



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.

TRABAJO ESCRITO

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA GEÓLOGA

PRESENTA:

LETICIA TORRES GONZÁLEZ

ASESOR: ING. JAVIER MANCERA ALEJANDREZ



MÉXICO D.F.

2013

Agradecimientos

Este informe lo realice gracias a mi estancia en el proyecto Túnel Emisor Oriente. Apoyada por el Programa de becarios con formación de excelencia, que el Colegio de Ingenieros Civiles de México, en conjunto con COMISSA, CONAGUA y Fundación ICA, han implementado, cuyo objetivo es apoyar la formación de recursos humanos con interés de desarrollarse profesionalmente en obras subterráneas, a cargo del M.I. Sergio Macuil Robles.

Al Ing. Héctor Ricardo Castrejón Pineda, por aconsejarme y apoyarme a iniciar este informe.

Al Ing. Javier Mancera Alejándrez, por sus comentarios para estructurar este informe.

A mis sinodales Ing. Luis Arturo Tapia Crespo, Ing. Alberto Arias Paz, M.I. Sergio Macuil Robles y al M. en C. Noé Santillán Piña.

Al Dr. Víctor Manuel Malpica Cruz, por su apoyo y amistad.

A mi Padre por creer y confiar en mí.

Muy especialmente a mi Madre que aunque ya no está presente, siempre fue mi aliciente.

A José Luis, Jorge y Ana Victoria, y a sus respectivas familias, por cuidarme y por compartir momentos agradables.

A todas las personas que me han acompañado durante este tiempo.

Y finalmente a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería, por brindarme una educación de calidad.

ÍNDICE

Agradecimientos

Resumen	8
1. INTRODUCCIÓN (Objetivos y Alcances).....	11
2. GENERALIDADES	13
2.1. Ubicación del Túnel Emisor Oriente.....	14
2.2. Ubicación de los nuevos sondeos exploratorios.....	15
2.3. Interpretación geológica para el trazo del Túnel Emisor Oriente, TEO...	15
2.4. Interpretación geológica para el Tramo 5, del Túnel Emisor Oriente.....	19
2.5. Hidrogeología.....	22
3. METODOLOGÍA	24
3.1. Trabajo de exploración.....	25
3.1.a Manejo de las muestras recuperadas.....	27
3.2. Trabajo de laboratorio.....	29
3.2.a <i>Clasificación visual y al tacto</i>	30
3.2.b <i>Contenido natural de agua</i>	32
3.2.c <i>Limites de Consistencia</i>	33
3.2.d <i>Granulometría</i>	36
3.2.e <i>Clasificación mediante el Sistema Unificado</i> <i>de Clasificación de suelos</i>	38
3.2.f <i>Compresión Simple</i>	39
4. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS	41
4.1. Perfil estratigráfico del Sondeo 1.....	42
4.2. Perfil estratigráfico del Sondeo 2.....	42
4.3. Perfil estratigráfico del Sondeo 3.....	43

5. RESULTADOS DE LABORATORIO	44
5.1. Resultados del sondeo 1.....	45
5.1. Resultados del sondeo 2.....	52
5.2. Resultados del sondeo 3.....	62
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
6.1. Caracterización del sondeo 1.....	72
6.2. Caracterización del sondeo 2.....	73
6.3. Caracterización del sondeo 3.....	74
6.4. Comparación entre las características mecánicas..... de los sondeos del trazo original y el nuevo trazo.	75
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
9. ANEXOS	80

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Máquina tuneladora E.P.B (Earth Pressure Balanced) diámetro 8.74 m, utilizada en el Túnel Emisor Oriente</i>	10
<i>Figura 2.1: Llegada del escudo de la firma Herrenknecht a la Lumbrera 1A, del TEO</i>	13
<i>Figura 2.2: Ubicación de los 6 tramos del Túnel Emisor Oriente, Fuente: ICA, 2012</i>	14
<i>Figura 2.3: Principales vías de acceso para el tramo 5, Complementada de CFE, 2013</i>	15
<i>Figura 2.4: Ubicación de los sondeos ejecutados, en el nuevo trazo, Modificada de ICA, 2013</i>	16

<i>Figura 2.5: Perfil geológico del Túnel Emisor Oriente, Complementada de ICA, 2013.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2.6: Fisiografía para el tramo 5, del TEO, Complementada de CFE, 2013.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 2.7: Perfil geológico para el tramo 5, del TEO, Complementada de ICA,2013.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2.8: Esquema que muestra los niveles freáticos de los sondeos 1 y 3.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.1: Llegada de dos escudos, a la Lumbrera 3A del TEO.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.2: Sonda Longyear-34, utilizada para la perforación de los sondeos 1,2 y3.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3.3: Caja con muestras del sondeo 2.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.4: Caja de núcleos del sondeo 1.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.5: Fragmentos de basalto, sondeo 2.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.6: Limo arenoso, del sondeo 2.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.7: Limo, verde olivo, del sondeo 1.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.8: Arena arcillosa, del sondeo 3.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 3.9: Arena de compacidad suelta, S-1.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.10: Limo de consistencia dura, S-3.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 3.11: Limo, con fragmentos del mismo material, S-1.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.12: Fragmentos de basalto, de hasta 10 cm de longitud, S-1.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3.13: Copa de Casagrande.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 3.14: Límites de consistencia, del sondeo 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 3.15: Granulometría del sondeo 2.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.16: Mezcla de Hexametáfosfato de sodio, S-1.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 3.17: Tamices utilizados para la prueba de granulometría.....</i>	<i>37</i>

<i>Figura 3.18: Carta de Plasticidad.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 3.19: Instrumentos utilizados para la prueba de compresión simple: a) Prensa manual, b) Vernier digital y c) Balanza.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 4.1: Llegada del escudo de la firma Robbins Mitsubishi, a la Lumbreira 3A.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.2: Perfiles estratigráficos correspondientes al sondeo de la Lumbreira 20 y a los perfiles del sondeo 1, 2 y 3, Modificado de ICA, 2012.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5.1: Llegada del escudo de la firma Herrencknecht, a la Lumbreira 3A.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6.1: Dovela (revestimiento primario del túnel), Planta de Dovelas, TEO.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 7.1: Tunel Emisor Oriente, Lumbreira 5.....</i>	<i>77</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Características hidrológicas de los sondeos exploratorios.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3.1: Tipo de herramienta y diámetros de los sondeos exploratorios 1,2 y 3.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3.2: Programa de laboratorio, para los sondeos 1,2 y 3.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3.3: Compacidad y consistencia.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3.4 : Sistema unificado de clasificación de suelos.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 5.1: Resultados de las muestras del sondeo 1.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5.2: Resultados de las muestras del sondeo 1.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 5.3: Resultados de las muestras del sondeo 1. (Zona del túnel remarcada).....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 5.4: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 5.5: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 5.6: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1. (Zona del túnelremarcada).....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 5.7: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1. (Zona del túnelremarcada).....</i>	<i>51</i>

<i>Tabla 5.8: Resultados de las muestras del sondeo 2.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 5.9: Resultados de las muestras del sondeo 2.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5.10: Resultados de las muestras del sondeo 2. (Zona del túnel remarcada)...</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 5.11: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 5.12: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 5.13: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 5.14: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 5.15: Resultado de compresión simple (q_u) del sondeo 2. (Zona del túnel remarcada).....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 5.16: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2. (Zona del túnel remarcada).....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 5.17: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 5.18: Resultados de las muestras del sondeo 3.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 5.19: Resultados de las muestras del sondeo 3.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 5.20: Resultados de las muestras del sondeo 3. (Zona del túnel remarcada)...</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 5.21: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5.22: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 5.23: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 5.24: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5.25: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3. (Zona del túnel remarcada).....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 5.26: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 6.1: Comparativa entre las propiedades mecánicas de los sondeos intermedios y los sondeos exploratorios actuales, incluye el sondeo de la lumbrera20.....</i>	<i>76</i>

ÍNDICE DE ANEXOS

A1. Perfil estratigráfico del sondeo 1, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO (Intervalo 0 - 60 m).....	80
A1. Perfil estratigráfico del sondeo 1, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO (Intervalo 60 - 120 m).....	81
A1. Perfil estratigráfico del sondeo 1, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO (Intervalo 120 - 155 m).....	82
A2. Perfil estratigráfico del sondeo 2, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO.(intervalo 0 -60 m).....	83
A2. Perfil estratigráfico del sondeo 2, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 60 -120 m).....	84
A2. Perfil estratigráfico del sondeo 2, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 120 -157 m).....	85
A3. Perfil estratigráfico del sondeo 3, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 0 -60 m).....	86
A3. Perfil estratigráfico del sondeo 3, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 60 - 120 m).....	87
A3. Perfil estratigráfico del sondeo 3, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 120 – 161.10 m).....	88
A4.Reporte fotográfico sondeo 1.....	89
A5.Reporte fotográfico sondeo 2.....	91
A6.Reporte fotográfico sondeo 3.....	93

RESUMEN

El Túnel Emisor Oriente tendrá una longitud de aproximadamente 62 kilómetros, siete metros de diámetro y una capacidad de desalojo de hasta 150 metros cúbicos de aguas residuales por segundo, se ubica en parte del Distrito Federal, y de los estados de México e Hidalgo

Durante la construcción del Túnel Emisor Oriente, su trazo original se ha modificado, una de estas modificaciones ocurrió en el tramo 6 para evitar suelos difíciles y aprovechar los suelos finos (limos y arcillas) de la Formación Taximay, que prometen ventajas considerables, lo que derivó en la modificación del tramo 5, en particular en el trazo entre las lumbreras 20 y 19.

Para el nuevo trazo se propuso una campaña de exploración para conocer los suelos a los cuales se enfrentaría la máquina tuneladora, esta nueva etapa de exploración consistió en la perforación de tres sondeos con recuperación continua de muestras.

De estas muestras se obtuvieron sus características geológicas y geotécnicas, y con ellas se pudo observar que los suelos que se encuentran en la zona de influencia del túnel pertenecen a la Formación Taximay (limos de alta plasticidad).

Mediante una comparación de propiedades mecánicas (resistencia a la compresión simple y peso volumétrico) del trazo original y del nuevo trazo, ha sido posible determinar que los suelos recuperados del nuevo trazo presentan mejores características mecánicas.

INTRODUCCIÓN



Figura 1.1: Máquina tuneladora E.P.B (Earth Pressure Balanced), diámetro 8.74 m, utilizada en el Túnel Emisor Oriente.

1. INTRODUCCIÓN

La Ciudad de México y su zona conurbada tienen un sistema de drenaje que en cada época de lluvias, resulta insuficiente y como consecuencia de lo anterior se corre el riesgo de sufrir inundaciones, con considerables daños económicos y sociales.

El Túnel Emisor Oriente tiene objetivos muy claros: ser un drenaje alternativo al Emisor Central, ampliar la capacidad de desagüe de la Cuenca de México además de que permitirá el mantenimiento necesario en ambos túneles. Con este proyecto se beneficiarán 15 millones de habitantes de la zona oriente del Valle de México (D.F y Estado de México) y se evita la probabilidad de una mega inundación.

Para la construcción del Túnel Emisor Oriente, se tiene planeado utilizar seis escudos de Presión de Tierras, también llamados tuneladoras E.P.B (Earth Pressure Balanced), estas máquinas son adecuadas para terrenos inestables, si están situados por debajo del nivel freático o cuando el terreno está constituido por una roca blanda y la profundidad a la que se ha de excavar el túnel es considerable.

Las profundidades a lo largo del trazo del túnel varían desde los 20 m en la lumbrera L-0 y hasta los 150 m en el portal de salida, en el río El Salto, en el estado de Hidalgo. Los diámetros de excavación serán de 8.74 m y 8.93 m. Para tener un control sobre la logística de la construcción esta se dividió en seis tramos o frentes de excavación.

Para el tramo 5 se utilizara un escudo con un diámetro de excavación de 8.93 m, y los materiales que se excavarán serán: abanicos aluviales, vulcanitas y depósitos lacustres de la Formación Taximay.

En la exploración inicial del TEO, para el tramo 5, se encontraron los suelos cohesivos de la Formación Taximay, posteriormente durante el proyecto ejecutivo se realizó una exploración con mayor detalle de dichos suelos, se realizaron pruebas índice y mecánicas, dando como resultado un limo de alta plasticidad, color verde olivo

Los tipos de acuífero que se presentan en el trazo del TEO son acuíferos confinados y semiconfinados. Las presiones para este tramo están entre 3.2 a 7 bar.

OBJETIVOS

El objetivo general de este informe técnico consiste en:

Caracterizar geológicamente y geotécnicamente tres sondeos de exploración para el nuevo trazo del Túnel Emisor Oriente entre las lumbreras 20 y 19, Tramo 5. Y de acuerdo a la caracterización verificar si los materiales de la zona de excavación son semejantes a los materiales del tramo original previamente estudiados y definidos o se trata de nuevos materiales.

ALCANCES

En el tramo comprendido entre la lumbrera 20 y 19 se realizaron tres sondeos de exploración en diámetro NQ con recuperación continua de muestras desde el nivel del terreno natural hasta dos diámetros por debajo de la cubeta del túnel, para caracterizar la columna estratigráfica se efectuaron trabajos de laboratorio que incluyeron:

- 159 pruebas de Contenido natural de agua (w)
- 85 pruebas de Granulometrías
- 85 pruebas de Límites de consistencia
- 77 pruebas de Resistencia a la compresión simple (q_u) y peso volumétrico (γ)

Con un mayor énfasis en la zona de excavación.

GENERALIDADES



Figura 2.1: Llegada del escudo de la firma Herrenknecht a la Lumbrera 1A, del TEO

2. GENERALIDADES

2.1 Ubicación del Túnel Emisor Oriente

El Túnel Emisor Oriente abarca parte de los estados de México y de Hidalgo, tendrá una longitud aproximada de 62 km, para su construcción se dividió en 6 tramos (Fig. 2.2), en particular el nuevo trazo comprendido entre las lumbreras 20 y 19, del tramo 5 del TEO, se encuentra ubicado en el municipio de Huehuetoca, Estado de México. Las principales vías de acceso son: la autopista México -Querétaro y el libramiento Querétaro-Texcoco (Circuito Mexiquense) (Fig. 2.3).

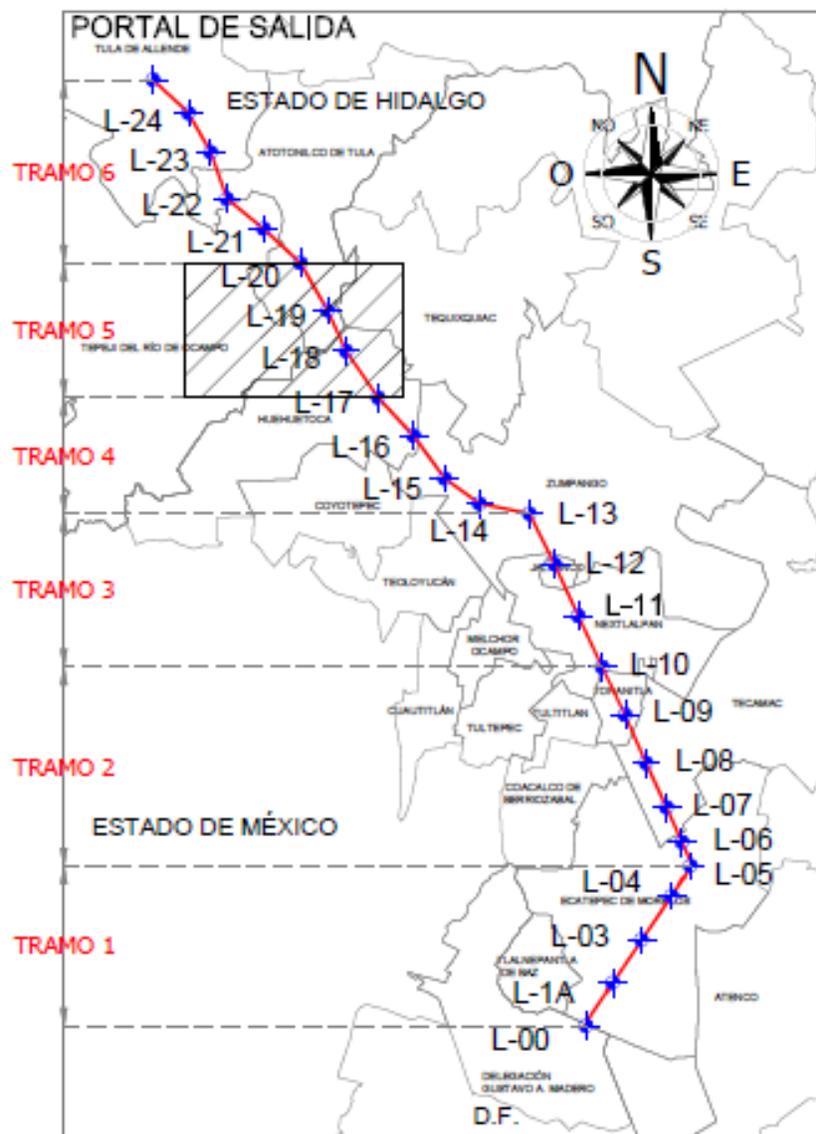


Figura 2.2: Ubicación de los 6 tramos del Túnel Emisor Oriente, Fuente: ICA, 2012.



Figura 2.3: Principales vías de acceso para el tramo 5, Complementada de CFE, 2013.

2.2 Ubicación de los nuevos sondeos exploratorios

Los sondeos se ubicaron con una separación de 230 m y 380 m entre ellos, en el nuevo trazo entre las lumbreras 20 y 19 (Fig.2.4). El sondeo 2 es el más alejado al eje del túnel del proyecto original con 250 m de distancia.

2.3 Interpretación Geológica para el trazo del Túnel Emisor Oriente, TEO

Con la información recabada en la exploración básica y la información del proyecto ejecutivo se interpretaron seis unidades que cruza el TEO, estas son en un 90% depósitos blandos o semiconsolidados y un 10% de rocas duras (Fig.2.5). El área de estudio se encuentra dentro de la Provincia Fisiográfica de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM), en el sector central.

Unidades geológicas

Depósitos de la formación lacustre de la Cuenca de México.

Consta de arcillas, limos y arenas interestratificadas derivadas en su mayor parte de la sedimentación de partículas en lagos y de la caída de materiales producto de erupciones volcánicas pumíticas, sobre un lago de aguas someras (1-2 m de profundidad máxima). En la secuencia estratigráfica aparecen además de depósitos lacustres, suelos de reducido espesor, que se formaban cuando las aguas del lago se

evaporaban en época de sequías, también se han encontrado algunas capas de cenizas volcánicas basálticas.

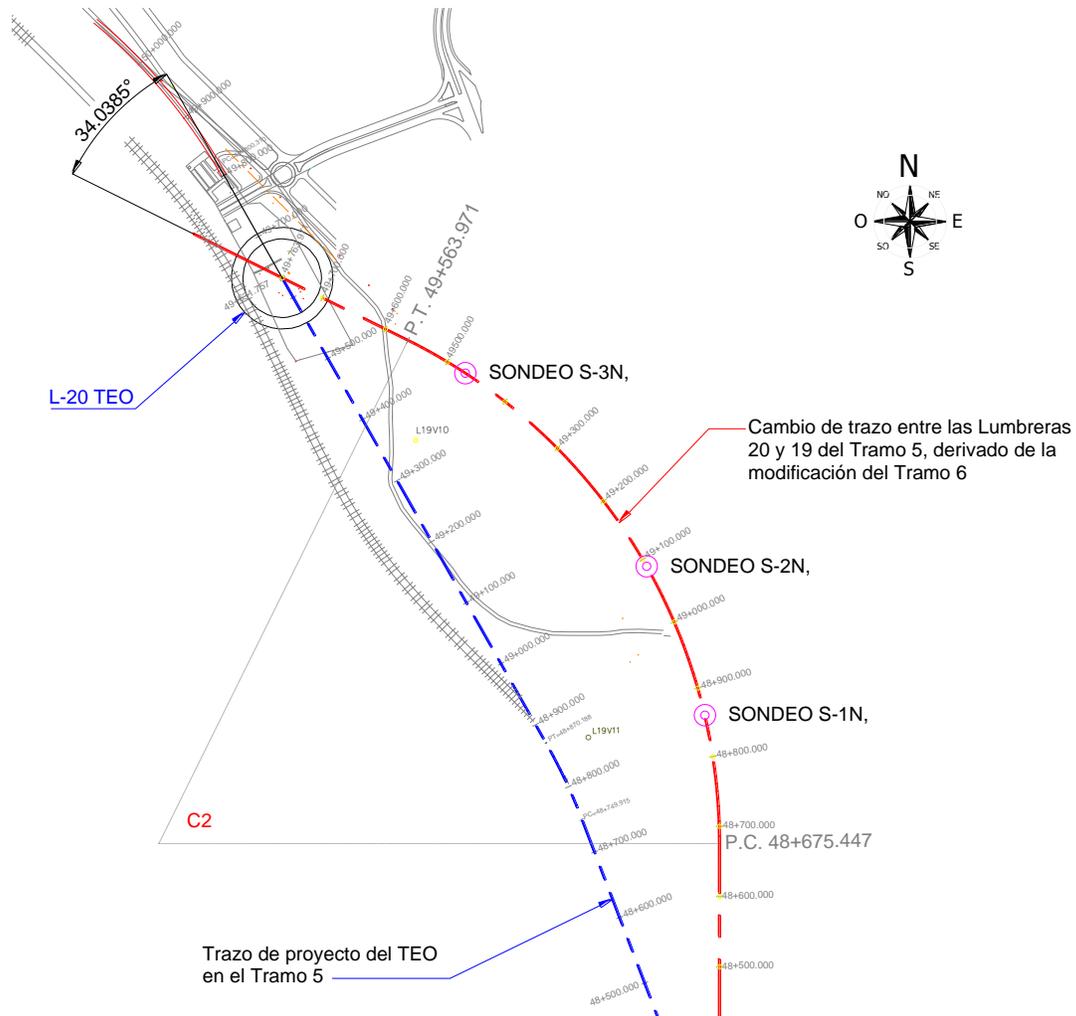


Figura 2.4: Ubicación de los sondeos ejecutados, en el nuevo trazo. Modificada de ICA, 2013.

Aparece superficialmente un estrato de arcillas lacustres que avanza como cuña hasta las inmediaciones de la lumbrera 8. El contenido de agua de las arcillas oscila entre 200 y 300% que contrasta con el muy inferior contenido de agua de las pumicitas con contenido de agua de 50 a 100 % y de los limos y arcillas de la Formación Taximay.

Unidad de Basaltos.

Las lavas y cenizas del Cerro de Tultepec quedan incluidas en la formación lacustre de la cuenca. La máquina tuneladora avanzara sobre una distancia de 11 kilómetros cortando y rozando cenizas basálticas sueltas muy poco cementadas y lavas fracturadas intercaladas entre los limos y arcillas lacustres. Estas dos unidades presentan una alta permeabilidad y transmisibilidad.

Unidad de Suelos Sublacustres.

Estos suelos consisten principalmente de limos arenosos color ocre con una avanzada compactación y se pueden presentar estratos de arena y algunas gravas fluviales.

Unidad de Abanicos aluviales.

Depósitos compuestos por suelos, arenas y gravas muy compactos, color rojizo por su contenido de óxidos, se encuentran subhorizontalmente en los flancos de elevaciones contiguas, por arriba del nivel freático regional son poco permeables y poco transmisibles.

Unidad de Vulcanitas Huehuetoca.

Estas vulcanitas quedan contenidas en los abanicos aluviales que descansan sobre el flanco sur de la Sierra de Nochistongo. Afloran al suroeste de Huehuetoca, donde forman un montículo de ignimbritas de color rosa.

Formación Taximay.

Los depósitos son de origen lacustre principalmente se conforman por limos y arcillas consolidadas. Esta formación se puede dividir en: Formación Taximay Inferior compuesta por limos, color verde olivo fuertemente consolidada y la Formación Taximay Superior compuesta por arcillas, color verde claro o ocre, menos consolidadas, ambas ligeramente carbonatadas.

GEOLOGÍA DEFINIDA

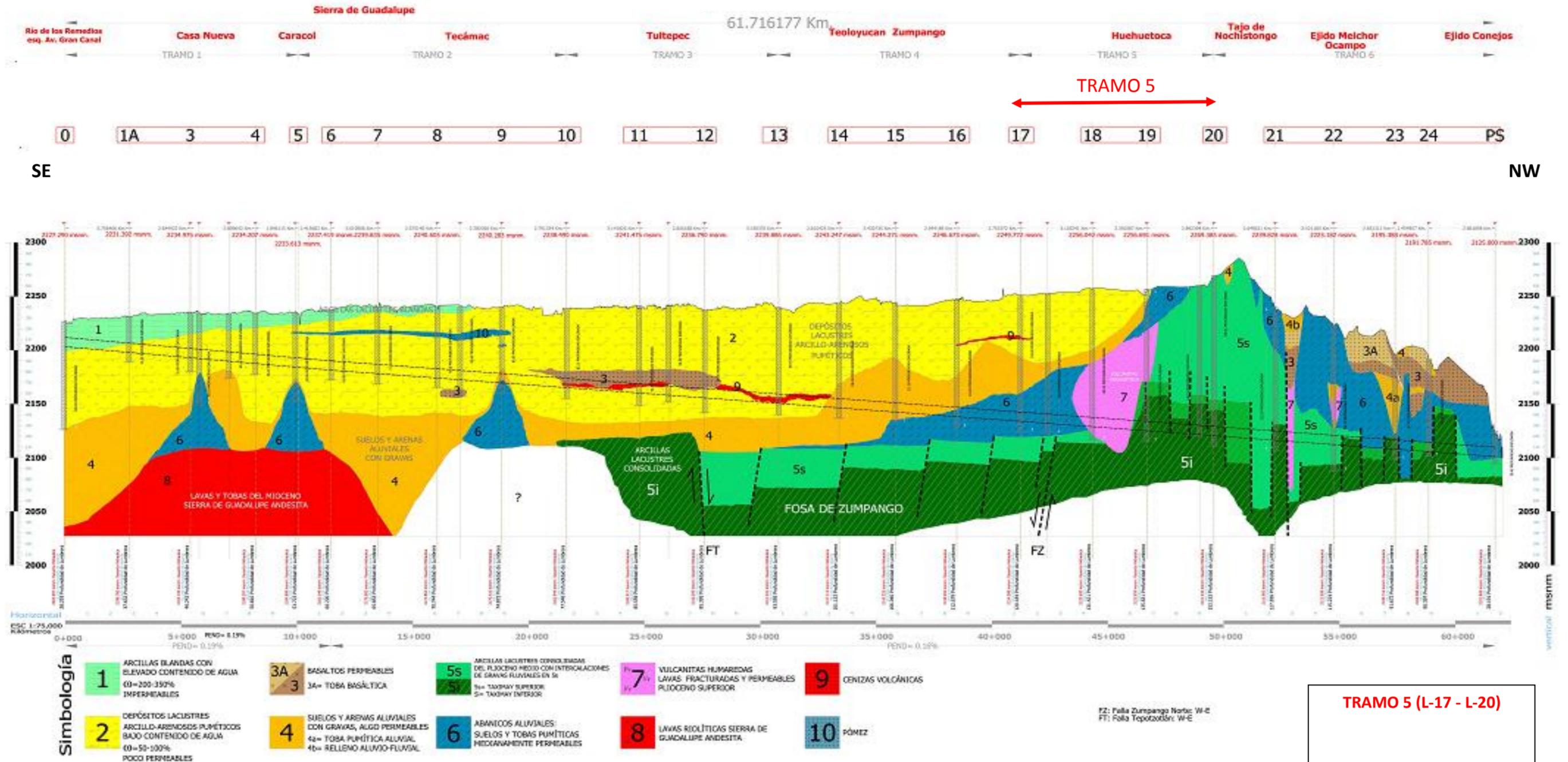


Figura 2.5: Perfil geológico del Túnel Emisor Oriente, Complementada de ICA, 2013.

2.4 Interpretación geológica para el Tramo 5, del Túnel Emisor Oriente

Los principales rasgos fisiográficos cercanos al nuevo trazo del TEO, son de origen volcánico de composición básica, hacia el noroeste se encuentra un domo volcánico de altitud 2900 msnm llamado el Cincoque, hacia el este se ubica el volcán Xalpa con una altitud de 2500 msnm y hacia el suroeste sobresale la Sierra Muerta que alcanza una elevación de 2700 msnm.

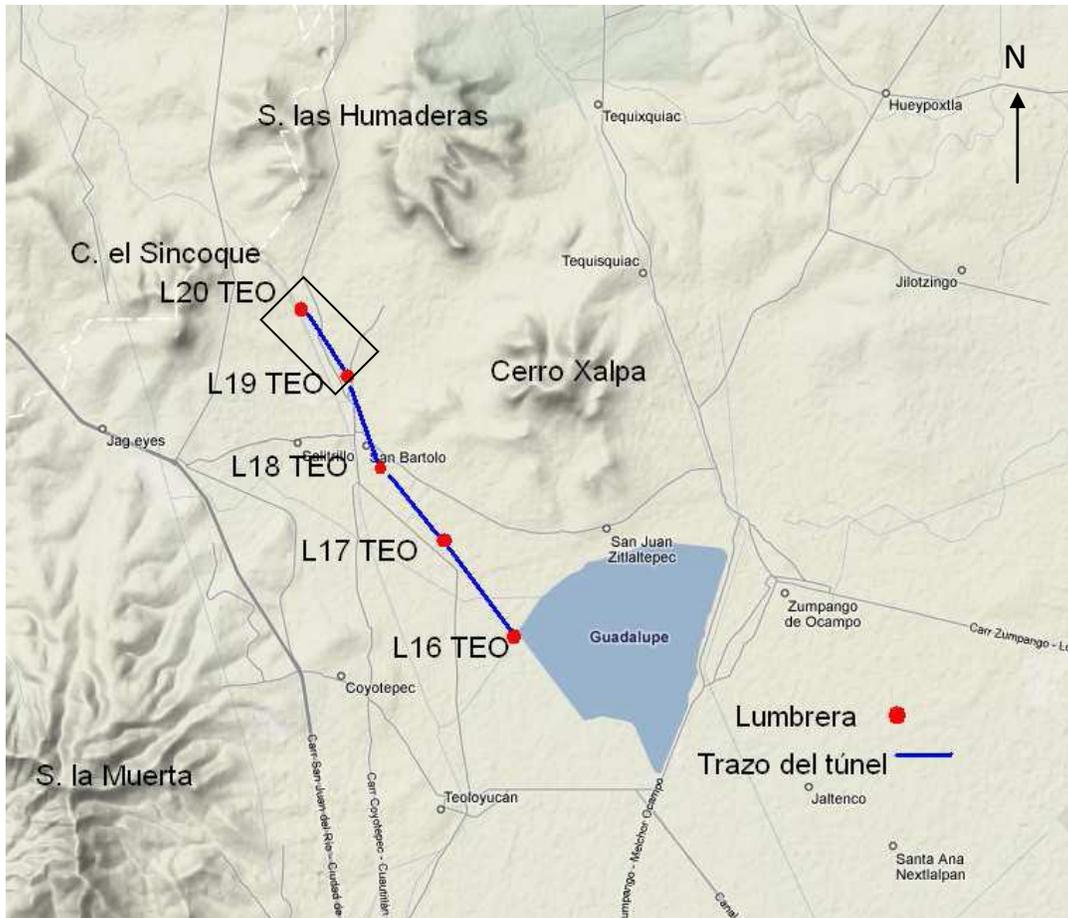


Figura 2.6: Fisiografía para el tramo 5, del TEO, Complementada de CFE, 2013.

Las unidades que cruzara el túnel para el tramo 5 (Fig.2.7) son tres:

- ❖ Formación Taximay superior e inferior, de donde se excavarán limos y arcillas lacustres consolidadas, entre las lumbreras 20 y 19.
- ❖ Unidad de Vulcanitas Huehuetoca, el material que se excavara entre las lumbreras 19 y 18 será:

7 Lavas fracturadas y permeables del Plioceno superior.

7a Conglomerados, brechas volcánicas y fragmentos de rocas sueltas.

7b Depósitos piroclásticos.

❖ Abanicos aluviales, entre las lumbreras 18 y 17, se excavaran:

Suelos y tobas.

6a Conglomerados, fragmentos de roca y boleos sueltos en una matriz de arena suelta.

2.5 Hidrogeología

La red hidrográfica de la zona de estudio esta representada principalmente por el río Cuautitlán que cruza de sur a norte y que recibe el nombre de Tajo de Nochistongo, durante la época de lluvia corren 36 arroyos, estos se forman debido a las pronunciadas elevaciones que rodean a la zona de estudio.

El nuevo trazo del TEO presenta acuíferos confinados y semiconfinados, con un nivel freático promedio de 72 m, dichos acuíferos pertenecen a la cuenca hidrológica del Valle de México.

Tabla 2.1: Características hidrológicas de los sondeos exploratorios.

Sondeo	Nivel de Terreno natural (m)	N.A.F. (m)	Carga hidráulica h (m)
S-1	2261	70.80	2190.20
S-2	2263	-----	-----
S-3	2266.5	73.40 m	2193.10

Los acuíferos se encuentran en suelos arenosos con contenidos variables de finos y en los intervalos de boleos y fragmentos de basalto. Las presiones piezométricas que se han registrado para el tramo 5 del TEO están en un rango de 3.2-7 bar.

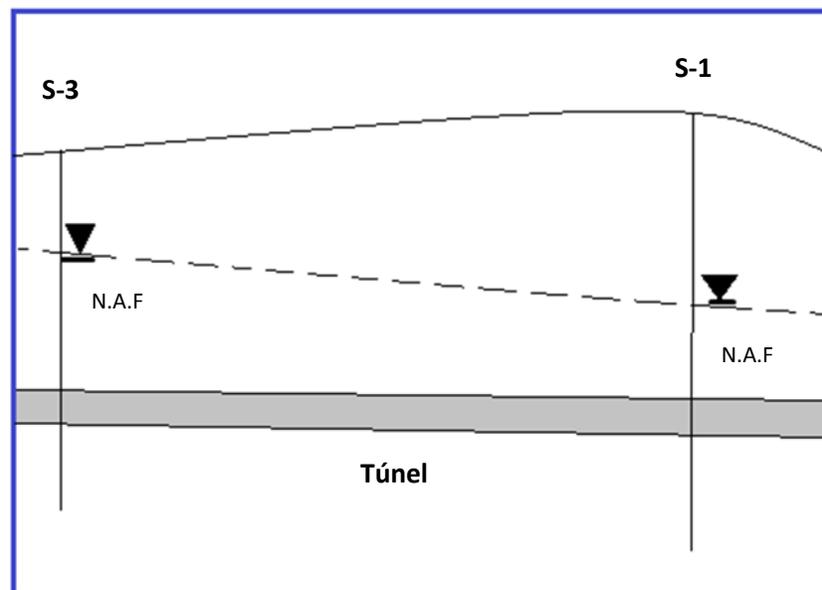


Figura 2.8: Esquema que muestra los niveles freáticos de los sondeos 1 y 3.

El túnel se excavara en limos y arcillas de la Formación Taximay, con una permeabilidad y transmisibilidad baja, esto debido a la avanzada consolidación de los materiales, la presión piezométrica para el trazo comprendido entre las lumbreras 20 y 19 del TEO, será mayor a 7 bar.

METODOLOGÍA



Figura 3.1: Llegada de dos escudos, a la Lumbrera 3A del TEO.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se siguió para este informe se basó en dos etapas: trabajo de exploración y trabajo de laboratorio.

3.1 Trabajo de exploración

El trabajo de exploración consistió en la ejecución de tres sondeos geotécnicos con recuperación continua de muestras. Los sondeos geotécnicos se caracterizan por su pequeño diámetro, ligereza, versatilidad y fácil desplazamiento de las máquinas, permiten atravesar cualquier tipo de material, así como extraer testigos y efectuar ensayos en su interior.

El orden en el cual se realizaron los sondeos fue el siguiente:

El primer sondeo que se realizó fue el Sondeo 2, se inició el: 30 de junio de 2012 y concluyó el 21 de julio de 2012, este sondeo se encuentra ubicado a 249 m de distancia al eje original del proyecto, es el más alejado de los tres sondeos ejecutados.

El segundo sondeo realizado fue el Sondeo 3, la fecha de inicio fue el 23 de julio del 2012 y concluyó el 19 de agosto de 2012.

Y finalmente el tercer sondeo, fue el Sondeo 1, este inicio el 24 de septiembre de 2012 y concluyó el 17 de octubre de 2012.

La técnica que se empleó para la perforación de los sondeos se detalla a continuación:

Perforación a Rotación: el motor está conectado a una cabeza de rotación haciendo girar la tubería de perforación que tiene una broca en el extremo.

El sistema de perforación consta de los siguientes elementos: cabeza, tubo portatestigo, extractor, manguito porta extractor y corona de corte.

La cabeza es la pieza de unión entre el tubo portatestigo, donde se recoge el testigo que se extrae de la perforación, y el varillaje que le transmite el movimiento de rotación y empuje ejercido por la maquina de perforación. El manguito porta-extractor aloja un muelle (extractor) que sirve para cortar el testigo al sacarlo y no dejar que se deslice durante la maniobra de extracción. La corona es el elemento perforador que se emplea en el sondeo y dispone de unos útiles de corte que pueden ser de widia (carburo de wolframio) o de diamantes. Las coronas de widia se emplean en suelos y rocas blandas y las coronas de diamante en rocas duras o muy duras.

Las barras de perforación pueden ser de tubo simple o doble. En el tubo simple, el fluido de perforación lava toda la superficie del testigo. Este efecto y el de la rotación del tubo pueden dar lugar al desmenuzamiento de suelos parcialmente cementados o de rocas blandas. Por esta razón, el empleo del tubo simple se recomienda cuando no se exige una alta recuperación.

Cuando se requieren recuperaciones muy altas se emplea el tubo doble, en el que el agua descende por el contacto entre ambos tubos, siendo en la base del tubo, en su unión con la corona, donde se puede producir el lavado del testigo. Por otro lado, el tubo interior va montado sobre rodamientos de bolas que permiten que este permanezca prácticamente estacionario mientras gira el tubo exterior

La perforación a rotación se puede efectuar con circulación de agua, lodo bentónico, o en seco, aunque haya presencia de agua o lodo en el taladro. La circulación normalmente es directa, con flujo descendente a través del varillaje; puede ser también inversa, para lo cual es necesario disponer de un varillaje especial.



Figura 3.2: Sonda Longyear-34, utilizada para la perforación de los sondeos 1,2 y3.

La máquina que se utilizó para la perforación fue una Sonda Longyear-34 (Fig.3.2), con las siguientes características:

- Potencia de 36 HP
- Velocidad de rotación 22-1510 rpm
- Fuerza de empuje 32 kN.

Este tipo de sonda es adecuada para sondeos profundos y por sus dimensiones se puede desplazar y operar de manera fácil.

Se utilizó lodo bentonítico como fluido de perforación con circulación directa.

Debido a las profundidades de los tres sondeos se optó por el método Wire-line, que consiste básicamente en la perforación por rotación con una broca hueca en la que va el muestreador y con el mismo efecto de la rotación se va encajando la muestra: cuando se completa la introducción de la muestra en toda la longitud del muestreador este se retira mediante un alambre sin necesidad de sacar toda la herramienta de corte.

Este sistema se emplea para formaciones consolidadas y para profundidades mayores a 100 m, con lo cual disminuye notablemente los tiempos de maniobra, obteniendo mayores rendimientos.

En la siguiente tabla se mencionan características importantes de los sondeos realizados:

Tabla 3.1: Tipo de herramienta y diámetros de los sondeos exploratorios 1,2 y 3.

Sondeo	Tipo de herramienta	Diámetro de testigo (mm)	Diámetro de perforación (mm)	Profundidad de perforación (m)
1	BNQ	46.6	75.3	155.00
2	BNQ	46.6	75.3	157.00
3	BNQ	46.6	75.3	161.10

3.1.a Manejo de las muestras recuperadas

Las muestras recuperadas son inalteradas y tienen una longitud promedio de 0.6 m y un diámetro de 46.6 mm, se introducen en bolsas de plástico y posteriormente se guardan en cajas de núcleos, en cada caja se pueden colocar cinco muestras con una longitud máxima de 0.6 m.

Para tener un control de las muestras recuperadas durante la perforación estas se guardan con las siguientes especificaciones:

- No de caja
- Nombre del proyecto
- No barreno
- Intervalo o profundidad
- Se indica el sentido de la perforación con flechas



Figura 3.3: Caja con muestras del sondeo 2.

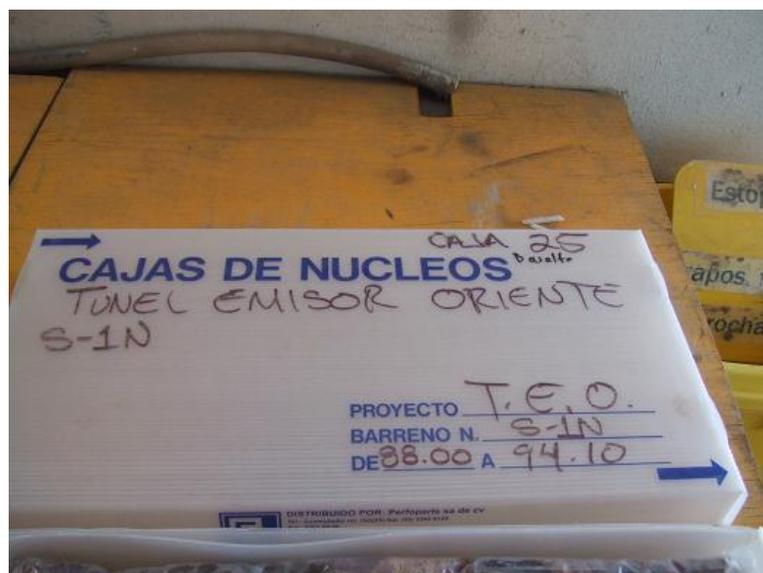


Figura 3.4: Caja de núcleos del sondeo 1.

3.2 Trabajo de Laboratorio

El programa de laboratorio fue diseñado para obtener resultados en toda la columna estratigráfica y con mayor énfasis en la zona de influencia del túnel.

Cada uno de los sondeos se trabajo de manera independiente y se les realizaron las siguientes pruebas siguiendo una normatividad:

Tabla 3.2: Programa de laboratorio, para los sondeos 1,2 y3.

Prueba No.	Nombre	Observaciones	Normatividad
1	Clasificación visual y al tacto	Se revisaran en su totalidad los tres sondeos.	-----
2	Contenido natural de agua	Una prueba por cada 2 m de profundidad de los sondeos	NMX-B-231
3	Limites de consistencia	Una prueba por cada cambio de material, en la zona de excavación una prueba cada 2 m de profundidad.	NMX-B-231
4	Contracción lineal	Una prueba por cada cambio de material, en la zona de excavación una prueba cada 2 m de profundidad	NMX-B-31
5	Granulometría por mallas	Una prueba por cada cambio de material, en la zona de excavación una prueba cada 2 m de profundidad	ASTM-D 1140-00
6	Compresión simple	Una a dos pruebas por cada cambio de material. Una prueba cada 2 m en la zona de influencia de excavación del túnel.	NMX C-83

3.2.a Clasificación visual y al tacto

Se llevo a cabo una descripción y clasificación visual y al tacto desde el punto de vista geológico, tomando en cuenta las siguientes características:

- a) Tipo de suelo: { Grueso: Grava (G) y arena (S)
Fino: arcilla (C) y limo (M)



Figura 3.5: Fragmentos de basalto, sondeo 2.



Figura 3.6: Limo arenoso, del sondeo 2.



Figura 3.7: Limo, verde olivo, del sondeo 1.



Figura 3.8: Arena arcillosa, del sondeo 3.

b) Compacidad y Consistencia cualitativas

Esta característica se determinó revisando visualmente y al tacto cada una de las muestras, dicha característica se complementó con los resultados de las pruebas de compresión simple.

Se empleo el término:

Compacidad para arenas y consistencia para limos y arcillas.

Tabla 3.3: Compacidad y consistencia

Arena (Compacidad)	Limo y arcilla (Consistencia)
Suelta	Blanda
Media	media
Densa	dura
Muy densa	Muy dura

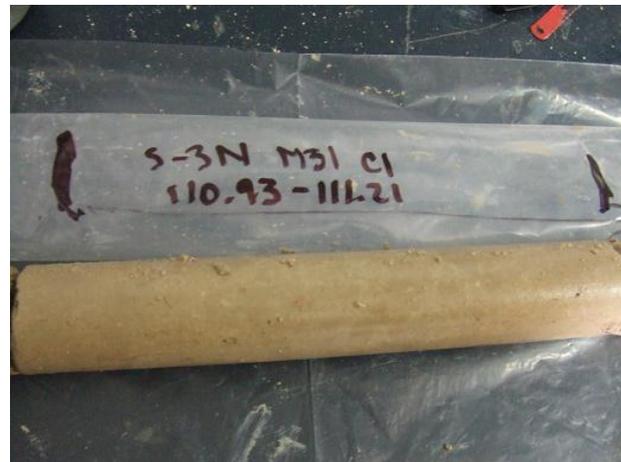


Figura 3.9: Arena de compacidad suelta, S-1. **Figura 3.10:** Limo de consistencia dura, S-3.

c) Color y características de los materiales constituyentes.

Se describe el color, el tamaño y origen de las partículas.



Figura 3.11: Limo, con fragmentos del mismo material, S-1.



Figura 3.12: Fragmentos de basalto de hasta 10 cm de longitud, S-2.

d) Marcar profundidades

Se determina la profundidad donde se presenta el cambio de un material a otro.

Durante la clasificación visual se determinaron y marcaron las muestras y sus respectivas profundidades, para indicar que a esa profundidad se haría alguna de las pruebas del programa.

e) Reporte fotográfico.

Este reporte consistió en tomar fotografías de las muestras recuperadas y a características particulares de las mismas, en algunas profundidades. Estos reportes fotográficos se pueden revisar en Anexos.

3.2.b Contenido natural de agua

Para esta prueba se seleccionaron 63 muestras del sondeo uno, 50 muestras del sondeo 2 y 46 muestras del sondeo 3.

La finalidad de este ensayo es determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de agua es una característica importante para explicar los posibles cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica. Especialmente en suelos con textura más finas.

Esta prueba se llevó a cabo en el laboratorio de Control de Calidad de Materiales, ubicado en la Planta de Dovelas, Ecatepec, utilizando un horno de secado regulable, balanza y herramientas (recipientes, guantes y espátula).

El método que se utilizó fue el tradicional y en el cual se toma una muestra de suelo, se coloca en un recipiente previamente pesado y se registra su peso, posteriormente se introduce al horno y se deja secar durante 24 horas. Finalmente se saca del horno y se vuelve a registrar su peso, pero ahora con la muestra de suelo seca.

Para obtener el contenido de agua o humedad se utiliza la siguiente fórmula:

$$w = (W_w / W_s) * 100 (\%)$$

dónde:

w= contenido de humedad expresado en %

Ww= peso del agua existente en una masa de suelo

Ws= peso de las partículas sólidas

Por lo tanto el contenido de humedad w, es la relación entre el peso del agua que contiene una muestra de suelo y el peso de sus sólidos.

3.2.c Limites de Consistencia

La clasificación visual es útil, pero en algunos trabajos, será necesario identificar la fracción fina de una muestra de suelo y definir su consistencia en función de la cantidad de agua, para lo cual Atterberg (1911) definió tres límites: límite de contracción que separa el estado de sólido seco y el semisólido, el límite plástico que separa el estado semisólido del plástico y el límite líquido que separa el estado plástico del semilíquido.

Cada uno de los límites anteriores se realizó a: 30 muestras del sondeo 1, 27 muestras de sondeo 2 y a 28 muestras del sondeo 3, utilizando una fracción de suelo que pase por el tamiz N. 40 (0.42 mm).

El procedimiento para determinar los límites es el siguiente:

Límite líquido

Se toma una porción del suelo de aproximadamente 100 g, se le agrega agua y se mezcla hasta obtener una muestra con una consistencia suave y uniforme, se coloca una porción en la copa de Casagrande, con un espesor de 1 cm y con el ranurador se hace la ranura en el centro de la muestra.

Inmediatamente se acciona la copa de Casagrande, dando dos golpes por segundo y contando el número de golpes necesarios para que la ranura se cierre. El número de

golpes ideal es de 25, por lo tanto si en la prueba no se llega a este número, se vuelve a remezclar la muestra, e inicia nuevamente la prueba.

Cuando se obtienen los 25 golpes, se toma una muestra de la zona próxima a la ranura cerrada y se determina su contenido de agua.

El contenido de agua que resulte será el límite líquido de la muestra de suelo.



Figura 3.13: Copa de Casagrande.

Límite plástico

Para esta prueba se toma una fracción del material empleado para la prueba del límite líquido, se moldea hasta obtener una canica, y se divide en tres partes, cada una de las porciones se manipula para generar un cilindro de 10 cm de largo y 3 mm de diámetro, sobre una placa de vidrio, hasta que el cilindro se agrieta, cuando esto pasa las muestras se colocan en el horno durante 24 horas, para determinar su contenido de agua, que es el límite plástico.

Al retirarlas del horno, dichas muestras se vuelven a pesar y se registra el nuevo peso. Y se obtiene el contenido de agua, para cada uno.

Para conocer el valor del límite plástico se utiliza la siguiente fórmula:

$$L.P = W_1 + W_2 + W_3 / 3$$

Dónde:

L.P= Limite plástico expresado en porcentaje (%)

W_1 = contenido de agua (%) del cilindro 1

W_2 = contenido de agua (%) del cilindro 2

W_3 = contenido de agua (%) del cilindro 3

Por lo tanto el límite plástico será el promedio de los tres valores de contenido de agua.

Índice plástico

Se obtiene a partir de la diferencia del límite líquido y del límite plástico:

$$I_p = (LL - LP) \%$$

En donde:

I_p = índice plástico

LL = límite líquido

LP = límite plástico

Límite de contracción

Este límite es la frontera entre los estados de consistencia semisólido y sólido, definido con el contenido de agua con el que el suelo ya no disminuye su volumen al seguirse secando. Este límite se manifiesta visualmente por un característico cambio de tono oscuro a más claro que el suelo presenta en su proximidad, al irse secando gradualmente.

En el laboratorio se siguió el siguiente proceso para determinarlo:

Se coloca una fracción del suelo utilizado para el límite líquido, en un molde y se llena completamente. Una vez que se ha llenado se mide y se registra la longitud inicial, posteriormente se deja secar. Finalmente se mide la longitud de la muestra seca.

$$CL = (1 - L_f/L_i) * 100$$

Dónde:

CL= contracción lineal

L_f = longitud después del secado

L_i = longitud inicial del suelo húmedo



Figura 3.14: Límites de consistencia, del sondeo 1.

3.2.d Granulometría

Uno de los métodos más usados para la separación de un suelo en diferentes fracciones, según sus tamaños, es el cribado por mallas. El cual se usa para obtener las fracciones correspondientes a los tamaños mayores del suelo; generalmente se llega así hasta el tamaño correspondiente a la malla N° 200 (0.074 mm).

Esta prueba consiste en hacer pasar sucesivamente una muestra de suelo a través de una serie de tamices de aberturas descendentes, hasta la malla N° 200; los retenidos en cada malla se pesan y el porcentaje que representan respecto al peso de la muestra total se suma a los porcentajes retenidos en todas las mallas de mayor tamaño; el complemento a 100% de esa cantidad da el porcentaje de suelo que es menor que el tamaño representado por la malla en cuestión.

Cuando se criba a través de las mallas N°100 (0.149 mm) y N°200, se dificulta la prueba y se tiene que utilizar agua para ayudar el paso de la muestra a través de las tamices y para suelos muy cohesivos es necesario utilizar algún defloculante, con el fin de impedir la asociación de partículas, y evitar errores en la prueba.

En particular para las pruebas del sondeo 1 se utilizó el defloculante hexametáfosfato de sodio, de acuerdo a la norma ASTM D 1140-00, para determinar la cantidad de material fino que pasa la malla N° 200. Lo anterior porque en los resultados de los sondeos 2 y 3, se reportaron contenidos de finos inferiores y de arenas superiores a lo esperado.



Figura 3.15: Granulometría de la muestra 30, sondeo 2.



Figura 3.16: Mezcla de Hexametáfosfato de sodio, S-1.



Figura 3.17: Tamices utilizados para la prueba de granulometría.

3.2.e Clasificación S.U.C.S.

Las pruebas de laboratorio que se planearon para las muestras del nuevo trazo del tramo 5, estaban encaminadas hacia una clasificación S.U.C.S., de acuerdo a sus propiedades granulométricas y de plasticidad.

Por lo tanto, para obtener la clasificación de cada una de las muestras, se utilizó la carta de plasticidad y los porcentajes de las fracciones de suelo obtenidos en las pruebas de granulometría.

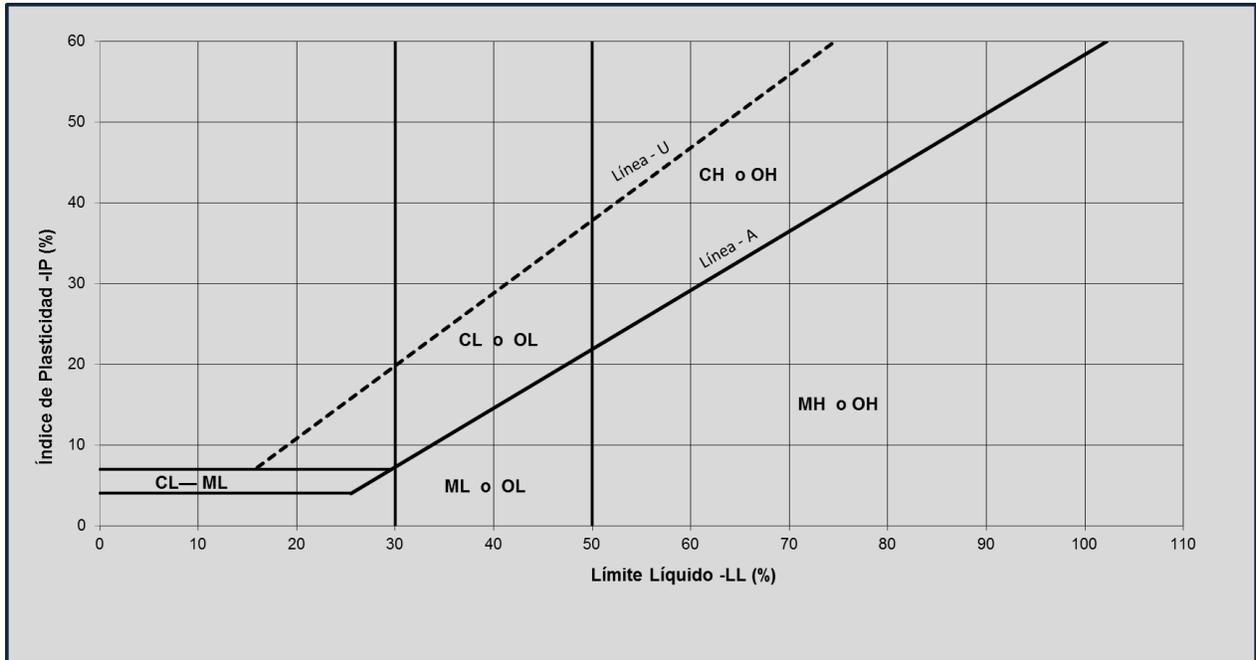


Figura 3.18: Carta de Plasticidad.

La carta de plasticidad requiere de dos parámetros, el primero es el límite líquido LL, (eje de las abscisas) y el segundo valor es el índice de plasticidad IP (eje de las ordenadas), de acuerdo a donde se intersecten estos dos valores se puede tener alguna de las siguientes clasificaciones: CL-ML, CL o OL, ML o OL, CH o OH, MH o OH.

La carta de plasticidad que se utilizó para las pruebas, fue una hoja de cálculo programada para mostrar en donde se ubicaría una muestra dependiendo de su límite líquido y de su índice de plasticidad.

En la siguiente tabla se pueden observar los rangos que el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, emplea para los diferentes tipos de suelos.

Tabla 3.4: Sistema unificado de clasificación de suelos.

Tipo de suelo	Clasificación			Clasificación	
				Grupo	Nombre
Suelos Gruesos	Gravas	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	Gw	Grava bien graduada
Más del 50% es retenido en el tamiz # 200	Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en el tamiz # 4	Menos de 5% de finos	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP	Grava mal graduada
		Gravas con finos	Finos se clasifican como ML o CH	GM	Grava limosa
		Más de 12% de finos	Finos se clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa
	Arenas	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW	Arena bien graduada
	50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz # 4	Menos de 5% de finos	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos	Finos se clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa
	Más de 12% de finos	Finos se clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa	
Suelos Finos	Limos y arcillas	Inorgánico	$IP > 7$ y cae sobre o arriba de la línea "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
Más del 50% pasa el tamiz # 200	LL < 50		IP < 4 o cae debajo de la línea "A"	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánico	LL < 0.75	OL	Arcilla orgánica
				OL	Limo orgánico
	Limos y arcillas	Inorgánico	IP cae sobre o arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
	LL ≥ 50		IP cae debajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánico	LL < 0.75	OH	Arcilla orgánica
			OH	Limo orgánico	

3.2.f Compresión Simple

Para esta prueba se ensayaron 13 muestras del sondeo 1, 38 muestras del sondeo 2 y 26 muestras del sondeo 3.

El ensayo a compresión simple consiste en colocar una probeta en una prensa y llevarla hasta la falla. Por lo tanto se obtienen resistencias últimas al corte (q_u)

Las muestras a ensayar se preparan de la siguiente manera: se elige la muestra, se labra de tal manera que tenga una altura de 10 cm, se mide su altura y diámetro finales, se registra su peso y finalmente se coloca en la prensa.

Para poder realizar el ensayo los extremos deben de cumplir con una planicidad, lo anterior tiene la finalidad que el esfuerzo que se aplique sea uniforme y se debe cumplir con una relación de altura de 2 a 1, esto de acuerdo con la norma NMX C-83.

La prensa utilizada para estos ensayos tiene una capacidad de 3000 kg.

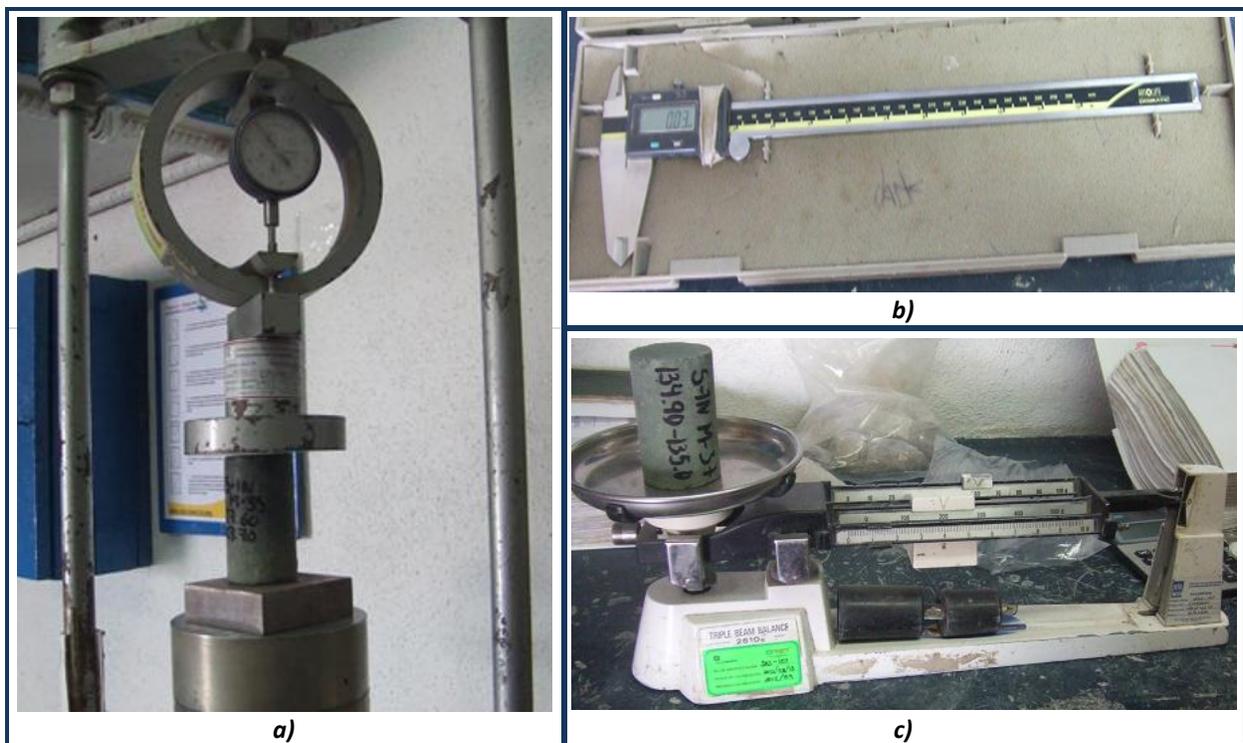


Figura 3.19: Instrumentos utilizados para la prueba de compresión simple: a) Prensa manual, b) Vernier digital y c) Balanza.

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS



Figura 4.1: Llegada del escudo de la firma Robbins-Mitsubishi, a la Lumbra 3A.

4. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Al obtener los resultados de cada una de las pruebas de laboratorio, estos se integraron a perfiles estratigráficos, en los cuales se puede observar el cambio en la estratigrafía y las propiedades índice y mecánicas de cada uno de los estratos.

4.1 Perfil estratigráfico del Sondeo 1, A1

La profundidad explorada para el sondeo 1 fue de 155.00 m, la zona de excavación del túnel se encuentra en el intervalo 127.31-136.21 m. el tipo de material que se encontró en dicha zona se clasificó como una arcilla de alta plasticidad, CH.

4.2 Perfil estratigráfico del Sondeo 2, A2

Para el sondeo 2 se recuperaron muestras hasta la profundidad de 157.0 m, la zona de excavación del túnel se encuentra en el intervalo 129.65-138.55 m de profundidad. Se encontraron dos tipos de material el primero se clasificó como un limo de alta plasticidad, MH, este sobreyace a una arcilla de alta plasticidad, CH, que abarca la parte inferior de la zona de excavación.

4.3 Perfil estratigráfico del Sondeo 3, A2

Para el sondeo 3 se perforó hasta la profundidad de 161.1 m, la zona de excavación del túnel se encuentra en el intervalo 133.7-142.6 m, el material que se encontró se clasificó como un limo de alta plasticidad, MH.

La caracterización completa de los perfiles estratigráficos se encuentra en el capítulo seis de este informe, de igual manera los perfiles estratigráficos completos se pueden revisar en la parte de Anexos.

En la Figura 4.2 se puede observar que los tres perfiles estratigráficos se pueden correlacionar con el perfil estratigráfico de la Lumbrera 20 (caracterizado y definido previamente en la etapa del Proyecto Ejecutivo del Túnel Emisor Oriente). Las diferencias entre ellos son los espesores y profundidades de los intervalos

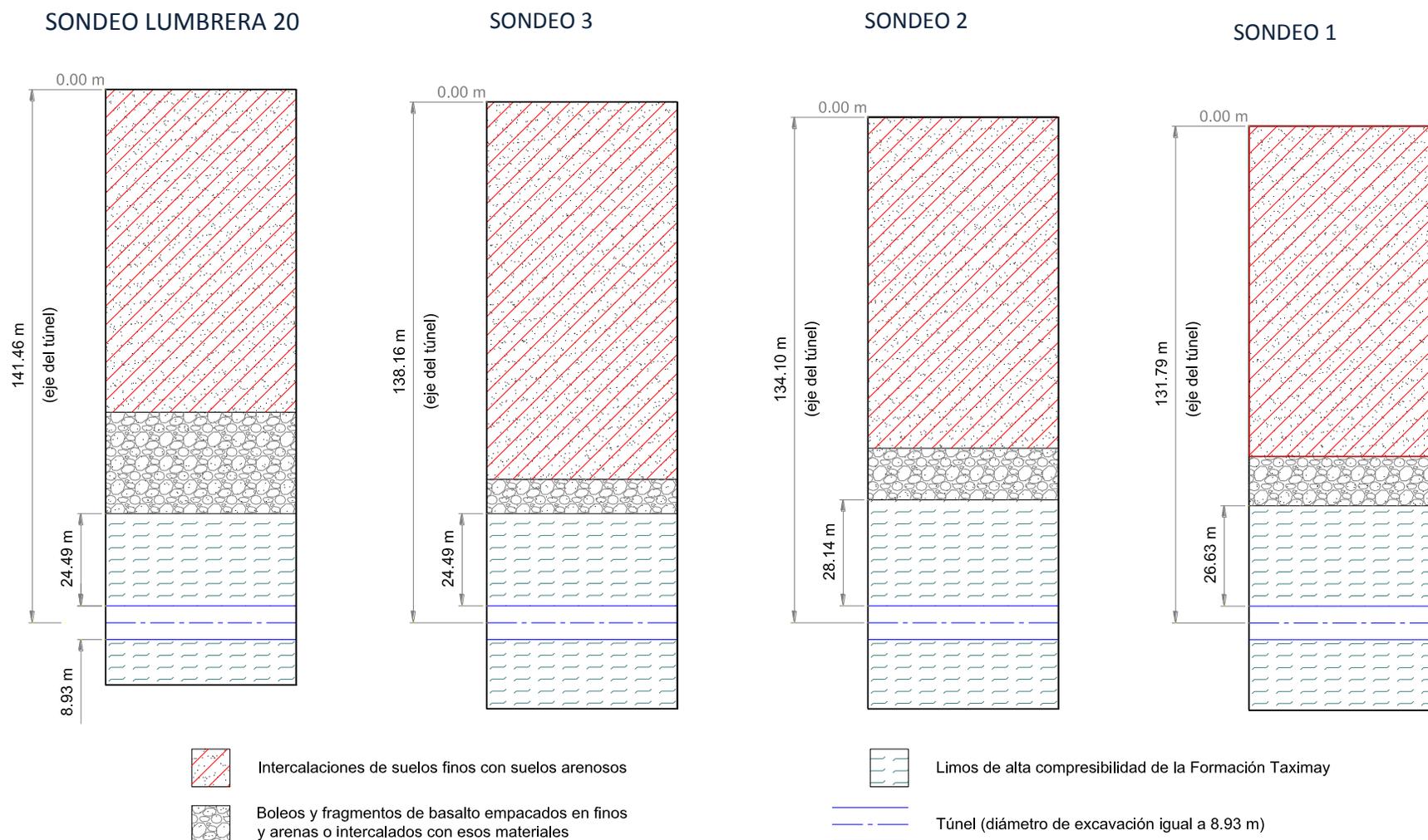


Figura 4.2: Perfiles estratigráficos correspondientes al sondeo de la Lumbrera 20 y a los perfiles del sondeo 1, 2 y 3. Modificado de ICA, 2012.

RESULTADOS DE LABORATORIO



Figura 5.1: Llegada del escudo de la firma Herrencknecht, a la Lumbrera 3A.

5. RESULTADOS DE LABORATORIO

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, realizadas:

Tabla 5.1: Resultados de las muestras del sondeo 1.

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-1N	M-01	0.00 m	1.50m	24-Sep-12	23	38	31	7	4	0	49	51	MH
		6.50 m	7.10 m	25-Sep-12	34								
		11.50 m	11.65 m	26-Sep-12	30								
		12.20 m	12.90 m	26-Sep-12	52								
S-1N	M-02	13.45 m	13.95 m	28-Sep-12	41	60	37	23	1	0	18	82	MH
		14.70 m	15.25 m	28-Sep-12	57								
S-1N	M-03	17.10 m	17.50 m	29-Sep-12	40	51	34	18	9	0	12	88	MH
		19.00 m	19.25 m	29-Sep-12	41								
		21.47 m	22.00 m	29-Sep-12	45								
S-1N	M-04	23.50 m	24.05 m	29-Sep-12	30	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1N	M-05	25.85 m	26.40 m	29-Sep-12	37	73	39	34	17	0	20	80	MH
		26.90 m	27.50 m	1-Oct-12	35								
S-1N	M-06	30.00 m	30.60 m	1-Oct-12	44	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1N	M-07	33.35 m	33.90 m	1-Oct-12	39	66	36	30	18	0	14	86	MH
S-1N	M-08	35.80 m	36.10 m	1-Oct-12	35	-	-	-	-	-	-	-	-
		37.60 m	38.10 m	2-Oct-12	32								
S-1N	M-09	38.80 m	39.20 m	2-Oct-12	33	59	39	20	13	0	43	57	MH
		41.55 m	42.20 m	2-Oct-12	56								
S-1N	M-10	43.60 m	44.20 m	2-Oct-12	35	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1N	M-11	45.30 m	45.90 m	2-Oct-12	23	46	10	36	8	0	59	41	SC
		47.70 m	48.30 m	2-Oct-12	32								
S-1N	M-12	49.50 m	50.10 m	3-Oct-12	35	-	-	-	-	-	-	-	-
		50.95 m	51.40 m	3-Oct-12	48								

Tabla 5.2: Resultados de las muestras del sondeo 1.

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.											
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-1N	M-13	53.10 m	53.70 m	3-Oct-12	23	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1N	M-14	54.80 m	55.40 m	3-Oct-12	28	-	-	-	-	-	-	-	-
		56.60 m	57.20 m	3-Oct-12	27								
S-1N	M-15	57.80 m	58.36 m	3-Oct-12	22	25	N/P	0	1	0	72	28	SM
		59.40 m	60.00 m	3-Oct-12	25								
S-1N	M-16	61.10 m	61.70 m	3-Oct-12	22	26	22	4	1	3	62	35	SM
		63.00 m	63.60 m	3-Oct-12	31								
S-1N	M-17	64.90 m	65.40 m	4-Oct-12	30	-	-	-	-	-	-	-	-
		66.00 m	66.60 m	4-Oct-12	44								
S-1N	M-18	69.10 m	69.70 m	4-Oct-12	28	-	-	-	-	-	-	-	-
		70.90 m	71.50 m	4-Oct-12	31								
S-1N	M-19	72.20 m	73.30 m	4-Oct-12	40	33	N/P	0	3	0	60	40	SM
		73.90 m	74.50 m	4-Oct-12	40								
S-1N	M-20	75.80 m	76.20 m	4-Oct-12	40	-	-	-	-	-	-	-	-
		76.80 m	77.40 m	4-Oct-12	31								
S-1N	M-21	78.80 m	79.40 m	4-Oct-12	32	42	N/P	0	0	0	85	15	SM
		80.60 m	81.20 m	4-Oct-12	33								
S-1N	M-22	82.10 m	82.70 m	4-Oct-12	42	43	37	6	4	0	66	34	SM
S-1N	M-23	84.90 m	85.50 m	5-Oct-12	33	42	N/P	0	0	0	43	57	ML
S-1N	M-24	87.00 m	87.60 m	5-Oct-12	37	58	29	29	11	0	39	61	CH
S-1N	M-25	94.80 m	95.40 m	5-Oct-12	25	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1N	M-26	98.60 m	98.30 m	8-Oct-12	30	-	-	-	-	-	-	-	-
S-1N	M-27	102.10 m	102.70 m	9-Oct-12	66	99	48	51	16	0	45	55	MH

Tabla 5.3: Resultados de las muestras del sondeo 1. (Zona del túnel remarcada)

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-1	M-28	106.32 m	106.88 m	9-Oct-12	47	87	35	52	18	0	32	68	CH
S-1	M-29	109.30 m	109.88 m	10-Oct-12	41	81	35	46	17	0	2	98	CH
S-1	M-30	112.30 m	112.88 m	10-Oct-12	47	95	51	44	22	0	12	88	MH
S-1	M-31	115.10 m	115.40 m	10-Oct-12	55	99	40	59	24	0	0	100	CH
s-1	M-32	116.92 m	117.53 m	10-Oct-12	52	95	51	44	20	0	2	98	MH
S-1	M-33	121.80 m	122.00 m	10-Oct-12	48	82	40	42	23	0	1	99	MH
S-1	M-34	124.50 m	125.06 m	11-Oct-12	50	92	44	48	22	0	0	100	MH
S-1	M-35	128.00 m	128.60 m	11-Oct-12	46	168	38	130	27	0	0	100	CH
S-1	M-36	131.30 m	131.50 m	12-Oct-12	58	142	43	99	24	0	0	100	CH
S-1	M-37	135.00 m	135.60 m	15-Oct-12	43	98	40	58	25	0	0	100	CH
		136.08 m	136.34 m	15-Oct-12	33	98	40	58	25	9	34	57	CH
S-1	M-38	137.96 m	138.54 m	15-Oct-12	46	95	48	47	23	0	0	100	MH
S-1	M-39	140.10 m	140.30 m	16-Oct-12	47	150	45	105	25	0	0	100	CH
S-1	M-40	143.55 m	144.05 m	16-Oct-12	40	97	44	53	23	0	0	100	MH
S-1	M-41	148.48 m	148.90 m	16-Oct-12	43	107	45	62	25	0	0	100	MH
S-1	M-42	150.56 m	151.16 m	16-Oct-12	39	104	52	52	25	0	0	100	MH
S-1	M-43	153.68 m	154.28 m	17-Oct-12	43	107	47	60	25	0	0	100	MH
REREFENCIAS: ASTM D- 2487, ASTM D 1140-00, NMX-B-231, ESPECIFICACIONES DE PROYECTO. SONDEO 1.													

Tabla 5.4: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1.

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo humedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-1	2	13.67 m	13.83 m	19-Oct-12			1749 kg/m^3	22	-				
S-1	7	32.10 m	32.20 m	19-Oct-12			1851 kg/m^3	5	-				
S-1	12	48.70 m	48.80 m	19-Oct-12			1774 kg/m^3	13	-				
S-1	14	54.50 m	54.65 m	19-Oct-12			1967 kg/m^3	39	-				

Tabla 5.5: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1.

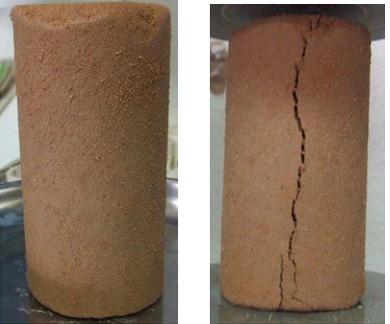
		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.						
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo humedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
							C1	C2
S-1	17	64.90 m	65.05 m	19-Oct-12		1894 kg/m^3	10	-
S-1	21	80.00 m	80.26 m	19-Oct-12		1693 kg/m^3	9	-
S-1	27	102.10 m	102.30 m	6-Nov-12		1610 kg/m^3	50	-
S-1	28	106.32 m	106.52 m	6-Nov-12		1699 kg/m^3	15	-

Tabla 5.6: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1. (Zona del túnel remarcada).

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-1	29	109.63 m	109.88 m	6-Nov-12			1727 kg/m^3	12	-				
S-1	30	112.50 m	112.60 m	6-Nov-12			1664 kg/m^3	25	-				
S-1	34	124.90 m	125.00 m	6-Nov-12			1709 kg/m^3	23	-				
S-1	35	127.60 m	127.70 m	21-Nov-12			1677 kg/m^3	16	-				

Tabla 5.7: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 1. (Zona del túnel remarcada).

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.							
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo	Fecha de la prueba	Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo humedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)		
							C1	C2	
S-1	37	134.90 m	135.00 m	21-Nov-12			1719 kg/m^3	20	-
S-1	40	145.25 m	145.40 m	6-Nov-12			1721 kg/m^3	23	-
S-1	43	153.68 m	153.88 m	7-Nov-12			2292 kg/m^3	16	-

REFERENCIA: NMX C-83, SONDEO 1

5.2 Resultados del sondeo 2

Tabla 5.8: Resultados de las muestras del sondeo 2.

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-2	M-01	3.71 m	3.71 m	30-Jun-12	37	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-02	6.45 m	7.00 m	30-Jun-12	27	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-03	8.48 m	8.97 m	30-Jun-12	38	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-04	11.04 m	11.50 m	30-Jun-12	24	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-05	14.62 m	15.17 m	30-Jun-12	34	48	30	18	9	2	54	44	SM
S-2	M-06	19.55 m	20.10 m	30-Jun-12	39	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-07	21.23 m	21.83 m	30-Jun-12	39	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-08	26.24 m	26.80 m	30-Jun-12	46	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-09	31.02 m	31.50 m	30-Jun-12	49	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-10	34.50 m	34.98 m	30-Jun-12	45	65	39	26	15	0	26	74	MH
S-2	M-11	37.07 m	37.50 m	30-Jun-12	36	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-12	40.26 m	40.80 m	30-Jun-12	33	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-13	43.40 m	43.93 m	30-Jun-12	25	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-14	45.46 m	46.04 m	30-Jun-12	25	37	19	19	8	0	52	48	SC
S-2	M-15	47.65 m	48.20 m	30-Jun-12	33	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-16	50.73 m	51.56 m	30-Jun-12	31	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 5.9: Resultados de laboratorio de las muestras del sondeo 2.

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-2	M-17	53.71 m	54.30 m	30-Jun-12	29	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-18	57.30 m	57.81 m	30-Jun-12	30	-42	25	16	4	0	80	20	SC
S-2	M-19	59.88 m	60.40 m	30-Jun-12	29	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-20	62.81 m	63.40 m	30-Jun-12	33	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-21	65.04 m	65.60 m	30-Jun-12	32	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-22	67.34 m	67.90 m	30-Jun-12	24	30	25	5	3	0	74	26	SM
S-2	M-23	70.87 m	71.40 m	30-Jun-12	32	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-24	72.39 m	72.60 m	30-Jun-12	32	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-25	77.78 m	78.11 m	30-Jun-12	33	37	33	4	2	1	81	18	SM
S-2	M-26	81.70 m	82.25 m	30-Jun-12	35	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-27	84.20 m	84.60 m	30-Jun-12	50	-	-	-	-	-	-	-	-
S-2	M-28	87.23 m	87.80 m	30-Jun-12	27	36	27	9	2	12	53	35	SM
S-2	M-29	90.35 m	90.90 m	30-Jun-12	23	-	27	-	-	-	-	-	-
S-2	M-30	91.43 m	91.95 m	30-Jun-12	35	36	29	7	2	64	17	19	GM
S-2	M-31	95.50 m		30-Jun-12	25	31	25	6	4	0	53	47	SC
S-2	M-32	101.50 m	102.10 m	30-Jun-12	51	-	-	-	-	0	50	50	-

Tabla 5.10: Resultados de las muestras del sondeo 2. (Zona del túnel remarcada)

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.											
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-2	M-33	105.45 m	106.00 m	30-Jun-12	50	69	34	35	22	0	34	66	MH
S-2	M-34	107.20 m	107.70 m	30-Jun-12	68	80	40	40	17	0	37	63	MH
S-2	M-35	111.33 m	111.90 m	30-Jun-12	58	96	42	54	24	0	37	63	MH
S-2	M-36	112.38 m	112.94 m	30-Jun-12	58	103	45	58	25	0	26	74	MH
S-2	M-37	115.61 m	116.17 m	30-Jun-12	49	89	43	47	21	0	48	52	MH
S-2	M-38	119.77 m		30-Jun-12	69	80	39	42	19	0	36	64	MH
S-2	M-39	122.25 m		30-Jun-12	54	93	41	53	22	0	16	84	MH
S-2	M-40	126.12 m		30-Jun-12	52	92	43	49	22	0	40	60	MH
S-2	M-41	129.55 m		30-Jun-12	38	100	45	55	23	0	37	63	MH
S-2	M-42	132.72 m		30-Jun-12	55	89	41	48	19	0	37	63	MH
S-2	M-43	136.21 m		30-Jun-12	456	94	48	46	23	0	18	82	MH
S-2	M-44	137.35 m		30-Jun-12	52	97	47	50	23	0	22	78	MH
S-2	M-45	141.37 m		30-Jun-12	46	87	42	44	22	0	24	76	MH
S-2	M-46	142.80 m		30-Jun-12	39	70	39	31	18	0	42	58	MH
S-2	M-47	147.96 m		30-Jun-12	45	104	40	64	24	0	39	61	CH
S-2	M-48	148.80 m		30-Jun-12	46	111	52	59	24	0	32	68	MH
S-2	M-49	151.90 m		30-Jun-12	37	99	45	55	22	0	28	72	MH
S-2	M-50	155.00 m		30-Jun-12	35	85	41	45	21	0	19	81	MH
REREFENCIAS: ASTM D- 2487, NMX-B-231, ESPECIFICACIONES DE PROYECTO. SONDEO 2.													

Tabla 5.11: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
									C1	C2
S-2	3	10.97 m	11.17 m	4-Sep-12		1921 kg/m^3	4	-		
S-2	5	16.10 m	16.56 m	4-Sep-12		1751 kg/m^3	43	-		
S-2	7	20.55 m		4-Sep-12		1744 kg/m^3	16	-		
S-2	11	36.18 m	36.35 m	4-Sep-12		1712 kg/m^3	5	-		
S-2	12	41.20 m	41.40 m	4-Sep-12		1747 kg/m^3	10	-		

Tabla 5.12: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.							
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
								C1	C2
S-2	14	44.48 m	44.98 m	4-Sep-12			1763 kg/m^3	13	-
S-2	15	48.915 m	49.315 m	4-Sep-12			1788 kg/m^3	12	-
S-2	17	54.30 m	54.80 m	4-Sep-12			1682 kg/m^3	25	-
S-2	18	55.53 m	56.12 m	4-Sep-12			1810 kg/m^3	37	-
S-2	19	58.17 m	58.73 m	4-Sep-12			1821 kg/m^3	17	-

Tabla 5.13: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.

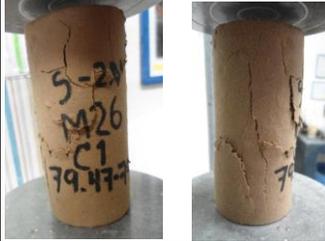
Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo humedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-2	23	70.48 m	70.70 m	3-Sep-12		1852 kg/m^3	13	-					
S-2	24	73.19 m	73.30 m	3-Sep-12		1786 kg/m^3	22	-					
S-2	25	77.07 m	78.11 m	3-Sep-12		1692 kg/m^3	40	-					
S-2	26	79.47 m	79.68 m	3-Sep-12		1709 kg/m^3	38	-					
S-2	27	84.27 m	84.42 m	3-Sep-12		1684 kg/m^3	6	-					

Tabla 5.14: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.						
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
							C1	C2
S-2	30	92.17 m	92.35 m	3-Sep-12		1798 kg/m^3	21	4
S-2	31	98.30 m	98.40 m	3-Sep-12		1731 kg/m^3	13	-
S-2	33	105.45 m	106.00 m	3-Sep-12		1829 kg/m^3	21	31
S-2	34	106.08 m	106.64 m	30-Aug-12		1726 kg/m^3	23	-
S-2	35	111.04 m	111.33 m	30-Aug-12		1730 kg/m^3	17	-

Tabla 5.15: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2. (Zona del túnel remarcada).

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.						
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
							C1	C2
S-2	36	111.90 m	112.07 m	30-Aug-12		1687 kg/m^3	12	19
S-2	39	123.50 m	124.02 m	30-Aug-12		1893 kg/m^3	55	20
S-2	40	125.37 m		30-Aug-12		1700 kg/m^3	20	---
S-2	41	128.32 m	129.46 m	30-Ago. / 03-Sep. 2012		1701 kg/m^3	18	16
S-2	42	131.33 m	132.45 m	3-Sep-12		1599 kg/m^3	15	---

Tabla 5.16: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2. (Zona del túnel remarcada).

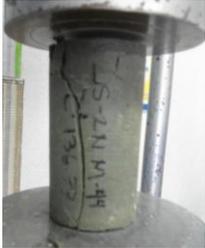
		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.						
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo	Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m ³	Resistencia a la compresión simple (kg/cm ²)		
						C1	C2	
S-2	43	136.07 m	30-Aug-12		1606 kg/m ³	15	-	
S-2	44	136.77 m	30-Aug-12		1657 kg/m ³	9	-	
S-2	45	140.78 m	30-Aug-12		1706 kg/m ³	12	-	
S-2	46	143.60 m	30-Aug-12		1774 kg/m ³	15	-	
S-2	47	147.40 m	30-Aug-12		1753 kg/m ³	21	-	

Tabla 5.17: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 2.

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.						
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
							C1	C2
S-2	48	148.95 m	150.24 m	30-Aug-12		1758 kg/m^3	15	23
S-2	49	151.50 m	152.70 m	30-Aug-12		1864 kg/m^3	16	29
S-2	50	154.40 m	155.52 m	30-Aug-12		1859 kg/m^3	26	20
REFERENCIA: NMX C-83, SONDEO 2								

5.3 Resultados del sondeo 3.

Tabla 5.18: Resultados de las muestras del sondeo 3.

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-3	M-01	5.00 m	5.40 m	23-Jul-2012	28	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-02	7.65 m	8.15 m	24-Jul-12	39	51	29	23	9	0	45	55	CH
S-3	M-03	11.00 m	11.16 m	25-Jul-12	41	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-04	14.00 m	14.16 m	25-Jul-12	43	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-05	17.17 m	17.70 m	25-Jul-12	40	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-06	20.17 m	20.70 m	25-Jul-12	34	46	19	28	12	0	50	50	CL
S-3	M-07	25.80 m	26.30 m	26-Jul-12	34	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-08	30.60 m	31.00 m	26-Jul-12	43	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-09	35.46 m	36.00 m	27-Jul-12	38	66	34	32	18	0	30	70	MH
S-3	M-10	37.50 m	38.10 m	28-Jul-12	43	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-11	40.30 m	40.90 m	28-Jul-12	41	68	31	36	17	0	16	84	CH
S-3	M-12	43.30 m	43.60 m	29-Jul-12	39	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-13	47.39 m	47.94 m	30-Jul-12	32	42	24	18	7	-	57	43	SC
S-3	M-14	50.80 m	51.30 m	30-Jul-12	35	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-15	53.35 m	53.55 m	30-Jul-12	37	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 5.19: Resultados de las muestras del sondeo 3.

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-3	M-16	55.46 m	56.06 m	31-Jul-12	22	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-17	57.40 m		31-Jul-12	18	36	26	10	5	0	86	14	SM
S-3	M-18	60.50 m	60.70 m	31-Jul-12	32	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-19	65.18 m	65.68 m	31-Jul-12	26	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-20	67.15 m	67.70 m	31-Jul-12	33	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-21	69.00 m	69.60 m	1-Aug-12	35	26	23	3	1	0	78	22	SM
S-3	M-22	72.10 m	72.70 m	2-Aug-12	22	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-23	75.70 m	75.93 m	3-Aug-12	30	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-24	78.80 m	79.04 m	3-Aug-12	37	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-25	85.34 m	86.43 m	3-Aug-12	52	39	31	8	0	0	77	23	SM
S-3	M-26	84.80 m	91.00 m	4-Aug-12	42	-	-	-	-	-	-	-	-
S-3	M-27	92.75 m	93.29 m	6-Aug-12	36	39	32	7	4	0	10	30	SM
S-3	M-28	96.01 m	97.10 m	6-Aug-12	32	37	24	11	5	2	61	37	SM
S-3	M-29	98.37 m	99.53 m	6-Aug-12	31	28	20	9	2	1	51	48	SC
S-3	M-30	102.15 m	103.10 m	7-Aug-12	71	35	28	7	2	3	67	30	SM

Tabla 5.20: Resultados de las muestras del sondeo 3. (Zona del túnel remarcada)

				CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.									
Sondeo	Caja	Profundidad de estudios		Fecha del Sondeo	Humedad, %	Límite Líquido, %	Límite Plástico, %	Índice Plástico, %	Contracción Lineal, %	Grava, %	Arena, %	Finos, %	Clasif. S.U.C.S.
S-3	M-31	111.30 m	11.88 m	9-Aug-12	50	61	38	23	11	0	29	71	MH
S-3	M-32	115.90 m	116.49 m	14-Aug-12	46	73	38	35	19	0	52	48	SM
S-3	M-33	118.87 m	119.49 m	14-Aug-12	47	90	35	55	22	0	37	63	CH
S-3	M-34	121.40 m	122.01 m	15-Aug-12	48	97	45	52	23	0	48	52	MH
S-3	M-35	126.92 m	127.50 m	15-Aug-12	47	97	40	54	24	0	40	60	MH
S-3	M-36	130.76 m	131.36 m	15-Aug-12	58	100	52	52	25	0	45	55	MH
S-3	M-37	134.20 m	134.75 m	16-Aug-12	48	96	42	53	23	0	45	55	MH
S-3	M-38	135.87 m	136.60 m	16-Aug-12	40	102	45	57	21	0	41	59	SM
S-3	M-39	138.92 m	139.50 m	16-Aug-12	56	98	50	48	23	0	49	51	MH
S-3	M-40	142.11 m	142.70 m	16-Aug-12	42	86	43	43	19	0	43	57	MH
S-3	M-41	146.38 m	146.98 m	18-Aug-12	41	93	41	52	23	0	41	59	MH
S-3	M-42	148.33 m	148.90 m	18-Aug-12	44	100	34	66	25	0	45	55	CH
S-3	M-43	151.90 m	152.45 m	19-Aug-12	44	98	45	53	23	0	39	61	MH
S-3	M-44	153.38 m	154.01 m	19-Aug-12	49	87	42	45	22	0	47	53	MH
S-3	M-45	157.43 m	158.00 m	19-Aug-12	49	96	37	59	24	0	34	66	CH
S-3	M-46	160.48 m	161.10 m	19-Aug-12	42	105	46	59	13	0	40	60	MH
REFERENCIAS: ASTM D- 2487, NMX-B-231, ESPECIFICACIONES DE PROYECTO. SONDEO 3.													

Tabla 5.21: Resultado de compresión simple (q_u) del sondeo 3.

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-3	2	7.20 m	7.42 m	25-Sep-12		1596 kg/m^3	24	-					
S-3	5	16.78 m	16.94 m	25-Sep-12		1665 kg/m^3	16	-					
S-3	8	29.50 m	29.80 m	14-Sep-12		1705 kg/m^3	21	-					
S-3	12	43.60 m	43.84 m	14-Sep-12		1892 kg/m^3	11	-					

Tabla 5.22: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo humedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-3	15	53.19 m	53.35 m	14-Sep-12			1886 kg/m^3	20	-				
S-3	18	61.44 m	61.61 m	14-Sep-12			1798 kg/m^3	17	-				
S-3	19	64.92 m	65.05 m	14-Sep-12			1812 kg/m^3	18	-				

Tabla 5.23: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo humedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-3	25	83.90 m	84.06 m	14-Sep-12			1750 kg/m^3	40	-				
S-3	27	91.76 m	91.86 m	14-Sep-12			1644 kg/m^3	8	-				
S-3	29	100.26 m	100.49 m	14-Sep-12			1855 kg/m^3	11	-				
S-3	30	103.16 m	103.28 m	14-Sep-12			2107 kg/m^3	45	-				

Tabla 5.24: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.

		CARACTERIZACIÓN DE 3 SONDEOS DE EXPLORACIÓN Y PRUEBAS ÍNDICE Y MECÁNICAS EN EL NUEVO TRAZO ENTRE LAS LUMBRERAS 20 Y 19 DEL TÚNEL EMISOR ORIENTE, TRAMO 5.							
Sondeo	Caja	Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba	Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
								C1	C2
S-3	31	110.93 m	111.21 m	14-Sep-12			1716 kg/m^3	37	-
S-3	32	115.44 m	115.57 m	14-Sep-12			1572 kg/m^3	14	-
S-3	33	118.62 m	118.79 m	14-Sep-12			1595 kg/m^3	13	-
S-3	34	121.05 m	122.96 m	14-Sep-12			1753 kg/m^3	20	16
S-3	35	124.94 m	126.64 m	14-Sep-12			1876 kg/m^3	25	19

Tabla 5.25: Resultados compresión simple (q_u) del sondeo 3. (Zona del túnel remarcada)

Sondeo		Caja		Profundidad del núcleo		Fecha de la prueba		Cilindros ensayados		Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3		Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
												C1	C2
S-3	36	128.73 m	130.02 m	14-Sep-12			1728 kg/m^3	15	9				
S-3	37	133.84 m	133.94 m	14-Sep-12			1565 kg/m^3	9	-				
S-3	38	137.08 m	137.23 m	12-Sep-12			1717 kg/m^3	9	-				
S-3	39	138.92 m	141.06 m	12-Sep-12			1636 kg/m^3	40	15				
S-3	40	NA	-	-	-	-	-	-	-				
S-3	41	145.79 m	147.035 m	12-Sep-12			1756 kg/m^3	23	5				

Tabla 5.26: Resultados de compresión simple (q_u) del sondeo 3.

Sondeo		Caja	Profundidad del núcleo	Fecha de la prueba	Cilindros ensayados	Masa volumétrica del suelo húmedo kg/m^3	Resistencia a la compresión simple (kg/cm^2)	
							C1	C2
S-3	42	149.19 m	149.38 m	12-Sep-12		1808 kg/m^3	32	-
S-3	43	151.75 m	152.89 m	12-Sep-12		1727 kg/m^3	17	10
S-3	44	155.18 m	155.38 m	12-Sep-12		1809 kg/m^3	21	-
S-3	45	156.38 m	156.60 m	12-Sep-12		1948 kg/m^3	10	-
S-3	46	160.17 m	160.34 m	12-Sep-12		1837 kg/m^3	19	-

REFERENCIA: NMX C-83, SONDEO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS



Figura 6.1: *Dovela (revestimiento primario del túnel), Planta de Dovelas, TEO.*

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el proyecto Túnel Emisor Oriente la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), dejó a cargo de la Ingeniería básica a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la cual, realizó sondeos de recuperación continua de muestras y estudios geofísicos, ubicados en puntos estratégicos.

Con la información recabada la CFE, propuso el perfil geotécnico a lo largo del túnel, y en específico para el tramo 5, la CFE propuso un perfil que incluía: limos arenosos, un intervalo de boleos y fragmentos basálticos y finalmente limos de color verde olivo con algunas intercalaciones de arcillas, pertenecientes a la Formación Taximay.

Posteriormente durante el proyecto ejecutivo del TEO, se realizó una campaña de exploración en el tramo original entre las lumbreras 20 y 19, esta consistió en la ejecución de 4 sondeos de exploración, con una separación de 200 m entre cada sondeo. Los resultados demostraron que los materiales a los cuales se enfrentaría la TBM, serían los limos de color verde olivo de la Formación Taximay, que había reportado la CFE.

Finalmente los nuevos sondeos ejecutados para la modificación del tramo 5, fueron de recuperación continua de muestras, gracias a esta característica se contó con gran información para caracterizar a detalle el nuevo trazo.

6.1 Caracterización del sondeo 1

La columna estratigráfica esta conformada por intercalaciones de limos arenosos y arcillas arenosas, boleos y fragmentos basálticos y finalmente por limos de color verde de la Formación Taximay.

Las intercalaciones de limos arenosos, arenas arcillosas, arenas limosas, se presentan de la siguiente manera: el primer paquete es un limo arenoso de consistencia blanda a media, color ocre claro, con gravas aisladas de origen basáltico, este paquete tiene un espesor de 44.5 m, es uniforme y presenta un lente de arena fina a media, de compacidad suelta, color gris claro de 12.30 a 12.90 m de profundidad, la resistencia a la compresión simple para este material es de 50 a 220 t/m².

Las pruebas de granulometría para este primer paquete indican un porcentaje de finos 51–88 % y los resultados de los límites realizados a la fracción fina muestran que es un limo de alta plasticidad, los contenidos de arena tienen un rango de 12-49 %.

A partir de los 44.5 m a hasta los 82.7 m las granulometrías indican un aumento en los contenidos de arenas 59-85 % con este resultado se proponen dos paquetes el primero es una arena arcillosa de compacidad media a densa, color ocre claro, con gravas aisladas de origen basáltico y el segundo se clasificó como una arena limosa de compacidad media a densa, color ocre claro, con gravas aisladas.

Después de los 82.7 m y hasta los 87.6 m se presentan intercalaciones de arcillas y limos con diferentes contenidos de arenas. A partir de los 87.6 m se identificó un intervalo que abarca 13 m de boleos, fragmentos de basalto de 5 cm hasta 17 cm con gravas de hasta 1" de diametro mal empacados en arenas finas a medias.

En los perfiles del tramo original después del intervalo de boleos y fragmanetos basálticos se encontraban los limos de la Formación Taximay. Para el sondeo 1 la Formación Taximay se encuentra a partir de los 100.7 m de profundidad y presenta intercalaciones de limos de alta plasticidad de consistencia media a dura, color verde olivo a verde oscuro, carbonatado y arcillas de alta plasticidad de consistencia media, color verde olivo claro, ligeramente carbonatada.

En particular para la zona de excavación se identificó una arcilla de alta plasticidad de consistencia media, color verde olivo claro, ligeramente carbonatada, en la parte inferior del estrato presenta arena fina a media con gravas de hasta 3/8" de diámetro, del mismo material. La resistencia al corte para esta zona es de 160 a 230 t/m².

6.2 Caracterización del sondeo 2

El sondeo 2 presenta un perfil estratigráfico muy semejante en cuanto a intercalaciones de limos y arcillas con contenidos diferentes de arenas, boleos y fragmentos basálticos y los limos de la Formación Taximay. Es importante mencionar que este sondeo se encuentra ubicado a 250 m del eje del tunel del trazo original, y por lo tanto es el mas alejado de los tres nuevos sondeos.

De acuerdo a las descripciones y a los resultados de las pruebas de laboratorio el perfil estratigráfico presenta los siguientes intervalos:

Los primeros 5 m corresponden a una arcilla blanda de tonalidades grises a negras. A partir de los 5 m y hasta los 26.80 m se encuentra una arena limosa de compacidad densa, color ocre oscuro, con intercalaciones del mismo material con fragmentos líticos subangulosos de hasta 2 mm y con oquedades en la parte inferior del estrato.

De los 26.80 m y hasta los 37.5 m los contenidos de arenas disminuyen y la fracción fina aumenta dando como resultado un limo arenoso de consistencia media, color ocre claro a ocre oscuro. Después de este intervalo el contenido de arenas aumenta hasta

un 80 % y las pruebas de límites aplicadas a la fracción fina indican que se trata de una arcilla, por lo tanto el intervalo que inicia en los 37.5 m y termina en los 63.40 m es una arena arcillosa de compactación media a densa, color ocre oscuro, con intercalaciones del mismo material con fragmentos líticos subangulosos de hasta 2 mm y con oquedades.

El siguiente intervalo consiste en intercalaciones de arenas de compactación densa, color ocre, con arenas de compactación suelta y en la profundidad 74.50 m aparece el primer intervalo de fragmentos basálticos menores a 5 cm y gravas sueltas, este termina en los 75.60 m y a partir de esta profundidad se encuentra una arena limosa de compactación media a densa, color ocre oscuro, con gravas aisladas, esta arena limosa sobrepasa al segundo intervalo de fragmentos de basalto de hasta 20 cm, bien empaquetados en limo arenoso, color café.

En la profundidad 93.90 m inicia una arena arcillosa de compactación media a densa, color ocre y termina en la profundidad 98.50. Y finalmente se encuentra el tercer intervalo de bloques y conglomerados basálticos de hasta 10 cm, mal empaquetados en arenas finas.

Los limos y arcillas de la Formación Taximay se encuentran en este sondeo a partir de los 101.5 m de profundidad, son limos de alta plasticidad de consistencia dura, color verde olivo a verde oscuro ligeramente carbonatados, con un horizonte de consistencia blanda de 115.3 m a 120.10 m de profundidad, y con un estrato de arcilla de alta plasticidad de consistencia media a dura, de 136 m a 139.70 m de profundidad.

Los materiales que se excavarán en la zona del túnel son: un limo de alta plasticidad MH y una arcilla de alta plasticidad, ambos de color verde olivo, y cuentan con una resistencia al corte de 90 a 180 t/m².

6.3 Caracterización del sondeo 3

El sondeo 3 presenta intercalaciones de suelos finos con contenidos variables de arena, muy semejantes a los sondeos anteriores.

El perfil estratigráfico está compuesto por un primer intervalo de 17.70 m de arcilla arenosa de consistencia blanda a media, color negro y ocre oscuro, con presencia de materia orgánica en la parte inferior del estrato.

El siguiente intervalo inicia en 17.70 m y termina en 28.30 m; es muy parecido al anterior y se clasificó como una arcilla arenosa, de consistencia blanda a media de color ocre a gris claro.

Apartir de 28.30 m el contenido de finos aumenta hasta un 70% y la prueba de límites de consistencia indica que se trata de un limo por lo tanto se clasificó como un limo arenoso de consistencia media, color café oscuro, que termina en 36 m de profundidad.

Para el intervalo que inicia en 36 m y termina en 45.2 m el contenido de finos llega hasta un 84%, mientras que la prueba de límites de consistencia indica una arcilla y se clasificó como una arcilla arenosa de consistencia media, color café claro. A partir de 45.2 m y hasta 54.3 m el contenido de arenas aumenta 57% y este intervalo se clasificó como una arena arcillosa de compacidad media, color café oscuro.

El siguiente intervalo es el de mayor espesor en este sondeo inicia en 54.3 m y termina en 106.20 m, se trata de una arena limosa de compacidad media a densa, color ocre oscuro, con lentes de arena de compacidad suelta de 81.80 m a 83.6 m de profundidad y de 62.70 m a 63.00 m de profundidad. En la profundidad de 83.60 m a 84.80 m el material es muy compacto (toba).

En la profundidad 106.20 m inicia el único intervalo de bloques y fragmentos de basalto de hasta 10 cm, bien empacados en arenas, termina en 109.20 m de profundidad.

La Formación Taximay en este sondeo inicia en 109.20 m de profundidad, se trata de limos de alta plasticidad de consistencia media a dura, color verde olivo a verde oscuro y horizontes de arcilla de alta plasticidad ligeramente carbonatados, de 118.87 m a 119.49 m, 148.33 m a 148.90 m y 157.43 m a 158.00 m de profundidad.

El material que se excavara en la zona del túnel corresponde con un limo de alta plasticidad, con una resistencia al corte de 90 a 400 t/m².

6.4 Comparación entre las características mecánicas de los sondeos del trazo original y el nuevo trazo

Esta comparación se hizo entre las características de los cuatro sondeos intermedios (SI 1-4) del trazo original, el sondeo de la lumbrera 20 (SL-20) y de los tres sondeos actuales. Claramente se puede ver que el rango de los pesos volumétricos (γ) está entre 1.70 y 1.80 t/m³, en cuanto a los valores de compresión simple (q_u) el nuevo trazo presenta valores entre 160 a 230 t/m³, es decir, mejores valores que el trazo original.

Tabla 6.1: Comparativa entre las propiedades mecánicas de los sondeos intermedios y los sondeos exploratorios actuales, incluye el sondeo de la Lumbrera 20.

Sondeo	SL-20		SI-1		SI-2		SI-3		SI-4		S-1		S-2		S-3	
	γ	q_u														
Zona del suelo con respecto al túnel	t/m ³	t/m ²														
Influencia superior	1.75	182.5	1.72	72.5	2.08	211.4	1.67	55.3	1.70	47.3	1.70	185.0	1.76	240.0	1.74	163.0
Frente	1.78	123.0	1.74	89.9	1.76	86.4	1.64	48.1	1.72	29.2	1.70	230.0	1.64	153.0	1.64	182.5
Influencia inferior	1.80	147.0	1.94	94.6	1.73	47.4	1.80	132.9	1.73	17.5	1.72	230.0	1.74	160.0	1.76	192.5
Promedios	1.78	150.8	1.80	85.7	1.86	115.1	1.70	78.8	1.72	31.3	1.71	215.0	1.71	184.3	1.71	179.2

CONCLUSIONES



Figura 7.1: *Tunel Emisor Oriente, de L-5 a L-6.*

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con las pruebas realizadas a los nuevos sondeos exploratorios, se pudo confirmar que los suelos encontrados y clasificados, presentan características semejantes a las definidas en el trazo original.

Los resultados de las pruebas índice y mecánicas indican que las propiedades de los suelos recuperados en el nuevo trazo son mejores que las definidas en el tramo original.

Con la información recabada se pueden correlacionar fácilmente los suelos de ambos trazos y por lo tanto se recomienda el cambio de trazo entre las lumbreras 20 y 19 del Túnel Emisor Oriente, y con certeza se puede decir que la máquina tuneladora no se encontrara con suelos diferentes a los que se reportan en este informe.

También se puede decir que por las características mecánicas de la zona del túnel, la excavación es técnicamente factible y no representa riesgos para la máquina tuneladora, ni para el proceso de excavación y construcción del túnel.

Se recomienda instalar y monitorear piezómetros a lo largo del nuevo trazo con objeto de conocer y asegurar las cargas actuantes.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Estudio de Factibilidad Técnica y Socioeconómica del Túnel Emisor Oriente, Cuarta Etapa, 2008. Comisión Federal de Electricidad, México, pp. 1-23.

González de Vallejo, Luis I, 2002. Ingeniería Geológica. Ed. Prentice-Hall, pp. 316-325.

Gutiérrez Morgado, P., 2010, Análisis y Diseño del Revestimiento de un Túnel en suelos del Valle de México. Tesis Profesional para Licenciatura. UAM, México, pp.21-25.

Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez. Alfonso, 2004. Mecánica de suelos. México, pp. 97-165.

Palma Maya, C., León García, I., Aguilar Téllez, M, 2012, Boletín Técnico –Ingeniería de sitio, Informe final de los trabajos de exploración sobre el nuevo trazo del túnel entre las lumbreras 20 y 19 del tramo 5. COMISSA, México, Informe TEO-5-L-20-BT-018, 1-68.

Santoyo Villa, Enrique, 2010. XX Conferencia Nabor Carrillo, Exploración de Suelos. Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, México, pp. 4-7, 57- 115.

Internet

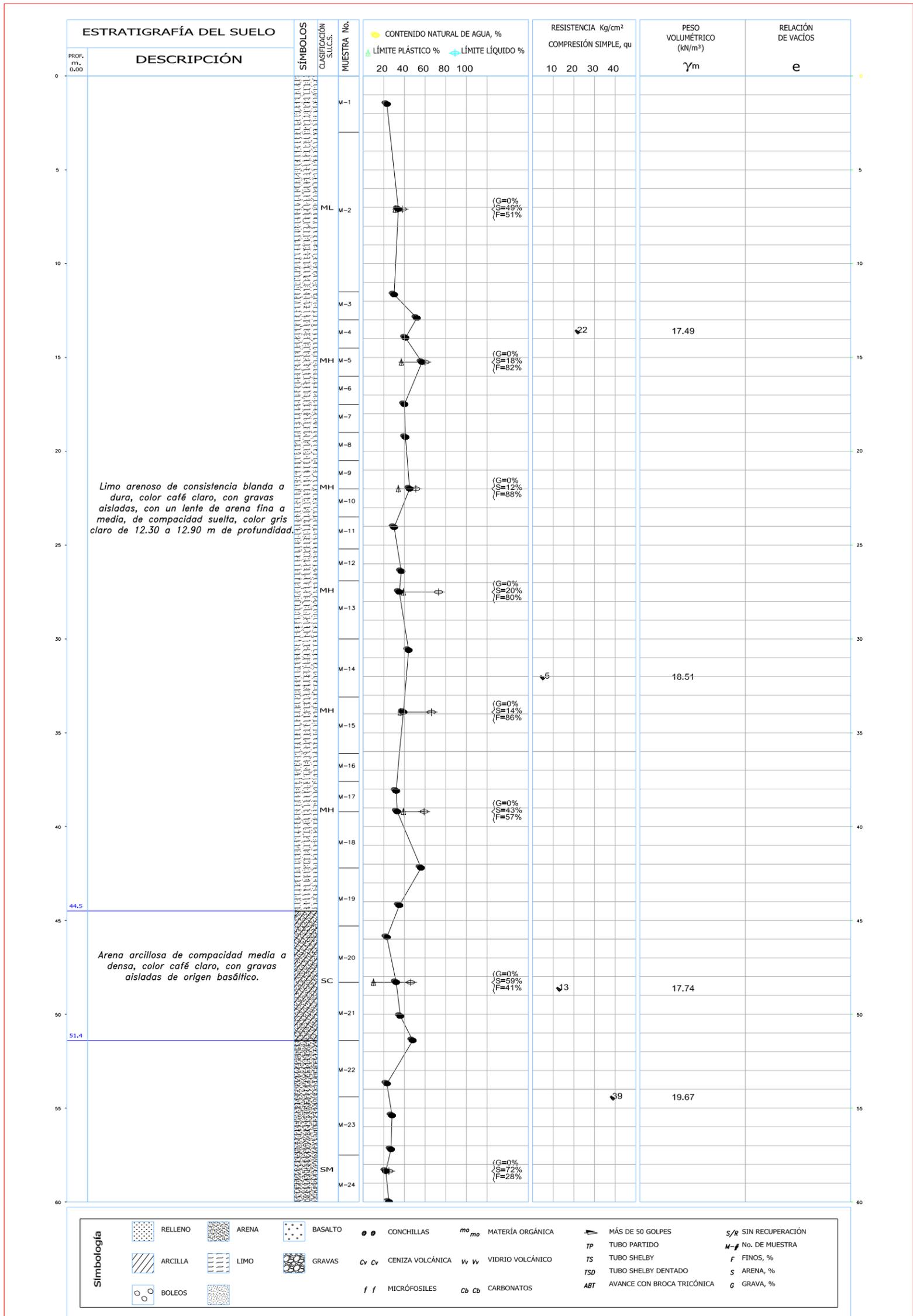
<http://www.conagua.gob.mx/sustentabilidadhidricadelvalledemexico/tunelemisororiente.aspx>

http://www.ica.com.mx/construccion_civil.html

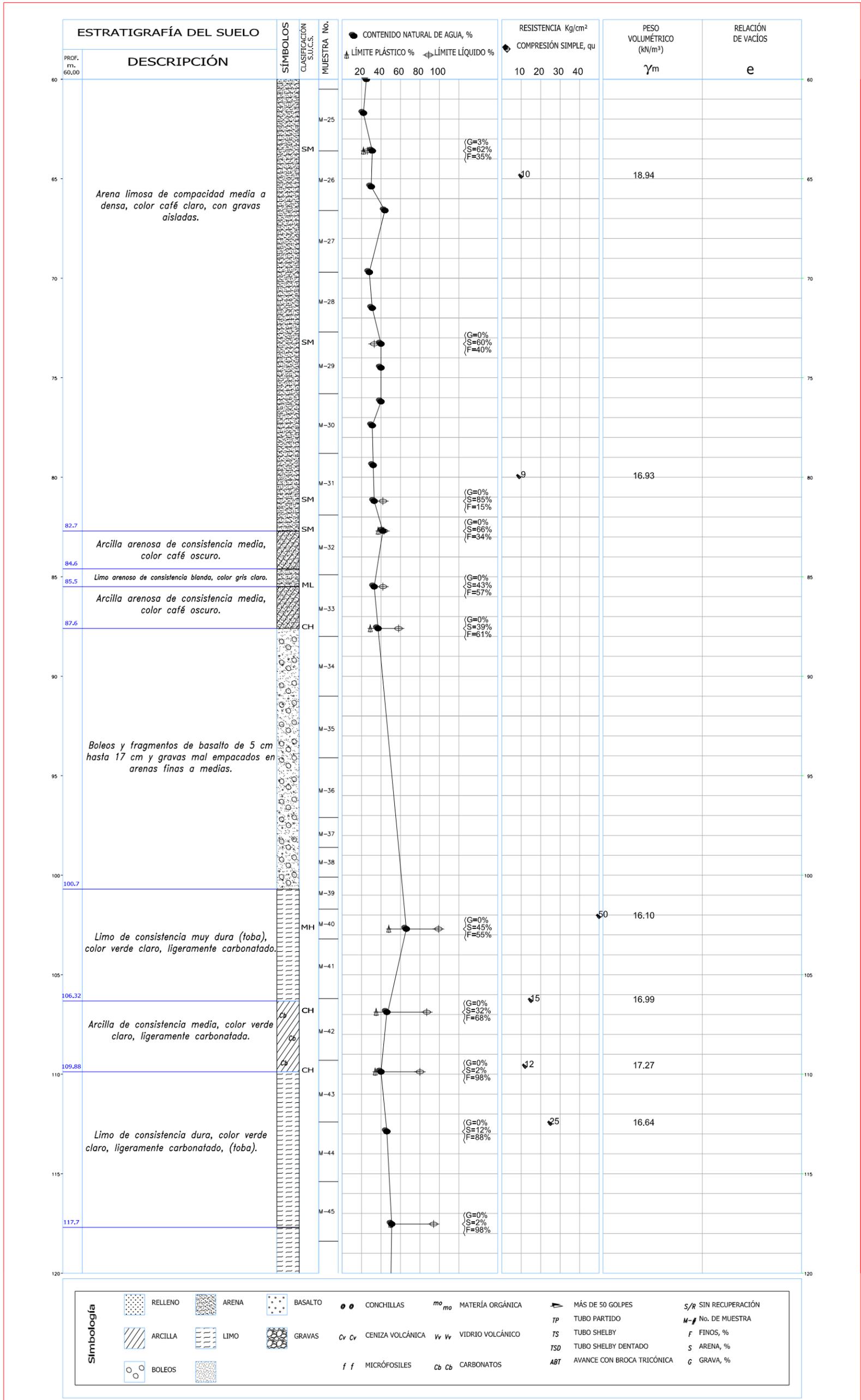
<https://www.etcg.upc.edu/docencia/aula-paymacotas/tunels-a-mexic/ponencias/lombardo.pdf>

<http://web.ua.es/es/ginter/software-libre.html>

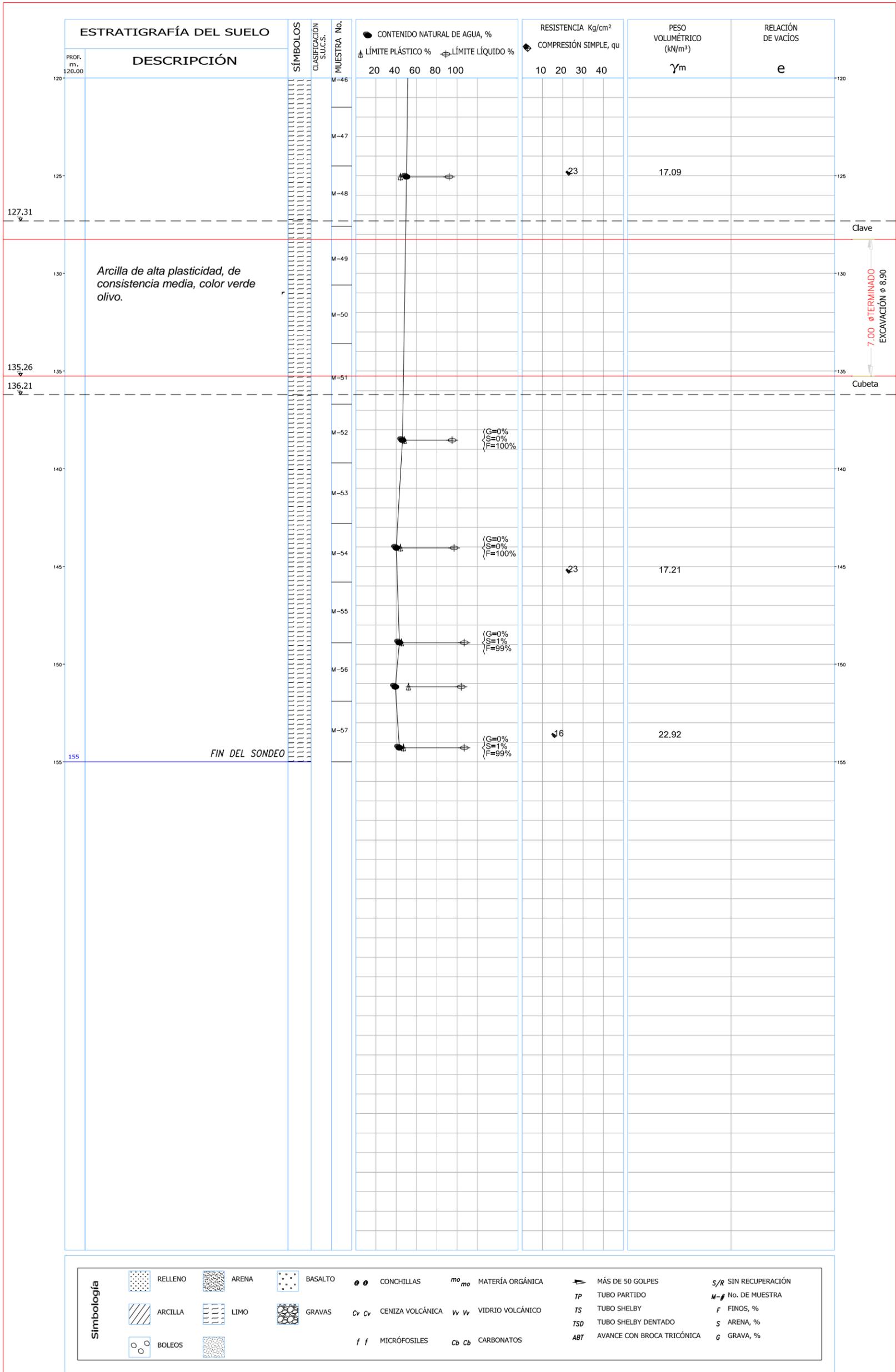
ANEXOS



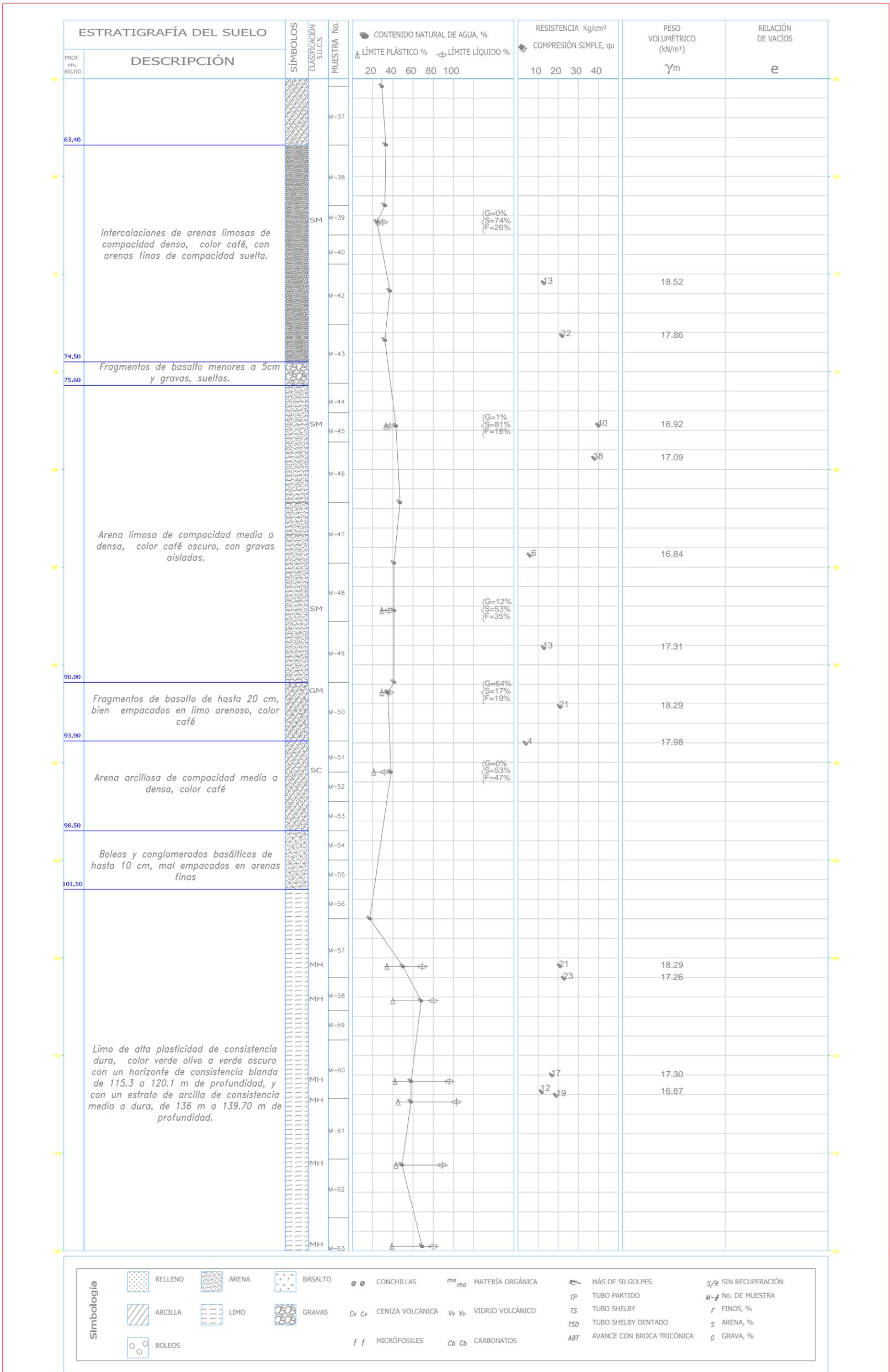
A1. Perfil estratigráfico del sondeo 1, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO (Intervalo 0 - 60 m).



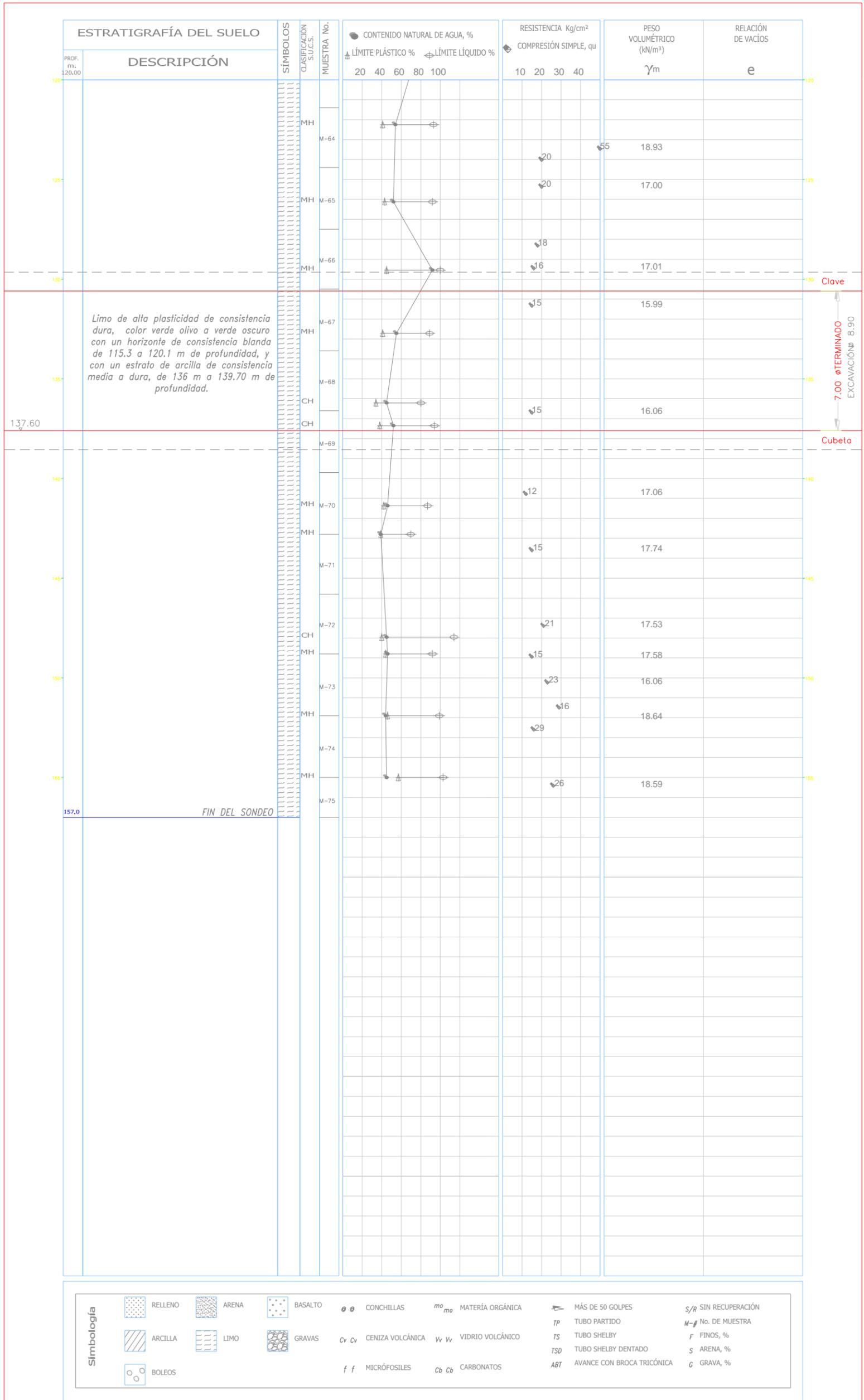
A1. Perfil estratigráfico del sondeo 1, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO (Intervalo 60 - 120 m).



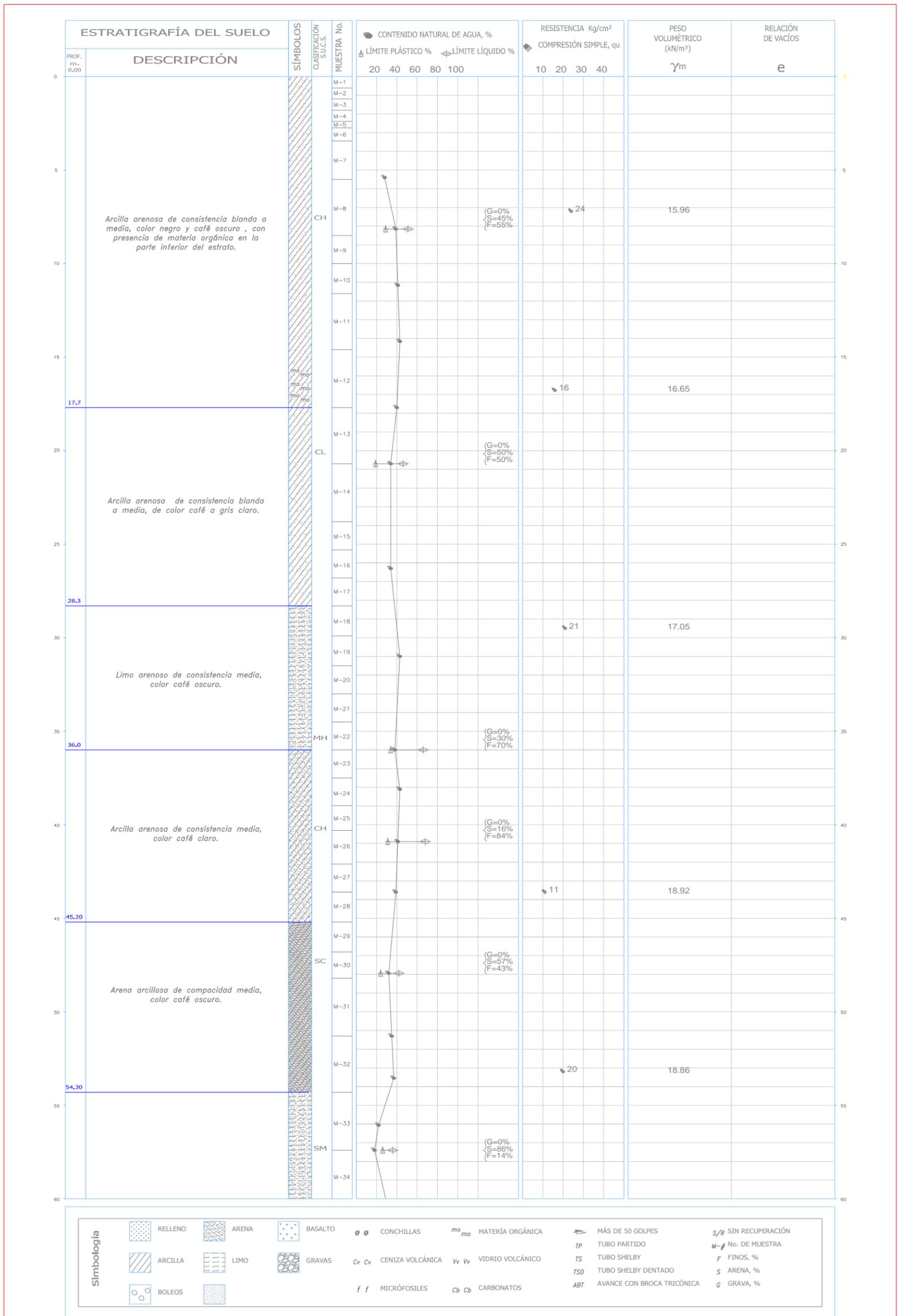
A1. Perfil estratigráfico del sondeo 1, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO (Intervalo 120 - 155 m).



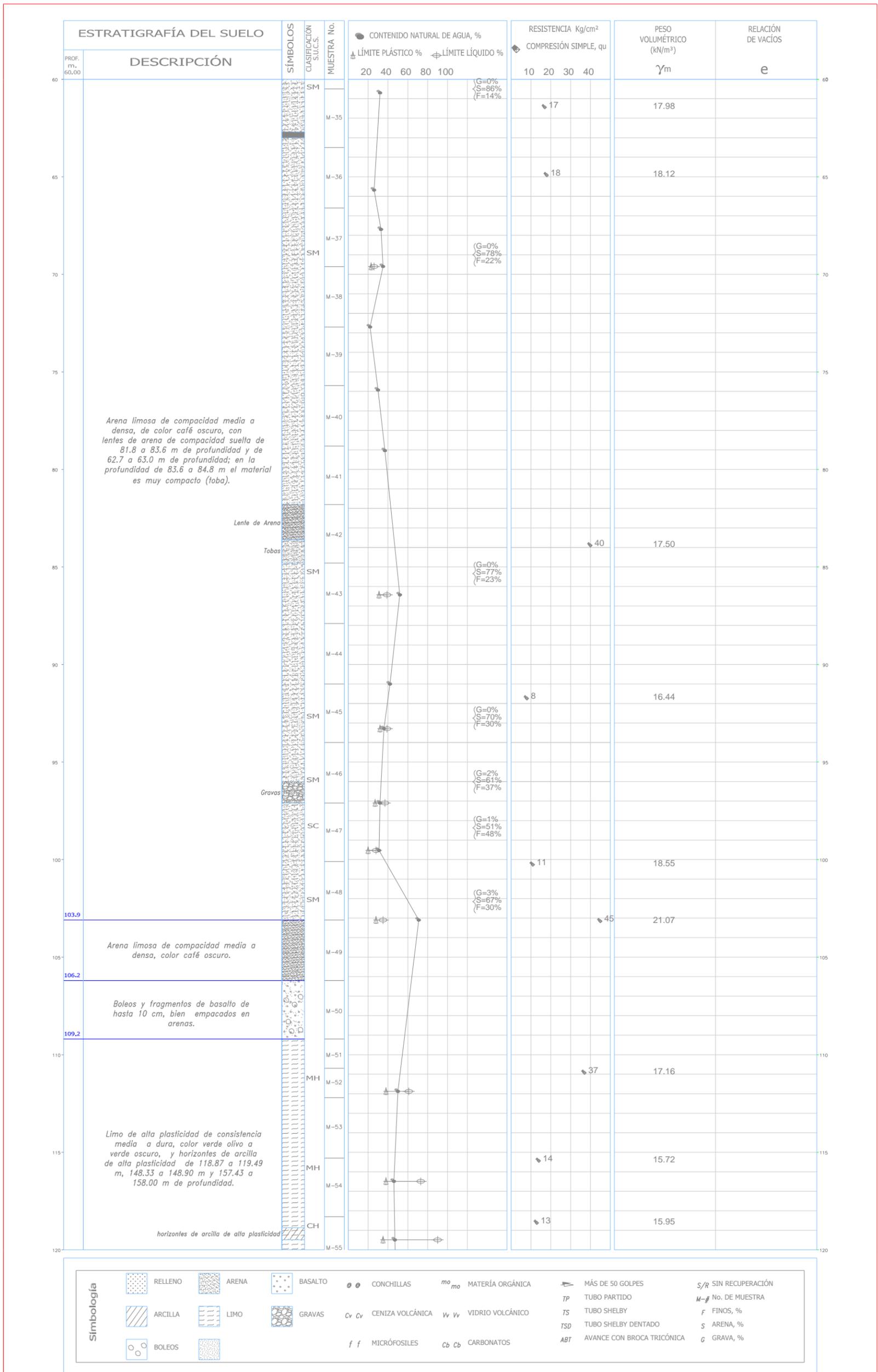
A2. Perfil estratigráfico del sondeo 2, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 60 -120 m).



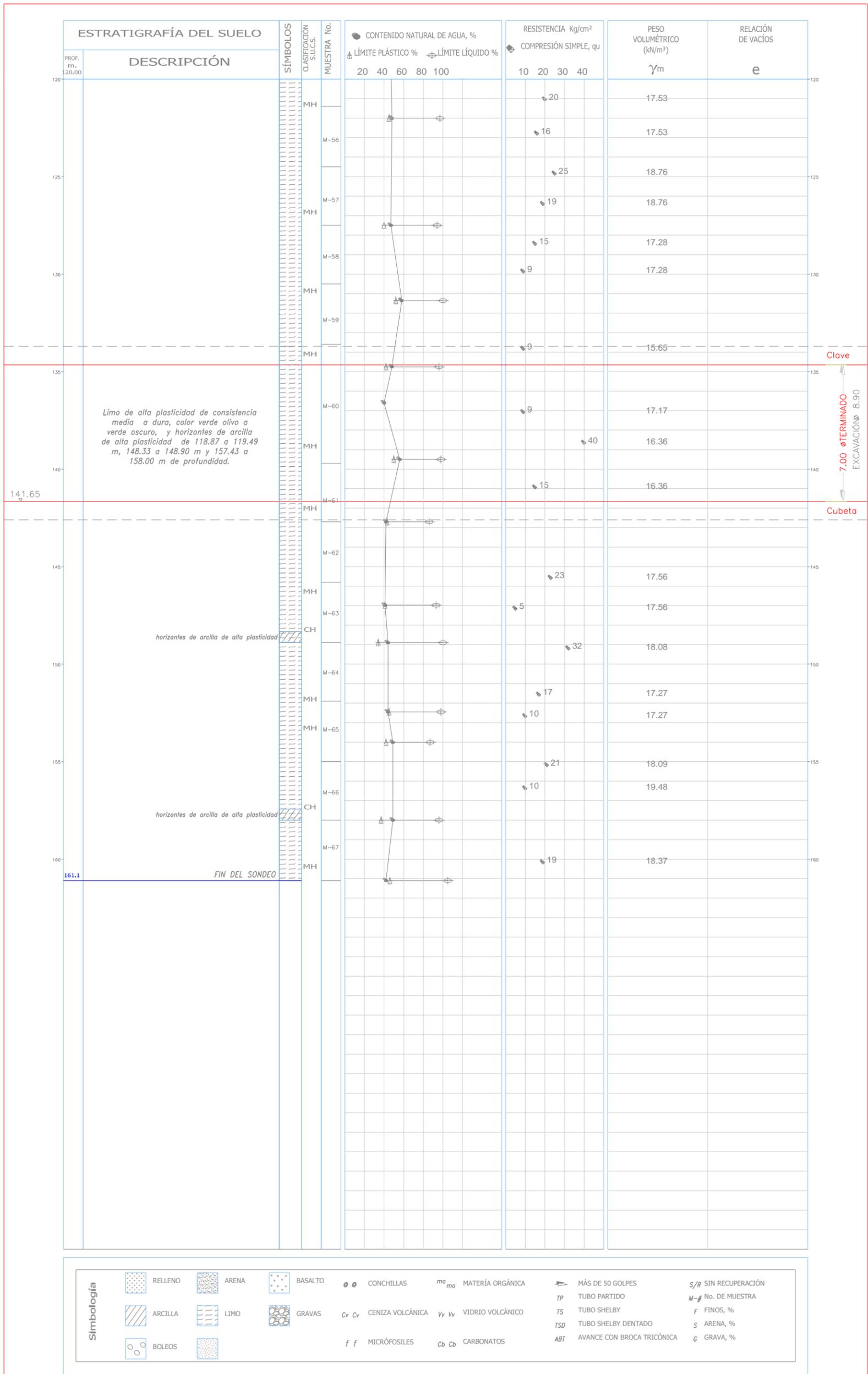
A2. Perfil estratigráfico del sondeo 2, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 120 -157 m).



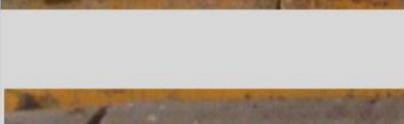
A3. Perfil estratigráfico del sondeo 3, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 0 -60 m).



A3. Perfil estratigráfico del sondeo 3, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 60 - 120 m).



A3. Perfil estratigráfico del sondeo 3, realizado entre las lumbreras 20 y 19, del TEO. (Intervalo 120 – 161.10 m).

SONDEO S-1N			
PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN	IMAGEN
de	a		
0.0		Limo arenoso de consistencia blanda a dura, color ocre claro, con gravas aisladas; con un lente de arena fina a media, de compactidad suelta, color gris claro de 12.30 a 12.90 m de profundidad.	
			
			
			
			
			
	44.5	Arena arcillosa de compactidad media a densa, color ocre claro, con gravas aisladas de origen basáltico.	
44.5			
	51.4	Arena limosa de compactidad media a densa, color ocre claro, con gravas aisladas.	
			
			
			
	82.7		

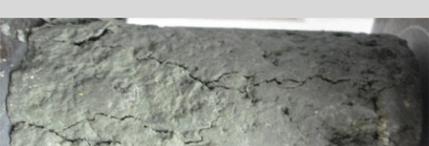
A4.Reporte fotográfico sondeo 1.

SONDEO S-1N			
PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN	IMAGEN
de	a		
82.7	84.6	Arcilla arenosa de consistencia media, color ocre oscuro.	
84.6	85.5	Limo arenoso de consistencia blanda, color gris claro.	
85.5	87.6	Arcilla arenosa de consistencia media, color ocre oscuro.	
87.6	100.7	Boleos y fragmentos de basalto de 5 cm hasta 17 cm y gravas mal empacados en arenas finas a medias.	
100.7	117.7	Limo de consistencia muy dura (toba), color verde claro, ligeramente carbonatado.	
117.7	127.30	Limo de consistencia media a dura, color verde olivo a verde oscuro, carbonatado.	
Zona de excavación del túnel			
127.30	136.23		
	155.0		

A4.Reporte fotográfico sondeo 1.

SONDEO S-2N			
PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN	IMAGEN
de	a		
0.0	5.5	Arcilla blanda, de tonalidades grises a negras	
5.5	26.8	Arena limosa de compacidad densa, color ocre oscuro, con intercalaciones del mismo material con fragmentos líticos subangulosos de hasta 2 mm con oquedades en la parte inferior del estrato.	
26.8	37.5	Limo arenoso de consistencia media a dura, color ocre claro a ocre oscuro.	
37.5	63.4	Arena arcillosa de compacidad media a densa, color ocre oscuro, con intercalaciones del mismo material con fragmentos líticos subangulosos de hasta 2 mm.	
63.4	74.5	Intercalaciones de arenas limosas de compacidad densa, color ocre, con arenas finas de compacidad suelta.	
74.5	75.6	Fragmentos de basalto menores a 5 cm y gravas, sueltos	

A5.Reporte fotográfico sondeo 2.

SONDEO S - 2 N			
PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN	IMAGEN
de	a		
75.6	78.6	Limo arenoso de consistencia dura, color ocre oscuro.	
78.6	90.9	Arena limosa de compacidad media a densa, de color ocre oscuro, con gravas aisladas.	
90.9	93.9	Fragmentos de basalto de hasta 20 cm, bien empacados en limo arenoso, color café	
93.9	98.5	Arena arcillosa de compacidad media a densa, color ocre.	
98.5	101.5	Boleos y conglomerados basálticos de hasta 10 cm, mal empacados en arenas finas	
101.5	129.6	Limo de alta plasticidad de consistencia dura, de color verde olivo a verde oscuro con un horizonte de consistencia blanda de 115.3 a 120.1 m de profundidad, y con un estrato de arcilla de consistencia dura, de color café claro de 136 a 139.7 m de profundidad.	
Zona de excavación del túnel			
	138.6		
	157.0		
			

A5.Reporte fotográfico sondeo 2.

SONDEO S - 3 N			
PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN	IMAGEN
de	a		
0.0	17.7	Arcilla arenosa de consistencia blanda a media, color negro y ocre oscuro, con presencia de materia orgánica en la parte inferior del estrato.	
17.7	28.3	Arcilla arenosa de consistencia blanda a media, color ocre a gris claro.	
28.3	36.0	Limo arenoso de consistencia media, color ocre oscuro.	
36.0	45.2	Arcilla arenosa de consistencia media, color ocre claro.	
45.2	54.3	Arena arcillosa de compacidad media, color ocre oscuro.	
54.3		Arena limosa de compacidad media a densa, color ocre oscuro, con lentes de arena de compacidad suelta de 62.7 a 63.0 m de profundidad; en la profundidad de 83.6 m a 84.8 m el material es muy compacto (toba).	

A6.Reporte fotográfico sondeo 3.

SONDEO S - 3 N			
PROFUNDIDAD (m)		DESCRIPCIÓN	IMAGEN
de	a		
	106.2	<p>Arena limosa de compacidad media a densa, color ocre oscuro, con lentes de arena de compacidad suelta de 62.7 a 63.0 m de profundidad y de 81.8 a 83.6 m de profundidad el material es muy compacto (toba).</p>	  
106.2	109.2		<p>Boleos y fragmentos de basalto de hasta 10 cm, bien empacados en arenas.</p>
109.2	133.7	<p>Limos de consistencia media a dura, de color verde claro a verde oscuro con tonalidades marron oscuro y con contenido de materia organica, con un horizonte de consistencia blanda de 153.38 a 154.01 m de profundidad</p>	 
Zona de excavación del túnel			
	142.6		
	161.1		

A6.Reporte fotográfico sondeo 3.