b>22,61</b>	155,50	1473,00	1,78
<b>24,01</b>	204,81	1524,00	1,80
<b>25,46</b>	209,26	1524,00	1,80
<b>26,93</b>	214,48	1524,00	1,80
<b>28,45</b>	220,12	1524,00	1,80
<b>33,10</b>	228,11	1524,00	1,80

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

**REMI + MASW 2**

1. Capa superficial de 4,0 m. de espesor, cuyos valores de  $V_s$  fluctúan entre 250 y 290 m/s. Se relaciona estos valores de velocidad con la capa superficial de material de relleno.
2. Desde los 4,0 m hasta los 28,0 m de espesor, cuyos valores de  $V_s$  fluctúan entre 110 y 200 m/s y dentro de este intervalo se encuentran capas de 1,0 a 2,0 m de espesor con valores de  $V_s$  de 270 a 290 m/s, corresponden a intercalaciones de suelo blandos a muy blandos, pudiendo ser arcillas y limos arenosos saturados, con capas de suelo rígido a los 8,0 y 24,0 m.
3. Desde los 24,0 m hasta los 33,0 m cuyos valores de  $V_s$  son de 250 m/s corresponden a suelos ligeramente rígidos, pudiendo ser arcillas y limos arenosos con mayor resistencia y no saturados.
4. Desde los 33 en adelante el valor de  $V_s$  se mantiene constante en 310 m/s y corresponden a suelos muy rígidos.
5. El valor del  $V_{s30}$  es de 182,4 m/s lo que correspondería a un suelo en el límite de la clasificación tipo E o F, según la IBC

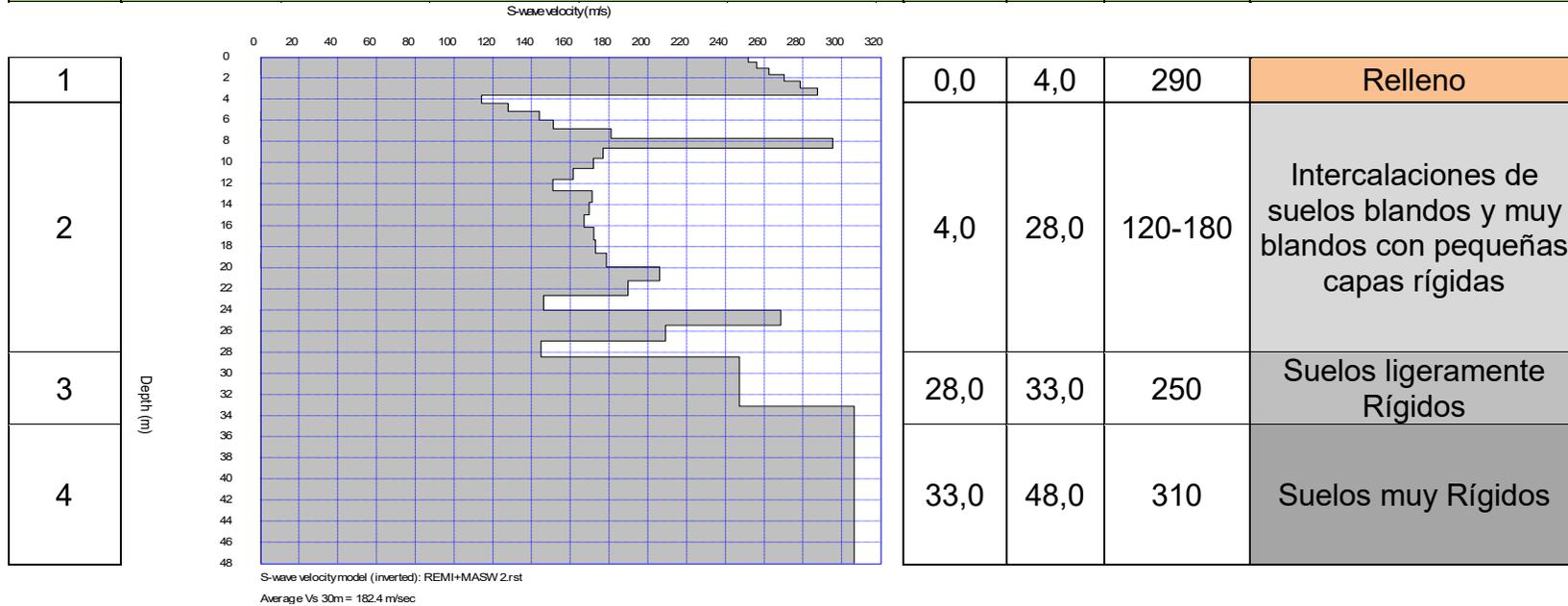
Los resultados de la interpretación del ensayo sísmico REMI+MASW 2 se muestran en la **Figura 6.58**, y los valores exactos de profundidad, velocidad de onda de corte  $V_s$ , velocidad de la onda P y densidad para cada estrato mostrado se encuentran expresados en la **TABLA XIX**.

# GEOESTUDIOS S.A.

## ARREGLO GEOMETRICO EN L ENSAYO DE SISMICA PASIVA

Coordenadas			
Inicio		622530-9761076	
Centro		622521-9761104	
Fin		622491-9761097	
AB	50	N° Geof	11
Desde (m)	Hasta (m)	Vs (m/s)	Clasificación IBC/Descripción

N° Capa	REMI +MASW 2	Desde (m)	Hasta (m)	Vs (m/s)	Clasificación IBC/Descripción
---------	--------------	-----------	-----------	----------	-------------------------------



**Figura 6.58** Resultado del ensayo REMI 2, Vs30= 182,4 m/s. Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

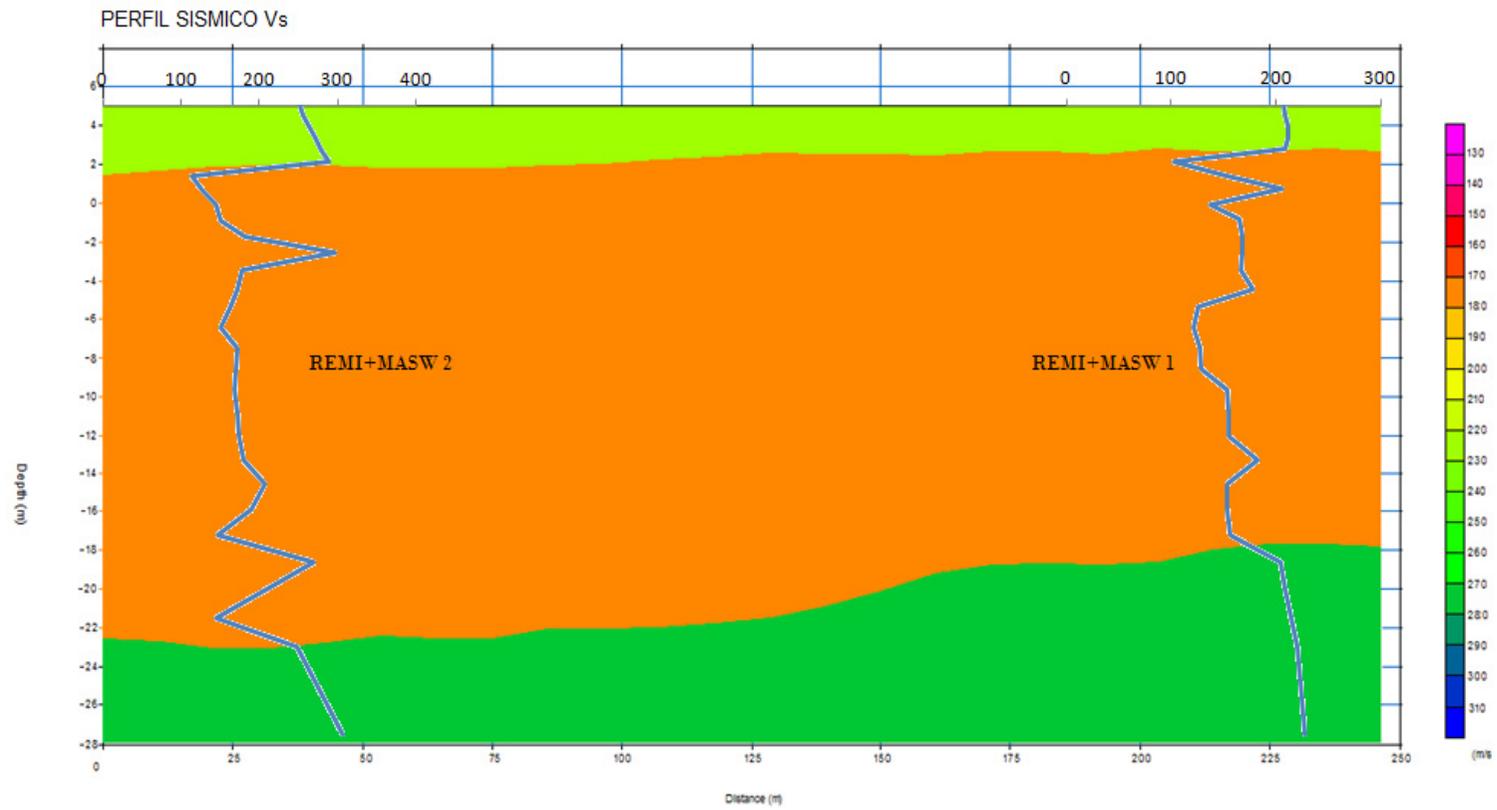
**TABLA XIX** Valores de Velocidad de la onda Vp y Vs, y la densidad de los suelos atravesados. REMI+MASW 2

<b>Depth (m)</b>	<b>S-wave velocity(m/s)</b>	<b>P-wave velocity(m/s)</b>	<b>Density (g/cc)</b>
<b>0,00</b>	251,83	1676,95	1,84
<b>0,52</b>	256,07	1676,95	1,84
<b>1,07</b>	262,52	1676,95	1,84
<b>1,66</b>	270,32	1676,95	1,84
<b>2,29</b>	278,55	1676,95	1,84
<b>2,96</b>	287,57	1676,95	1,84
<b>3,66</b>	114,16	1472,00	1,78
<b>4,40</b>	127,94	1470,00	1,78
<b>5,17</b>	144,11	1470,00	1,78
<b>5,99</b>	151,14	1464,00	1,78
<b>6,83</b>	181,10	1488,00	1,78
<b>7,72</b>	295,40	1610,78	1,82
<b>8,65</b>	176,87	1470,00	1,78
<b>9,61</b>	171,80	1470,00	1,78
<b>10,60</b>	161,45	1470,00	1,78
<b>11,64</b>	151,00	1470,00	1,78
<b>12,71</b>	171,30	1503,00	1,79
<b>13,82</b>	169,82	1506,00	1,79

<b>Depth (m)</b>	<b>S-wave velocity(m/s)</b>	<b>P-wave velocity(m/s)</b>	<b>Density (g/cc)</b>
<b>14,96</b>	167,07	1506,00	1,79
<b>16,15</b>	172,21	1515,00	1,79
<b>17,36</b>	172,96	1516,50	1,79
<b>18,62</b>	178,76	1516,50	1,79
<b>19,91</b>	206,19	1530,00	1,80
<b>21,24</b>	189,84	1482,00	1,78
<b>22,61</b>	146,17	1392,00	1,75
<b>24,01</b>	268,68	1536,00	1,80
<b>25,46</b>	209,12	1467,00	1,78
<b>26,93</b>	145,00	1392,00	1,75
<b>28,45</b>	247,17	1563,00	1,81
<b>33,10</b>	306,50	1676,95	1,84

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

Al realizar un perfil con los resultados obtenidos en los ensayos correspondientes al método sísmico, se puede apreciar un modelo final de 3 capas, donde la 1er capa corresponde al material de relleno colocado en la zona, que tiene un espesor aproximado de 3 a 4 m y una Velocidad de onda de corte variable  $210 < V_s < 290$  m/s. En la 2da capa tenemos una inversión en la velocidad de la onda, corresponde a arcillas o limos blandos con intercalaciones de arena en forma de láminas, saturados, con espesor aproximado de 25 a 30 m donde encontramos fluctuaciones de velocidad de onda de corte con valores entre  $120 < V_s < 180$  m/s. La 3ra capa corresponde a la zona de contacto seguido del estrato resistente, con velocidades crecientes o estables, arcillas o limos rígidos, con velocidades de onda de corte con valores entre  $210 < V_s < 310$  m/s, ver **Figura 6.59**.



**Figura 6.59** Perfil Sísmico, se puede apreciar la velocidad de la onda Vs para cada ensayo.

Fuente: Elaborado por los autores.

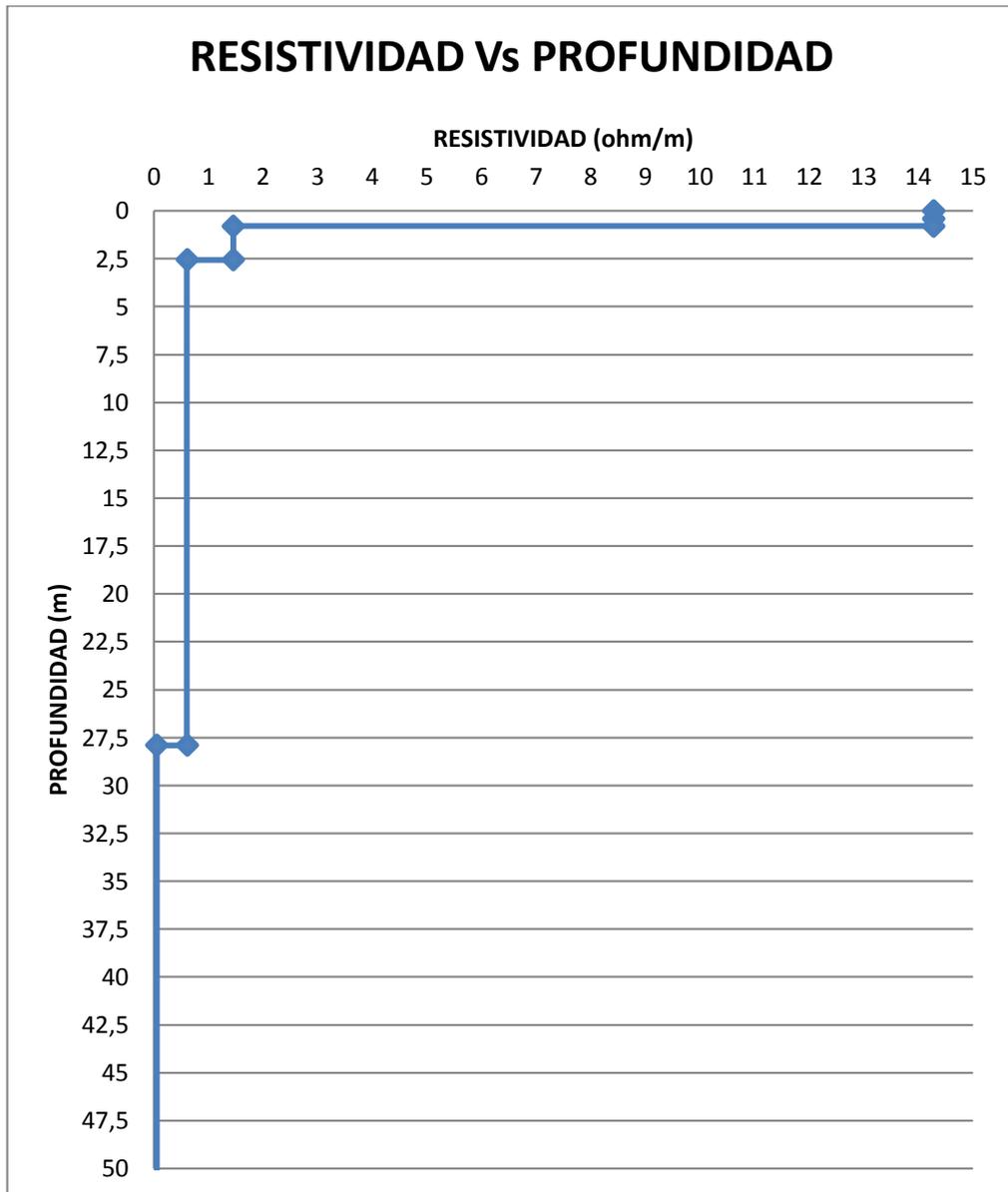
## METODO ELECTRICO

La interpretación de los SEV nos dio un modelo de 4 capas cuyos resultados se encuentran en la **Figura 6.60** para el SEV 1 y **Figura 6.61** para el SEV 2, y fueron los siguientes:

### SEV 1

1. Desde 0,0 hasta 0,80 m se registraron resistividades de 14,0 ohm/m que corresponden a arcillas o limos areno-gravoso secos a poco húmedos, no influenciados por efectos de capilaridad, estos valores se relacionan con el material de relleno.
2. Desde 0,80 hasta 2,56 m se registraron resistividades de 1,45 ohm/m que corresponden a arcillas y limos areno muy húmedos a saturados, nivel freático.
3. Desde los 2,56 hasta 27,90 m se registraron resistividades de 0,608 ohm/m que corresponden a arcillas y limos arenosos muy húmedos a saturados, posiblemente agua salobre.

- Desde los 27,90 m en adelante los valores de resistividad decaen a 0,053 ohm/m que corresponden a arcillas con presencia de minerales conductores como pirita.

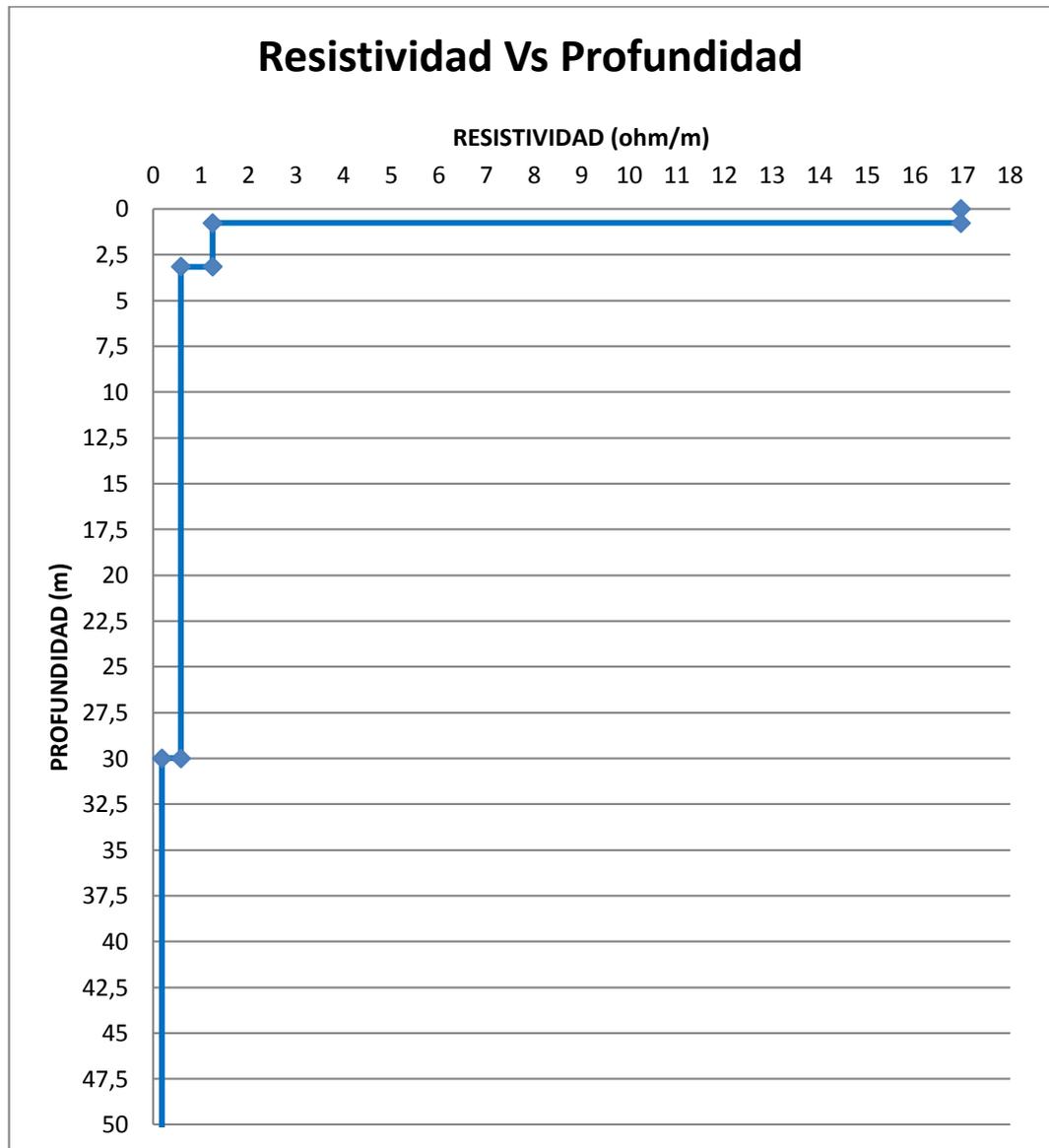


**Figura 6.60** Resultado del ensayo SEV 1.

Fuente: Elaborado por los autores.

**SEV 2**

1. Desde 0,0 hasta 0,76 m se registraron resistividades de 17,0 ohm/m que corresponden a arcillas y limos areno-gravoso secos a poco húmedos, no influenciados por efectos de capilaridad, estos valores se relacionan con el material de relleno.
2. Desde 0,76 hasta 3,15 m se registraron resistividades de 1,25 ohm/m que corresponden a arcillas y limos areno muy húmedos a saturados, nivel freático.
3. Desde los 3,15 hasta 30,00 m se registraron resistividades de 0,59 ohm/m que corresponden a arcillas y limos arenosos muy húmedos a saturados, posiblemente agua salobre.
4. Desde los 30,00 m en adelante los valores de resistividad decaen a 0,19 ohm/m que corresponden a arcillas con presencia de minerales conductores como pirita.

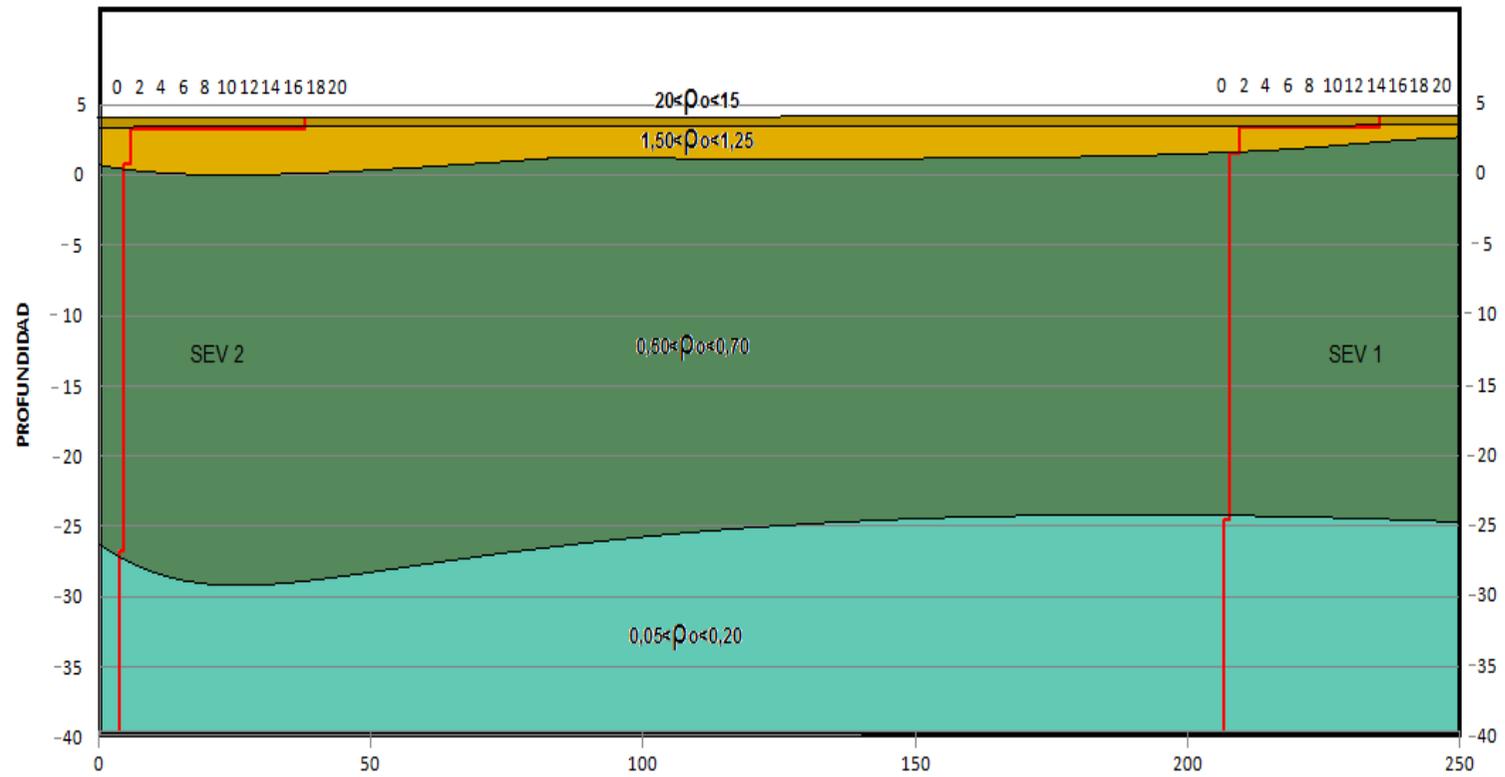


**Figura 6.61** Resultado del ensayo SEV 2.

Fuente: Elaborado por los autores.

Al realizar un perfil con los resultados obtenidos en los ensayos correspondientes al método eléctrico, se puede apreciar un modelo final de 4 capas, **Figura 6.62**, donde la 1er capa con resistividades aparentes de 15 a 20 ohm/m corresponde al material de relleno, a arcillas o limos con altos contenidos de arena o grava, poco húmedos, con un espesor próximo a 1 m. La 2da capa con resistividades aparentes de 1,25 a 1,5 ohm/m corresponde a arcillas o limos con contenido de arena o grava, muy húmedos, con un espesor entre 2 y 3 m. La 3er capa con resistividades aparentes de 0,50 a 0,70 ohm/m corresponde a arcillas o limos muy blando, saturados, con un espesor entre 25 y 30 m y la 4ta capa con resistividades aparentes de 0,05 a 0,20 ohm/m corresponde a arcillas o limos, poco húmedos a secos.

PERFIL ELECTRICO



**Figura 6.62** Perfil Eléctrico, se muestra las resistividades aparentes para cada estrato.

Fuente: Elaborado por los autores.

## **6.2. Columnas geológica - geotécnica**

Las columnas Geológicas-Geotécnicas son el resultado de las perforaciones junto con los ensayos realizados en el laboratorio de suelo. Las perforaciones nos dan la secuencia estratigráfica y la descripción visual del material en el subsuelo, mientras que los ensayos del laboratorio nos dan los parámetros geotécnicos de cada uno de esos estratos, parámetros que luego serán usados para propósitos ingenieriles.

De los parámetros que se obtienen del CPT-u, el índice de comportamiento de suelo ( $I_c$ ) nos da una idea de la tipología del subsuelo, sin embargo, este parámetro presenta cierto grado de incertidumbre en la descripción tipológica de los geomateriales.

Las columnas Geológicas-Geotécnicas obtenidas de las perforaciones son detalladas a continuación.

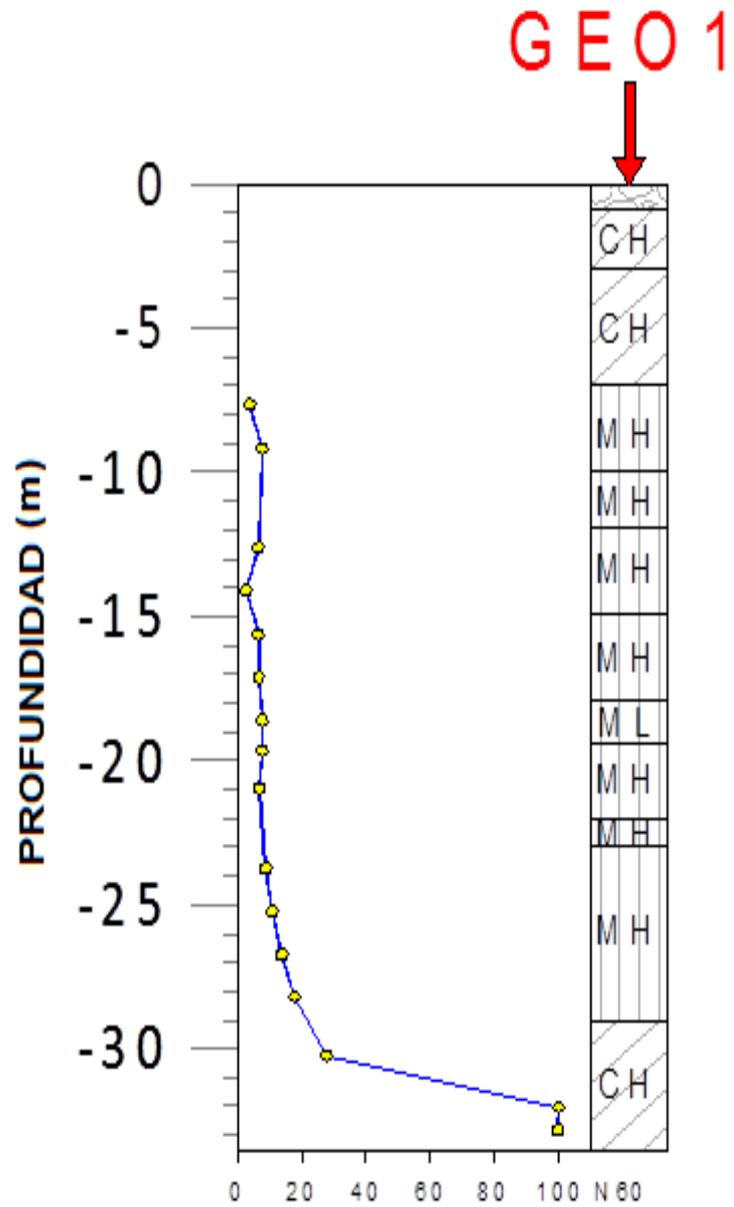
## GEO-1

La columna estratigráfica que se muestra en la **Figura 6.63**, empieza con un relleno compuesto de grava arcillosa de color gris oscuro de 0,90 m, con un nivel freático ubicado a una profundidad de 1,00 m.

Bajo esa capa tenemos arcillas de alta plasticidad (CH) de color amarillo oscuro de 2,00 m de espesor y de color gris verdosa de 4,00 m de espesor, estas arcillas son de consistencia rígida a blanda, con un Índice de Plasticidad de 46% y un porcentaje de humedad máxima del 77%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 99% y en ese espesor solo se tomaron muestras con tubos Shelby's.

Continuando en profundidad, se constató la presencia de un estrato de limo de alta plasticidad [MH] de color gris oscuro de 22,00m de espesor, estos limos son de consistencia rígida a blanda, con un Índice de Plasticidad que fluctúa entre 14% y 51% y un porcentaje de humedad máxima del 84%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 74% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 18 golpes

Finalmente, se constató la presencia de un estrato de geomaterial residual de Lutita de alta meteorización de un espesor de 4,00 m y color amarillo oscuro.



**Figura 6.63** Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-1

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

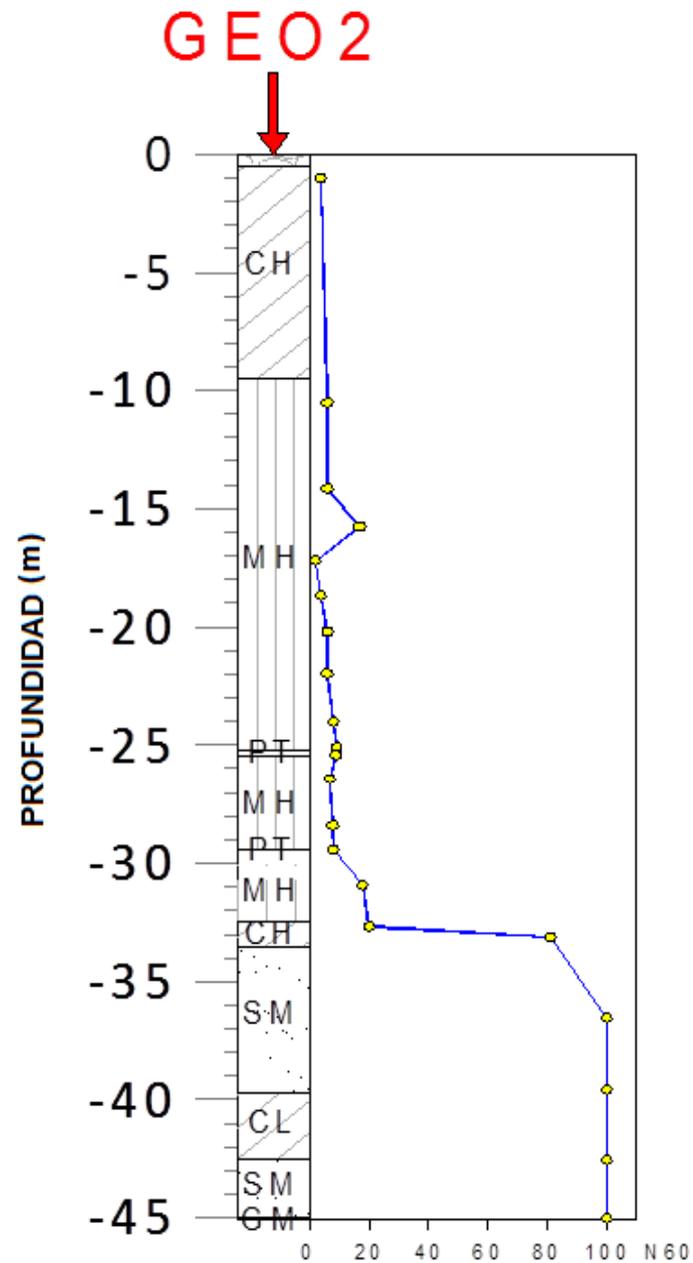
## **GEO-2**

La columna estratigráfica que se muestra en la **Figura 6.64**, empieza con un relleno de color gris oscuro de 0,50 m, con un nivel freático ubicado a una profundidad de 1,50 m.

Bajo esa capa tenemos arcillas de alta plasticidad (CH) de color gris verdosa de 9,00 m de espesor, de consistencia muy blanda a blanda, con un Índice de Plasticidad que fluctúa de 45% a 55% y un porcentaje de humedad máxima del 85%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 98% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 4 golpes.

Continuando en profundidad, se constató la presencia de un estrato de limo de alta plasticidad [MH] de color gris oscuro de 23.00 m de espesor, estos limos son de consistencia rígida a blanda, con un Índice de Plasticidad que fluctúa entre 34% y 48% y un porcentaje de humedad variable de 61% a 83%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 78% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 18 golpes. Se encontró intercalaciones de turba de color café a los 25,2 m y 29,40 m de profundidad con un espesor de 0,45 m a 0,05 m respectivamente y un valor de  $N_{60}$  registrado que no supera los 9 golpes

Finalmente, se constató la presencia de un estrato de geomaterial residual de Lutita de alta meteorización, de aproximadamente 5 m de espesor, y color amarillo oscuro. Dentro de esta serie estratigráfica se detectaron dos estratos de arena limosa de color gris verdoso con un espesor no mayor a 3 metros.



**Figura 6.64** Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-2

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

## **GEO-4**

La columna estratigráfica que se muestra en la **Figura 6.65**, empieza con un relleno de color café de 1,00 m, con un nivel freático ubicado a una profundidad de 1,00 m.

Bajo esa capa tenemos arcillas de alta plasticidad (CH) de color gris verdosa de 9,00 m de espesor, de consistencia muy blanda a rígida, con un Índice de Plasticidad que fluctúa de 41% a 56% y un porcentaje de humedad máxima del 88%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 93% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 5 golpes.

Continuando en profundidad, se constató la presencia de un estrato de limo de alta plasticidad [MH] de color gris oscuro de 20,00 m de espesor, estos limos son de consistencia muy rígida a firme, con un Índice de Plasticidad que fluctúa entre 31% y 47% y un porcentaje de humedad variable de 53% a 78%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 88% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 36 golpes.

Bajo el estrato de limo tenemos una arcilla de alta plasticidad (CH) de color gris verdosa de 7,00 m de espesor, de consistencia dura a muy rígida, con un Índice de Plasticidad que fluctúa de 38% a 42% y un porcentaje de humedad

máxima del 54%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 90% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 57 golpes.

Finalmente, se constató la presencia de un estrato de geomaterial residual de Lutita de alta meteorización, de aproximadamente 0.50 m de espesor, y color amarillo oscuro.

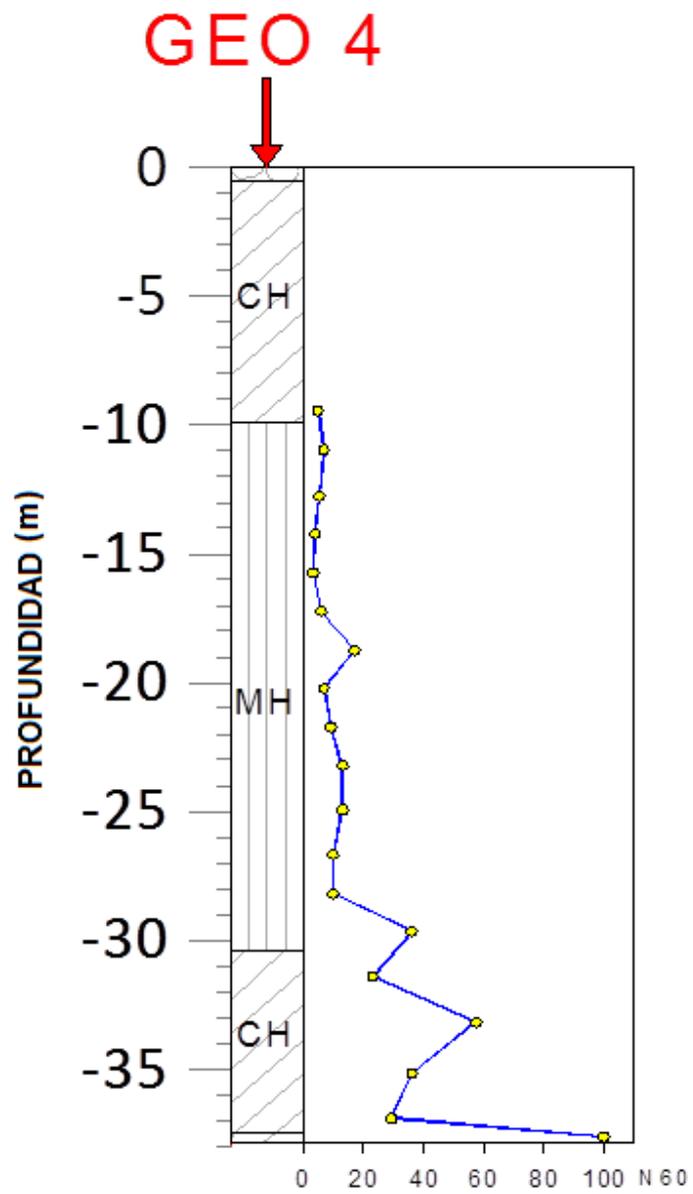


Figura 6.65 Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-4.

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

## **GEO-5**

La columna estratigráfica que se muestra en la **Figura 6.66**, empieza con un material de relleno SM-GM, desde 0,00 hasta 2,90 m encontramos arena limosa con grava a grava limosa con arena de color café de compacidad densa, con un porcentaje de humedad entre 6 y 11 %, y el material pasante por el tamiz #200 es de 13 %. Se tomaron muestras manualmente. Con un nivel freático a 1,70 m.

Bajo este material se evidenció la existencia de un estrato de Arena limosa con grava de color café, SM, desde 2,90 hasta 3,95 m. de compacidad suelta, La humedad máxima registrada fue del orden del 35%. El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 25%.

Continuando con la perforación desde 3,95 hasta 13,45 m encontramos Arcilla, CH, de color gris verdoso de consistencia blanda a muy blanda, con presencia de arena al final de este estrato, La humedad máxima registrada fue del orden del 78%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 89%, registra un índice de plasticidad IP entre 26 y 52% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 5 golpes.

Luego encontramos desde 13,45 hasta 16,00 m encontramos limo con arena, MH, de color gris oscuro de consistencia firme La humedad máxima

registrada fue del orden del 79%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 83%, registra un índice de plasticidad IP de 38% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 9 golpes.

Continuando con la perforación desde 16,00 hasta 17,50 m encontramos arcilla, CH, de color gris oscuro de consistencia firme. La humedad máxima registrada fue del orden del 83%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 94%, registra un índice de plasticidad IP entre 38 y 52% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 6 golpes.

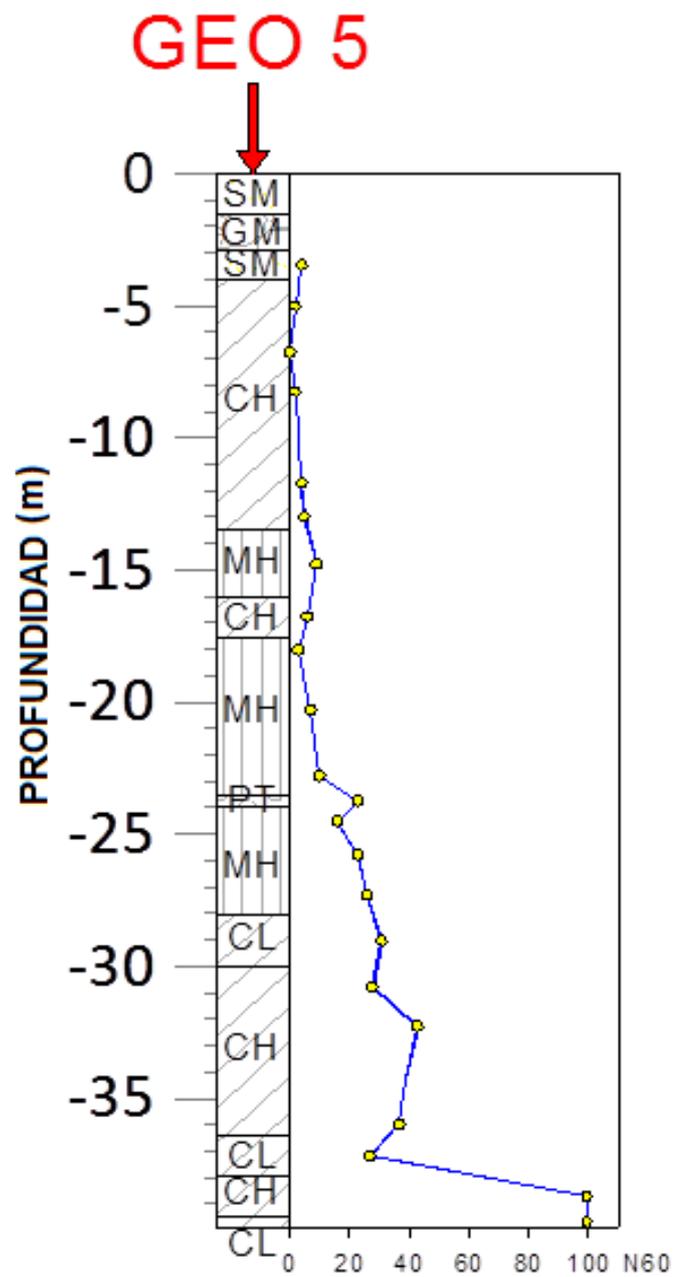
Luego encontramos desde 17,50 hasta 23,50 m. Limo con arena, MH, de color gris oscuro de consistencia blanda a rígida. La humedad máxima registrada fue del orden del 93%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 85%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 30 y 40% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 10 golpes.

Desde 23,50 hasta 23,95 m encontramos una capa fina de Turba, PT, de color café con un valor de  $N_{60}$  registrado de 23 golpes.

Luego encontramos desde 23,95 hasta 28,00 m. Limo con arena, MH, de color gris verdoso de consistencia rígida a muy rígida. La humedad máxima registrada fue del orden del 93%, El porcentaje de material que pasa el

Tamiz #200 fue superior al 90%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 33 y 39% y el valor de  $N_{60}$  registrado variable de 16 a 26 golpes.

Finalmente encontramos desde 28,00 hasta 39,84 Arcilla, CH-CL, de color amarillo con presencia de arena desde el metro 37,15, oscuro de consistencia muy rígida. La humedad máxima registrada fue del orden del 52%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 97%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 26 a 52% y el valor de  $N_{60}$  registrado variable de 27 a 43 golpes, rechazo a los 39,45 m y se comprobó el rechazo a los 39,84 m.



**Figura 6.66** Columna Geológica- Geotécnica de la perforación GEO-5

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

## **GEO-6**

La columna estratigráfica que se muestra en la **Figura 6.67**, empieza con un material de relleno SM-GM, desde 0,00 hasta 4,00 m encontramos arena limosa con grava a grava limosa con arena. Con un nivel freático a 2,00 m.

Continuando con la perforación desde 4,00 hasta 7,00 m encontramos Arcilla, CH, de color gris claro de consistencia muy blanda. La humedad máxima registrada fue del orden del 66%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 94%, registra un índice de plasticidad IP de 39% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 2 golpes.

Luego encontramos desde 7,00 hasta 9,00 m encontramos limo con arena, MH, de color gris oscuro de consistencia muy blanda con olor orgánico. La humedad máxima registrada fue del orden del 97%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 83%, registra un índice de plasticidad IP variable de 22 a 47% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 2 golpes. Se tomó muestras inalteradas por muestreador de pared delgada, tubo shelby.

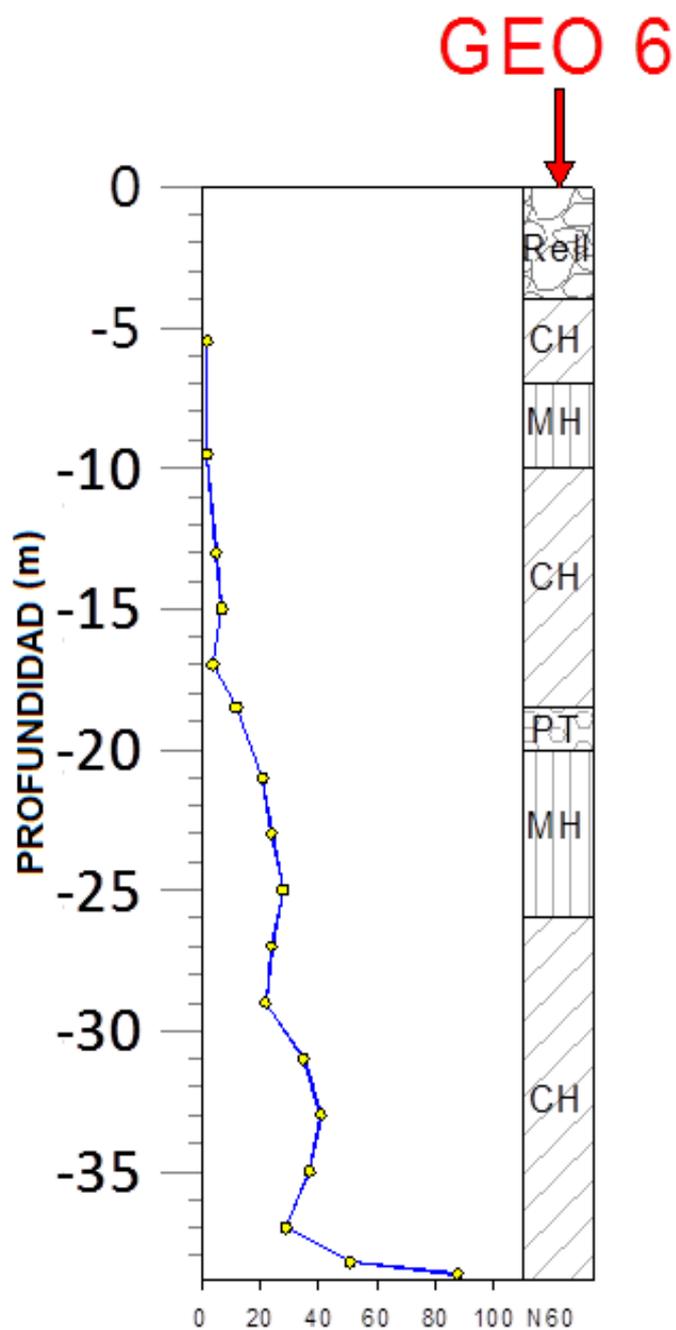
Continuando con la perforación desde 9,00 hasta 18,50 m encontramos arcilla, CH, de color gris oscuro de consistencia blanda a firme. La humedad máxima registrada fue del orden del 99%, El porcentaje de material que pasa

el Tamiz #200 fue superior al 84%, registra un índice de plasticidad IP entre 42 y 57% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 12 golpes. Se tomó muestras inalteradas por muestreador de pared delgada, tubo shelby.

Desde 18,50 hasta 20,00 m encontramos una capa fina de Turba, PT, de color café.

Luego encontramos desde 20,00 hasta 25,00 m. Limo con arena, MH, de color gris verdoso de consistencia muy rígida y pintas de oxidación. La humedad máxima registrada fue del orden del 55%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 94%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 20 y 55% y el valor de  $N_{60}$  registrado variable de 21 a 28 golpes.

Finalmente encontramos desde 25,00 hasta 38,85 m de Arcilla, CH, de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida con presencia de arena y gravas desde el metro 38,00 m. La humedad máxima registrada fue del orden del 44%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 62%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 32 a 59% y el valor de  $N_{60}$  registrado variable de 22 a 51 golpes.



**Figura 6.67** Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-6.

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

## **GEO-7**

La columna estratigráfica que se muestra en la **Figura 6.68**, empieza con un material de relleno SM-GM, desde 0,00 hasta 4,00 m encontramos arena limosa con grava a grava limosa con arena. Con un nivel freático a 1,80 m.

Continuando con la perforación desde 4,00 hasta 12,00 m encontramos arcilla, CH, de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica. La humedad máxima registrada fue del orden del 100%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 55%, registra un índice de plasticidad IP entre 39 a 49% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 2 golpes. Se tomó muestras inalteradas por muestreador de pared delgada, tubo shelby.

Continuando con la perforación desde 12,00 hasta 13,00 m encontramos arcilla arenosa, CL, de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica. La humedad máxima registrada fue del orden del 76%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 70%, registra un índice de plasticidad IP 19%. Se tomó muestras inalteradas por muestreador de pared delgada, tubo shelby.

Continuando con la perforación desde 13,00 hasta 22,30 m encontramos Limo, MH, de color gris oscuro de consistencia blanda a rígida con presencia

de materia orgánica. La humedad máxima registrada fue del orden del 100%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 85%, registra un índice de plasticidad IP entre 34 a 41% y el valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 13 golpes.

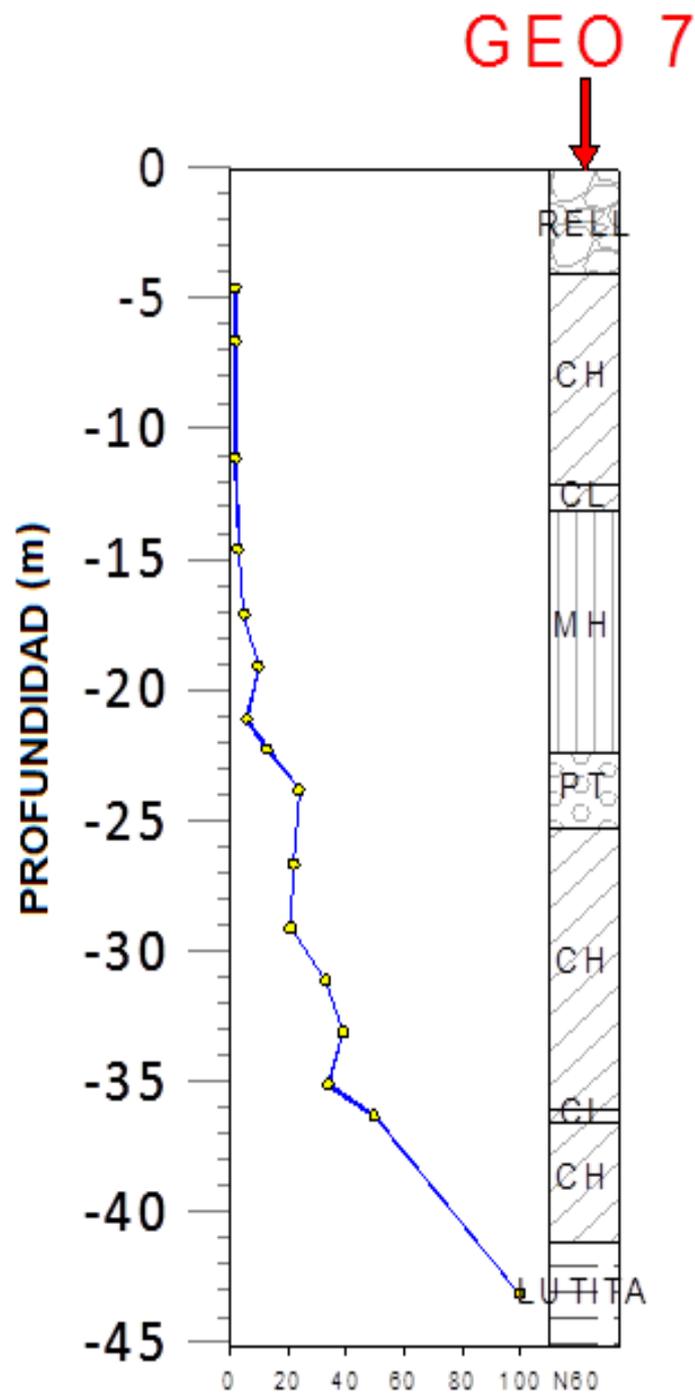
Desde 22,30 hasta 25,15 m encontramos una capa fina de Turba, PT, de color café con un valor de  $N_{60}$  registrado de 24 golpes.

A continuación encontramos Arcilla desde 25,15 hasta 36,00 m, CH, de color de color gris verdoso de consistencia muy rígida, con presencia de yeso. La humedad máxima registrada fue del orden del 54%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 89%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 35 a 54% y el valor de  $N_{60}$  registrado variable de 21 a 39 golpes.

Luego encontramos Arcilla desde 36,00 hasta 36,41, CL, de color amarillo oscuro de consistencia dura. La humedad máxima registrada fue del orden del 29%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 67%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 20% y el valor de  $N_{60}$  registrado variable 50 golpes, rechazo a los 39,45 m y se comprobó el rechazo a los 39,84 m.

A continuación encontramos Arcilla desde 36,41 hasta 41,00 m, CH, de color con presencia de gravas a partir de los 38,00 m de color gris verdoso de consistencia dura. La humedad máxima registrada fue del orden del 38%, El porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 72%, registra un índice de plasticidad IP variable entre 36 a 41%, muestras obtenidas con el sistema de rotación.

Finalmente encontramos Lutitas desde 41,00 hasta 45,00 m de color gris verdoso



**Figura 6.68** Columna Geológica-Geotécnica de la perforación GEO-7.

Fuente: GEOESTUDIOS S.A.

### 6.3. Perfil geológico-geotécnico final

En las secciones precedentes se describen las series estratigráficas encontradas en la zona de estudio. La estratigrafía comúnmente encontrada en los sondeos, presenta estratos arcillosos con intercalaciones de capas de limos, arena y en algunos casos, materia orgánica.

A continuación se detalla la variación espacial de los geomateriales, según las perforaciones, CPT, y ensayos REMI+MASW, agrupando los sondeos que presentan una estratigrafía o características geotécnicas similares, realizando una interpolación entre sondeos y ensayos geofísicos para la obtención del perfil final.

En el Perfil Geológicos-Geotécnicos se ha graficado el parámetro de la resistencia total del cono corregida ( $q_t$ ), el cual describe de forma precisa la resistencia de los geomateriales (MPa), parámetro que se puede corroborar con el número de golpes del ensayo SPT de perforaciones cercanas.

En la **Figura 6.69** se muestra el perfil Geotécnico sección 1-1' visto en planta, debido a las dimensiones que presenta, a continuación en las **Figura 6.70** y **Figura 6.71** se realiza una ampliación del mismo. En estas figuras se muestra la línea roja como representación longitudinal del perfil, además de la ubicación de las perforaciones mediante el ensayo SPT desde la Geo 1

hasta la Geo 7, las perforaciones mediante ensayo CPTu desde CPTu 1 hasta el CPTu 4, y los ensayos de geofísica. Este perfil se encuentra en el ANEXO D, en formato A2 a escala 1:1250

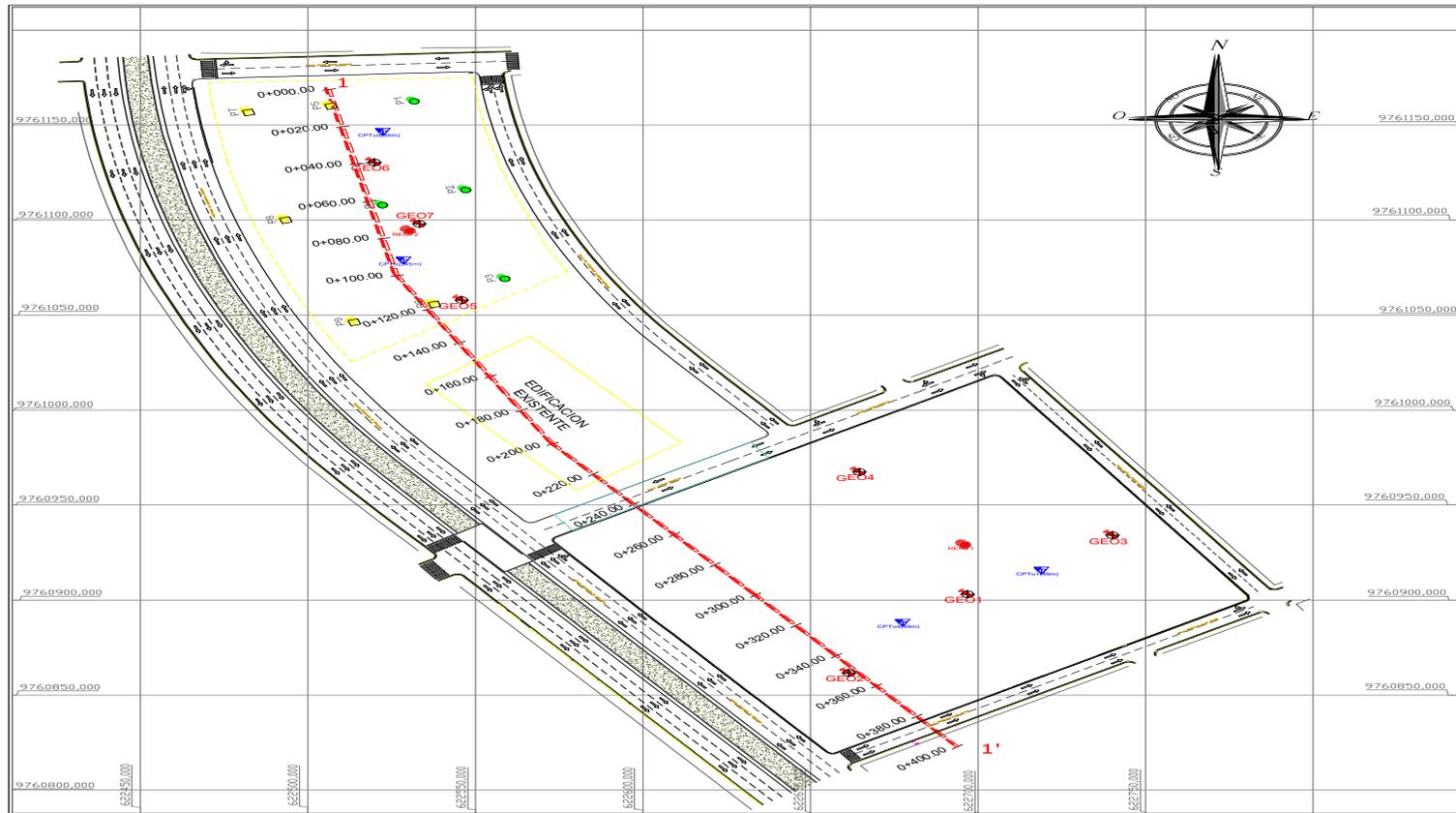
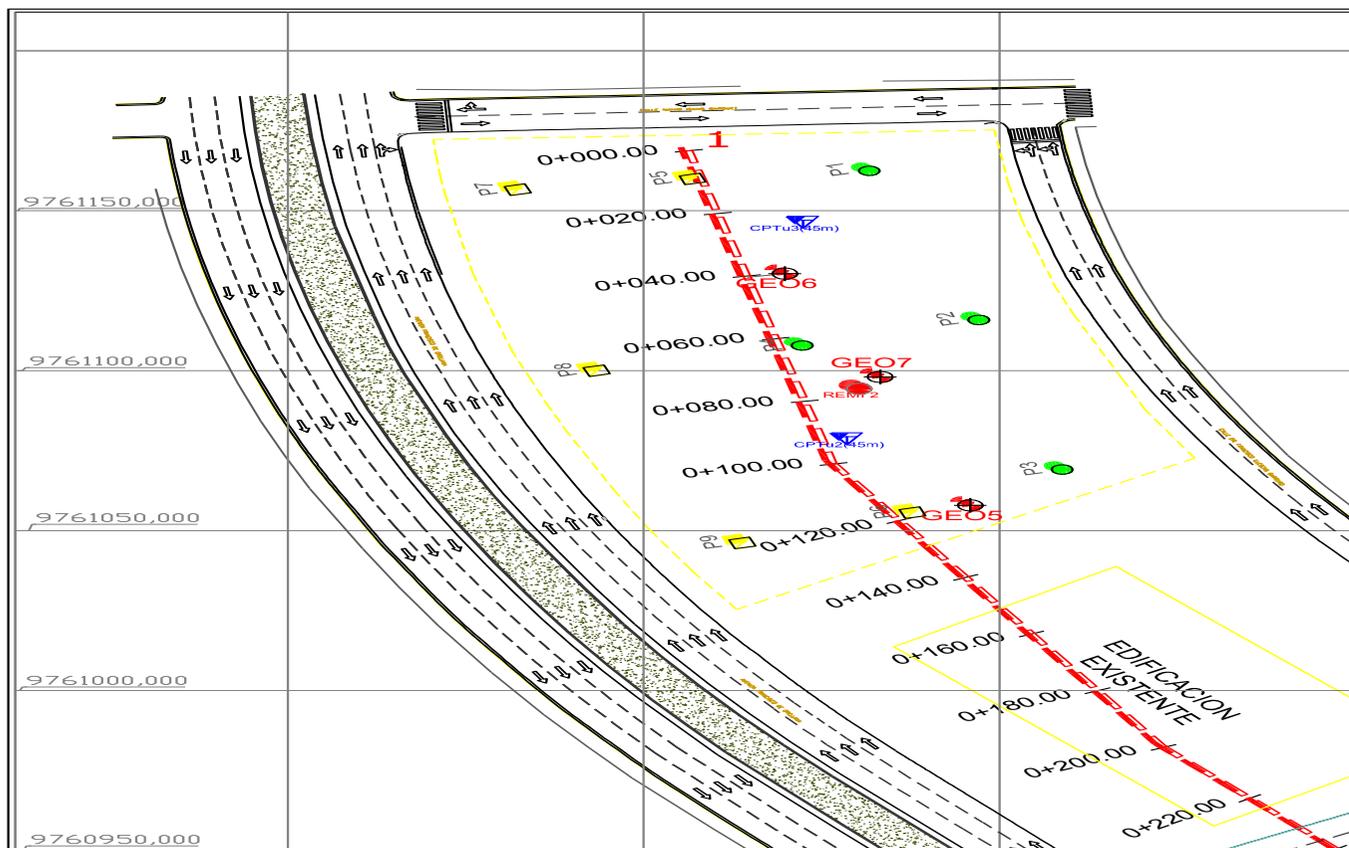


Figura 6.69 Vista en planta del perfil Geológico-Geotécnico final.

Fuente: Elaborado por los autores.



**Figura 6.70** Ampliación de la vista en planta del perfil Geológico-Geotécnico final.

Fuente: Elaborado por los autores.



**Figura 6.71** Ampliación de la vista en planta del perfil Geológico-Geotécnico final.

Fuente: Elaborado por los autores.

El perfil Geológico-Geotécnico final se muestra en la **Figura 6.72**, el cual tiene 400m de longitud. Para mejorar el detalle visual y la estratigrafía, se ha dividido el perfil en 3 zonas como se detalla a continuación. Una mejor apreciación del perfil final se ha dispuesto una copia de este perfil en el ANEXO 4 en formato A2 a escala 1:1000.

En la zona comprendida entre las abscisas **0+000 a 0+140**, **Figura 6.73**, se puede notar la presencia de un relleno de espesor variable de 3 a 4 m de espesor y color café claro. Además, el nivel freático fue encontrado entre 1,70 m y 2,00 m de profundidad.

Bajo este material se evidenció la existencia de un estrato de arcilla de alta plasticidad [CH] de color gris verdoso, de espesor variable de 3 a 10 m y de consistencia rígida a blanda. La humedad máxima registrada fue del orden del 99%. El índice de plasticidad de este material varía de 19% a 57% y el porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 66%. El valor de  $N_{60}$  registrado varía de 2 a 12 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varía de 0,1 a 1,1 MPa en esta serie estratigráfica.

Continuando en profundidad, se constató en la perforación GEO 6 la presencia de una secuencia de estratos intercalados entre limos y arcillas,

con presencia de lentes de arena y turba, comenzando con un estrato de limo de alta plasticidad [MH] de color gris verdoso, de espesor de 3 m y de consistencia blanda. Los valores de humedad registrados en este estrato fluctúan de 69% a 98%. El índice de plasticidad de este material varía de 22% a 47% y el porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 83%. El valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 2 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varía de 0,7 a 1,0 MPa al final de este material. Bajo esta serie estratigráfica se evidenció la existencia de un estrato de arcilla de alta plasticidad [CH] de color amarillo oscuro, de espesor variable de 10 a 13 m y de consistencia muy rígida a dura. La humedad máxima registrada fue del orden del 44%. El índice de plasticidad de este material varía de 32% a 59% y el porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 62%. El valor de  $N_{60}$  registrado alcanza varía de 24 a 51 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varía de 0,8 a 6,8 MPa en esta serie estratigráfica.

Así mismo entre los sondeos GEO-5 Y GE-7 se constató la presencia de un estrato de limo de alta plasticidad [MH] de color gris oscuro, de espesor variable de 9,0 a 13,5 m y de consistencia blanda a muy blanda. Los valores de humedad registrados en este estrato varían de 58% a 99%. El índice de plasticidad de este material varía de 30% a 41% y el porcentaje de material

que pasa el Tamiz #200 fue superior al 85%. El valor de  $N_{60}$  registrado varía de 3 a 26 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varia de 0,6 a 2,0 MPa en este material. Dentro de esta serie estratigráfica, en la zona de GEO 5, se detectó un estrato de arcilla de color gris verdoso con un espesor no mayor a 2 metros y consistencia muy rígida, humedad máxima de 52 % y un índice de plasticidad del 30%. Además, en la zona del sondeo GEO 7, se pudo constatar un estrato de arena de color café con un espesor no mayor a 1 metro y una resistencia de punta de cono de 10 MPa donde subyace un estrato de turba de color café con un espesor no mayor a 3 metros y con un valor de  $N_{60}$  de 24 golpes.

Continuando en profundidad entre la GEO-5 Y GE-7 se encontró un estrato de arcilla de alta plasticidad [CH] de color gris verdoso, de espesor variable de 8 a 11m y de consistencia muy rígida a dura. La humedad máxima registrada fue del orden del 54%. El índice de plasticidad de este material varía de 36 a 54% y el porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 68%. El valor de  $N_{60}$  registrado es de 22 a 34 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varia de 0,9 a 4,1 MPa en esta serie estratigráfica.

Finalmente, se constató la presencia de un estrato de geomaterial residual de Lutita de alta meteorización con un espesor de 5 m y color amarillo oscuro. A

continuación de este material, se encuentra a los 41,00 m de profundidad la presencia de la Lutita con un RQD de 20%.

En la zona comprendida entre las abscisas **0+140 a 0+260, Figura 6.74**, se puede notar la presencia de un relleno de espesor variable de 2,00 a 2,50 m de espesor y color café claro.

Bajo este material se evidenció la existencia de un estrato de arcilla de alta plasticidad [CH] de color gris verdoso, de espesor variable de 8 a 30 m y de consistencia blanda a rígida. El valor de  $N_{60}$  registrado varía de 2 a 27 golpes. Dentro de esta serie estratigráfica se detecta intercalaciones de arcillas orgánicas (OH) cuyos espesores varían de 1,5 a 3,5 m. También se detecta intercalaciones entre limos y arcillas de alta plasticidad cuyos espesores varían de 2 a 6 m.

Continuando en profundidad se encuentra un estrato de limo de alta plasticidad (MH) de espesor variable de 3 a 4 m y de consistencia muy rígida. El valor de  $N_{60}$  registrado varía de 27 a 35 golpes.

Finalmente, se constató la presencia de un estrato de un geomaterial residual, Lutita, de alta meteorización, de aproximadamente 5 m de espesor, y color amarillo oscuro.

Por último tenemos la zona comprendida entre las abscisas **0+260 a 0+400**, **Figura 6.75**, donde se puede notar la presencia de un relleno de aproximadamente 1,00 m de espesor y color gris oscuro. Además, el nivel freático fue encontrado desde 0,80 a 1,20 m de profundidad.

Bajo este material se evidenció la existencia de un estrato de arcilla de alta plasticidad [CH] de color amarillo oscuro, de espesor variable de 6 a 9 m y de consistencia rígida a muy blanda. La humedad máxima registrada fue del orden del 83%. El índice de plasticidad de este material varía de 41 a 56% y el porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 93%. El valor de  $N_{60}$  registrado no supera los 5 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varía de 0,4 a 2,0 MPa en esta serie estratigráfica.

Continuando en profundidad, se constató la presencia de un estrato de limo de alta plasticidad [MH] de color gris verdoso, de espesor variable de 22 a 25 m y de consistencia muy blanda a rígida. Los valores de humedad registrados en este estrato fluctúan entre 41% a 84%. El índice de plasticidad de este material varía de 14% a 51% y el porcentaje de material que pasa el Tamiz #200 fue superior al 70%. El valor de  $N_{60}$  registrado alcanza los 36 golpes y la resistencia de punta de cono [qt] obtenida a partir del ensayo CPTu varía de 2 a 16 MPa al final de este material, incrementando su

resistencia aceleradamente. Dentro de esta serie estratigráfica se detectaron pequeños lentes de turba color café con un espesor no mayor a 1,50 m.

Finalmente, se constató la presencia de un estrato de geomaterial residual, Lutita, de alta meteorización, de aproximadamente 5 m de espesor, y color amarillo oscuro. Dentro de esta serie estratigráfica se detectaron dos estratos de arena limosa de color gris verdoso con un espesor no mayor a 6 metros.

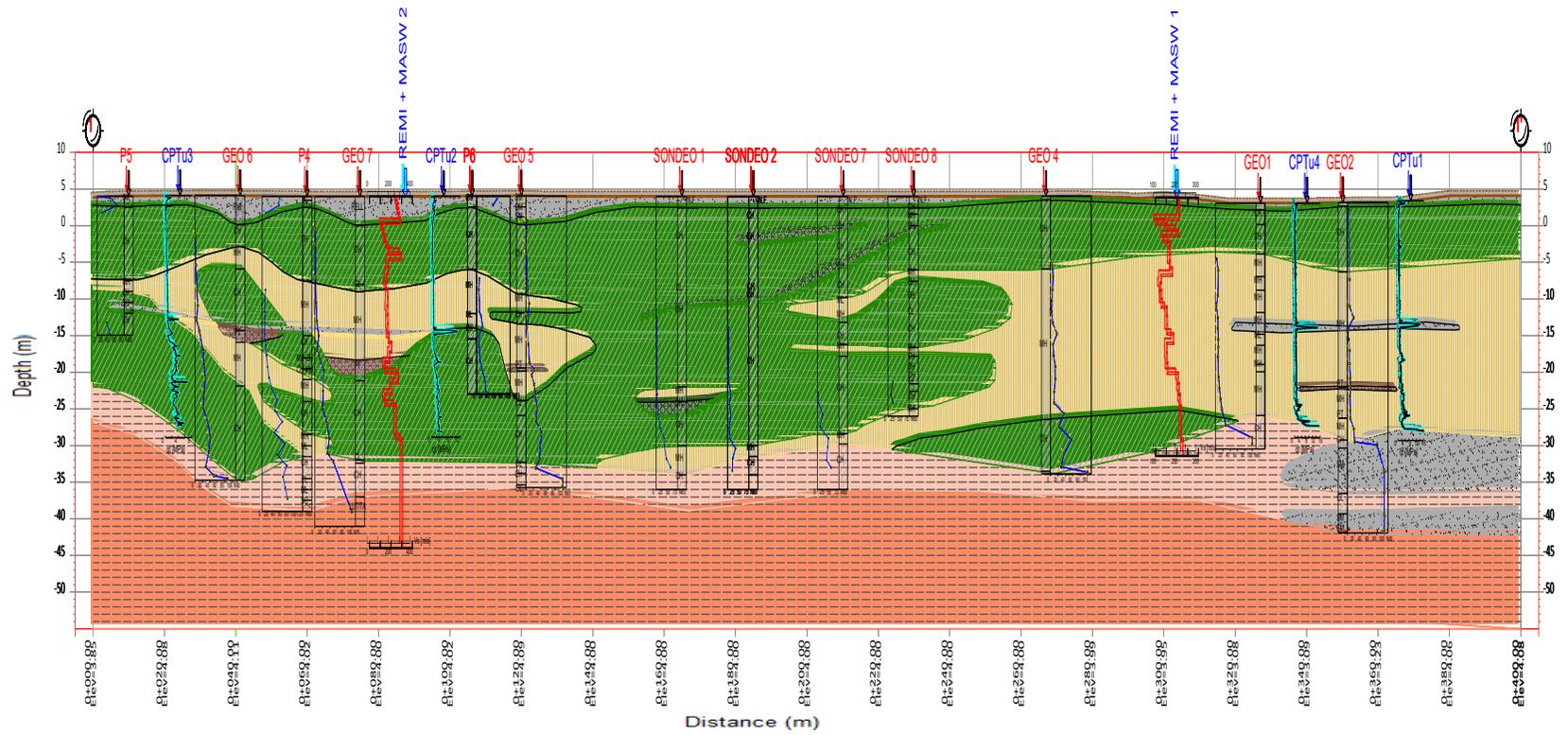


Figura 6.72 Perfil Geológico-Geotécnico Final, sección 1-1'.

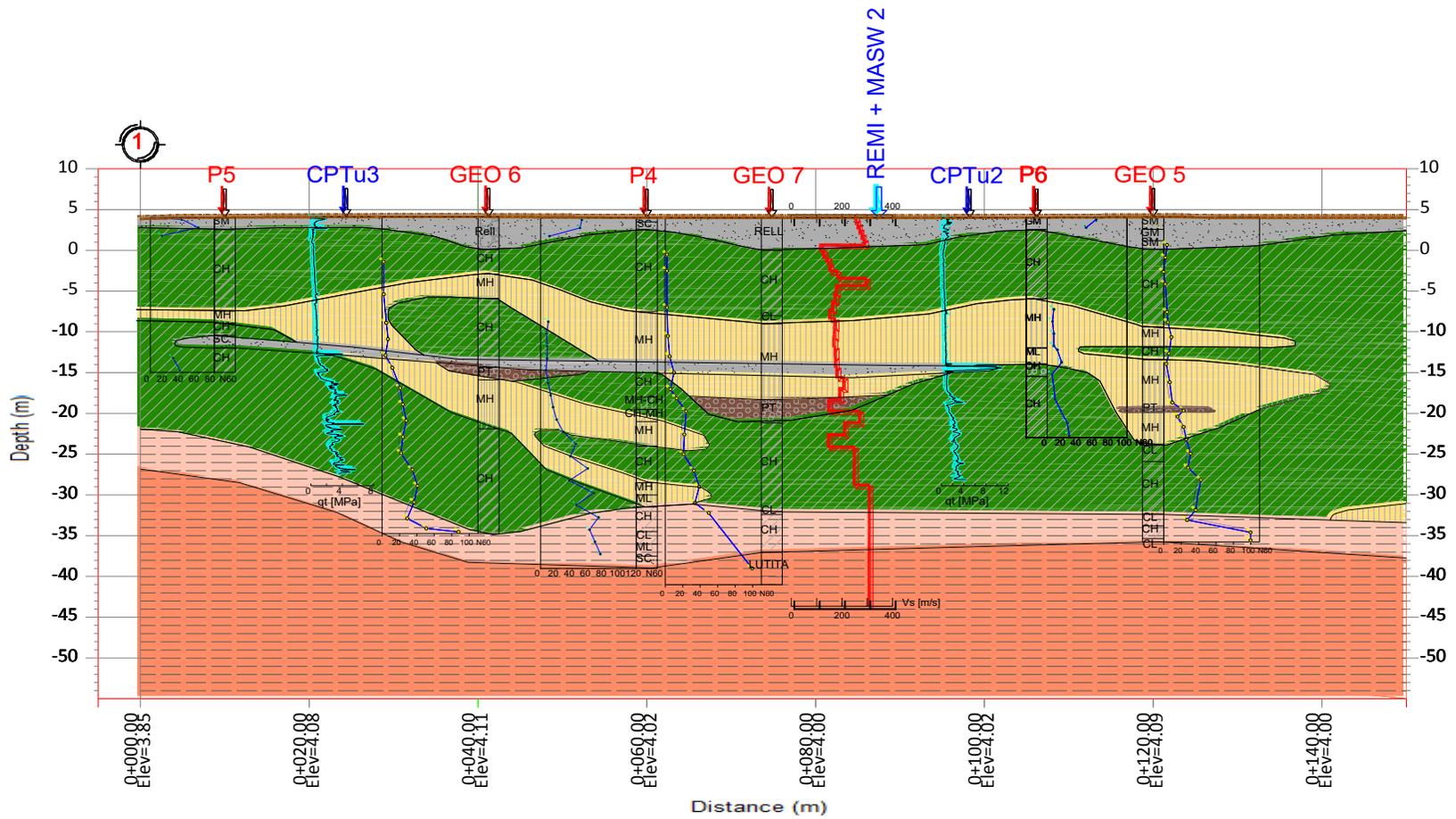
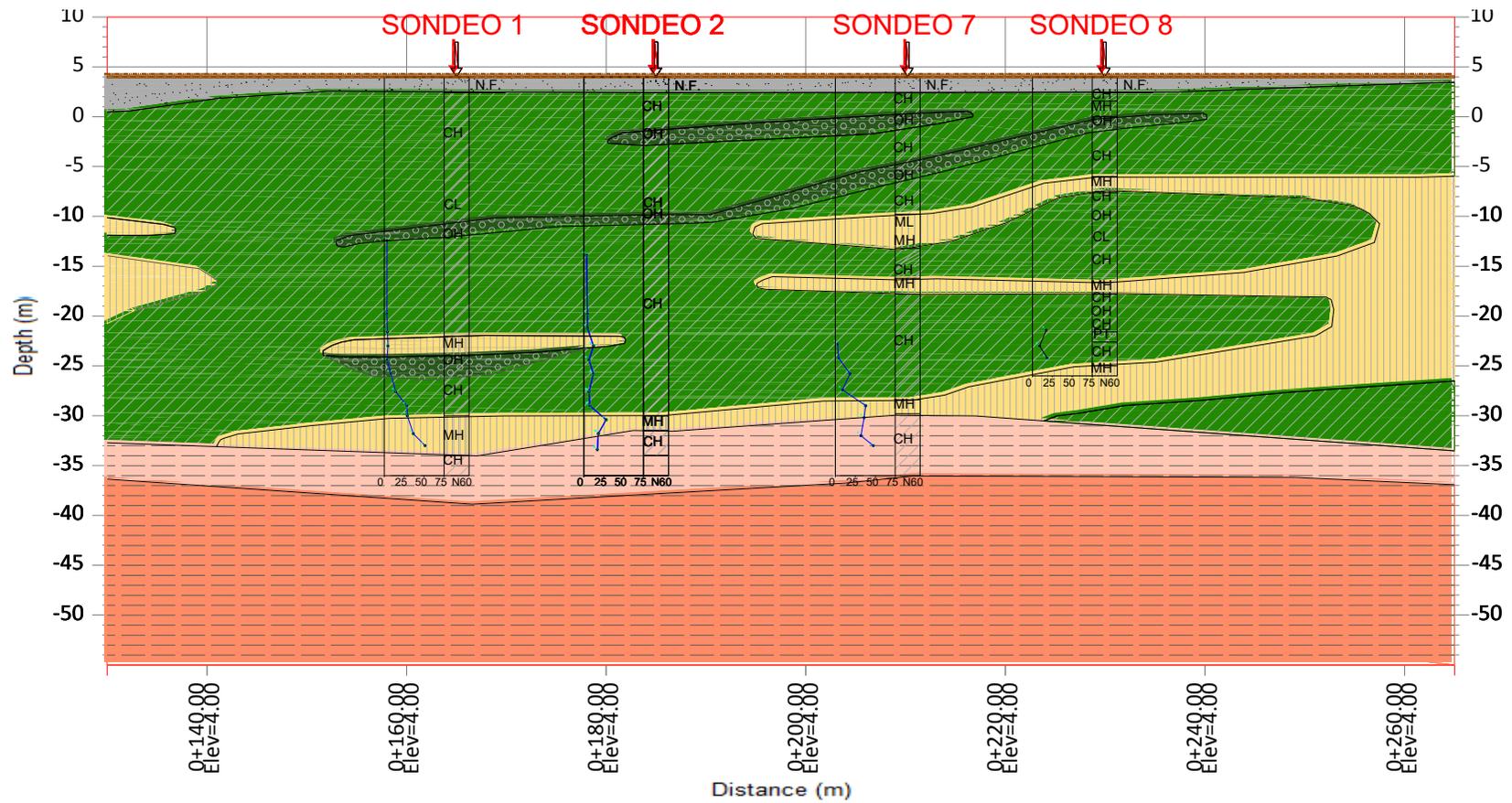


Figura 6.73 Sección del Perfil Geológico-Geotécnico Final, desde 0+000 hasta 0+140.



**Figura 6.74** Sección del Perfil Geológico-Geotécnico Final, desde 0+140 hasta 0+260.

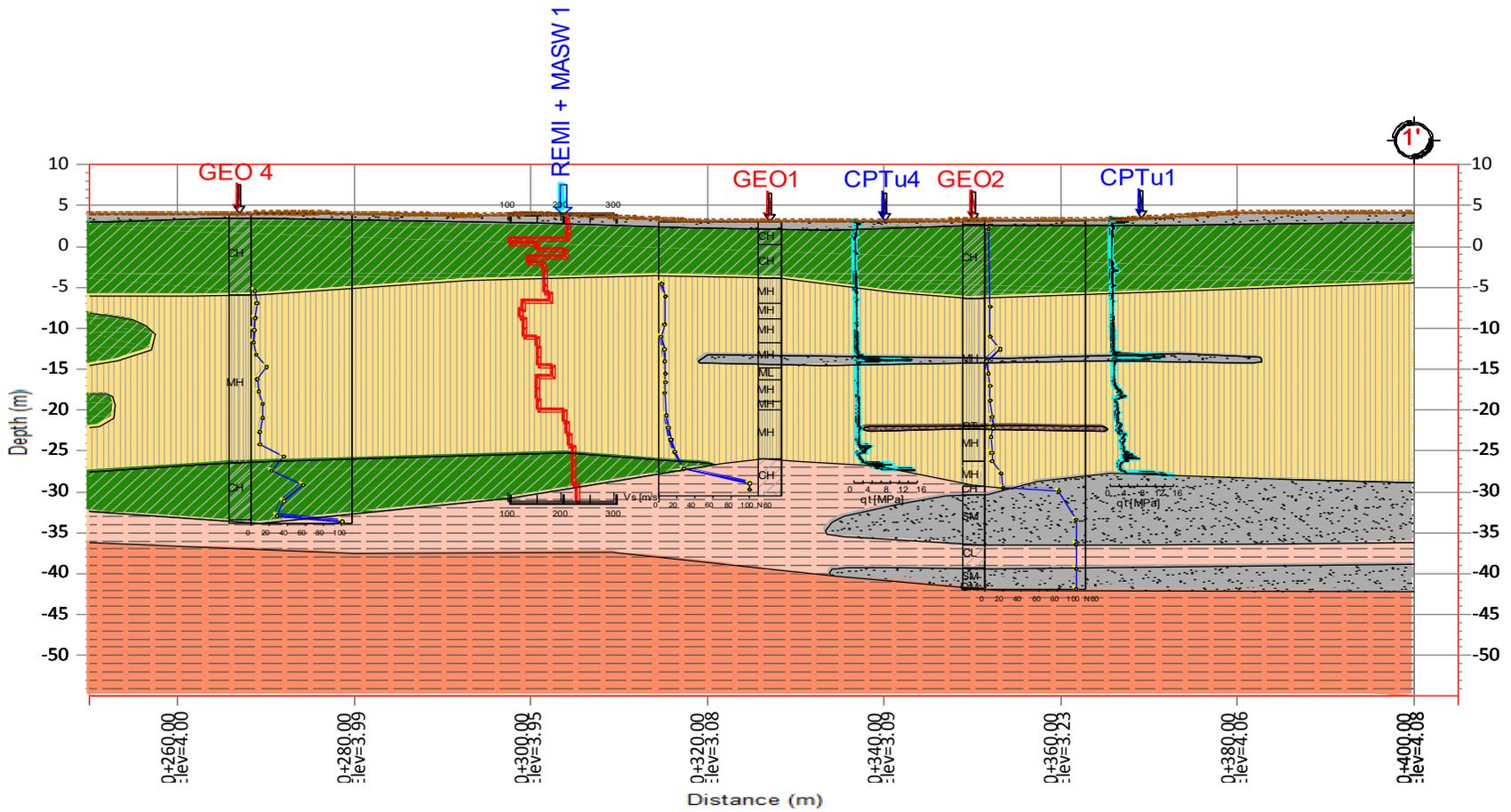


Figura 6.75 Sección Perfil Geológico-Geotécnico Final, desde 0+260 hasta 0+400.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

Finalmente con la metodología empleada en la campaña de exploración de campo y los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, podemos concluir que:

1. La campaña de exploración de campo cumplió satisfactoriamente con las ordenanzas que el órgano regulador ha establecido, Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC 2015, en cuanto al número y profundidad de perforaciones, así como el uso de los diferentes métodos de investigación.
2. Conforme al perfil obtenido, en los primeros 30,0 metros de espesor, de acuerdo a la secuencia estratigráfica del material encontrado, que el sitio donde se realizó la investigación pertenece a la zona D3, de

depósitos de origen Deltaico-Estuarino, zona que fue previamente consultada en el mapa geológico realizado por (Vera X. et al, 2014).

3. Los suelos de la zona de estudio pertenecen a suelos tipo F según la tabla de categorías de suelos de la International Building Code (IBC). Se pudo catalogar esta zona como suelos tipo F por los valores obtenidos de la  $V_{s30}$  en la exploración geofísica, escogiéndose el promedio de los resultado de los ensayos sísmicos y se obtuvo un  $V_{s30}=173,1$  m/s, pudiendo ser catalogados como suelos F4 o F5. Para esta clasificación no existen valores de los factores de amplificación dinámica que sirven para realizar el diseño sísmico de las edificaciones, para este tipo de suelos se requieren estudios especiales para establecer los factores de amplificación dinámica de esta zona.
4. Los ensayos CPTu cumplen una excelente función correlacionando la resistencia del suelo con el número de golpes del ensayo SPT de las perforaciones cercana, tal como se aprecia en el perfil Geológico – Geotécnico final.
5. Los métodos indirectos de exploración contribuyen en la investigación y ayudan a determinar, de manera más rápida y económica, los parámetros básicos de una investigación geotécnica, cabe recalcar

que estos por sí mismo no son suficientes para una interpretación final y que deben siempre ser comprobados con los métodos directos de exploración.

6. Se logró estimar la capa de suelo resistente ( $N_{60} > 100$ ) en todos los sondeos a una profundidad estimada de 34 metros de profundidad y un nivel freático muy cercano a la superficie con valores variables entre 1 y 2 metros de profundidad. Estos datos son muy importantes para las edificaciones futuras, ya que da un estimado de las profundidades en las cuales se ubicara los cimientos, y más si se tratase de pilotes hincados.
7. En todo el perfil el nivel freático está muy cerca de la superficie con valores variables de 1 a 2 metros de profundidad. Información valiosa que ayudará a tomar decisiones sobre futuras excavaciones y en la construcción de sótanos.
8. El estrato arcilloso presente debajo del relleno en toda la longitud de la zona de estudio es de consistencia blanda a muy blanda por lo que podrían acarrear daños futuros en edificaciones con cimentaciones poco profundas por problemas de asentamientos.

## RECOMENDACIONES

En función a los resultados de los ensayos realizados en campo y laboratorio, se puede recomendar que:

1. Para estudios futuros en el ambiente Deltaico-Estuarino, utilicen perforaciones con muestreo continuo, para detallar mejor los estratos geológicos con sus respectivas características geotécnicas y no omitir intercalaciones mínimas de suelo, que podrían ocasionar problemas en las estructuras.
2. La utilización de métodos de exploración geofísica es útil como ayuda para la caracterización Geológica-Geotécnica de una zona creando un perfil que refleje mejor los estratos del subsuelo y sus capacidades, así mismo se recomienda prever las ventajas y desventajas de estos métodos antes de emplearlos.
3. Para las arcillas blandas y muy blandas, realizar ensayos de compresión simple, torvane y pocket penetómetro para estimar valores de  $S_u$ .

4. En caso de construirse algún sótano, en el proceso de excavación, realizar un abatimiento del nivel freático con bombas a fin de evitar una posible inundación de la zona de excavación. Otra posible solución son la construcción de muros pantalla antes del vaciado de tierra de la zona de excavación.
  
5. Si se va a ejecutar alguna construcción con cimentaciones poco profundas, realizar ensayos de consolidación al estrato arcilloso que está debajo del relleno a fin de estimar cálculos de asentamientos, necesarios en construcciones con este tipo de cimentaciones y poder tomar las medidas necesarias y evitar asentamientos excesivos causados por las transmisiones de cargas de la edificación al suelo.

## **BIBLIOGRAFIA**

## **PAPERS**

- 1 Lunne, T., P.K Robertson, y J.J.M Powell. «Cone penetration testing in geotechnical practice.» Blackie Academic/Chapman-Hall publishers, 1997.
- 2 Robertson, P K, R G Campanella, y D Gillespie. «Use of piezometer cone data.» ASCE specialty Conference. Blackburg, 1986.
- 3 Robertson, P.K. «Interpretation of cone penetration test - a unified approach.» Canadian Geotechnical Journal, 2009: 1337-1355.
- 4 Robertson, P K. «Soil classification using the cone penetration test.» Canadian Geotechnical Journal, 1990: 151-158.
- 5 Caracterización de un sitio mediante ensayo de cptu. (G DIAZ, 2011).
- 6 Geofísica aplicada a la obra civil. método Geoeléctrico y Sísmica de refracción. casos prácticos. (M ARLANDI RODRIGUEZ, GEOCONSULT INGENIEROS CONSULTORES S.A.).
- 7 EL TERRENO Y EL ESTUDIO GEOTÉCNICO. J LORENS, 2007

- 8 Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. Miguel Auge, 2008.
- 9 Spectral Analysis of Surface Wave for Empirical Elastic Design of Anchored Foundations (S. E. Chen and C. K. Ong, 2011)
- 10 Proyecto Arquitectónico En Zonas Sísmicas. Rojas Contreras Alejandro, 2012. Pag: 116.
- 11 Kovacs, William D.; Salomone, Lawrence A. & Yokel, Felix Y. Energy Measurement in the Standard Penetration Test. 1981. Pag: 3.

## TEXTOS

- 1 Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables: First Edition, Burt G. Look, 2007 Pág.: 54,55
- 2 Principio de Ingeniería en Cimentaciones: Quinta Edición, Braja M. Das, 2006 Pág. 77,78,85,93
- 3 “Análisis y diseño de cimentaciones profundas para muelles en ambientes estuarinos en la ciudad de Guayaquil” (GUILLERMO GUERRA, 2011)
- 4 Sobre el comportamiento sísmico de los depósitos de suelos del área de Cañaveralejo, Cali, Colombia. (C. ROSALES, 2001).
- 5 Obtención de ecuaciones de correlación para estimar las velocidades de las ondas de corte en los suelos de la ciudad de Guayaquil (RAMÍREZ Y TANDAZO, 2006)
- 6 Recopilación de Información Base para el Mapa Geoambiental del Área Urbana del Gran Guayaquil y Mapas en formato SIG” (Janeth Reinoso, Raúl Michalón, Juan Carlos Avilés, 2005)

- 7 Comportamiento y Uso del Ensayo de Penetración Estándar en la práctica de la Ingeniería Geotécnica, Duncan et al, Octubre 1998. Pág.: 12-18
- 8 Levantamiento sísmico de refracción somera y levantamiento geológico en el área de “el casino”, al norte del poblado de Urumaco (EDO. FALCÓN). ( Javier Martín Gallegos, 2008)
- 9 Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos. Aplicación a la ciudad de Barcelona (Rodríguez Segurado M., 2005) Pág.: 56 y 57.
- 10 Exploración Geotécnica – relaciones Geoeléctricas. ARIAS DANIEL,  
Tesis de grado UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, febrero 2011.  
Pág.: 21-22
- 11 Microzonificación sísmica y Geotécnica de la ciudad de Guayaquil según la norma ecuatoriana de la construcción 2011.” (Vera Grunauer et al., 2014), tomo 2.2 Pág.: 87,88.
- 12 S. Benítez, Estudio Geológico Fase I del Proyecto de Microzonificación Sísmica de la ciudad de Guayaquil, 2005.
- 13 Introducción y aplicación del método de sísmica de microtremores en áreas urbanas. (Giselle linares, 2005)

## **NORMAS CONSULTADAS**

- 1 Norma ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 Capítulos: NEC-SE-GS Geotecnia y Cimentaciones.
- 2 Norma ecuatoriana de la Construcción NEC 2015 Capítulos: NEC-SE-DS Peligro Sísmico, diseño sismo resistente. Pág.: 27-32.
- 3 ASTM D-422 Método Estándar para Analizar el Tamaño de Partícula del Suelo
- 4 ASTM D-1586 Método de prueba para el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) y Split-Barril Muestreo de Suelos
- 5 ASTM D-1587 Práctica estándar para tubos de pared delgada muestreadores de suelo para Propósitos Geotécnicos
- 6 ASTM D-2216 Métodos de prueba estándar de laboratorio para la determinación de contenido de agua (humedad) de Suelos y Rocas por Masa.
- 7 ASTM D-2487 Práctica Estándar para clasificación de suelos para propósitos Geotécnicos (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

- 8 ASTM D-4318 Método de Prueba Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de suelos
  
- 9 ASTM D-5778 Método de prueba estándar para la realización de la fricción eléctrica del cono y piezocono. Pruebas de penetración de suelo.

## SITIOS WEB

- ✓ Geotechdata.info. (2014). Piezocone Penetration Test. Recuperado de: <http://www.geotechdata.info/geotest/Piezocone-penetration-test.html>
  
- ✓ Internacional Wheel S.A.C. – Metalúrgica Tassaroli. Barras de Perforación. Lima, Perú. Recuperado de: <http://www.internationalwheel.com.pe/interna/tass--barras.htm>
  
- ✓ Corporación Tecnodrill C.A. (2014). Catálogo Diamco. Caracas, Venezuela. Recuperado de: [http://www.tecnodrill.net/MINING%20CATALOG\\_SP.pdf](http://www.tecnodrill.net/MINING%20CATALOG_SP.pdf)
  
- ✓ Acker Drill Company. (2015). Tooling. Pennsylvania, United States. Recuperado de: [http://www.ackerdrill.com/files/pdfs/acker\\_tooling\\_catalog\\_core\\_barrels.pdf](http://www.ackerdrill.com/files/pdfs/acker_tooling_catalog_core_barrels.pdf)
  
- ✓ Talleres P.C.J. Tomamuestras. Barcelona, España. Recuperado de: <http://tallerespj.com/productos/tomamuestras.html>

- ✓ Geologismiki. (2006). CLiq v.1.7. Recuperado de:  
<http://www.geologismiki.gr/>
  
- ✓ Geología Apuntes Atacama. (2013), Chile. Recuperado de:  
<http://www.geovirtual.cl>
  
- ✓ SERVICIOS GEOLOGICOS GEODATOS S.A.I.C. Sísmica de Refracción. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de:  
<http://www.geodatos.cl/sismica.php>
  
- ✓ Sismo Club 2011-1. (2015). Ondas de Cuerpo. Recuperado de:  
<http://sismoclub2011-1.wikispaces.com/Ondas+de+Cuerpo>
  
- ✓ Index of /teacher/geology12/photos/earthquakes. Imágenes varias. Recuperado de:  
[http://legacy.belmont.sd62.bc.ca/teacher/geology12/photos/earthquake  
s/](http://legacy.belmont.sd62.bc.ca/teacher/geology12/photos/earthquakes/)
  
- ✓ Pagani Geotechnical Equipment. (2015). CPTU TEST. Recuperado de: <http://www.pagani-geotechnical.com/index.php/en/ct-menu-item-13/ct-menu-item-39>

- ✓ Geometrics. (2015). Seismic Software. San José, CA 95131 U.S.A.  
Recuperado de: <http://www.geometrics.com/geometrics-products/seismographs/download-seismograph-software/>
  
- ✓ Advanced Geosciences, Inc. (AGI). (2014). MiniSting, Resístivimetro del Subsuelo de Memoria y PI. Austin, TX 78726, USA. Recuperado de: <http://www.agiusa.com/ministing.sp.shtml>

# **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **CARTA DE AUTORIZACIÓN**

Contiene una carta otorgada por el Phd. Xavier Vera Grunauer, representante legal de la empresa Geoestudios, S.A. a los autores de la tesis brindando información valiosa para la consecución de la misma.



Guayaquil, 06 de Marzo del 2015

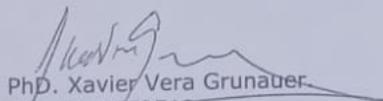
## **CERTIFICADO**

Por medio de la presente, yo PhD. Xavier Vera Grunauer, representante legal de la empresa GEOESTUDIOS S.A. con ruc # 0992337931001, autorizo utilizar información de uno de los proyectos "Plataforma Gubernamental de Gestión de la Producción en la Ciudad de Guayaquil" de mi representada para tema de tesis: "Obtención de un perfil geológico - geotécnico a partir de perfiles geofísicos y columnas estratigráficas de una zona norte del ambiente deltaico-estuarino de Guayaquil" a los señores estudiantes:

- Jaime Daniel Ulloa Lamán  
CI. # 1205922188  
Carrera: Ingeniería en Geología
  
- Jimmy Leonardo Vargas Celi  
CI. # 0926622309  
Carrera: Ingeniería Civil

Pudiendo los interesados hacer uso de esta información como estime conveniente.

Atentamente,

  
PhD. Xavier Vera Grunauer  
C.I. 0909572513  
GEOESTUDIOS S.A.

## ANEXO B

### CALCULOS Y TABLAS DE SISMICA

A continuación se presentan las tablas para diseño sísmico con los coeficientes de perfil de suelo  $F_a$ ,  $F_d$  y  $F_s$ . Para los suelos tipo F no se proporcionan valores de  $F_a$ ,  $F_d$  ni de  $F_s$ , debido a que requieren un estudio especial.

En la imagen 1 se muestran las zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z Ecuador

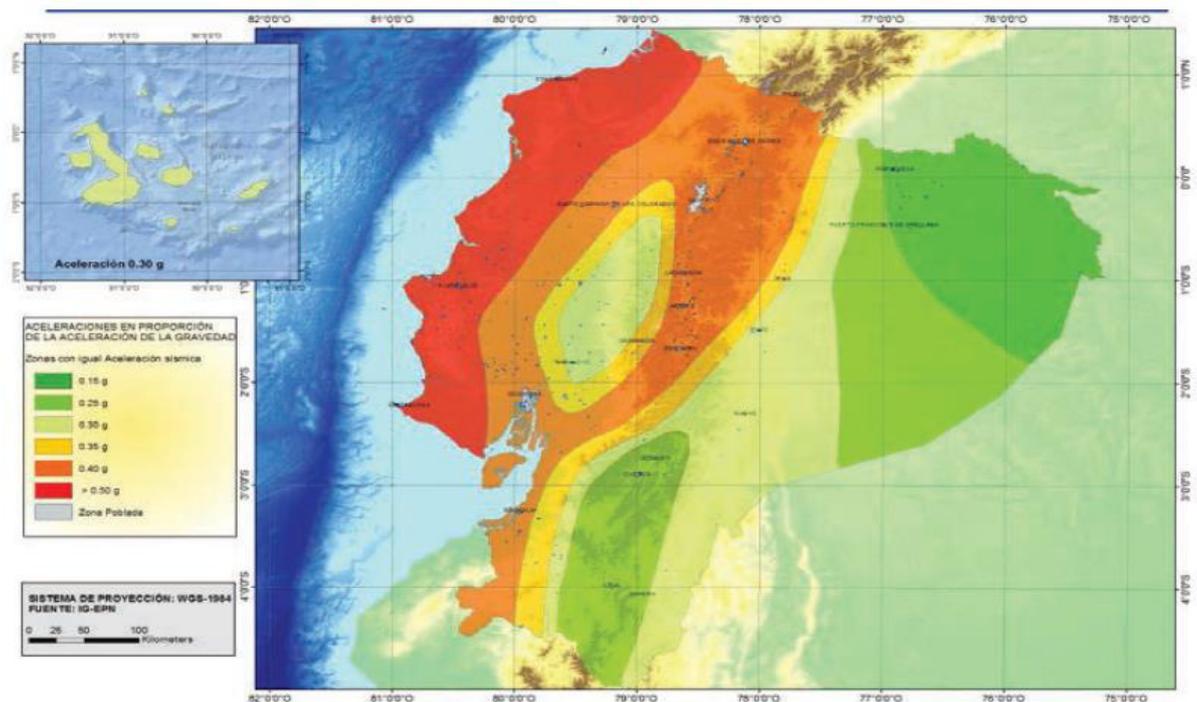


Imagen 1. Ecuador, zonas sísmicas y valor del factor de zona Z

En la siguiente tabla, se muestran los valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

**Fa:** Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente Fa.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85

**Fd:** amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

En la siguiente tabla se presentan los valores del coeficiente Fd.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

**F<sub>s</sub>**: comportamiento no lineal de los suelos

En la a continuación se presentan los valores del coeficiente F<sub>s</sub>, que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Existe dos formas de amplificación de las ondas sísmicas en un medio: la amplificación dinámica y la amplificación geométrica.

La amplificación dinámica del terreno se da cuando, producto de un sismo un estrato vibra y esta frecuencia se iguala a la de su vibración natural, entonces se produce una amplificación dinámica de las ondas vibratorias por resonancia, para verificar si esta zona se va afectada por la amplificación dinámica se calcula la frecuencia natural del terreno con la siguiente fórmula:

$$Fn = \frac{Vs}{4H}$$

Donde:

Vs: la velocidad de la onda de corte.

H: potencia del sedimento en metros.

$$Fn = \frac{173.1}{4(30)} = \frac{173.1}{120} = 1.42 \text{ hz}$$

Si la frecuencia de la onda sísmica se iguala a la frecuencia natural del suelo, entonces se produce una amplificación de las ondas sísmica.

La amplificación geométrica se da por efectos de contrastes de impedancia.

La impedancia se puede calcular con la siguiente formula:

$$Z = \frac{Vs1 * \gamma1}{Vs2 * \gamma2}$$

Donde:

$V_s$ : Velocidad de la onda de corte.

$\gamma$ : Densidad del medio

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, se produce el confinamiento de las ondas sísmicas dentro de un nivel con baja impedancia, provocando la amplificación de las frecuencias características. 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. 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 (Rodríguez Segurado M., 2005).

## **ANEXO C**

### **REGISTRO DE PERFORACIONES**

Contiene un resumen de los parámetros del suelo calculados por el laboratorio. Así como también el nivel freático, coordenadas, cota y espesores de los estratos de suelo de las siete perforaciones ejecutadas por la empresa Geoestudios S.A.



GEOESTUDIOS  
"Cdra Kennedy Norte" - Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-1

HOJA 1 de 3

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 11/6/14 FECHA FINAL 16/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.00 m / Elev 3.00 m

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622694 Y: 9760901

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (KPa)	Su-TORVANE (KPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			0.00m (GC) 39 % grava, 15 % arena, 46 % finos Grava arcillosa con arena de color gris oscuro de compacidad densa	MA 1	100				24.0	45.0	20.0	25.0	46	
			0.90m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color amarillo oscuro con pintas de oxidación de consistencia rígida	MI 3	50		65	68	42.0	75.0	30.0	45.0	98	
2	2.80													
			2.90m (CH) 0 % grava, 0 % arena, 100 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia firme	MI 5	100		25	21	77.0	82.0	35.0	47.0	100	
4	0.00													
			4.90m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 7	70		5	10	75.0	79.0	33.0	46.0	99	
6	-2.00													
			6.95m (MH) 0 % grava, 21 % arena, 79 % finos Limo con arena de color gris verdoso de consistencia blanda	MA 10	70	1-2-2 (4)			60.0	66.0	34.0	32.0	79	
8	-4.00													
			8.45m (MH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia rígida	MA 13	80	4-4-4 (8)			83.0	91.0	40.0	51.0	99	
10	-6.00													
			10.00m (MH) 0 % grava, 30 % arena, 70 % finos Limo arenoso de color gris oscuro de consistencia firme	MI 16	100		25	28	63.0	65.0	36.0	29.0	70	
12	-8.00													
			11.90m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme	MA 19	80	3-4-3 (7)			68.0	72.0	35.0	37.0	95	

(Continúa en la Página Siguiente)

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 11/6/14 FECHA FINAL 16/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.00 m / Elev 3.00 m

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622694 Y: 9760901

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			11.90m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme (continua)											
14	-10.00		13.40m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia blanda	MA 22	100	2-1-2 (3)			63.0	76.0	36.0	40.0	95	
16	-12.00		14.90m (MH) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 25	90	4-3-4 (7)			66.0	71.0	34.0	37.0	93	
18	-14.00		16.40m (MH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 28	80	3-3-4 (7)			67.0	72.0	34.0	38.0	99	
20	-16.00		17.90m (ML) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris claro de consistencia firme	MA 31	40	4-4-4 (8)			41.0	43.0	29.0	14.0	98	
20	-16.00		19.40m (MH) 0 % grava, 15 % arena, 85 % finos Limo con arena de color gris oscuro de consistencia firme	MA 34	100	4-3-5 (8)			62.0	75.0	38.0	37.0	85	
22	-18.00		20.00m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 35	100	4-4-3 (7)			47.0	65.0	33.0	32.0	97	
24	-20.00		22.00m (MH) 0 % grava, 18 % arena, 82 % finos Limo gris verdoso con intercalaciones de arena fina cada 2 cm de consistencia firme y presencia de materia orgánica	MI 36	80		25	22	76.0	52.0	31.0	21.0	82	
24	-20.00		23.00m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 37	100	3-4-5 (9)			80.0	84.0	37.0	47.0	97	
				MA 40	100	5-5-6 (11)			84.0	78.0	35.0	43.0	100	

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS  
"Cdra Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-1

HOJA 3 de 3

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil  
 PROYECTO \_\_\_\_\_  
 FECHA COMIENZO 11/6/14 FECHA FINAL 16/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm  
 CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_  
 MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.00 m / Elev 3.00 m  
 DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN ---  
 PERFORADOR: Angel Castillo  
 REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622694 Y: 9760901

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVAÑE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)	
			24.50m (MH) 0 % grava, 0 % arena, 100 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida y presencia de materia orgánica ( <i>continua</i> )											
26	-32.00		26.00m (MH) 0 % grava, 15 % arena, 85 % finos Limo con arena de color gris oscuro de consistencia rígida y presencia de materia orgánica	MA 43	100	5-5-9 (14)			111.0	83.0	37.0	46.0	85	
28	-34.00		27.50m (MH) 0 % grava, 13 % arena, 87 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígido y presencia de materia orgánica	MA 46	80	13-8-10 (18)			99.0	81.0	39.0	42.0	87	
30	-36.00		29.00m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 49	100	14-13-15 (26)			44.0	79.0	33.0	46.0	97	
32	-38.00		29.90m (CH) 5 % grava, 18 % arena, 77 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia dura	MA 51	40	22-50-50R en 8 cm			38.0	51.0	28.0	23.0	77	
			32.60m (CH) 5 % grava, 25 % arena, 70 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia dura	MA 56	100	36-29-31 (60)			31.0	51.0	27.0	24.0	70	

Fin de SONDEO a 33.55m



GEOESTUDIOS

GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte" - Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-2

HOJA 1 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 13/6/14 FECHA FINAL 13/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.50 m / Elev 2.50 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622663 Y: 9760868

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)	
									HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			Material de relleno											
			0.50m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris oscura de consistencia blanda	MA 1	100	3-2-2 (4)				36.0	73.0	28.0	45.0	98
2	2.50		1.50m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color amarillo oscuro con pintas de oxidación de consistencia blanda	MI 3	100		17	15		85.0	90.0	35.0	55.0	99
4	6.00		3.50m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia organica	MI 5	90		10	9		107.0	80.0	34.0	46.0	99
6	-2.00		5.50m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia organica	MI 7	90			8		96.0	84.0	35.0	49.0	98
8	-4.00		7.50m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 9	80			8		73.0	84.0	34.0	50.0	98
10	-6.00		9.50m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme	MA 13	70	2-3-3 (6)				71.0	77.0	36.0	41.0	98
12	-8.00		11.50m (MH) 0 % grava, 22 % arena, 78 % finos Limo con arena de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 15	80			8	10	84.0	82.0	37.0	45.0	78

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 13/6/14 FECHA FINAL 13/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.50 m / Elev 2.50 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622663 Y: 9760868

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NUMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LIQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			11.50m (MH) 0 % grava, 22 % arena, 78 % finos Limo con arena de color gris verdoso de consistencia muy blanda ( <i>continua</i> )											
14	-10.00		13.40m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme	MA 18	80	3-3-3 (6)			83.0	87.0	39.0	48.0	95	
16	-12.00		14.90m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 21	70	14-11-6 (17)			61.0	73.0	35.0	38.0	95	
18	-14.00		16.50m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia muy blanda	MA 23	70	1-1-1 (2)			69.0	72.0	38.0	34.0	98	
20	-16.00		17.95m (MH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia blanda	MA 25	100	2-2-2 (4)			80.0	84.0	39.0	45.0	96	
22	-18.00		19.45m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 28	90	4-3-3 (6)			70.0	74.0	35.0	39.0	98	
24	-20.00		20.95m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 31	100	3-4-2 (6)			78.0	84.0	38.0	46.0	98	
			23.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 33	100	5-4-4 (8)			89.0	74.0	36.0	38.0	98	

(Continúa en la Página Siguiente)

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 13/6/14 FECHA FINAL 13/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.50 m / Elev 2.50 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622663 Y: 9760868

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NUMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	LÍMITES ATTERBERG				
									HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)
26	-22.00		25.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 35 A	100	4-4-5 (9)			97.0	81.0	37.0	44.0	98
			25.20m (PT) Turba de color café	MA 35 B					132.0				
28	-24.00		25.45m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 37	100	4-3-4 (7)			86.0	72.0	35.0	37.0	97
			27.45m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica										
30	-26.00		29.40m (PT) 0 % arena, 100 % finos Turba de color café	MA 39 A	100	4-3-5 (6)			96.0	75.0	36.0	39.0	97
			29.45m (MH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Limo de color gris oscuro con presencia de turba de consistencia rígida	MA 39 B						214.0			
32	-28.00			MA 42	100	10-10-8 (18)			89.0	78.0	36.0	42.0	90
34	-30.00		32.45m (CH) 12 % grava, 21 % arena, 67 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 45	100	17-9-11 (20)			32.0	57.0	23.0	34.0	67
			32.90m (CH) 0 % grava, 22 % arena, 78 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia dura	MA 46	100	23-31-50/R en 13 cm					29.0	50.0	26.0
36	-32.00		33.33m (GM) 50 % grava, 15 % arena, 35 % finos Grava limosa con arena de color gris verdoso de compacidad muy densa										
				ROT 47						21.0	NP	NP	NP
			36.50m (SM) 17 % grava, 58 % arena, 25 % finos Arena limosa con grava de color gris verdoso de compacidad muy densa	MA 48	30	50/R en 13 cm			24.0	NP	NP	NP	25

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS

GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-2

HOJA 4 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 13/6/14 FECHA FINAL 13/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.50 m / Elev 2.50 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622663 Y: 9760868

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
38	-34.00		36.63m (SM) 42 % grava, 45 % arena, 13 % finos Arena limosa con grava de color gris oscuro de compacidad muy densa (continua)	ROT 49					29.0	NP	NP	NP	13	
40	-36.00		39.50m (SM) 21 % grava, 61 % arena, 18 % finos Arena limosa con grava de color gris verdosa de compacidad muy densa	MA 50	60	45-50R en 5 cm			20.0	NP	NP	NP	18	
42	-38.00		39.70m (CL) 0 % grava, 21 % arena, 79 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia dura	ROT 51					35.0	45.0	23.0	22.0	79	
44	-40.00		42.50m (SM) 32 % grava, 46 % arena, 22 % finos Arena limosa con grava de color gris claro de compacidad muy densa	MA 52	100	50R en 14 cm			34.0	NP	NP	NP	22	
			42.64m (SM) 29 % grava, 49 % arena, 22 % finos Arena limosa con grava de color gris claro de compacidad muy densa	ROT 53					31.0	NP	NP	NP	22	
			45.00m (GM) 45 % grava, 40 % arena, 15 % finos Grava limosa con arena de color gris claro de compacidad muy densa	MA 54	100	50R en 10 cm			16.0	NP	NP	NP	15	

Fin de SONDEO a 45.10m

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil  
 PROYECTO \_\_\_\_\_  
 FECHA COMIENZO 13/6/14 FECHA FINAL 13/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm  
 CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_  
 MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.50 m / Elev 2.50 m  
 PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_  
 REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622663 Y: 9760868

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NUMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	LÍMITES ATTERBERG				
									HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)
26	-22.00		25.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 35 A	100	4-4-5 (9)			97.0	81.0	37.0	44.0	98
			25.20m (PT) Turba de color café	MA 35 B					132.0				
28	-24.00		25.45m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 37	100	4-3-4 (7)			86.0	72.0	35.0	37.0	97
			27.45m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica										
30	-26.00		29.40m (PT) 0 % arena, 100 % finos Turba de color café	MA 39 A	100	4-3-5 (6)			96.0	75.0	36.0	39.0	97
			29.45m (MH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Limo de color gris oscuro con presencia de turba de consistencia rígida	MA 39 B						214.0			
32	-28.00		32.45m (CH) 12 % grava, 21 % arena, 67 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 45	100	17-9-11 (20)			32.0	57.0	23.0	34.0	67
			32.90m (CH) 0 % grava, 22 % arena, 78 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia dura	MA 46	100	23-31-50/R en 13 cm					29.0	50.0	26.0
34	-30.00		33.33m (GM) 50 % grava, 15 % arena, 35 % finos Grava limosa con arena de color gris verdoso de compacidad muy densa										
				ROT 47						21.0	NP	NP	NP
36	-32.00		36.50m (SM) 17 % grava, 58 % arena, 25 % finos Arena limosa con grava de color gris verdoso de compacidad muy densa	MA 48	30	50/R en 13 cm			24.0	NP	NP	NP	25

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-3

HOJA 1 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 21/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 0.80 m / Elev 3.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN ---

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622729 Y: 9760927

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			- MATERIAL DE RELLENO											
			0.50m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris claro con pintas de oxidación de consistencia blanda	MI 1	70		12	16	55.0	82.0	32.0	50.0	99	
2	2.00													
			2.50m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 3	70			12	70.0	81.0	35.0	46.0	98	
4	0.50													
			4.50m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 5	70			5	65.0	74.0	33.0	41.0	99	
6	-2.00													
			6.50m (CL) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Arcilla de color gris claro de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica	MA 7	80	2-1-1 (2)			81.0	45.0	18.0	27.0	93	
8	-4.00													
			8.00m (CL) 0 % grava, 25 % arena, 75 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica	MA 9	80	1-1-1 (2)			84.0	43.0	20.0	23.0	75	
10	-6.00													
			9.00m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica	MA 11	80	1-1-1 (2)			80.0	53.0	30.0	23.0	95	
12	-8.00													

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS

GEOESTUDIOS  
"Cdra Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-3

HOJA 3 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 21/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 0.80 m / Elev 3.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622729 Y: 9760927

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
24.00			(MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia rígida	MA 25	100	7-6-9 (17)			52.0	64.0	32.0	32.0	95	
26.00			(MH) 0 % grava, 32 % arena, 68 % finos Limo arenoso de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 27	100	10-11-13 (24)			47.0	52.0	30.0	22.0	68	
27.00			(MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 29	100	12-14-15 (29)			48.0	70.0	34.0	36.0	97	
29.45			(CH) 5 % grava, 5 % arena, 90 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 31	100	11-15-18 (36)			36.0	63.0	34.0	49.0	90	
30.45			(CH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 34	100	16-19-24 (43)			36.0	61.0	23.0	38.0	92	
33.50			(CH) 8 % grava, 10 % arena, 82 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 37	70	15-20-20 (40)			37.0	71.0	29.0	42.0	82	
35.40			(CH) 0 % grava, 37 % arena, 63 % finos Arcilla arenosa de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 40	60	19-21-24 (45)			37.0	60.0	30.0	30.0	63	

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte" - Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-3

HOJA 2 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 21/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 0.60 m / Elev 3.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN ---

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622729 Y: 9760927

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVAE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)	
			12.00m (MH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia blanda con presencia de materia orgánica	MA 13	90	2-2-2 (4)			86.0	65.0	33.0	32.0	96	
14	-10.00		14.00m (MH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 15	100	4-3-4 (7)			62.0	52.0	32.0	20.0	96	
16	-12.00		16.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 17	100	4-4-3 (7)			67.0	57.0	31.0	26.0	98	
18	-14.00		18.00m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 19	100	2-2-3 (5)			84.0	61.0	32.0	29.0	97	
20	-16.00		20.00m (PT) Turba de color café	MA 21	100	9-7-9 (16)			100.0					
22	-18.00		21.50m (MH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 23	100	11-11-10 (21)			50.0	62.0	33.0	29.0	95	
24	-20.00													

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-3

HOJA 4 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 21/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 0.80 m / Elev 3.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622729 Y: 9760927

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (Nº0)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
			35.40m (CH) 0 % grava, 37 % arena, 63 % finos Arcilla arenosa de color amarillo oscuro de consistencia dura ( <i>continua</i> )											
			36.90m (CH) 1 % grava, 14 % arena, 85 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 43	60	28-28-27 (55)			30.0	55.0	23.0	32.0	85	
			37.95m (CL) 3 % grava, 27 % arena, 70 % finos Arcilla arenosa de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 45	70	17-32-52/R en 11 cm			25.0	44.0	19.0	25.0	70	
			38.36m (CH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia dura con presencia de turba	ROT 46					46.0	60.0	26.0	34.0	96	
			40.00m (CH) 34 % grava, 11 % arena, 55 % finos Arcilla gravosa de color gris oscuro de consistencia dura	MA 48	100	50/R en 10 cm			18.0	NP	NP	NP	55	

Fin de SONDEO a 40.10m



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 18/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1,00 m / Elev 3,00 m

PERFORADOR: Nevill Rodríguez DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622665 Y: 9760967

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (NS0)	Su-PEN. DE BOLSILLO (KPa)	Su-TORVANE (KPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO	FINOS (%)	
			0.00m (SM) 2 % grava, 76 % arena, 22 % finos Arena limosa de color café de compacidad densa (Relleno)	MA 1	100				10.0	NP	NP	NP	22	
			1.00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia rígida	MI 3	50		56	64	40.0	71.0	30.0	41.0	99	
2	2.00		3.00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color verde oliva de consistencia firme	MI 5	80		32	28	65.0	93.0	37.0	56.0	99	
4	4.00		5.00m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 7	100			8	84.0	74.0	25.0	49.0	97	
6	6.00		7.00m (CH) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 9	100			4	84.0	69.0	23.0	46.0	93	
8	8.00		9.00m (CH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia firme	MA 11	40	3-2-3 (5)			88.0	79.0	26.0	53.0	95	
10	10.00		9.90m (MH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme	MA 14	70	2-5-2 (7)			57.0	63.0	32.0	31.0	92	
12	12.00		12.00m (MH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia firme	MA 17	100	2-3-2 (5)			78.0	85.0	38.0	47.0	99	

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS

GEOESTUDIOS  
"Cdla Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-4

HOJA 2 de 3

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 18/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO  DURANTE LA PERFORACIÓN 1.00 m / Elev 3.00 m

PERFORADOR: Nevill Rodriguez \_\_\_\_\_ DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargás \_\_\_\_\_ COORDENADAS X: 622665 Y: 9760967

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	SU-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
14	-10.00		13.50m (MH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia blanda	MA 20	80	3-2-2 (4)			71.0	76.0	36.0	40.0	99	
16	-12.00		15.00m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia blanda	MA 23	100	2-1-2 (3)			66.0	76.0	37.0	39.0	94	
18	-14.00		16.50m (MH) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 26	100	3-3-3 (6)			69.0	85.0	39.0	46.0	93	
20	-16.00		18.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 29	100	6-11-6 (17)			62.0	76.0	36.0	40.0	98	
22	-18.00		19.50m (MH) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 32	80	4-4-3 (7)			67.0	75.0	36.0	39.0	93	
24	-20.00		21.00m (MH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 35	100	4-4-5 (9)			53.0	67.0	33.0	34.0	90	
26	-22.00		22.50m (MH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 38	100	5-6-7 (13)			73.0	80.0	37.0	43.0	99	
			24.00m (MH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 41	100	6-7-6 (13)			70.0	76.0	38.0	38.0	96	
			25.95m (MH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 44	100	5-5-5 (10)			70.0	75.0	37.0	38.0	92	

(Continúa en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-4

HOJA 3 de 3

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 18/6/14 FECHA FINAL 24/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO  DURANTE LA PERFORACIÓN 1.00 m / Elev 3.00 m

PERFORADOR: Nevill Rodriguez DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN ---

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622665 Y: 9760967

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NUMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	SU-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	SU-TORVAJE (kPa)	HUMEDAD (%)	LIMITE ATTERBERG			
										LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLÁSTICO	INDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)
28	-24.00		27.45m (MH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Limo de color oscuro de consistencia rígida	MA 47	80	8-5-5 (10)			71.0	78.0	36.0	42.0	90
30	-26.00		28.95m (MH) 0 % grava, 12 % arena, 88 % finos Limo de color oscuro de consistencia muy rígida	MA 50	100	12-18-18 (36)			74.0	82.0	38.0	44.0	88
32	-28.00		30.45m (CH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 53	50	10-11-12 (23)			42.0	67.0	29.0	38.0	95
34	-30.00		32.45m (CH) 0 % grava, 9 % arena, 91 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia dura	MA 56	50	23-25-32 (57)			31.0	68.0	30.0	38.0	91
36	-32.00		33.95m (CH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 59	80	16-18-18 (36)			54.0	67.0	28.0	39.0	90
			36.45m (CH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 62	100	13-14-15 (29)			44.0	68.0	26.0	42.0	95
			37.50m (CL) 8 % grava, 36 % arena, 56 % finos Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia dura	MA 64	100	30-50-50/R en 9 cm			26.0	48.0	22.0	26.0	56

Fin de SONDEO a 37.89m



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 25/6/14 FECHA FINAL 30/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO  DURANTE LA PERFORACIÓN 1.70 m / Elev 2.30 m

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622540 Y: 9761056

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
28	-24.00		26.50m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida (continua)											
			28.00m (CL) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 47	70	17-14-17 (31)			52.0	49.0	19.0	30.0	92	
30	-26.00		30.00m (CH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Arcilla de color gris claro de consistencia muy rígida	MA 49	100	10-11-17 (28)			39.0	85.0	33.0	52.0	96	
32	-28.00		31.50m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 52	50	30-22-21 (43)			25.0	68.0	23.0	45.0	97	
34	-30.00		33.00m (CH) 0 % grava, 14 % arena, 86 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 55	100	14-15-24 (39)			35.0	56.0	25.0	31.0	86	
36	-32.00		35.50m (CH) 0 % grava, 13 % arena, 87 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 59	80	16-19-18 (37)			35.0	55.0	27.0	28.0	87	
			36.40m (CL) 1 % grava, 27 % arena, 72 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 61	70	10-12-15 (27)			20.0	48.0	18.0	30.0	72	
38	-34.00		37.90m (CH) 0 % grava, 18 % arena, 82 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 64	70	20-50/R en 13 cm			20.0	56.0	16.0	40.0	82	
			39.45m (CL) 4 % grava, 28 % arena, 68 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 66	100	20-27-50/R en 9 cm			28.0	48.0	22.0	26.0	68	
Fin de SONDEO a 39.84m														



GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-5

HOJA 1 de 3

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil  
 PROYECTO \_\_\_\_\_  
 FECHA COMIENZO 25/6/14 FECHA FINAL 30/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm  
 CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_  
 MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.70 m / Elev 2.30 m  
 PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_  
 REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622540 Y: 9761056

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	SUSPEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			0.00m (SM) 30 % grava, 49 % arena, 21 % finos Arena limosa con grava de color café de compacidad densa (relleno)	MA 1	100				6.0	NP	NP	NP	21	
2	2.00		1.50m (GM) 60 % grava, 27 % arena, 13 % finos Grava limosa con arena de color café de compacidad densa (relleno)	MA 4	100				11.0	NP	NP	NP	13	
4	0.00		2.90m (SM) 33 % grava, 42 % arena, 25 % finos Arena arcillosa con grava de color gris verdoso de compacidad suelta (relleno)	MA 7	70	2-2-2 (4)			35.0	NP	NP	NP	25	
6	-2.00		3.95m (CH) 4 % grava, 7 % arena, 89 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 10	100	1-1-1 (2)			78.0	80.0	33.0	47.0	89	
8	-4.00		6.00m (CH) 14 % grava, 3 % arena, 83 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 11	100			10	65.0	82.0	34.0	48.0	83	
10	-6.00		7.45m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MA 13	100	1-1-1 (2)			90.0	88.0	36.0	52.0	97	
12	-8.00		9.00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda	MI 15	100			3	91.0	85.0	35.0	50.0	99	
			10.90m (CH) 0 % grava, 22 % arena, 78 % finos Arcilla con arena de color gris oscuro de consistencia blanda	MA 18	100	2-2-2 (4)			76.0	55.0	26.0	29.0	78	
			12.40m (CH) 0 % grava, 34 % arena, 66 % finos Arcilla arenosa de color gris oscuro de consistencia firme	MA 21	100	2-3-2 (5)			58.0	51.0	25.0	26.0	66	

(Continúa en la Página Siguiente)



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 25/6/14 FECHA FINAL 30/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO  DURANTE LA PERFORACIÓN 1.70 m / Elev 2.30 m

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622540 Y: 9761056

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
28	-24.00		26.50m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida (continua)											
			28.00m (CL) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 47	70	17-14-17 (31)			52.0	49.0	19.0	30.0	92	
30	-26.00		30.00m (CH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Arcilla de color gris claro de consistencia muy rígida	MA 49	100	10-11-17 (28)			39.0	85.0	33.0	52.0	96	
32	-28.00		31.50m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 52	50	30-22-21 (43)			25.0	68.0	23.0	45.0	97	
34	-30.00		33.00m (CH) 0 % grava, 14 % arena, 86 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 55	100	14-15-24 (39)			35.0	56.0	25.0	31.0	86	
36	-32.00		35.50m (CH) 0 % grava, 13 % arena, 87 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 59	80	16-19-18 (37)			35.0	55.0	27.0	28.0	87	
			36.40m (CL) 1 % grava, 27 % arena, 72 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 61	70	10-12-15 (27)			20.0	48.0	18.0	30.0	72	
38	-34.00		37.90m (CH) 0 % grava, 18 % arena, 82 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 64	70	20-50/R en 13 cm			20.0	56.0	16.0	40.0	82	
			39.45m (CL) 4 % grava, 28 % arena, 68 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 66	100	20-27-50/R en 9 cm			28.0	48.0	22.0	26.0	68	
Fin de SONDEO a 39.84m														



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 25/6/14 FECHA FINAL 30/6/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.70 m / Elev 2.30 m

PERFORADOR: Angel Castillo DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622540 Y: 9761056

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)	
14	-10.00		13.45m (MH) 0 % grava, 17 % arena, 83 % finos Limo con arena de color gris oscuro de consistencia firme (continua)	MA 24	100	5-5-4 (9)			79.0	73.0	35.0	38.0	83	
16	-12.00		16.00m (CH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia firme	MA 26	100	4-3-3 (6)			83.0	71.0	33.0	38.0	94	
18	-14.00		17.50m (MH) 0 % grava, 15 % arena, 85 % finos Limo con arena de color gris oscuro de consistencia blanda	MA 29	100	1-1-2 (3)			81.0	66.0	36.0	30.0	85	
			18.50m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 32	100	6-4-3 (7)			90.0	75.0	37.0	38.0	98	
20	-16.00													
22	-18.00		22.00m (MH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 35	100	6-5-5 (10)			93.0	86.0	46.0	40.0	92	
			23.50m (PT) Turba de color café	MA 38	100	11-11-12 (23)			146.0					
24	-20.00		23.95m (MH) 2 % grava, 8 % arena, 90 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 39	100	9-8-8 (16)			93.0	69.0	36.0	33.0	90	
			25.00m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 41	100	12-11-12 (23)			43.0	83.0	39.0	44.0	94	
26	-22.00		26.50m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 44	100	7-14-12 (26)			38.0	75.0	36.0	39.0	94	

(Continua en la Página Siguiente)



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil  
 PROYECTO \_\_\_\_\_  
 FECHA COMIENZO 8/7/14 FECHA FINAL 11/7/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm  
 CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_  
 MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 2.00 m / Elev 2.00 m  
 PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_  
 REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622528 Y: 9761153

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
0.00			0.00m Material de Relleno											
2.00														
4.00			4.00m (CH) 4 % grava, 2 % arena, 94 % finos Arcilla de color gris claro de consistencia muy blanda	MA 2	100	1-1-1 (2)			66.0	73.0	34.0	39.0		
6.00														
7.00			7.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia blanda con olor orgánico	MI 4	80		16	14	98.0	86.0	39.0	47.0	98	
8.00														
9.00			9.00m (MH) 0 % grava, 17 % arena, 83 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy blanda con olor orgánico	MA 6	100	2-1-1 (2)			69.0	61.0	39.0	22.0	83	
10.00														
10.00			10.00m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia blanda con olor orgánico	MI 7	100		16	14	99.0	82.0	36.0	46.0	98	
12.00														
12.00			12.00m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia firme	MA 9	100	2-2-3 (5)			75.0	86.0	29.0	57.0	97	

(Continua en la Página Siguiente)



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 8/7/14 FECHA FINAL 11/7/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 2.00 m / Elev 2.00 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622528 Y: 9761153

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG			
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)
14	-10.00		12.00m (CH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia firme <i>(continúa)</i>	MA 11	100	3-3-4 (7)			67.0	69.0	27.0	42.0	96
16	-12.00		14.00m (CH) 0 % grava, 4 % arena, 96 % finos Arcilla de color gris oscuro de consistencia firme	MA 13	90	2-2-2 (4)			74.0	80.0	31.0	49.0	99
18	-14.00		16.00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia blanda	MA 15	80	4-6-6 (12)			97.0	93.0	37.0	56.0	84
20	-16.00		18.00m (CH) 0 % grava, 16 % arena, 84 % finos Arcilla con arena de color gris verdoso de consistencia rígida - Turba de color café	MA 16	90	10-12-17 (29)							
22	-18.00		20.00m (MH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 17	80	9-11-10 (21)			44.0	97.0	45.0	52.0	94
24	-20.00		22.00m (MH) 1 % grava, 3 % arena, 96 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 19	100	14-12-12 (24)			47.0	97.0	42.0	55.0	96
26	-22.00		24.00m (MH) 0 % grava, 3 % arena, 97 % finos Limo de color gris verdoso de consistencia muy rígida y pintas de oxidación	MA 21	90	12-13-15 (28)			55.0	54.0	34.0	20.0	97
			26.00m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	MA 23	100	12-11-13 (24)			44.0	77.0	32.0	45.0	98

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS

GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-6

HOJA 3 de 3

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 8/7/14 FECHA FINAL 11/7/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 2.00 m / Elev 2.00 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622528 Y: 9761153

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
28	-24.00		26.00m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida <i>(continua)</i>											
30	-26.00		28.00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 25	100	12-12-10 (22)			36.0	94.0	35.0	59.0	99	
32	-28.00		30.00m (CH) 1 % grava, 4 % arena, 95 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 27	100	18-15-20 (35)			38.0	90.0	32.0	58.0	95	
34	-30.00		32.00m (CH) 0 % grava, 0 % arena, 100 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 29	100	17-17-24 (41)			36.0	85.0	34.0	51.0	100	
36	-32.00		34.00m (CH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 31	90	21-17-20 (37)			38.0	80.0	43.0	37.0	94	
38	-34.00		36.00m (CH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	MA 33	100	14-13-16 (29)			21.0	84.0	32.0	52.0	98	
			38.00m (CH) 15 % grava, 23 % arena, 62 % finos Arcilla arenosa con grava de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 35	100	25-25-26 (51)			23.0	63.0	30.0	33.0	62	
			38.45m (CH) 8 % grava, 23 % arena, 69 % finos Arcilla arenosa de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 36	75	45-38-50/R en 10 cm			20.0	60.0	28.0	32.0	69	

Fin de SONDEO a 38.85m



GEOESTUDIOS  
 "Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
 Tel.: 04 280068 - 04 2685503

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 28/6/14 FECHA FINAL 4/7/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.80 m / Elev 2.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622536 Y: 9761096

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN. DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD		
			12.00m (CL) 0 % grava, 30 % arena, 70 % finos Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica	MI 9	100				76.0	43.0	24.0	19.0	70	
14	-10.00		13.00m (MH) 0 % grava, 8 % arena, 92 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia blanda con presencia de materia orgánica	MA 11	90	2-2-2 (4)			87.0	68.0	34.0	34.0	92	
16	-12.00		16.00m (MH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme	MA 13	60	2-3-2 (5)			68.0	72.0	36.0	36.0	90	
18	-14.00		18.00m (MH) 0 % grava, 15 % arena, 85 % finos Limo con arena de color gris oscuro de consistencia rígida	MA 15	100	4-5-5 (10)			74.0	77.0	37.0	40.0	85	
20	-16.00		20.00m (MH) 0 % grava, 2 % arena, 98 % finos Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica	MA 17	100	4-3-3 (6)			85.0	75.0	36.0	39.0	98	
22	-18.00		22.00m (MH) 0 % grava, 7 % arena, 93 % finos Limo de color café de consistencia rígida con presencia de Turba. 22.30m (PT) Turba color café	MA 19	90	4-7-6 (13)			102.0	76.0	35.0	41.0	93	
24	-20.00													

(Continua en la Página Siguiente)



CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 28/6/14 FECHA FINAL 4/7/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO  DURANTE LA PERFORACIÓN 1.80 m / Elev 2.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN \_\_\_\_\_

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622536 Y: 9761096

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN DE BOLSILLO (kPa)	Su-TORVANE (kPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	FINOS (%)	
			22.30m (PT) Turba color café (continua)	<input checked="" type="checkbox"/> MA 21	40	13-14-10 (24)			166.0					
			25.15m (CH) 0 % grava, 10 % arena, 90 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida											
26	-22.00			<input checked="" type="checkbox"/> MA 23	100	10-9-13 (22)			41.0	64.0	24.0	40.0	90	
			28.00m (CH) 0 % grava, 1 % arena, 99 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida	<input checked="" type="checkbox"/> MA 25	70	16-16-15 (31)			54.0	80.0	32.0	48.0	99	
			30.00m (CH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida con presencia de yeso	<input checked="" type="checkbox"/> MA 27	100	19-18-15 (33)			38.0	87.0	33.0	54.0	95	
			32.00m (CH) 0 % grava, 11 % arena, 89 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	<input checked="" type="checkbox"/> MA 29	70	16-18-21 (39)			37.0	65.0	30.0	35.0	89	
			34.00m (CH) 0 % grava, 6 % arena, 94 % finos Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida	<input checked="" type="checkbox"/> MA 31	80	15-17-17 (34)			34.0	67.0	28.0	39.0	94	
36	-32.00													

(Continua en la Página Siguiente)



GEOESTUDIOS

GEOESTUDIOS  
"Cda Kennedy Norte"- Calle Jose Assaf Bucaram Mz 704 Villa 3  
Tel.: 04 280068 - 04 2685503

SONDEO N° GEO-7

HOJA 4 de 4

CLIENTE \_\_\_\_\_ LOCALIZACIÓN Ciudad de Guayaquil

PROYECTO \_\_\_\_\_

FECHA COMIENZO 28/6/14 FECHA FINAL 4/7/14 ELEVACIÓN 4 m TAMAÑO de SONDEO 75 mm

CONTRATISTA: \_\_\_\_\_ NIVEL FREÁTICO \_\_\_\_\_

MÉTODO: PERCUSIÓN Y LAVADO DURANTE LA PERFORACIÓN 1.80 m / Elev 2.20 m

PERFORADOR: José Aguilar DESPUÉS DE LA PERFORACIÓN --

REGISTRADO POR: Jimmy Vargas COORDENADAS X: 622536 Y: 9761096

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN %	SPT (N60)	Su-PEN DE BOLSILLO (KPa)	Su-TORVANE (KPa)	HUMEDAD (%)	LÍMITES ATTERBERG				FINOS (%)
										LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD		
			36.00m (CL) 9 % grava, 24 % arena, 67 % finos Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia dura	MA 33	80	28-11-50/R en 11 cm			29.0	41.0	21.0	20.0	67	
			36.41m (CH) 0 % grava, 5 % arena, 95 % finos Arcilla de color gris verdoso de consistencia dura	ROT 34					38.0	74.0	33.0	41.0	95	
			38.00m (CH) 21 % grava, 7 % arena, 72 % finos Arcilla gravosa de color gris verdoso de consistencia dura	ROT 35					37.0	67.0	31.0	36.0	72	
			41.00m Lutitas de color amarillo oscuro	ROT										
			41.80m Lutitas de color gris verdoso	ROT										
			43.50m Microbrechas de color gris verdoso, meteorizadas	ROT										

Fin de SONDEO a 45.00m

**REGISTRO DE PERFORACIÓN** Sondeo: GE0-7

 Ubicación: Ciudad de Guayaquil

 Coordenadas Y: 9761096

 Cota (msnm): 4      Inclinación: 90

 Coordenadas X: 622536

 Profundidad (m): 45

 Fecha Inicio: 28/06/2014

 Diámetro del Sondeo (mm): NQ (75.70)

 Fecha Final: 04/07/2014

 Diámetro de Revestimiento (mm): HQ (96.00)

 Descripción: Ing. Andrea Hermenejildo

 HOJA **1** DE **1**

PROFUNDIDAD (m)	COTA (m)	SIMBOLOGÍA	REGISTRO GEOLOGICO						REPERMABILIDAD K (x10 <sup>-5</sup> ) (cm/s)			
			DESCRIPCIÓN	RECUPERACIÓN	RQD	METEORIZACIÓN	FRACTURAMIENTO	ESPACIAMIENTO		FLUJO DE RETORNO	CAJA No.	REVESTIMIENTO
0	4.00			5 4 3 2 1	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1	5 4 3 2 1			
			0.00m Material de Relleno									
5	-1.00		4.00m Arcilla arenosa con grava de color gris claro de consistencia muy blanda									
			5.00m Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda									
10	-6.00		8.00m Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica									
			10.00m Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica									
15	-11.00		12.00m Arcilla arenosa de color gris verdoso de consistencia muy blanda con presencia de materia orgánica									
			13.00m Limo de color gris oscuro de consistencia blanda con presencia de materia orgánica									
20	-16.00		16.00m Limo de color gris oscuro de consistencia firme									
			18.00m Limo con arena de color gris oscuro de consistencia rígida									
25	-21.00		20.00m Limo de color gris oscuro de consistencia firme con presencia de materia orgánica									
			22.00m Limo de color café de consistencia rígida con presencia de Turba.									
			22.30m Turba color café									
30	-26.00		25.15m Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida									
			28.00m Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida									
			30.00m Arcilla de color gris verdoso de consistencia muy rígida con presencia de yeso									
35	-31.00		32.00m Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida									
			34.00m Arcilla de color amarillo oscuro de consistencia muy rígida									
			36.00m Arcilla con arena de color amarillo oscuro de consistencia dura									
40	-36.00		36.41m Arcilla de color gris verdoso de consistencia dura									
			38.00m Arcilla gravosa de color gris verdoso de consistencia dura									
45	-41.00		41.00m 1 Lulitas de color amarillo oscuro									
			41.80m 1 Lulitas de color gris verdoso									
			43.50m 1 Microbrechas de color gris verdoso, meteorizadas									

**Fin del Sondeo**

RECUPERACIÓN (%)		RQD (%)		METEORIZACIÓN		FRACTURAMIENTO (flm)		ESPACIAMIENTO (mm)		FLUJO RETORNO (%)		TIPO DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD	
1	100-81	Excelente	1	100-81	Excelente	1	<2	Roca Masiza	1	>2000	Muy Amplio	1	Muy Alto
2	80-61	Buena	2	90-76	Buena	2	2-5	Roca Fracturada	2	601-2000	Amplio	2	Alto
3	60-41	Regular	3	75-51	Regular	3	6-10	Roca muy Fracturada	3	201-600	Moderado	3	Medio
4	40-21	Baja	4	50-26	Baja	4	11-20	Extremadamente Fracturada	4	60-200	Estrecho	4	Bajo
5	20-0	Muy Baja	5	25-0	Muy Baja	5	> 20	Roca Fragmentada	5	<60	Muy Bajo	5	Muy Bajo

 Lefranc  
[cm/seg]  
Lugeon  
[lit/min])

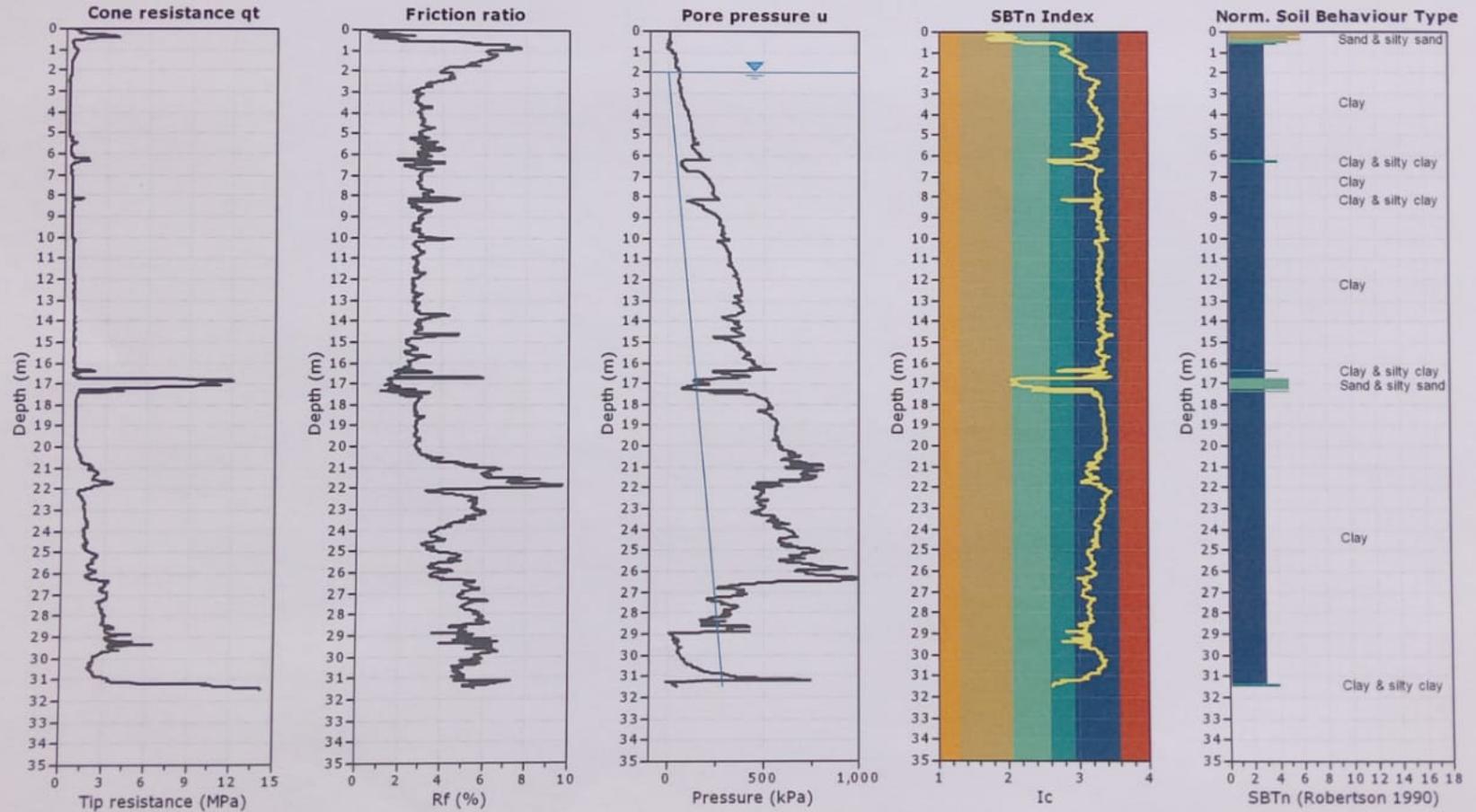
## **ANEXO D**

### **ENSAYOS CPT-U**

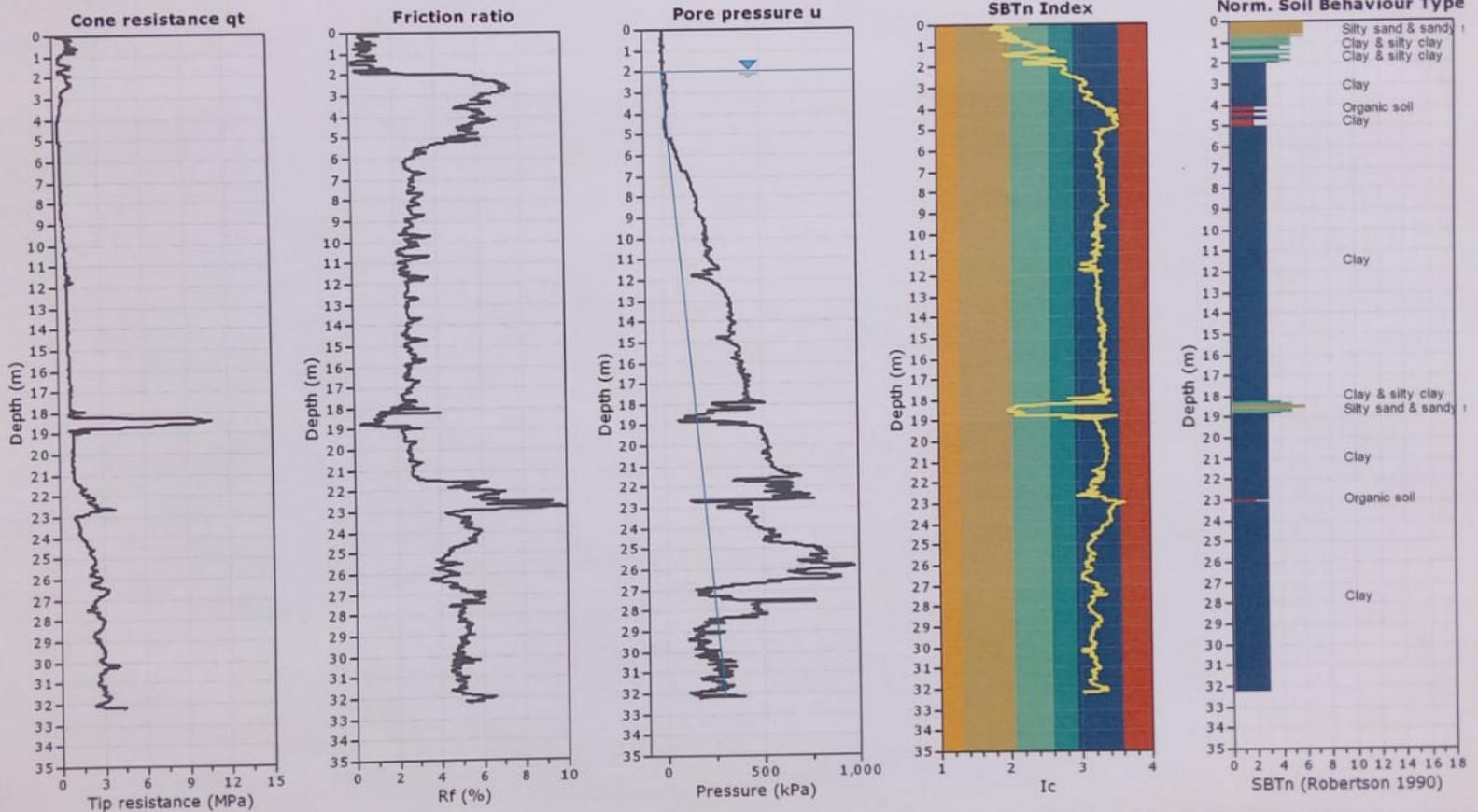
Contiene los parámetros obtenidos por el ensayo de CPT-u de los cuatro ensayos ejecutados en la zona de estudio, información brindada por la empresa Geoestudios S.A.

Project:  
Location:

Total depth: 31.44 m, Date: 12/06/2014  
Coords: lat -2.162653° lon -79.896456°

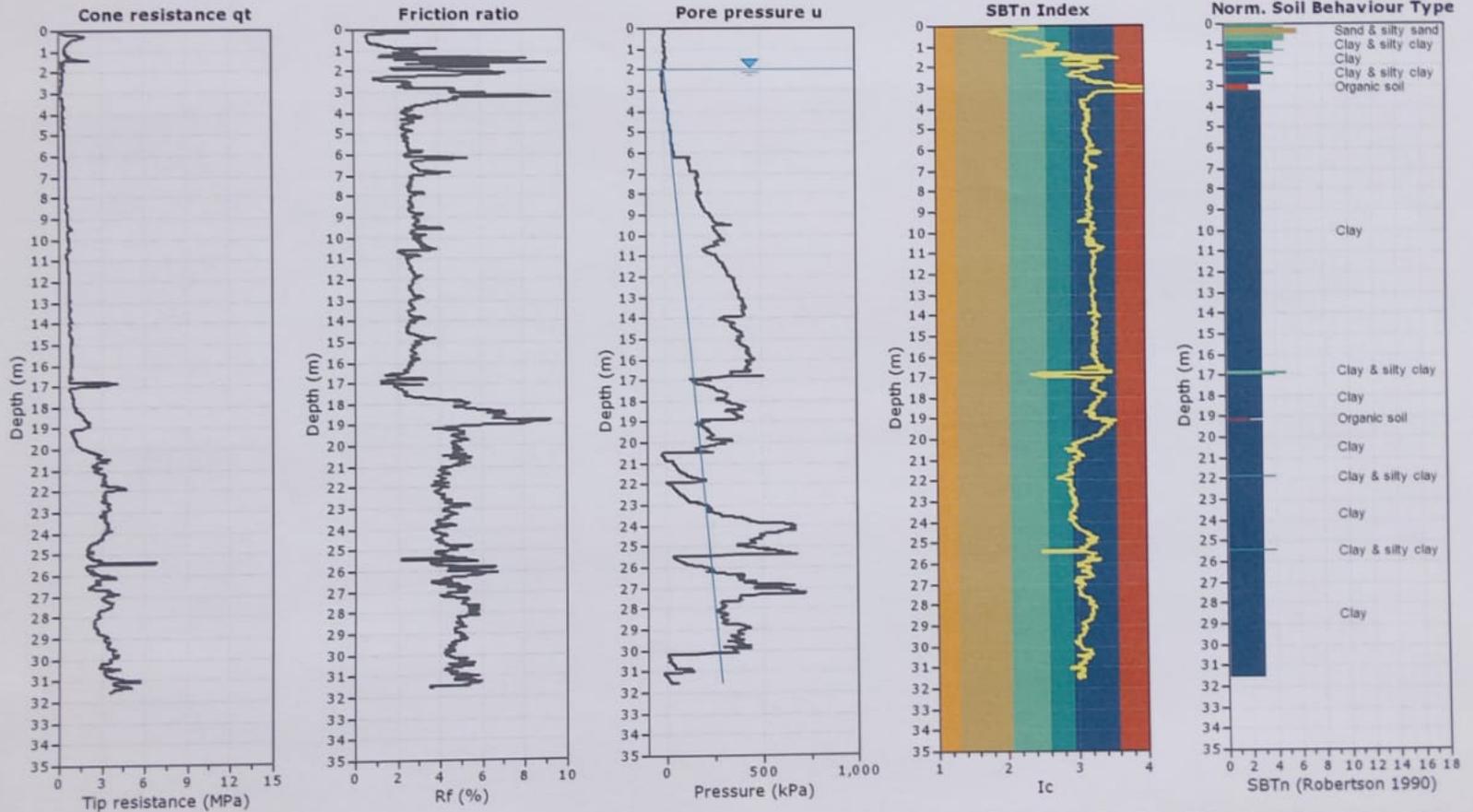


Project:  
 Location: Av. Francisco de Orellana



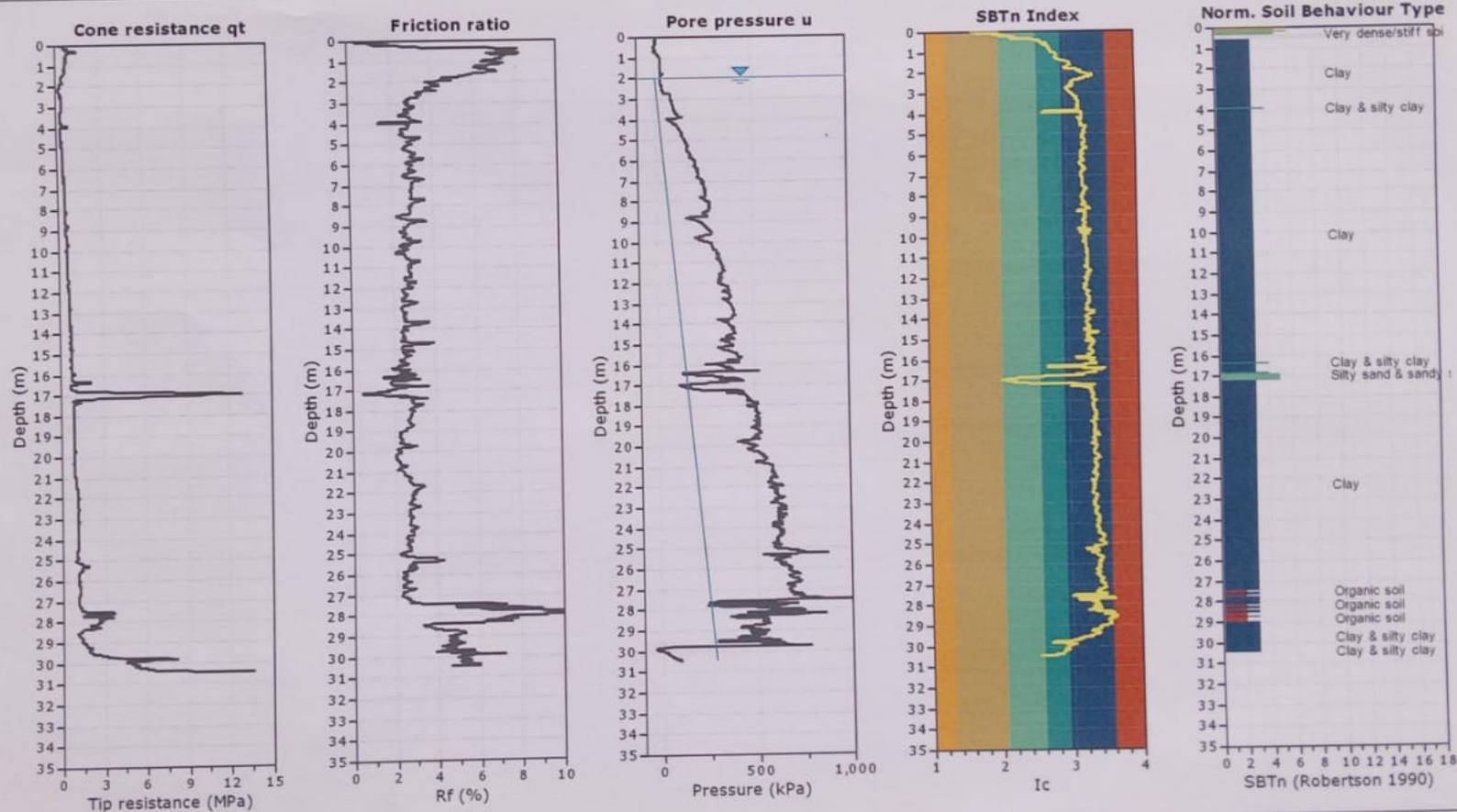
Project:  
Location: Av. Francisco de Orellana

Total depth: 31.53 m, Date: 16/06/2014  
Coords: lat -2.160633° lon -79.898258°



Project:

Location: Av. Francisco de Orellana



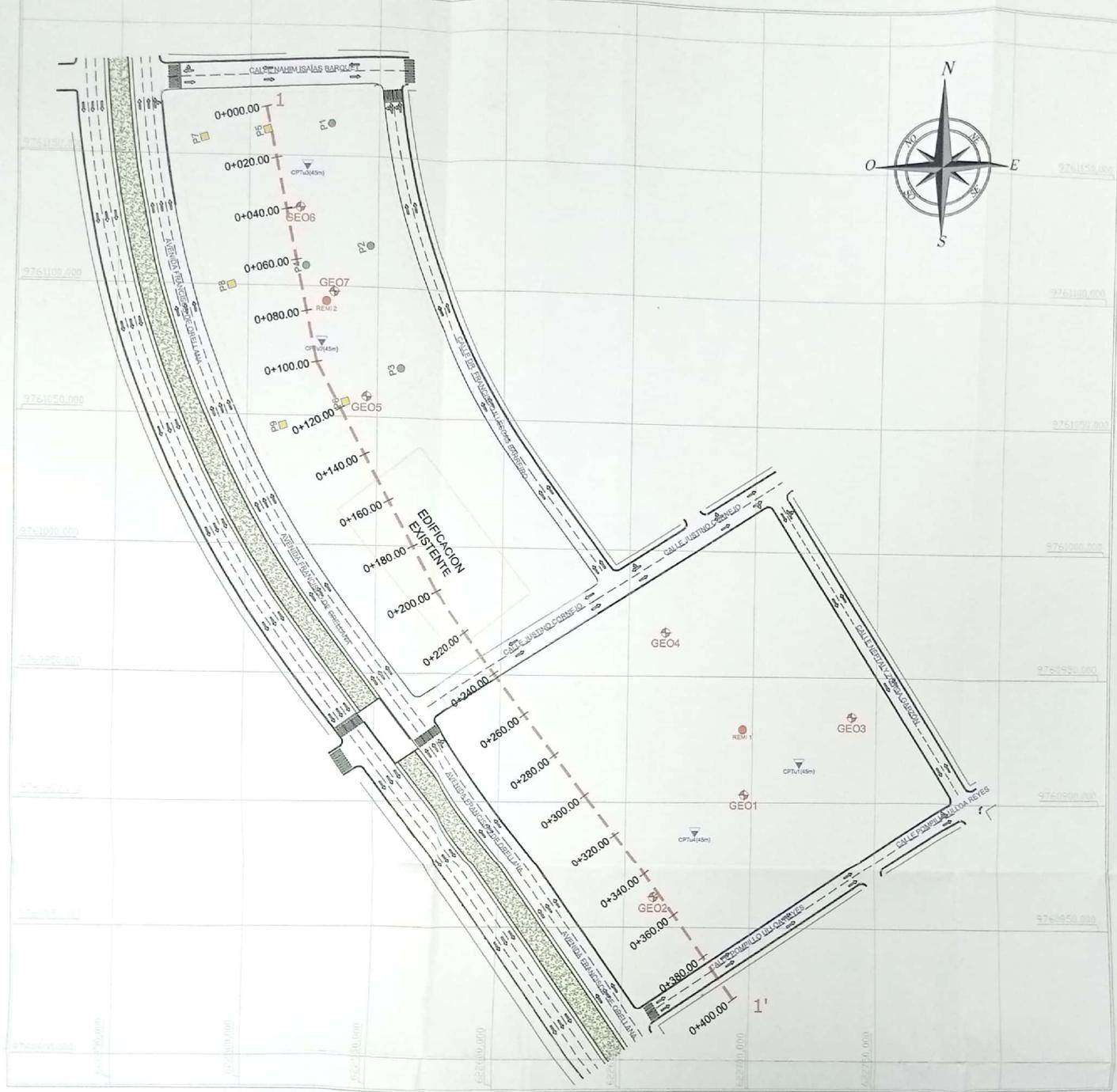
## **ANEXO E**

### **PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO**

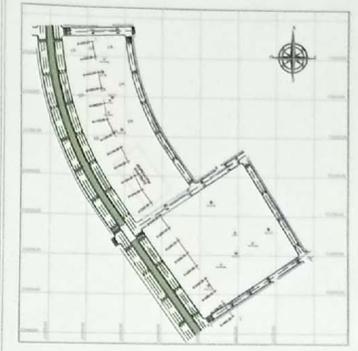
Contiene el Perfil Geológico-Geotécnico de 400m de longitud en formato A2 a escala 1:1000, el cual fue el resultado de este proyecto; además de la implantación del proyecto en formato A2 a escala 1:1250.



**IMPLANTACIÓN GENERAL**  
ESCALA 1:1250



**UBICACIÓN**



**EQUIPOS**

- PERFORADORA MODELO "ACKER"
- EQUIPO DE SISMICA ES-3000
- EQUIPO DE EMPUJE PAGANI TG43

**SIMBOLOGÍA**

	REMI 1	Ensayo RaMi		P6	Sondajes realizados por la compañía AET y proporcionados por Geostudios S.A.
	CPTu1 (45m)	Ensayo CPTu		P4	
	GEO3	Perforaciones realizadas por Geostudios S.A.			

**NOTAS**

- SISTEMA GEOREFERENCIADO COORDENADAS UTM.

Escuela Superior Politécnica del Littoral

PROYECTO: PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO A PARTIR DE PERFILES GEOFÍSICOS Y COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS EN UNA ZONA NOROCCIDENTAL DE LOS DEPOSITOS DELTAICOS-ESTUARINOS EN OVA YAQUIL.

LONARFUD	ESFUERZO	PROVINCIA
4000	7000	GUAYAS

CONTIENE: IMPLANTACION GENERAL

INTEGRANTES: JAIME DANIEL ULLOA LAMÁN      JIMMY LEONARDO VARGAS CELY