

**ESTUDIO Y REVISIÓN GEOTÉCNICA PARA EL EDIFICIO LABORATORIOS  
FISICA-QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA, FUNDACIÓN ACADEMIA  
MUSICAL LA ESCALA Y URBANIZACIÓN PORTAL DE LA COLINA**



**RODRIGO CALLE GUALI  
MIGUEL ALEJANDRO EPIA VALENCIA  
WILLIAN GIOVANNY ROJAS DUQUE**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
POPAYÁN  
2013**

**ESTUDIO Y REVISIÓN GEOTÉCNICA PARA EL EDIFICIO LABORATORIOS  
FISICA-QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA, FUNDACIÓN ACADEMIA  
MUSICAL LA ESCALA Y URBANIZACIÓN PORTAL DE LA COLINA**



**RODRIGO CALLE GUALI  
MIGUEL ALEJANDRO EPIA VALENCIA  
WILLIAN GIOVANNY ROJAS DUQUE**

**Director:  
MARGARITA POLANCO DE HURTADO  
Ingeniera Civil, MSc.**

**Informe de Trabajo Social para optar por el título de Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
POPAYÁN  
2013**

## INTRODUCCIÓN

A través de la historia, debido a necesidades constructivas, el hombre ha tenido que estudiar y definir los distintos tipos de suelos, así como su comportamiento ante la presencia de diferentes factores (agua, aplicaciones de grandes cargas, estructuras vecinas, etc.) y ha logrado solucionar algunos problemas con la experiencia adquirida con base en la prueba y el error<sup>1</sup>.

La dedicación y el estudio científico sobre la mecánica de suelos de grandes personajes como Coulomb, Terzaghi, Casagrande, entre otros, han aportado a la ciencia conocimientos emanados de la experimentación, soporte actual para determinar el tratamiento que se debe dar a un suelo al ser empleado en el diseño de cimentaciones<sup>1</sup>.

El presente Informe es la recopilación del análisis y estudio geotécnico para tres diferentes proyectos de la ciudad de Popayán (Cauca), en los cuales se dan a conocer básicamente la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes suelos encontrados, elementos importantes para estudiar la geotecnia de los sitios y tomar decisiones relativas a la cimentación de los diferentes proyectos.

En el primer capítulo se encuentra la revisión geotécnica del actual edificio de laboratorios de física y química de la Universidad del Cauca, realizada con el fin de determinar las causas de las deformaciones inusuales a nivel de pisos y ventanas y agrietamientos de algunos muros, para de esta forma contribuir al reforzamiento de la estructura.

El segundo capítulo hace referencia al diseño y recomendaciones constructivas para dos tipos de cimentación sugeridas por los autores para una estructura de dos niveles en un lote propiedad de la Fundación Academia Musical La Escala.

Finalmente el tercer capítulo corresponde al diseño y recomendaciones constructivas de las cimentaciones para viviendas, recomendaciones para el manejo de pequeños taludes y sistemas de contención en la Urbanización Portal de la Colina.

1. Universidad de Sonora, Red Institucional Bibliotecaria. 2008. La importancia del Estudio de los suelos. Tesis, Capítulo 1. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7413/Capitulo1.pdf>.  
Fecha de consulta: 5/09/2013

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1. ESTUDIO Y REVISIÓN GEOTÉCNICA EDIFICIO LABORATORIOS DE FÍSICA - QUÍMICA UNIVERSIDAD DEL CAUCA .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
2.1. Objetivo general .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
<b>3. Descripción del sitio y de la estructura .....</b>	<b>4</b>
3.1. Localización.....	4
3.2. Tipo de estructura .....	4
3.3. Daños presentes .....	6
<b>4. Metodología .....</b>	<b>11</b>
4.1. Trabajo de campo .....	11
4.1.1. <i>Exploración de Campo</i> .....	11
4.1.2. <i>Perforaciones</i> .....	11
4.1.3. <i>Muestreo</i> .....	11
4.2. Ensayos de Laboratorio .....	13
<b>5. Estratigrafía y resultados de caracterización de los suelos encontrados .....</b>	<b>14</b>
5.1. Estratigrafía y propiedades de los suelos.....	14
5.1.1. <i>Primera Zona</i> .....	14
5.1.2. <i>Segunda Zona</i> .....	19
5.1.3. <i>Tercera Zona</i> .....	23
<b>6. Cálculo de capacidad portante y asentamientos .....</b>	<b>31</b>
6.1. Capacidad Portante.....	31
6.2. Teoría General de la Consolidación unidimensional.....	32
<b>7. Resultados .....</b>	<b>35</b>
7.1. Análisis del comportamiento de la estructura.....	35
7.1.1. <i>Capacidad Portante</i> .....	35
7.1.2. <i>Chequeo de asentamientos por consolidación primaria</i> .....	36
7.2. Análisis geotécnico de la solución planteada .....	36

<b>8. Conclusiones</b> .....	38
<b>Referencias y bibliografía de consulta</b> .....	39
<b>ANEXO 1</b> .....	40
<b>ANEXO 2</b> .....	41
<b>ANEXO 3</b> .....	44
<b>CAPÍTULO 2. CONSTRUCCIÓN FUNDACIÓN ACADEMIA MUSICAL LA ESCALA</b> ....	62
<b>1. Introducción</b> .....	63
<b>2. Objetivos</b> .....	64
2.1. Objetivo general .....	64
2.2. Objetivos específicos .....	64
<b>3. Descripción del sitio y de la estructura a construir</b> .....	65
3.1. Localización.....	65
3.2. Tipo de estructura a construir .....	65
<b>4. Metodología</b> .....	66
4.1. Trabajo de campo .....	66
4.2. Ensayos de Laboratorio .....	68
<b>5. Estratigrafía y resultados de caracterización de los suelos encontrados</b> .....	69
5.1. Estratigrafía y propiedades de los suelos.....	69
<b>6. Capacidad de carga y consolidación de suelos</b> .....	76
6.1. Capacidad Portante.....	76
6.2. Teoría General de la Consolidación primaria de suelos .....	77
<b>7. Resultados</b> .....	79
7.1. Análisis de la primera propuesta de cimentación .....	79
7.1.1. <i>Capacidad portante</i> .....	79
7.1.2. <i>Chequeo de asentamientos por consolidación primaria</i> .....	80
7.2. Análisis de la segunda propuesta de cimentación .....	80
7.2.1. <i>Capacidad portante</i> .....	80
7.2.2. <i>Cheques de asentamientos por consolidación primaria</i> .....	81
<b>8. Conclusiones</b> .....	82
<b>Referencias y bibliografía de consulta</b> .....	83
<b>ANEXO 1</b> .....	84
<b>ANEXO 2</b> .....	85

<b>ANEXO 3</b> .....	88
<b>CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN URBANIZACIÓN PORTAL DE LA COLINA</b> .....	96
<b>1. Introducción</b> .....	97
<b>2. Objetivos</b> .....	98
<b>3. Descripción del sitio y de la estructura a construir</b> .....	99
<b>3.1. Localización</b> .....	99
<b>3.2. Características Topográficas del proyecto</b> .....	99
<b>3.3. Tipo de estructura a construir</b> .....	102
<b>4. Metodología</b> .....	103
<b>4.1. Trabajo de campo</b> .....	103
<b>4.1.1. Exploración de Campo</b> .....	103
<b>4.1.2. Perforaciones</b> .....	103
<b>4.1.3. Muestreo</b> .....	103
<b>4.2. Ensayos de Laboratorio</b> .....	105
<b>5. Estratigrafía y resultados de caracterización de los suelos encontrados</b> .....	106
<b>5.1. Estratigrafía y propiedades de los suelos</b> .....	106
<b>6. Capacidad de carga</b> .....	114
<b>7. Recomendaciones</b> .....	116
<b>7.1. Recomendaciones para la cimentación</b> .....	116
<b>7.1.1. Terraza # 1 y Terraza # 2</b> .....	117
<b>7.1.2. Terraza # 3</b> .....	118
<b>7.2. Recomendaciones para el manejo de los cortes entre terrazas y taludes</b> .....	119
<b>7.2.1. Cortes entre terrazas</b> .....	119
<b>7.2.2. Manejo de Taludes</b> .....	120
<b>Referencias y bibliografía de consulta</b> .....	122
<b>ANEXO 1</b> .....	123
<b>ANEXO 2</b> .....	124
<b>ANEXO 3</b> .....	129

## LISTA DE TABLAS

### **CAPÍTULO 1. ESTUDIO Y REVISIÓN GEOTÉCNICA EDIFICIO LABORATORIOS DE FÍSICA-QUÍMICA UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

<b>Tabla 1. 1</b> Asentamientos diferenciales de los pórticos cortos .....	8
<b>Tabla 1. 2</b> Características Físicas y mecánicas tercer estrato, primera zona .....	18
<b>Tabla 1. 3</b> Características Físicas y mecánicas cuarto estrato, primera zona.....	18
<b>Tabla 1. 4</b> Características Físicas y mecánicas segundo estrato, segunda zona .....	22
<b>Tabla 1. 5</b> Características Físicas y mecánicas tercer estrato, segunda zona.....	23
<b>Tabla 1. 6</b> Características Físicas y mecánicas segundo estrato, tercera zona.....	26
<b>Tabla 1. 7</b> Características Físicas y mecánicas segundo estrato, tercera zona.....	27
<b>Tabla 1. 8</b> Características Físicas y mecánicas cuarto estrato, tercera zona.....	28
<b>Tabla 1. 9</b> Resumen de características Físicas y mecánicas primera zona .....	28
<b>Tabla 1. 10</b> Resumen de características Físicas y mecánicas segunda zona .....	29
<b>Tabla 1. 11</b> Resumen de características Físicas y mecánicas tercera zona .....	29
<b>Tabla 1. 12</b> Resumen de esfuerzos de contacto para los ejes C y G .....	34
<b>Tabla 1. 13</b> Factores de seguridad calculados para las zapatas C-8, C-9, G-8 y G-9 .....	35
<b>Tabla 1. 14</b> Valores de capacidad portante admisible para los ejes C y G.....	35
<b>Tabla 1. 15</b> Valores de asentamientos totales por consolidación primaria .....	36
<b>Tabla 1. 16</b> Valores de los esfuerzos de contacto modificados para el eje C .....	37
<b>Tabla 1. 17</b> Valores de los esfuerzos de contacto modificados para el eje G .....	37
<b>Tabla 1. 18</b> Valores del factor de influencia en función de m y n.....	51

### **CAPÍTULO 2. CONSTRUCCIÓN FUNDACIÓN ACADEMIA MUSICAL LA ESCALA**

<b>Tabla 2. 1</b> Características Físicas y mecánicas del Suelo Fino color Amarillo .....	72
<b>Tabla 2. 2</b> Características Físicas y mecánicas del Suelo Fino color Café Claro.....	73
<b>Tabla 2. 3</b> Características Físicas y mecánicas del Suelo Fino Amarillo con Vetas Grises .....	73
<b>Tabla 2. 4</b> Resumen de las principales características de los suelos encontrados.....	74
<b>Tabla 2. 5</b> Valores de capacidad portante para zapatas rectangulares .....	79

<b>Tabla 2. 6</b>	Valor del asentamiento por consolidación primaria para una zapata cuadrada	80
<b>Tabla 2. 7</b>	Valores de capacidad portante para zapatas corridas .....	81
<b>Tabla 2. 8</b>	Valor del asentamiento por consolidación primaria para una zapata corrida ...	81

### **CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN URBANIZACIÓN PORTAL DE LA COLINA**

<b>Tabla 3. 1</b>	Características Físicas y mecánicas suelo fino color gris .....	109
<b>Tabla 3. 2</b>	Características Físicas y mecánicas suelo fino color rosado.....	110
<b>Tabla 3. 3</b>	Características Físicas y mecánicas suelo fino color amarillo con vetas rojas .....	111
<b>Tabla 3. 4</b>	Características Físicas y mecánicas suelo fino color café oscuro .....	112
<b>Tabla 3. 5</b>	Resumen de características Físicas y mecánicas de los suelos encontrados	113
<b>Tabla 3. 6</b>	Valores de Capacidad Portante para diferentes B en la Terraza # 2 y 3 .....	117
<b>Tabla 3. 7</b>	Valores de Capacidad Portante para diferentes valores de B en la Terraza # 3 .....	119

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1. ESTUDIO Y REVISIÓN GEOTÉCNICA EDIFICIO LABORATORIOS DE FÍSICA-QUÍMICA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

<b>Figura 1. 1</b> Dimensiones de las zapatas actuales.....	5
<b>Figura 1. 2</b> Representación espacial de la estructura.....	6
<b>Figura 1. 3</b> Grietas en paredes y pisos.....	7
<b>Figura 1. 4</b> Asentamiento diferencial entre ejes G y C para cada pórtico .....	8
<b>Figura 1. 5</b> Puntos intermedios entre columnas donde se realizó la nivelación adicional ..	9
<b>Figura 1. 6</b> Perfil de asentamientos sufridos en la estructura en el pórtico G .....	9
<b>Figura 1. 7</b> Perfil de asentamientos sufridos en la estructura en el pórtico C .....	10
<b>Figura 1. 8</b> Perforación con equipo manual.....	12
<b>Figura 1. 9</b> Muestreo con tubo Shelby.....	13
<b>Figura 1. 10</b> Perfil estratigráfico deducido de la primera zona.....	15
<b>Figura 1. 11</b> Relleno suelo fino color rojizo .....	16
<b>Figura 1. 12</b> Relleno de escombros.....	16
<b>Figura 1. 13</b> Relleno de roca muerta .....	17
<b>Figura 1. 14</b> Trozo de carpeta asfáltica .....	17
<b>Figura 1. 15</b> Nivel freático .....	19
<b>Figura 1. 16</b> Perfil estratigráfico deducido de la segunda zona .....	20
<b>Figura 1. 17</b> Relleno suelo fino color negro.....	21
<b>Figura 1. 18</b> Relleno suelo fino color rojizo .....	21
<b>Figura 1. 19</b> Suelo fino color café .....	22
<b>Figura 1. 20</b> Perfil estratigráfico deducido de la tercera zona.....	24
<b>Figura 1. 21</b> Relleno de escombros.....	25
<b>Figura 1. 22</b> Relleno roca muerta .....	25
<b>Figura 1. 23</b> Suelo fino color café .....	26
<b>Figura 1. 24</b> Suelo fino color rojizo .....	27
<b>Figura 1. 25</b> Valores de los esfuerzos de contacto estructura-suelo para el eje C .....	33
<b>Figura 1. 26</b> Valores de los esfuerzos de contacto estructura-suelo para el eje G.....	34

<b>Figura 1. 27</b>	Perfil estratigráfico deducido de la primera zona.....	41
<b>Figura 1. 28</b>	Perfil estratigráfico deducido de la segunda zona .....	42
<b>Figura 1. 29</b>	Perfil estratigráfico deducido de la tercera zona.....	43
<b>Figura 1. 30</b>	Perfil de cálculo de capacidad portante para el eje C .....	44
<b>Figura 1. 31</b>	Perfil de cálculo de capacidad portante para el eje G .....	46
<b>Figura 1. 32</b>	Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación para el eje C.....	48
<b>Figura 1. 33</b>	Vista en planta de la zapata C-9 .....	50
<b>Figura 1. 34</b>	Valor del factor de influencia en función de m y n .....	53
<b>Figura 1. 35</b>	Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación para el eje G.....	56
<b>Figura 1. 36</b>	Vista en planta de la zapata G-9.....	57

## **CAPÍTULO 2. CONSTRUCCIÓN FUNDACIÓN ACADEMIA MUSICAL LA ESCALA**

<b>Figura 2. 1</b>	Vista del lote donde se proyecta la construcción.....	65
<b>Figura 2. 2</b>	Perforación con equipo manual.....	67
<b>Figura 2. 3</b>	Muestreo con tubo Shelby.....	68
<b>Figura 2. 4</b>	Perfil estratigráfico deducido .....	70
<b>Figura 2. 5</b>	Relleno suelo fino café mezclado con escombros.....	71
<b>Figura 2. 6</b>	Suelo fino color amarillo .....	71
<b>Figura 2. 7</b>	Suelo fino color café claro .....	72
<b>Figura 2. 8</b>	Nivel Freático .....	74
<b>Figura 2. 9</b>	Localización en planta de los Sondeos.....	84
<b>Figura 2. 10</b>	Columna estratigráfica del Sondeo No. 1 .....	85
<b>Figura 2. 11</b>	Columna estratigráfica del Sondeo No. 2 .....	86
<b>Figura 2. 12</b>	Perfil estratigráfico deducido .....	87
<b>Figura 2. 13</b>	Perfil de cálculo de capacidad portante .....	88
<b>Figura 2. 14</b>	Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación primaria para zapata cuadrada .....	91
<b>Figura 2. 15</b>	Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación primaria para zapata de longitud infinita .....	94

### **CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN URBANIZACIÓN PORTAL DE LA COLINA**

<b>Figura 3. 1</b> Vista del lote en estudio .....	99
<b>Figura 3. 2</b> Representación de las Terrazas en estudio .....	100
<b>Figura 3. 3</b> Vista de la Terraza # 1 .....	100
<b>Figura 3. 4</b> Vista de la Terraza # 2 .....	101
<b>Figura 3. 5</b> Vista de la Terraza # 3 .....	101
<b>Figura 3. 6</b> Perforación con equipo manual.....	104
<b>Figura 3. 7</b> Muestreo con tubo Shelby.....	105
<b>Figura 3. 8</b> Perfil estratigráfico deducido .....	107
<b>Figura 3. 9</b> Relleno de Suelo Fino color Habano .....	108
<b>Figura 3. 10</b> Suelo Fino color Gris .....	108
<b>Figura 3. 11</b> Suelo Fino color Rosado .....	109
<b>Figura 3. 12</b> Suelo Fino color Amarillo con Vetas Rojas.....	110
<b>Figura 3. 13</b> Suelo Fino color Café Oscuro .....	111
<b>Figura 3. 14</b> Nivel Freático .....	112
<b>Figura 3. 15</b> Esquema de las recomendaciones para las franjas de la cimentación .....	116
<b>Figura 3. 16</b> Representación de la distancia b .....	118
<b>Figura 3. 17</b> Esquema del muro de contención entre terrazas .....	120
<b>Figura 3. 18</b> Representación del acabado final para la Terraza # 1 .....	121
<b>Figura 3. 19</b> Representación del acabado final para la Terraza # 2 y Terraza # 3 .....	121
<b>Figura 3. 20</b> Localización en planta de los sondeos .....	123
<b>Figura 3. 21</b> Columna estratigráfica del sondeo No.1 .....	124
<b>Figura 3. 22</b> Columna estratigráfica del sondeo No.2.....	125
<b>Figura 3. 23</b> Columna estratigráfica del sondeo No.3.....	126
<b>Figura 3. 24</b> Columna estratigráfica del sondeo No.4.....	127
<b>Figura 3. 25</b> Perfil estratigráfico deducido .....	128
<b>Figura 3. 26</b> Perfil de cálculo para las Terrazas # 1 y # 2.....	129
<b>Figura 3. 27</b> Perfil de cálculo para la Terraza # 3 .....	131

## **CAPÍTULO 1**

**ESTUDIO Y REVISIÓN GEOTÉCNICA  
EDIFICIO LABORATORIOS DE FISICA-QUIMICA  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA**

## 1. Introducción

Cualquier obra construida por el hombre está soportada por el suelo o roca de la corteza terrestre. El comportamiento de una estructura es función de todos los elementos que intervienen en el análisis: la superestructura, subestructura, cimentación o fundación. Un aspecto negativo de una fundación no satisfactoria consiste en la aparición de defectos y fallas incluso una vez que la obra se encuentra en uso (Guardo, 1999).

Para solucionar o atenuar la aparición de estos problemas se hacen necesarios estudios geotécnicos que permitan identificar si sus causas se encuentran relacionadas con la falta de capacidad de carga del suelo de cimentación o si por el contrario los problemas se derivan del mal diseño o construcción de la estructura.

Este capítulo obedece a la solicitud de las directivas de la Universidad del Cauca, preocupadas por los problemas de fisuramiento de muros, grietas en pisos y deformaciones notorias a nivel de pisos y ventanas, en el Edificio de laboratorios de Física y Química localizado dentro del campus universitario Tulcán.

El estudio, se ha efectuado con la finalidad de conocer la estratigrafía del suelo de cimentación, examinar las propiedades geotécnicas del suelo y evaluar el diseño de la cimentación existente bajo las condiciones actuales del suelo presente. A partir de los resultados obtenidos se pudo concluir sobre el comportamiento de la cimentación y se dan las recomendaciones pertinentes, con el fin de tomar las medidas correctivas para este caso particular.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Realizar el estudio geotécnico y la revisión de la cimentación para las actuales condiciones de sitio, en el Edificio de laboratorios de Física y Química de la Universidad del Cauca.

### **2.2. Objetivos específicos**

2.2.1. Determinar la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas del suelo de cimentación del sitio donde está construida la estructura.

2.2.2. Calcular las capacidades de carga del suelo de cimentación y determinar el factor de seguridad con que está trabajando la actual cimentación.

2.2.3. Calcular el asentamiento por consolidación que ha sufrido la estructura actual y analizar si este es una de las causas del actual problema.

2.2.4. Analizar el comportamiento del suelo bajo las actuales cargas y dar las recomendaciones necesarias para solucionar el problema desde el punto de vista geotécnico en concordancia con una solución de tipo estructural concertada con los Ingenieros estructurales involucrados en este estudio.

### **3. Descripción del sitio y de la estructura**

#### **3.1. Localización**

El Edificio de Laboratorios de Física y Química se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad del Cauca, en la dirección Carrera 2 N° 4N-140 de la Ciudad de Popayán, Departamento del Cauca.

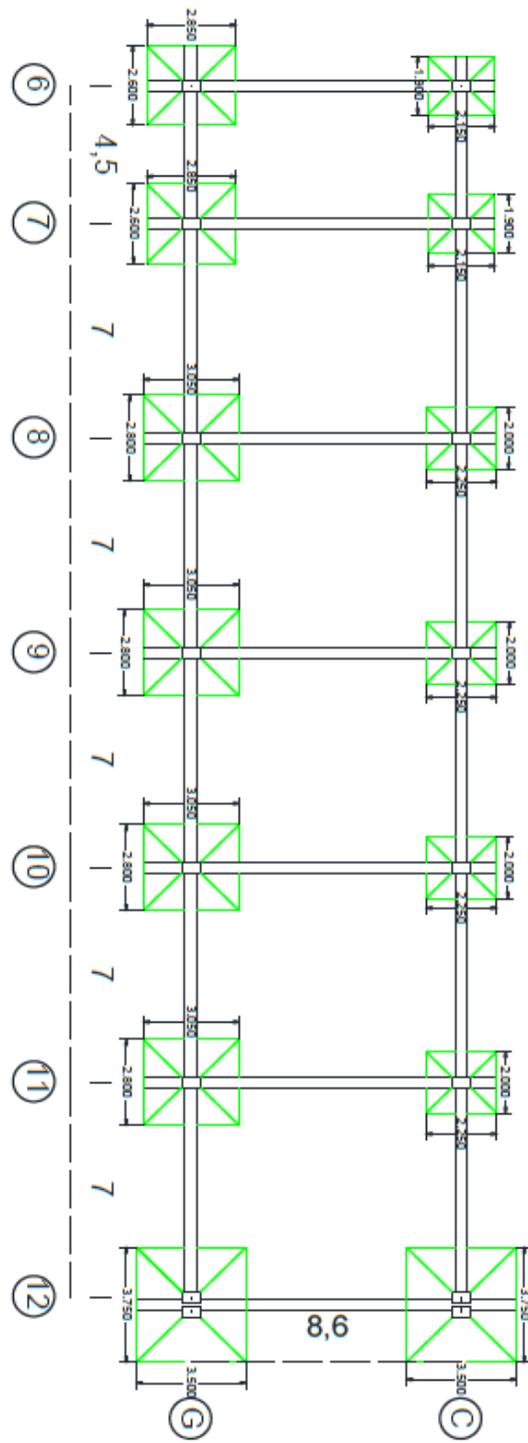
#### **3.2. Tipo de estructura**

La estructura es de tipo aporticada con vigas y columnas de concreto reforzado, losa de entrepiso también en concreto reforzado, cimentada sobre zapatas rectangulares individuales.

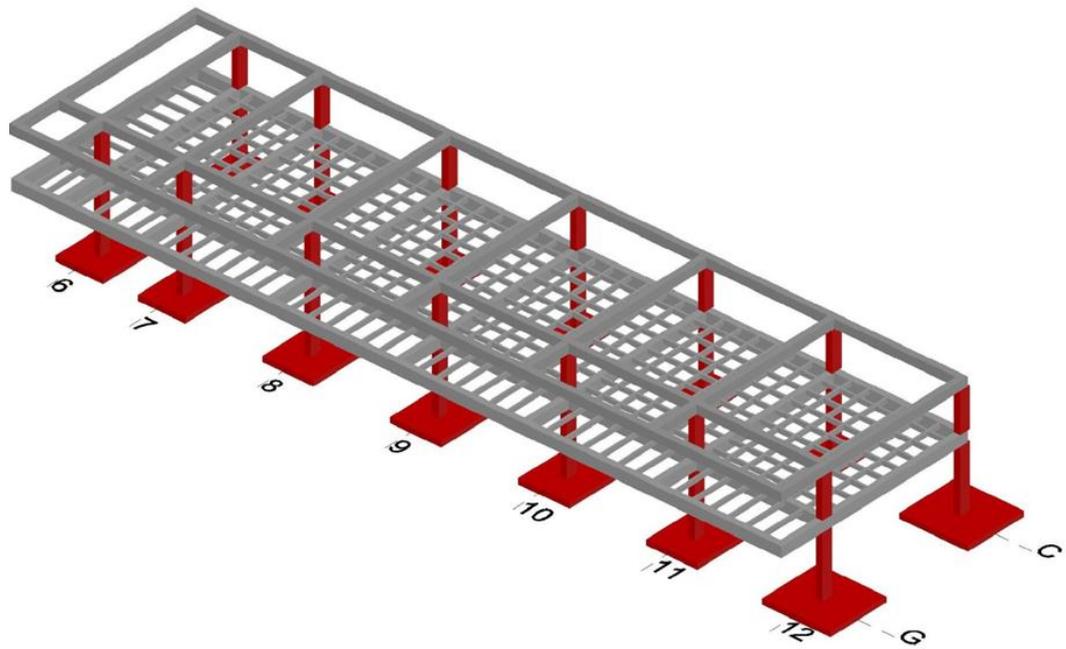
Las instalaciones del edificio son utilizadas para fines académicos, tales como, laboratorios y oficinas.

La Estructura se encuentra cimentada sobre zapatas superficiales de forma cuadrada y rectangular de diferentes anchos y relaciones B/L, las zapatas del eje C son más pequeñas que las zapatas del eje G. En general las zapatas tienen un ancho (B) entre 1.80 m – 3.75 m y un largo (L) entre 2.15 m – 3.50 m.

En la Figura 1.1 se aprecian claramente las dimensiones actuales de todas las zapatas.



**Figura 1. 1** Dimensiones de las zapatas actuales  
Fuente: López, 2012



**Figura 1. 2** Representación espacial de la estructura  
Fuente: Narváez y Salazar, 2013

### 3.3. Daños presentes

Actualmente el edificio presenta asentamientos diferenciales de la estructura y deformaciones visibles, las cuales han generado daños en ventanas y puertas, grietas en paredes y pisos, provocando una constante preocupación por parte de los usuarios del mismo. Lo anterior se puede observar en las imágenes de la Figura 1.3.



**Figura 1. 3** Grietas en paredes y pisos

A continuación se presentará el trabajo de nivelación que se realizó para determinar los asentamientos diferenciales en la estructura.

Se utilizó un nivel de precisión para la nivelación de las columnas que conforman los pórticos del bloque central del edificio de laboratorios (Narváez y Salazar 2013).

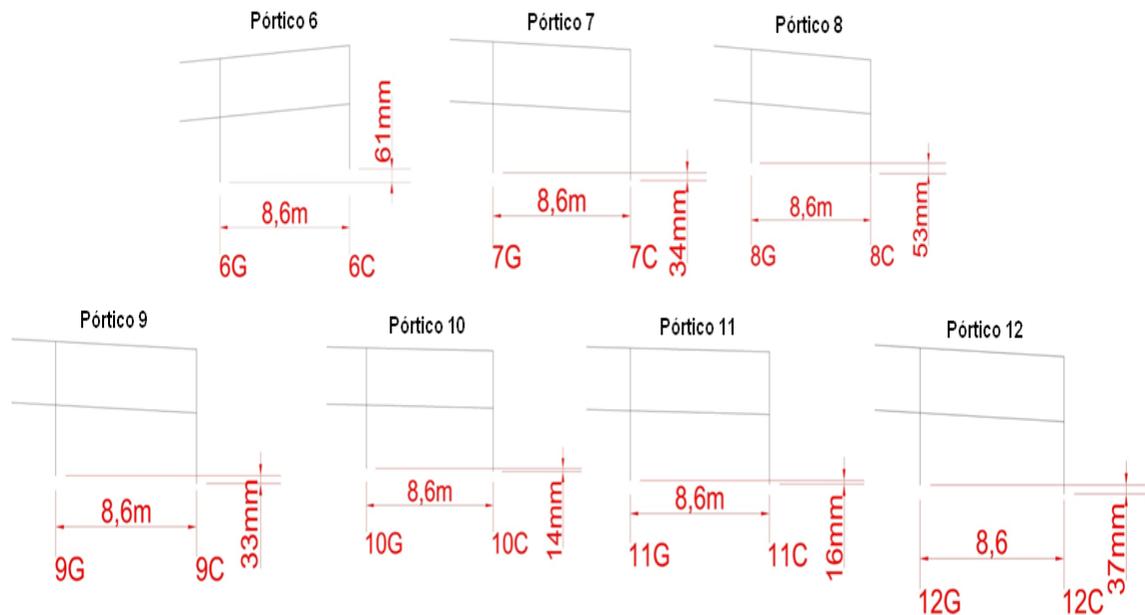
Las siguientes cotas son referenciadas a un punto fijo o BM, que está junto a la edificación, al cual se le dio la cota 100(m) puesto que no se cuenta con una nivelación inicial o un registro de cotas al momento de la construcción, de esta

manera podremos determinar cuáles son los asentamientos diferenciales que generan agrietamientos en los muros (Narváez y Salazar 2013).

**Tabla 1. 1** Asentamientos diferenciales de los pórticos cortos

PORTICO	COTA DE COLUMNA A NIVEL DE PISO (m)		ASENTAMIENTO DIFERENCIAL (mm)
	Pórtico G	Pórtico C	
6	99.418	99.479	61
7	99.448	99.414	34
8	99.441	99.388	53
9	99.461	99.428	33
10	99.457	99.443	14
11	99.462	99.446	16
12	99.452	99.415	37

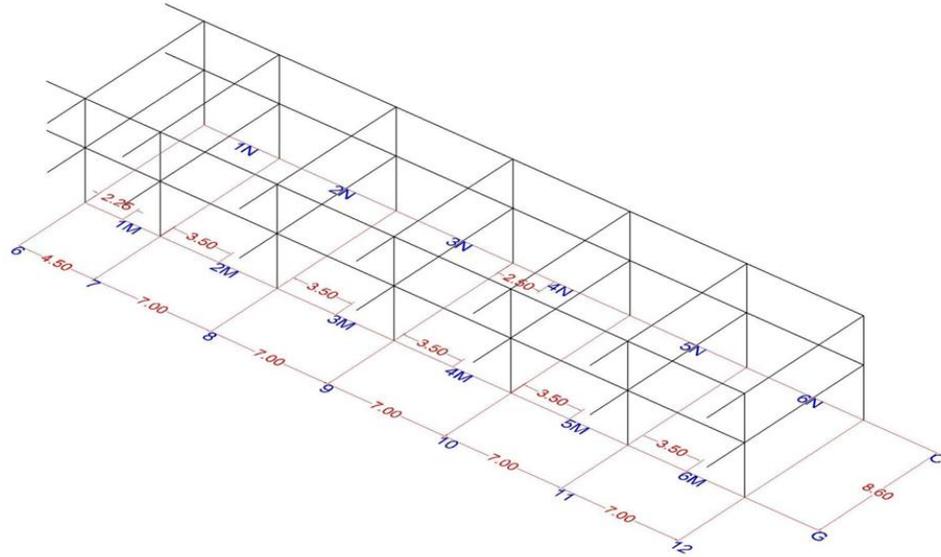
Fuente: Narváez y Salazar, 2013



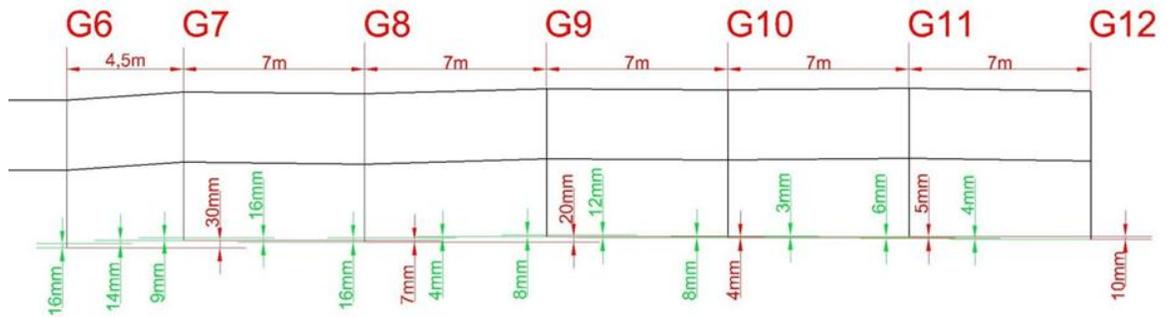
**Figura 1. 4** Asentamiento diferencial entre ejes G y C para cada pórtico

Fuente: Narváez y Salazar, 2013

Adicionalmente se nivelaron puntos intermedios, los cuales se muestran a continuación.

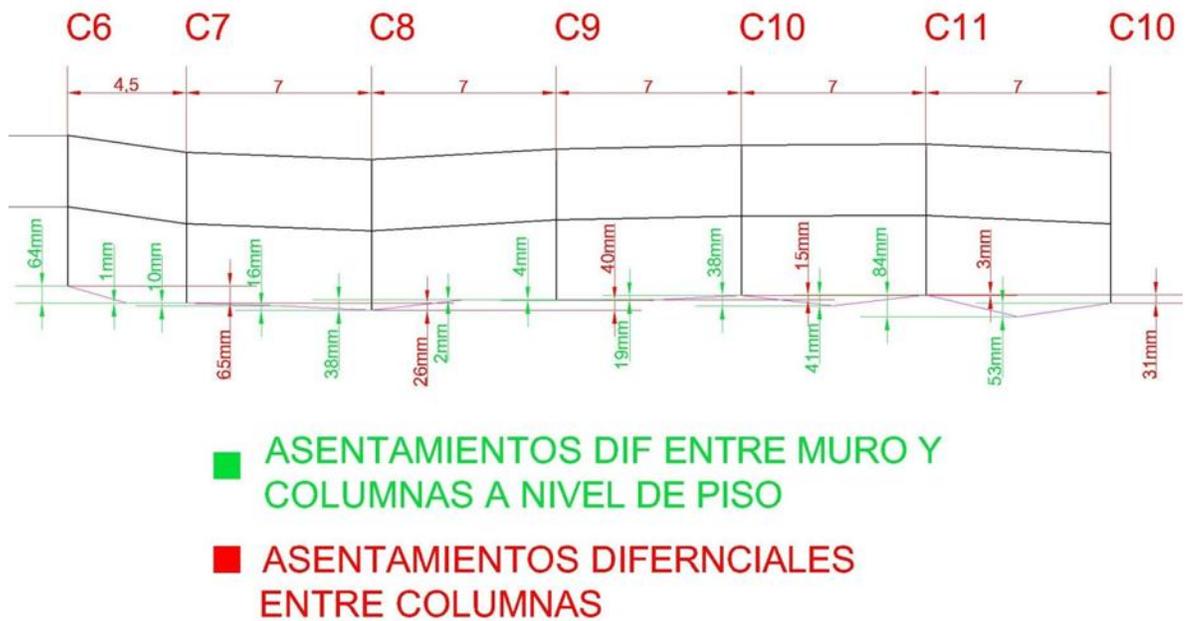


**Figura 1. 5** Puntos intermedios entre columnas donde se realizó la nivelación adicional  
Fuente: Narváez y Salazar, 2013



- ASENTAMIENTOS DIF ENTRE MURO Y COLUMNAS A NIVEL DE PISO
- ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES ENTRE COLUMNAS

**Figura 1. 6** Perfil de asentamientos sufridos en la estructura en el pórtico G  
Fuente: Narváez y Salazar, 2013



**Figura 1. 7** Perfil de asentamientos sufridos en la estructura en el p3rtico C  
 Fuente: Narv3ez y Salazar, 2013

## 4. Metodología

Se realizó un trabajo de campo que consistió en nueve perforaciones con equipo manual y cuatro apiques. Además se realizaron los ensayos de laboratorio necesarios para definir: la estratigrafía del suelo de cimentación, la posición del nivel de aguas freáticas y las propiedades físicas y mecánicas del suelo, parámetros con los que se calculó la capacidad portante del suelo y se buscó la solución al problema de asentamiento presentado.

### 4.1. Trabajo de campo

Con el fin de recopilar la información necesaria para determinar la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio, se llevaron a cabo las siguientes actividades.

#### 4.1.1. *Exploración de Campo*

Se realizó un reconocimiento del edificio donde se observaron los puntos donde el asentamiento era más crítico, y los agrietamientos mayores, se determinaron y ubicaron los puntos a perforar, tal como se indica en los planos que aparecen en el Anexo 1.

#### 4.1.2. *Perforaciones*

Se programaron para este proyecto nueve (9) perforaciones y cuatro apiques, efectuadas con equipo manual (barreno helicoidal, y varillaje de extensión), a profundidades variables de acuerdo a las condiciones presentes en los suelos encontrados, tal como se indica en las imágenes de la Figura 1.8.

#### 4.1.3. *Muestreo*

Durante el trabajo de campo se tomaron muestras inalteradas con tubos Shelby, y muestras alteradas en bolsas plásticas, a las profundidades indicadas en los registros de perforación para cada sondeo (ver imágenes de la Figura 1.9).



**Figura 1. 8** Perforación con equipo manual  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1. 9** Muestreo con tubo Shelby  
Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas, se llevaron al laboratorio de suelos, en donde se desarrollaron las siguientes pruebas:

- Humedad Natural.
- Límites de Atterberg.
- Peso Unitario.
- Compresión Inconfinada.
- Consolidación de Suelos.
- Gravedad Específica.

## 5. Estratigrafía y resultados de caracterización de los suelos encontrados

### 5.1. Estratigrafía y propiedades de los suelos

Dadas las características de los suelos encontrados, el sitio en estudio se dividió en tres zonas, cada una de ellas con su respectivo perfil de suelos.

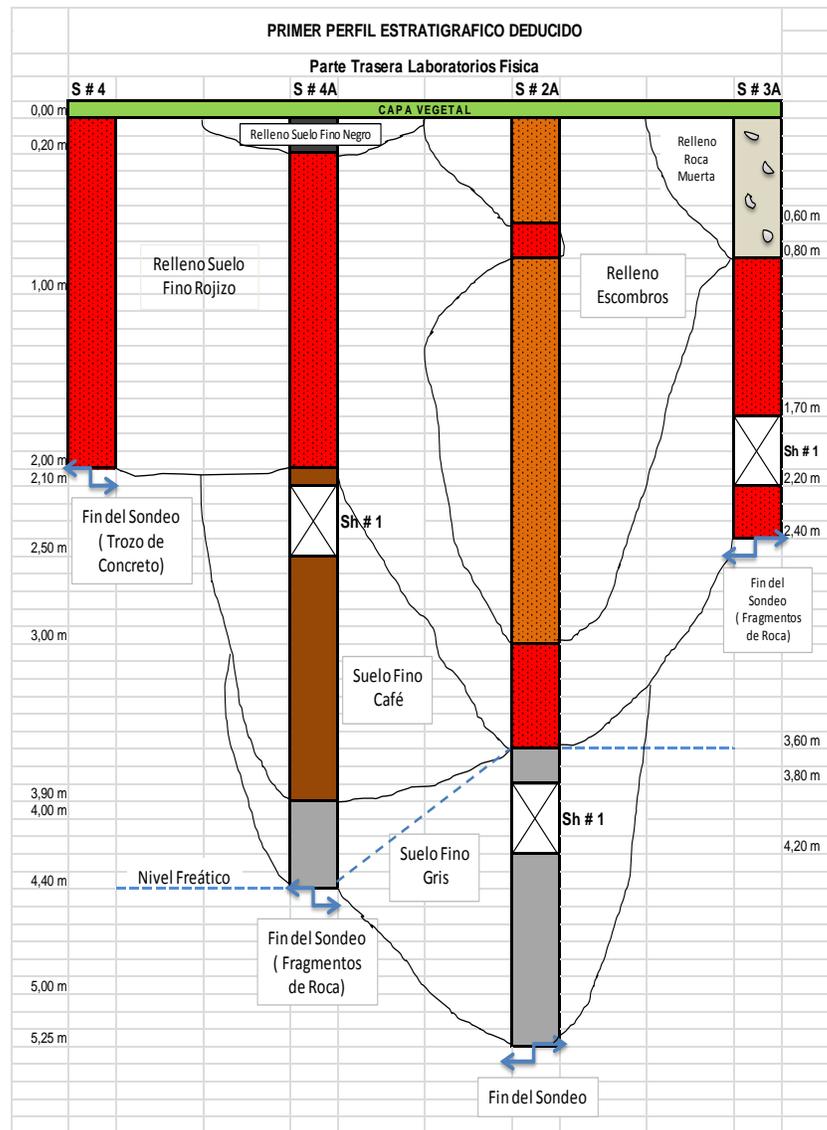
La primera zona corresponde a la parte sur del edificio ubicada detrás de los laboratorios de física, la segunda zona se ubica al norte de la estructura o parte delantera de los laboratorios de física y la tercera zona es la parte posterior del laboratorio de óptica ubicada al sur oriente del edificio. Los perfiles estratigráficos obtenidos a partir del trabajo de campo y de los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras extraídas, señalan una distribución heterogénea a lo largo y ancho de las respectivas áreas en cuestión.

- El primer perfil (primera zona), está conformado básicamente por la capa vegetal en la parte más superficial, seguido de un relleno de suelo fino rojizo y en otro sector relleno de escombros con roca muerta. Posteriormente se encontró un suelo fino café y a una profundidad mayor un suelo fino gris.
- El segundo perfil (segunda zona), está conformado por una capa vegetal en la superficie, seguido de un relleno de suelo fino color negro y en algunos sectores escombros. Posteriormente hay un relleno de suelo fino rojizo y finalmente un suelo fino negro y en otros sectores un suelo fino café.
- El tercer perfil (tercera zona), está conformado por una pequeña capa vegetal en la parte superficial, seguida de una combinación de rellenos encontrados; relleno de roca muerta con escombros. Posteriormente se encuentran un suelo fino café, un suelo fino rojizo, un suelo fino gris y un suelo fino negro.

A continuación se describen las características de los diferentes estratos de suelo.

#### 5.1.1. Primera Zona

Tal como se puede observar en la Figura 1.10, el perfil de suelos de esta zona se puede considerar conformado de la siguiente manera:



**Figura 1. 10** Perfil estratigráfico deducido de la primera zona  
Fuente: Elaboración propia

**Primer estrato:**

Corresponde a un relleno de suelo fino color rojizo, tiene un espesor promedio de 1,24m y está cubierto por la capa vegetal (ver Figura 1.11).



**Figura 1. 11** Relleno suelo fino color rojizo

#### ✚ Segundo estrato

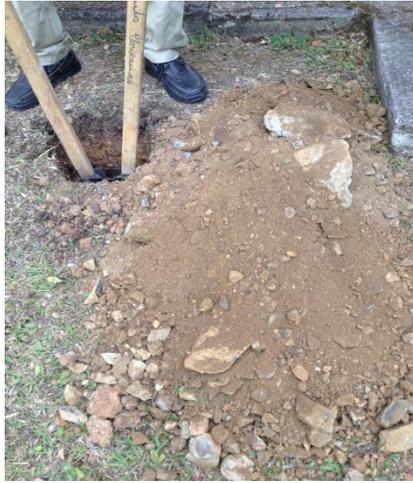
Este estrato está constituido por dos tipos de relleno; un relleno de escombros (Figura 1.12) y un relleno de roca muerta (Figura 1.13):

El relleno de escombros tiene un espesor promedio de 1,58m.



**Figura 1. 12** Relleno de escombros

El relleno de roca muerta tiene un espesor promedio de 1,28m.



**Figura 1. 13** Relleno de roca muerta

En algunos lugares se encontraron trozos de carpeta asfáltica, al parecer de una vía antigua, debajo del relleno tal y como se observa en la Figura 1.14.



**Figura 1. 14** Trozo de carpeta asfáltica

#### Tercer estrato

Esta capa está constituida por un suelo fino color café que tiene un espesor promedio de 1,15m.

Este suelo tiene una humedad media y posee una consistencia de media a baja. Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo se presentan en la Tabla 1.2.

**Tabla 1. 2** Características Físicas y mecánicas tercer estrato, primera zona

Característica	Valor
Humedad (%)	58.3
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.72
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.09
Resistencia a la Comprensión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.36

Fuente: Elaboración propia

#### Cuarto estrato

Esta capa está constituida por un suelo fino color gris que tiene un espesor superior a 1,65m.

Este suelo tiene una humedad media – alta y posee una consistencia de media a baja.

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 1. 3** Características Físicas y mecánicas cuarto estrato, primera zona

Característica	Valor
Humedad (%)	62.2
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.71
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.06
Resistencia a la Comprensión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.38

Fuente: Elaboración propia

#### Nivel freático

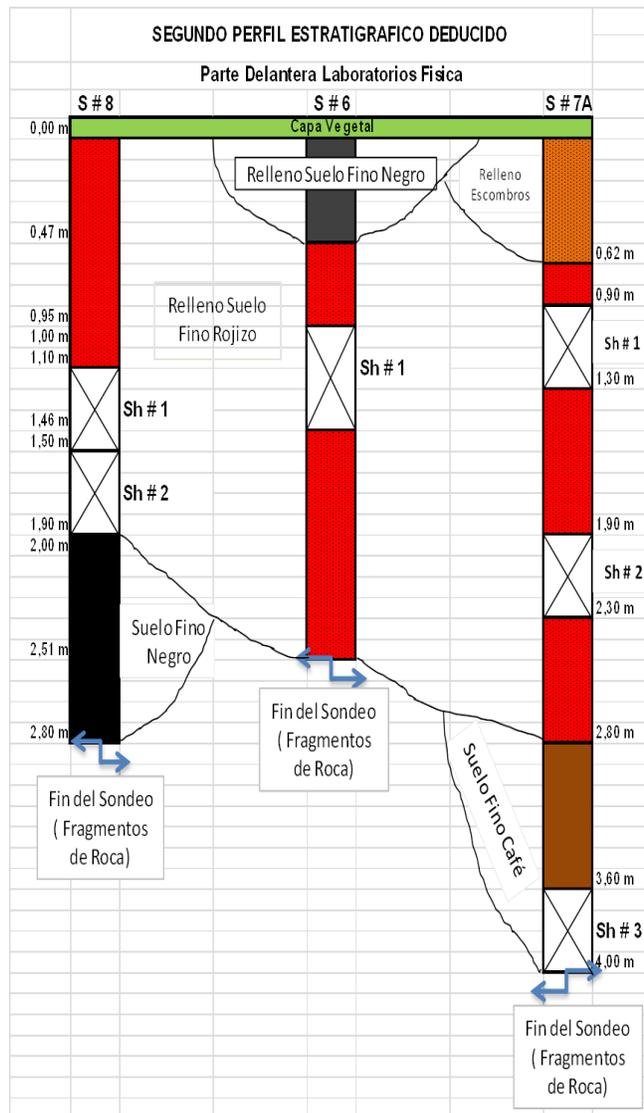
El nivel freático a la fecha de realización de las perforaciones entre el 04 y 05 de octubre de 2012, se encontró a una profundidad de 3,80 – 4,0 m (Figura 1.15).



**Figura 1. 15** Nivel freático

#### *5.1.2. Segunda Zona*

Tal como se puede observar en la Figura 1.16, el perfil de suelos de esta zona se puede considerar conformado de la siguiente manera:



**Figura 1. 16** Perfil estratigráfico deducido de la segunda zona  
Fuente: Elaboración propia

 Primer estrato

Corresponde a un relleno de suelo fino color negro con escombros, tiene un espesor promedio de 0,62m y está cubierto por la capa vegetal.



**Figura 1. 17** Relleno suelo fino color negro

#### ✚ Segundo estrato

Este estrato está constituido por un relleno de suelo fino color rojizo superficialmente suelto pero a medida que avanza la profundidad se compacta un poco, además su humedad es media – baja y su consistencia es alta.



**Figura 1. 18** Relleno suelo fino color rojizo

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1. 4** Características Físicas y mecánicas segundo estrato, segunda zona

Característica	Valor
Humedad (%)	35.2 – 48.6
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.71 – 1.88
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.17 – 1.36
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.65 – 6.34

Fuente: Elaboración propia

### ✚ Tercer estrato

Esta capa está constituida por un suelo fino color café que tiene un espesor superior a 1,5m. Este suelo tiene una humedad media y posee una consistencia de media – alta.



**Figura 1. 19** Suelo fino color café

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1. 5** Características Físicas y mecánicas tercer estrato, segunda zona

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Humedad (%)	45.4
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.78
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.23
Resistencia a la Comprensión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.93

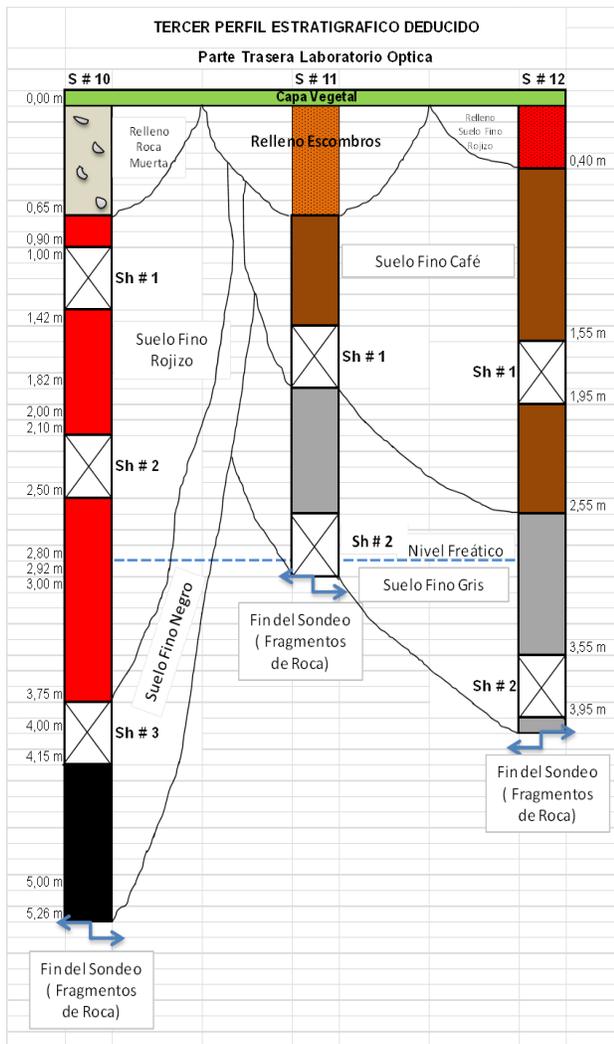
Fuente: Elaboración propia

#### Nivel freático

El nivel freático a la fecha de realización de las perforaciones entre el 04 y 05 de octubre de 2012, no fue encontrado.

#### 5.1.3. Tercera Zona

Tal como se puede observar en la Figura 1.20, el perfil de suelos de esta zona se puede considerar conformado de la siguiente manera:



**Figura 1. 20** Perfil estratigráfico deducido de la tercera zona  
Fuente: Elaboración propia

#### ✚ Primer estrato

Este estrato está constituido por dos tipos de relleno; un relleno de escombros y un relleno de roca muerta.

El relleno de escombros tiene un espesor promedio de 0,7m.



**Figura 1. 21** Relleno de escombros

El relleno de roca muerta tiene un espesor promedio de 0,7m.



**Figura 1. 22** Relleno roca muerta

#### ✚ Segundo estrato

Esta capa está constituida por un suelo fino color café que tiene un espesor promedio de 2,5m. Este suelo tiene una humedad media y posee una consistencia alta.



**Figura 1. 23** Suelo fino color café

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1. 6** Características Físicas y mecánicas segundo estrato, tercera zona

Característica	Valor
Humedad (%)	40.2 – 50.7
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.72 – 1.78
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.14 – 1.27
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.08 – 3.43

Fuente: Elaboración propia

#### ✚ Tercer estrato

Esta capa está constituida por un suelo fino color rojizo que tiene un espesor promedio de 3,1m. Este suelo tiene una humedad media – baja y posee una consistencia alta.



**Figura 1. 24** Suelo fino color rojizo

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1. 7** Características Físicas y mecánicas segundo estrato, tercera zona

Característica	Valor
Humedad (%)	45.0
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.75
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.20
Resistencia a la Comprensión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.31

Fuente: Elaboración propia

#### Cuarto estrato

Esta capa está constituida por un suelo fino color gris que tiene un espesor superior a 1,5m.

Este suelo tiene una humedad media – alta y posee una consistencia baja.

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1. 8** Características Físicas y mecánicas cuarto estrato, tercera zona

Característica	Valor
Humedad (%)	46.5 – 79.5
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.51 – 1.77
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.84 – 1.21
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.32 – 0.54

Fuente: Elaboración propia

#### Nivel freático

El nivel freático a la fecha de realización de las perforaciones entre el 04 y 05 de octubre de 2012, se encontró a una profundidad de 2,80m.

A continuación se presentan tres tablas resumen donde se visualizan las características principales de los suelos encontrados:

**Tabla 1. 9** Resumen de características Físicas y mecánicas primera zona

PRIMER PERFIL					
Prof (m)	Wn (%)	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Ym (gr/cm <sup>3</sup> )	Yd (gr/cm <sup>3</sup> )	Descripción
Sondeo Manual No. 4 A					
2,1 - 2,5	58,30	0,36	1,72	1,09	Suelo Fino Café
Sondeo Manual No. 2 A					
3,8 - 4,2	62,20	0,38	1,71	1,06	Suelo Fino Gris
Sondeo Manual No. 3 A					
1,6 - 2,0	44,40	1,23	1,83	1,27	Relleno Suelo Fino Rojizo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1. 10** Resumen de características Físicas y mecánicas segunda zona

SEGUNDO PERFIL					
Prof (m)	Wn (%)	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Ym (gr/cm <sup>3</sup> )	Yd (gr/cm <sup>3</sup> )	Descripción
<b>Sondeo Manual No. 8</b>					
1,1 - 1,5	35,20	6,34	1,81	1,34	Relleno Suelo Fino Rojizo
1,5 - 1,9	38,20	5,20	1,83	1,32	Relleno Suelo Fino Rojizo
<b>Sondeo Manual No. 7 A</b>					
0,9 - 1,3	38,10	2,06	1,88	1,36	Relleno Suelo Fino Rojizo
1,9 - 2,3	48,60	0,65	1,74	1,17	Relleno Suelo Fino Rojizo
3,6 - 4,0	45,40	0,93	1,78	1,23	Suelo Fino Café
<b>Sondeo Manual No. 6</b>					
0,95 - 1,46	42,90	2,63	1,71	1,20	Relleno Suelo Fino Rojizo

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1. 11** Resumen de características Físicas y mecánicas tercera zona

TERCER PERFIL					
Prof (m)	Wn (%)	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	Ym (gr/cm <sup>3</sup> )	Yd (gr/cm <sup>3</sup> )	Descripción
<b>Sondeo Manual No. 12</b>					
1,55 - 1,95	40,20	3,08	1,78	1,27	Suelo Fino Café
3,55 - 3,95	46,50	0,54	1,77	1,21	Suelo Fino Gris
<b>Sondeo Manual No. 10</b>					
0,9 - 1,3	45,00	2,31	1,75	1,20	Suelo Fino Rojizo
2,1 - 2,5	68,10	0,44	1,45	0,86	Suelo Fino Rojizo
3,75 - 4,15	45,50	0,47	1,78	1,23	Suelo Fino Negro
<b>Sondeo Manual No. 11</b>					
1,42 - 1,82	50,70	3,43	1,72	1,14	Suelo Fino Café
2,52 - 2,92	79,50	0,32	1,51	0,84	Suelo Fino Gris

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la Humedad Natural, el Limite Líquido, el Índice de Plasticidad, la Masa Unitaria Seca y Húmeda, la Resistencia a la Compresión Inconfinada y la Profundidad, se observaron las siguientes características de los suelos encontrados:

- Superficialmente, aparece la capa vegetal, en la cual se observó un relleno de escombros y roca muerta.
- En general la Humedad Natural es media – alta y aumenta con la Profundidad.
- La Resistencia en términos generales media y tiende a disminuir con la profundidad, debido al incremento en su contenido de agua.
- Estos suelos por su alto contenido de finos plásticos, no son susceptibles a la licuación.

## 6. Cálculo de capacidad portante y asentamientos

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio, se procedió a realizar los respectivos cálculos para determinar la capacidad portante y los asentamientos por consolidación primaria, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones teóricas.

### 6.1. Capacidad Portante

Para el cálculo de capacidad portante de los suelos correspondientes a este estudio, se ha utilizado la teoría de Vésic, cuya mecánica consiste en hallar la capacidad portante última del suelo, y al aplicarle un correcto factor de seguridad, obtener la capacidad portante admisible.

#### 6.1.1. Teoría general de la Capacidad Portante

La mecánica consiste en hallar la capacidad de carga última del suelo, considerando la resistencia al corte de un perfil de suelos cohesivos, que al aplicarle un correcto factor de seguridad, se obtiene la capacidad portante admisible.

Las expresiones a usar son:

$$\sigma_u = 5.14 \times C \left( 1 + 0.2 \times \frac{B}{L} \right) \times \left( 1 + 0.4 \times \frac{Df}{B} \right) + \gamma \times Df$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS}$$

Siendo:

$\sigma_u$  y  $\sigma_p$ : Capacidades Portantes Última y Admisible, respectivamente.

C: Cohesión del suelo de fundación.

FS: Factor de seguridad.

$\gamma$  : Peso unitario del suelo.

Df: Profundidad de cimentación.

B: Ancho del cimiento.

L: Longitud del cimiento.

## 6.2. Teoría General de la Consolidación unidimensional

La consolidación es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por las solicitaciones de carga sobre el suelo. Estos incrementos de carga ocasionados por estructuras, inducen en los suelos saturados el drenaje, con la consecuente reducción del volumen de vacíos del suelo y cambio del volumen total del mismo. Este fenómeno, ocurre con el tiempo y depende entre otros de la magnitud de las cargas, del tipo de suelo y de su permeabilidad.

Esta teoría permite calcular el asentamiento por consolidación primaria, debido al drenaje de agua del suelo cuando este se somete a incrementos de carga. Las expresiones a usar son:

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} C_{cr} \log \left( \frac{\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A}{\sigma'_{oA}} \right)$$

$$\sigma'_{oA} = \gamma * h$$

$$\Delta\sigma_A = q * I_o \quad , \quad I_o = f \left( \frac{B}{Z}, \frac{L}{Z} \right)$$

Siendo:

$\sigma'_{oA}$ : Esfuerzo efectivo a mitad de la capa consolidable. (Ton/m<sup>2</sup>)

$\sigma'_c$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia. (Ton/m<sup>2</sup>)

$\Delta\sigma_A$ : Sobrecarga debida a la estructura. (Ton/m<sup>2</sup>)

q: Presión de contacto entre cimentación y suelo. (Ton/m<sup>2</sup>)

$I_o$ : Factor de influencia.

H: Espesor de la capa consolidable. (cm)

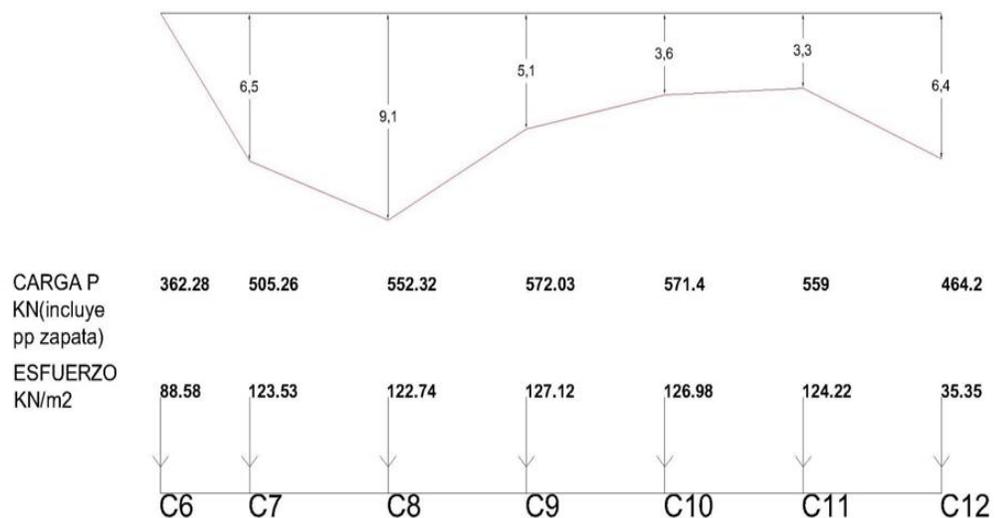
$\Delta H$ : Asentamiento por consolidación primaria. (cm)

Para efectos de cálculo, se tuvo en cuenta la información recolectada a través de todas las perforaciones y el conocimiento del tipo de estructura (aporticada). Con base en lo anterior se tomó la decisión de analizar los ejes más críticos y se definieron por lo tanto los perfiles estratigráficos para el eje C que corresponde a las zapatas C-8 y C-9 y otro perfil para el eje G que corresponde a las zapatas G-8 Y G-9.

Se tomaron las zapatas de los ejes 8 y 9 ya que son las que poseen esfuerzos de contacto estructura-suelo más críticos, deducidos a partir del trabajo realizado por Narvaez y Salazar (2013).

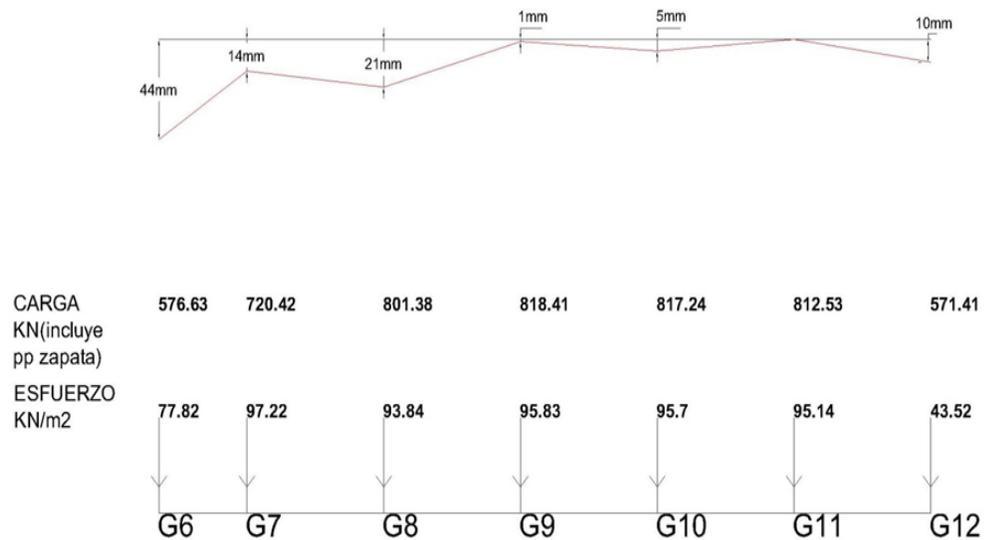
Los valores de estos esfuerzos de contacto se presentan a continuación en la Figura 1.25 y Figura 1.26.

- Pórtico C:



**Figura 1. 25** Valores de los esfuerzos de contacto estructura-suelo para el eje C  
Fuente: Narvaez y Salazar, 2013

- Pórtico G:



**Figura 1. 26** Valores de los esfuerzos de contacto estructura-suelo para el eje G  
Fuente: Narvaez y Salazar, 2013

A continuación se presenta una tabla resumen donde se muestran los esfuerzos de contacto en Ton/m<sup>2</sup> para los ejes C y G.

**Tabla 1. 12** Resumen de esfuerzos de contacto para los ejes C y G

Esfuerzo de Contacto (Ton/m <sup>2</sup> )	Eje C						
	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12
	8.86	12.35	12.27	12.71	12.70	12.42	3.54
Esfuerzo de Contacto (Ton/m <sup>2</sup> )	Eje G						
	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10	G-11	G-12
	7.78	9.72	9.38	9.58	9.57	9.51	4.35

Fuente: Elaboración propia

Todos los cálculos realizados para determinar la capacidad portante y para el chequeo de asentamiento por consolidación primaria se encuentran en la memoria de cálculos incluida dentro del Anexo 3.

## 7. Resultados

### 7.1. Análisis del comportamiento de la estructura

#### 7.1.1. Capacidad Portante

Con el fin de realizar el análisis de la Estructura, se decidió calcular el factor de seguridad por capacidad portante con que están trabajando las zapatas más cargadas y ubicadas en los sitios donde se detectaron los mayores problemas de asentamientos y agrietamientos en los muros. Las zapatas seleccionadas fueron las Zapatas, C-8, C-9, G-8 y G-9.

El procedimiento de cálculo de estos factores de seguridad se puede observar en el Anexo 3.

**Tabla 1. 13** Factores de seguridad calculados para las zapatas C-8, C-9, G-8 y G-9

Zapata	Capacidad Portante Ultima (Ton/m <sup>2</sup> )	Esfuerzo de Contacto Original (Ton/m <sup>2</sup> )	Factor de Seguridad de Trabajo
C-8	17.34	12.27	1.41
C-9		12.71	1.36
G-8	13.19	9.38	1.41
G-9		9.58	1.38

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se presentan los valores de capacidad portante admisible, calculados para diferentes factores de seguridad (ver Anexo 3), para las zapatas C-8, C-9, G-8 y G-9.

**Tabla 1. 14** Valores de capacidad portante admisible para los ejes C y G

Zapata	Esfuerzo de Contacto (Ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad Portante Ultima (Ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad Portante Admisible FS = 3.0 (Ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad Portante Admisible FS = 2.5 (Ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad Portante Admisible FS = 2.0 (Ton/m <sup>2</sup> )
C-8	12.27	17.34	5.78	6.94	8.67
C-9	12.71				
G-8	9.38	13.19	4.40	5.28	6.60
G-9	9.58				

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas 1.13 y 1.14 se observa que el valor de la capacidad portante admisible, con un factor de seguridad de 2, está por debajo del valor de los esfuerzos de contacto y los factores de seguridad con que trabajan las zapatas actualmente es muy pequeño, por lo tanto se considera que en la estructura se ha presentado en algunas zapatas falla por de capacidad portante del suelo de cimentación, lo cual ha ocasionado las deformaciones visibles, el fisuramiento de los muros y en general el mal comportamiento de la estructura.

### 7.1.2. Chequeo de asentamientos por consolidación primaria

En la Tabla 1.15 se muestran los valores de asentamiento total por consolidación primaria calculados para las zapatas más críticas de la estructura, de los cuales se puede deducir que los asentamientos por consolidación primaria no han sido la causa de los problemas presentes.

**Tabla 1. 15** Valores de asentamientos totales por consolidación primaria

Zapata	Asentamiento total (cm)
C-9	2.85
G-9	2.03

Fuente: Elaboración propia

## 7.2. Análisis geotécnico de la solución planteada

Con el fin de mejorar el comportamiento de la estructura se ha propuesto distribuir mejor las cargas de la misma, para que los esfuerzos de contacto en el suelo sean inferiores a los que tiene actualmente. Por lo anterior, en común acuerdo con el Ingeniero Estructural y los estudiantes encargados del Análisis estructural de esta estructura, se ha propuesto la construcción de 10 columnas adicionales con zapatas de 1.50 m por 1.50 m, para las cuales se calcularon los esfuerzos de contacto modificados dentro del trabajo realizado por los encargados del análisis estructural del edificio (Narvaez y Salazar, 2013). Las zapatas Nuevas están en los ejes 13, 14, 15, 16 y 17.

Teniendo en cuenta lo anterior, se presentan en la Tabla 1.16 y Tabla 1.17 los valores de los esfuerzos de contacto modificados para cada eje y las capacidades de carga calculadas utilizando un factor de seguridad de 2.0, debido a que se consideraron para el diseño las condiciones de resistencia del suelos más críticas.

**Tabla 1. 16** Valores de los esfuerzos de contacto modificados para el eje C

Eje C		
Zapata	Esfuerzo de Contacto Modificado (Ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad Portante Admisible FS = 2.0 (Ton/m <sup>2</sup> )
C-6	6.78	8.70
C-7	8.70	
C-8	8.38	
C-9	8.62	
C-10	8.61	
C-11	8.43	
C-12	2.40	
C-13	3.65	
C-14	3.72	
C-15	3.71	
C-16	3.73	
C-17	3.78	

Fuente: Adaptación de Narvaez y Salazar, 2013

**Tabla 1. 17** Valores de los esfuerzos de contacto modificados para el eje G

Eje G		
Zapata	Esfuerzo de Contacto Modificado (Ton/m <sup>2</sup> )	Capacidad Portante Admisible FS = 2.0 (Ton/m <sup>2</sup> )
G-6	6.68	6.60
G-7	7.29	
G-8	6.60	
G-9	6.70	
G-10	6.70	
G-11	6.63	
G-12	3.16	
G-13	6.17	
G-14	6.38	
G-15	6.37	
G-16	6.40	
G-17	6.48	

Fuente: Adaptación de Narvaez y Salazar, 2013

## 8. Conclusiones

- El problema de asentamientos o deformaciones importantes que ha sufrido la estructura se debe a la carencia de capacidad portante del suelo de cimentación comparado con la magnitud de los esfuerzos que genera la estructura a nivel de cimentación.
- Con base en los cálculos de asentamientos por consolidación determinados a partir del resultado de dos muestras de suelos tomadas en el sitio, se puede concluir que estos asentamientos son inferiores a los máximos permitidos, por lo tanto no son los responsables de los problemas presentes.
- La solución planteada de las 10 columnas nuevas es satisfactoria tanto estructuralmente como geotécnicamente y es a su vez una solución factible de construir, por el espacio disponible.
- Durante las perforaciones realizadas como parte de la exploración del suelos se pudo observar, que en varios sitios se construyeron rellenos con suelos de mala calidad (material granular proveniente del Rio Cauca con, escombros y trozos de carpeta asfáltica), mal compactados, situación que ha dado origen a daños en los piso y otros estructuras menores.

## Referencias y bibliografía de consulta

GUARDO POLO, José. 1999. Estudios geotécnicos, una necesidad en obras civiles. Ingeniería y desarrollo vol. 6. Universidad del Norte. Pp: 118.

LÓPEZ ROJAS, Wilinton. 2012. Evaluación estructural y estudio de vulnerabilidad sísmica del edificio de laboratorios de química, física y biología de la universidad del cauca (ejes 6-12). Proyecto de trabajo social. Universidad del Cauca. Pp: 31.

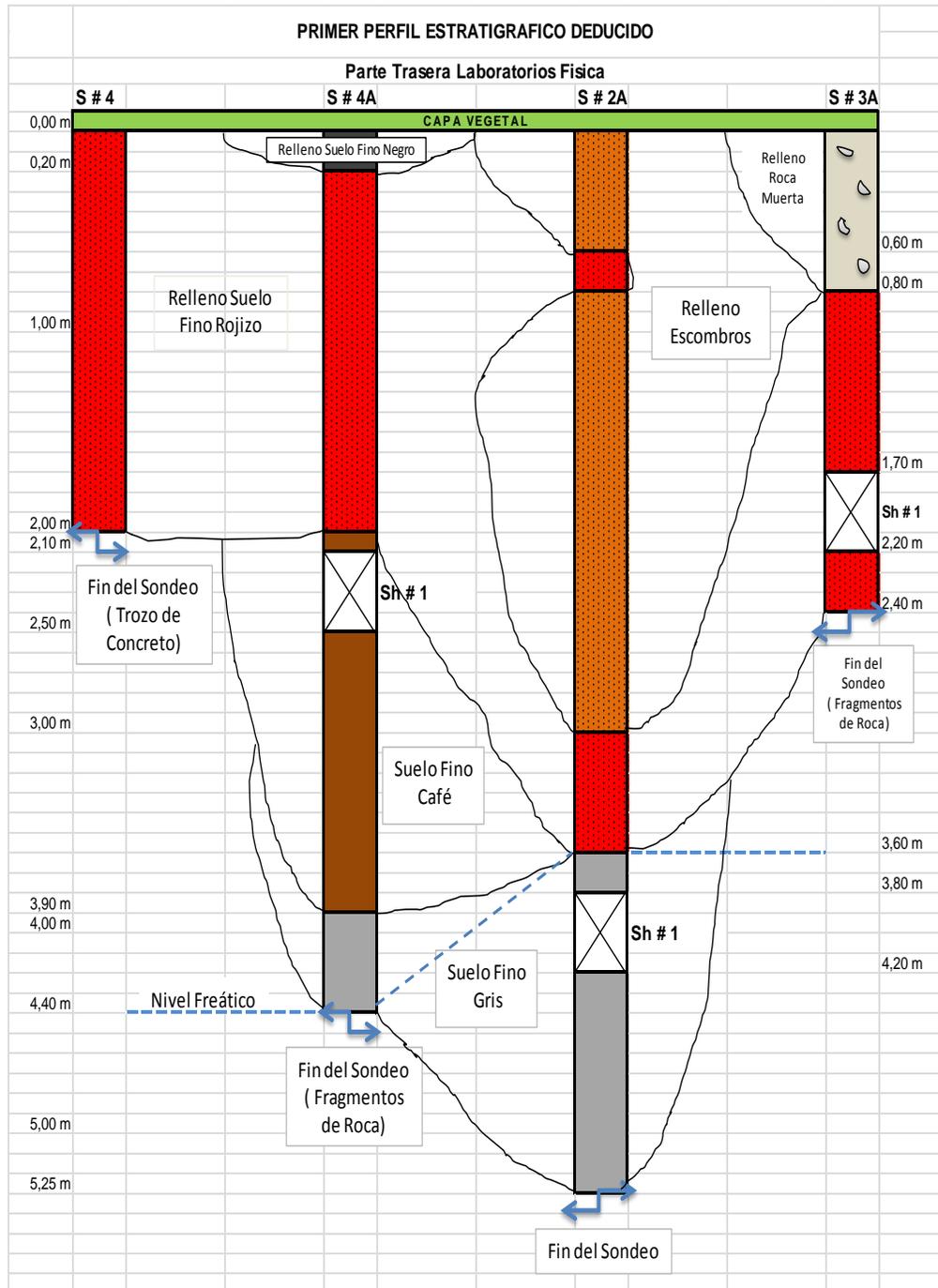
NARVAEZ, Juan Carlos. SALAZAR SANCHÉS, Rodrigo Andrés. 2013. Análisis del comportamiento estructural en la edificación del bloque central de los laboratorios de física y química de Tulcán. Proyecto de trabajo social. Universidad del Cauca. Pp: 16-20, 23.

POLANCO DE HURTADO, Margarita. Notas de clase. Fundaciones. Universidad del Cauca.

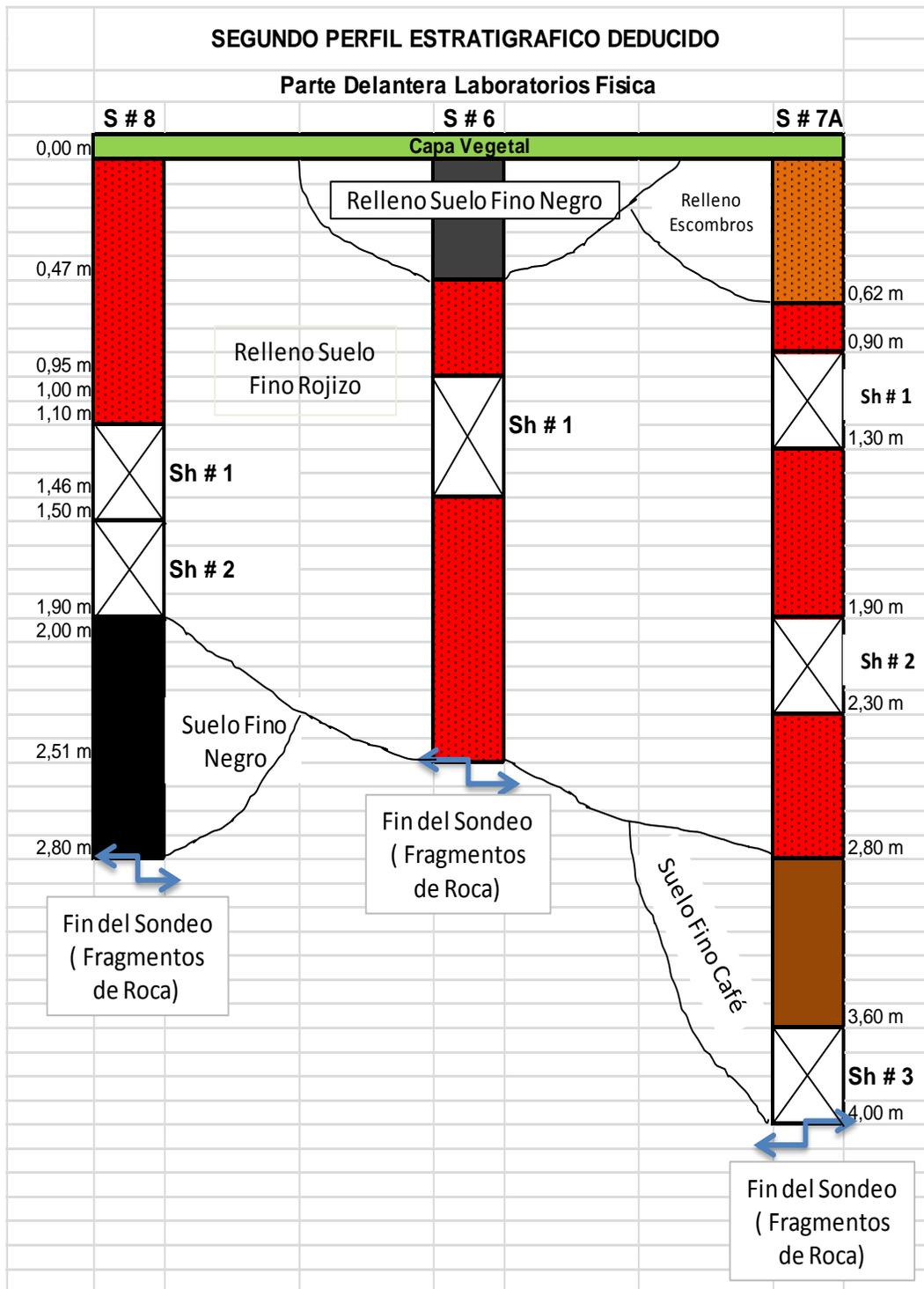
**ANEXO 1**  
**PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE LOS SONDEOS**

## ANEXO 2

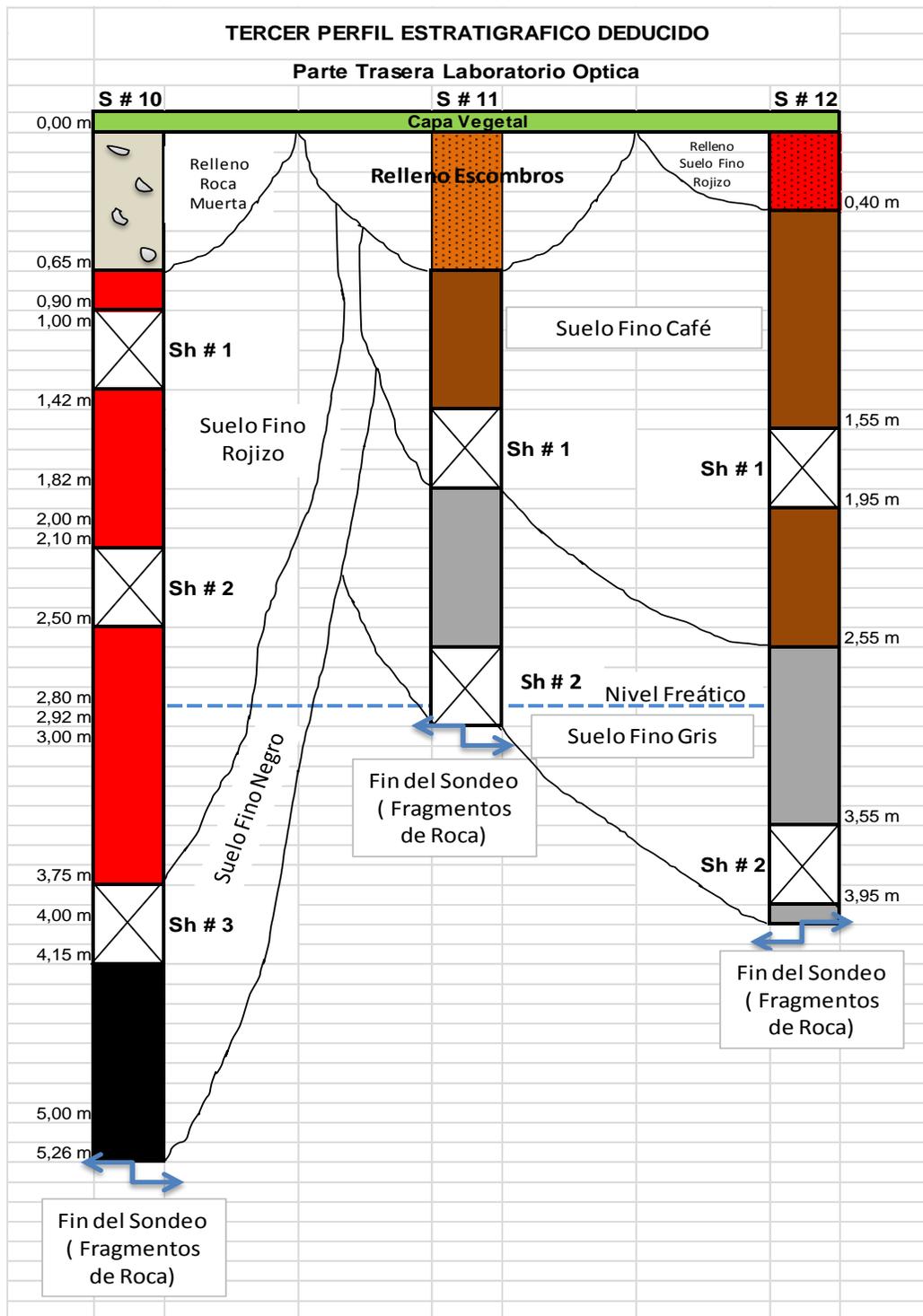
### PERFILES ESTRATIGRAFICOS DEDUCIDOS



**Figura 1. 27** Perfil estratigráfico deducido de la primera zona  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1. 28** Perfil estratigráfico deducido de la segunda zona  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 1. 29** Perfil estratigráfico deducido de la tercera zona  
Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 3 MEMORIA DE CALCULOS

#### Cálculo de la capacidad portante

Para el cálculo de la capacidad portante se definió un perfil para el eje C y otro para el eje G.

- Eje C

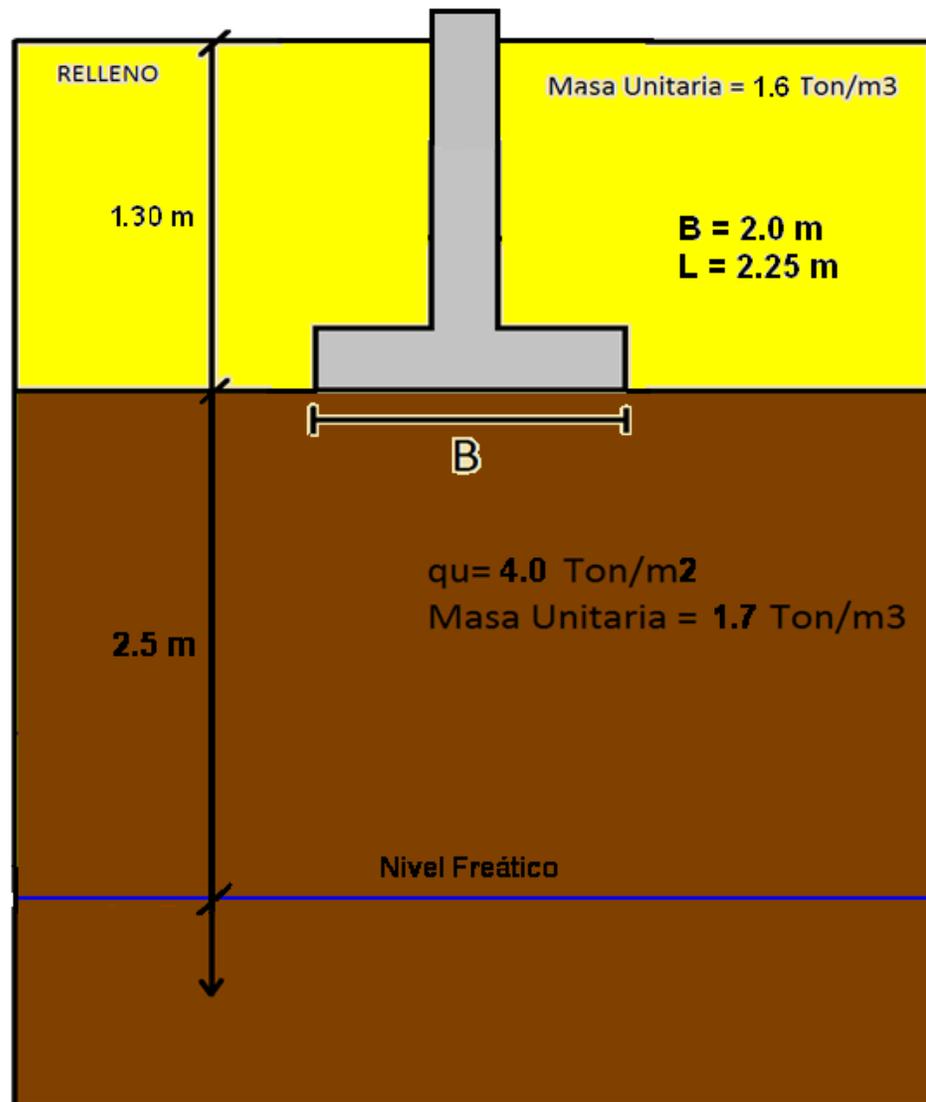


Figura 1. 30 Perfil de cálculo de capacidad portante para el eje C  
(Figura sin escala)

$$d_{nf} = 3.80 \text{ m} , D_f = 1.30 \text{ m} , B = 2.0 \text{ m} , L = 2.25 \text{ m}$$

$d_{nf} > (D_f + B) \rightarrow$  El nivel freático no afecta la capacidad de carga

$$\frac{D_f}{B} = 0.65 < 1 \rightarrow \sigma_u = 5.14 \times C \left( 1 + 0.2 \times \frac{B}{L} \right) \times \left( 1 + 0.4 \times \frac{D_f}{B} \right) + \gamma \times D_f$$

$$\sigma_u = 5.14 \times 2 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \left( 1 + 0.2 \times \frac{2.0 \text{ m}}{2.25 \text{ m}} \right) \times \left( 1 + 0.4 \times \frac{1.30 \text{ m}}{2.0 \text{ m}} \right) + 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \times 1.30 \text{ m}$$

$$\sigma_u = 17.34 \text{ Ton/m}^2$$

- Si FS = 3 :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS} = \frac{17.34 \text{ Ton/m}^2}{3} = 5.78 \text{ Ton/m}^2$$

- Si FS = 2.5 :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS} = \frac{17.34 \text{ Ton/m}^2}{2.5} = 6.94 \text{ Ton/m}^2$$

- Si FS = 2.0 :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS} = \frac{17.34 \text{ Ton/m}^2}{2} = 8.67 \text{ Ton/m}^2$$

A continuación se hace el cálculo del factor de seguridad con que trabajan actualmente la zapatas en el eje C:

❖ Zapata C-8:

$$\sigma_p = 12.27 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

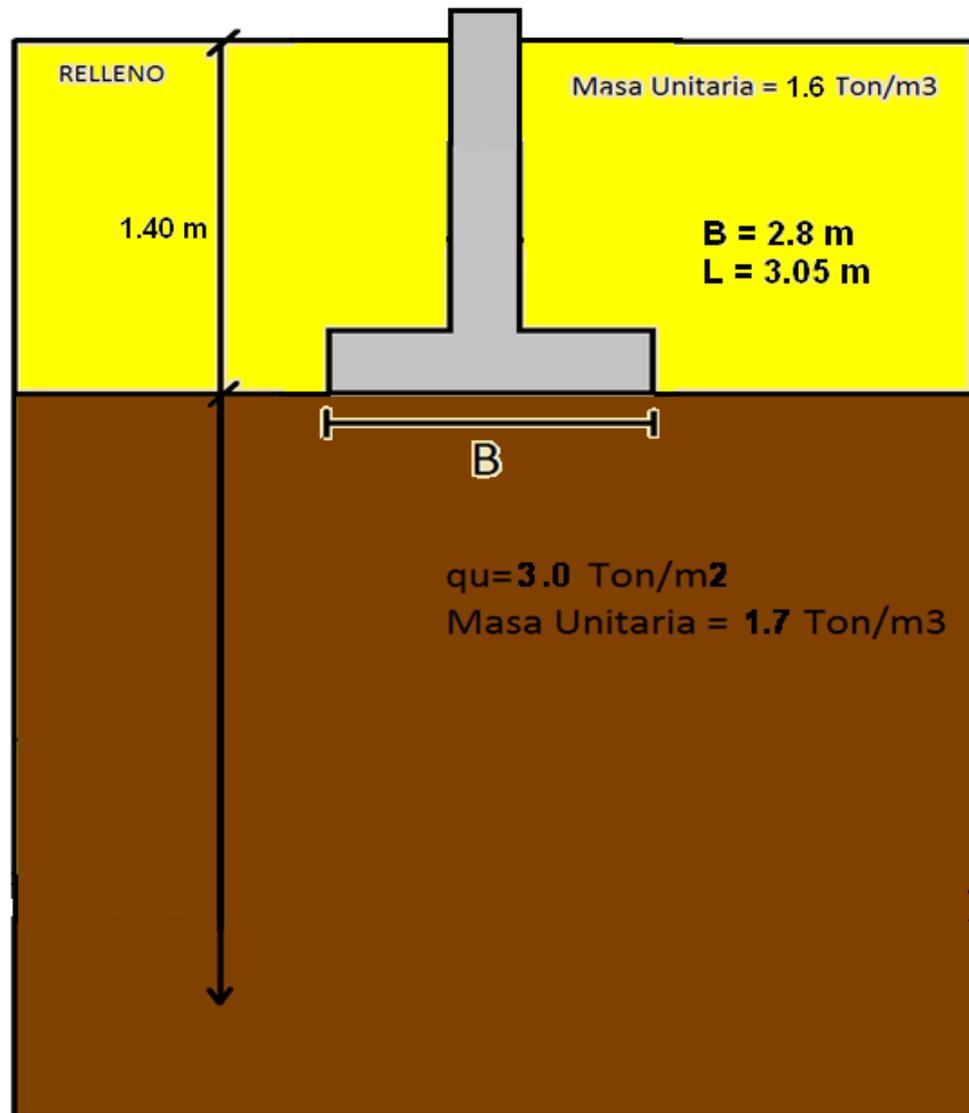
$$FS = \frac{\sigma_u}{\sigma_p} = \frac{17.34 \text{ Ton/m}^2}{12.27 \text{ Ton/m}^2} = 1.41$$

❖ Zapata C-9:

$$\sigma_p = 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$FS = \frac{\sigma_u}{\sigma_p} = \frac{17.34 \text{ Ton/m}^2}{12.71 \text{ Ton/m}^2} = 1.36$$

• Eje G



**Figura 1. 31** Perfil de cálculo de capacidad portante para el eje G  
(Figura sin escala)

$$C = \frac{q_u}{2} = \frac{3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{2} = 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$D_f = 1.40 \text{ m} , B = 2.80 \text{ m} , L = 3.05 \text{ m}$$

$$\frac{D_f}{B} = 0.5 < 1 \rightarrow \sigma_u = 5.14 \times C \left(1 + 0.2 \times \frac{B}{L}\right) \times \left(1 + 0.4 \times \frac{D_f}{B}\right) + \gamma \times D_f$$

$$\sigma_u = 5.14 \times 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \left(1 + 0.2 \times \frac{2.80 \text{ m}}{3.05 \text{ m}}\right) \times \left(1 + 0.4 \times \frac{1.40 \text{ m}}{2.80 \text{ m}}\right) + 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \times 1.40 \text{ m}$$

$$\sigma_u = 13.19 \text{ Ton/m}^2$$

- Si FS = 3 :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS} = \frac{13.19 \text{ Ton/m}^2}{3} = 4.40 \text{ Ton/m}^2$$

- Si FS = 2.5 :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS} = \frac{13.19 \text{ Ton/m}^2}{2.5} = 5.28 \text{ Ton/m}^2$$

- Si FS = 2.0 :

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS} = \frac{13.19 \text{ Ton/m}^2}{2} = 6.60 \text{ Ton/m}^2$$

A continuación se hace el cálculo del factor de seguridad con que trabajan actualmente la zapatas en el eje G:

❖ Zapata G-8:

$$\sigma_p = 9.38 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$FS = \frac{\sigma_u}{\sigma_p} = \frac{13.19 \text{ Ton/m}^2}{9.38 \text{ Ton/m}^2} = 1.41$$

❖ Zapata G-9:

$$\sigma_p = 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$FS = \frac{\sigma_u}{\sigma_p} = \frac{13.19 \text{ Ton/m}^2}{9.58 \text{ Ton/m}^2} = 1.38$$

### Cálculo del asentamiento por consolidación primaria

- Eje C

Zapatas Rectangulares → Bulbo de Presiones =  $2B = 4.0 \text{ m}$

Ancho de Capa =  $B/2 = 1.0 \text{ m}$

→ Numero de Capas = 4

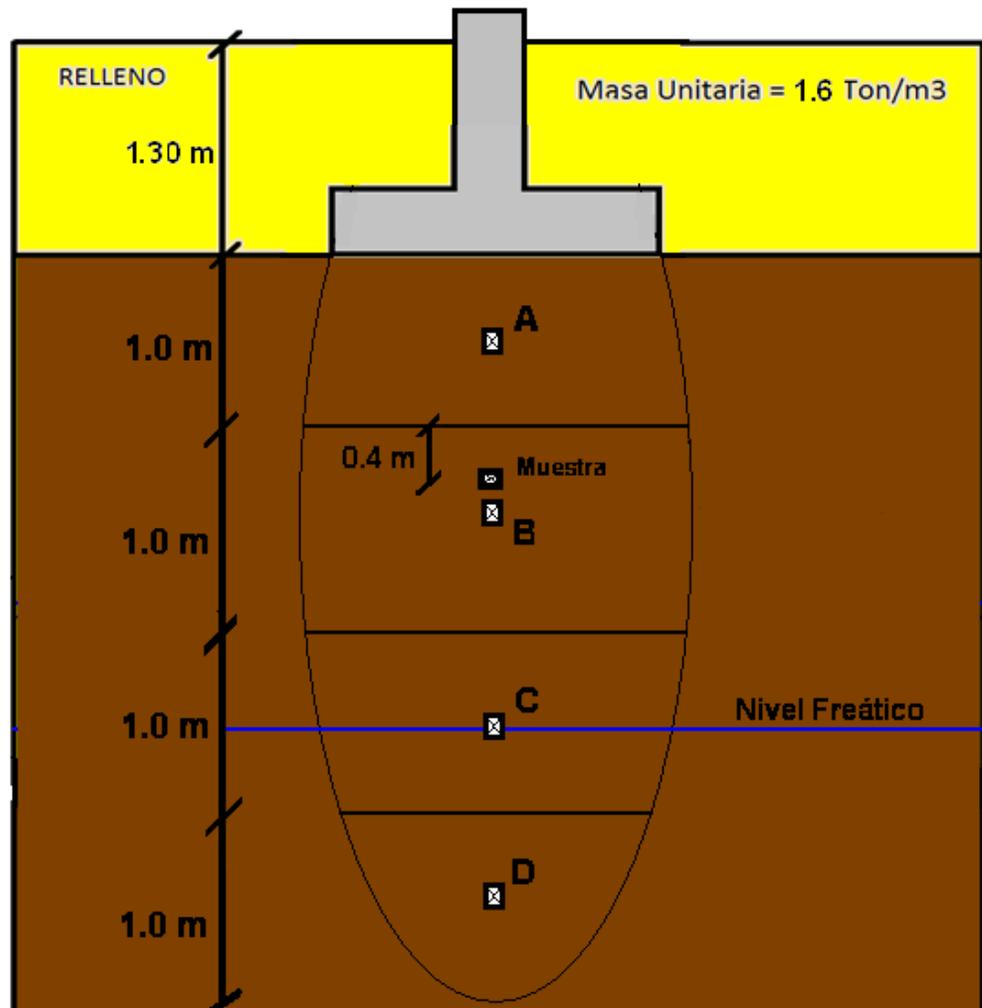


Figura 1. 32 Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación para el eje C (Figura sin escala)

De la Curva de Consolidación obtenida de un ensayo de laboratorio de una muestra de suelo tomada a 2.70 m desde la superficie del terreno se determinó:

$$\sigma'_c = 2.40 \frac{kg}{cm^2} = 24.0 \frac{Ton}{m^2}$$

$$C_c = \frac{e_2 - e_3}{\log\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}\right)} = \frac{1.24 - 1.18}{\log\left(\frac{8 \text{ kg/cm}^2}{4 \text{ kg/cm}^2}\right)} = 0.199$$

$$C_{cr} = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}\right)} = \frac{1.318 - 1.296}{\log\left(\frac{1 \text{ kg/cm}^2}{0.34 \text{ kg/cm}^2}\right)} = 0.047$$

$$e_0 = 1.294$$

Ahora se procede a hacer el cálculo del asentamiento por consolidación primaria para cada una de las 4 capas.

$$\sigma'_{omuestra} = \left(1.3 \text{ m} \times 1.6 \frac{Ton}{m^3}\right) + \left(1.4 \text{ m} \times 1.7 \frac{Ton}{m^3}\right) = 4.46 \frac{Ton}{m^2}$$

$$RSC = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{omuestra}} = \frac{24 \text{ Ton/m}^2}{4.46 \text{ Ton/m}^2} = 5.38 > 1.8 \rightarrow SC$$

SC: Sobreconsolidado

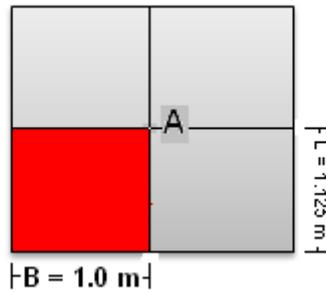
○ Primera Capa: Punto de análisis  $\rightarrow A$

$$\sigma'_{oA} = \gamma * h = \left(1.3 \text{ m} \times 1.6 \frac{Ton}{m^3}\right) + \left(0.5 \text{ m} \times 1.7 \frac{Ton}{m^3}\right) = 2.93 \frac{Ton}{m^2}$$

$$q = 12.71 \frac{Ton}{m^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata C-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{Z}, \frac{L}{Z}\right)$$



**Figura 1. 33** Vista en planta de la zapata C-9  
(Figura sin escala)

El procedimiento para el cálculo del factor de influencia es válido solo para la esquina de la zapata pero necesitamos el incremento de esfuerzos en la mitad de la zapata, por lo cual se divide la zapata en cuatro partes iguales para convertir el centro en esquina, al final se multiplicara por 4.

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.0 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} = 2$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.125 \text{ m}}{0.5 \text{ m}} = 2.25$$

De la Tabla 1.18 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_0 = 0.234$$

$$\Delta\sigma_A = 4 \times q \times I_0 = 4 \times 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.234 = 11.90 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cA}} = \sigma'_c - \left(0.9 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 22.47 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cA}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en A.

$$\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A = 14.83 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cA}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_A = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log \left( \frac{\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A}{\sigma'_{oA}} \right)$$

$$\Delta H_A = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log \left( \frac{2.93 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 11.9 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{2.93 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}} \right) = 1.44 \text{ cm}$$

**Tabla 1. 18** Valores del factor de influencia en función de m y n

n \ m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,005	0,009	0,013	0,017	0,020	0,022	0,024	0,026	0,027	0,028
0,2	0,009	0,018	0,026	0,033	0,039	0,043	0,047	0,050	0,053	0,055
0,3	0,013	0,026	0,037	0,047	0,056	0,063	0,069	0,073	0,077	0,079
0,4	0,017	0,033	0,047	0,060	0,071	0,080	0,087	0,093	0,098	0,101
0,5	0,020	0,039	0,056	0,071	0,084	0,095	0,103	0,110	0,116	0,120
0,6	0,022	0,043	0,063	0,080	0,095	0,107	0,117	0,125	0,131	0,136
0,7	0,024	0,047	0,069	0,087	0,103	0,117	0,128	0,137	0,144	0,149
0,8	0,026	0,050	0,073	0,093	0,110	0,125	0,137	0,146	0,154	0,160
0,9	0,027	0,053	0,077	0,098	0,116	0,131	0,144	0,154	0,162	0,168
1,0	0,028	0,055	0,079	0,101	0,120	0,136	0,149	0,160	0,168	0,175
1,1	0,029	0,056	0,082	0,104	0,124	0,140	0,154	0,165	0,174	0,181
1,2	0,029	0,057	0,083	0,106	0,126	0,143	0,157	0,168	0,178	0,185
1,3	0,030	0,058	0,085	0,108	0,128	0,146	0,160	0,171	0,181	0,189
1,4	0,030	0,059	0,086	0,109	0,130	0,147	0,162	0,174	0,184	0,191
1,5	0,030	0,059	0,086	0,110	0,131	0,149	0,164	0,176	0,186	0,194
2,0	0,031	0,061	0,089	0,113	0,135	0,153	0,169	0,181	0,192	0,200
2,5	0,031	0,062	0,089	0,114	0,136	0,155	0,170	0,183	0,194	0,202
3,0	0,031	0,062	0,090	0,115	0,137	0,155	0,171	0,184	0,195	0,203
5,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196	0,204
10,0	0,032	0,062	0,090	0,115	0,137	0,156	0,172	0,185	0,196	0,205

n \ m	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0	10,0
0,1	0,029	0,029	0,030	0,030	0,030	0,031	0,031	0,031	0,032	0,032
0,2	0,056	0,057	0,058	0,059	0,059	0,061	0,062	0,062	0,062	0,062
0,3	0,082	0,083	0,085	0,086	0,086	0,089	0,089	0,090	0,090	0,090
0,4	0,104	0,106	0,108	0,109	0,110	0,113	0,114	0,115	0,115	0,115
0,5	0,124	0,126	0,128	0,130	0,131	0,135	0,136	0,137	0,137	0,137
0,6	0,140	0,143	0,146	0,147	0,149	0,153	0,155	0,155	0,156	0,156
0,7	0,154	0,157	0,160	0,162	0,164	0,169	0,170	0,171	0,172	0,172
0,8	0,165	0,168	0,171	0,174	0,176	0,181	0,183	0,184	0,185	0,185
0,9	0,174	0,178	0,181	0,184	0,186	0,192	0,194	0,195	0,196	0,196
1,0	0,181	0,185	0,189	0,191	0,194	0,200	0,202	0,203	0,204	0,205
1,1	0,186	0,191	0,195	0,198	0,200	0,207	0,209	0,211	0,212	0,212
1,2	0,191	0,196	0,200	0,203	0,205	0,212	0,215	0,216	0,217	0,218
1,3	0,195	0,200	0,204	0,207	0,209	0,217	0,220	0,221	0,222	0,223
1,4	0,198	0,203	0,207	0,210	0,213	0,221	0,224	0,225	0,226	0,227
1,5	0,200	0,205	0,209	0,213	0,216	0,224	0,227	0,228	0,230	0,230
2,0	0,207	0,212	0,217	0,221	0,224	0,232	0,236	0,238	0,240	0,240
2,5	0,209	0,215	0,220	0,224	0,227	0,236	0,240	0,242	0,244	0,244
3,0	0,211	0,216	0,221	0,225	0,228	0,238	0,242	0,244	0,246	0,247
5,0	0,212	0,217	0,222	0,226	0,230	0,240	0,244	0,246	0,249	0,249
10,0	0,212	0,218	0,223	0,227	0,230	0,240	0,244	0,247	0,249	0,250

Fuente: Notas de clase

- Segunda Capa: Punto de análisis → B

$$\sigma'_{oB} = \gamma * h = \left(1.3 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(1.5 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 4.63 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata C-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{Z}, \frac{L}{Z}\right)$$

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.0 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.67$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.125 \text{ m}}{1.5 \text{ m}} = 0.75$$

De la Figura 1.34 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_o = 0.136$$

$$\Delta\sigma_B = 4 \times q \times I_o = 4 \times 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.136 = 6.91 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

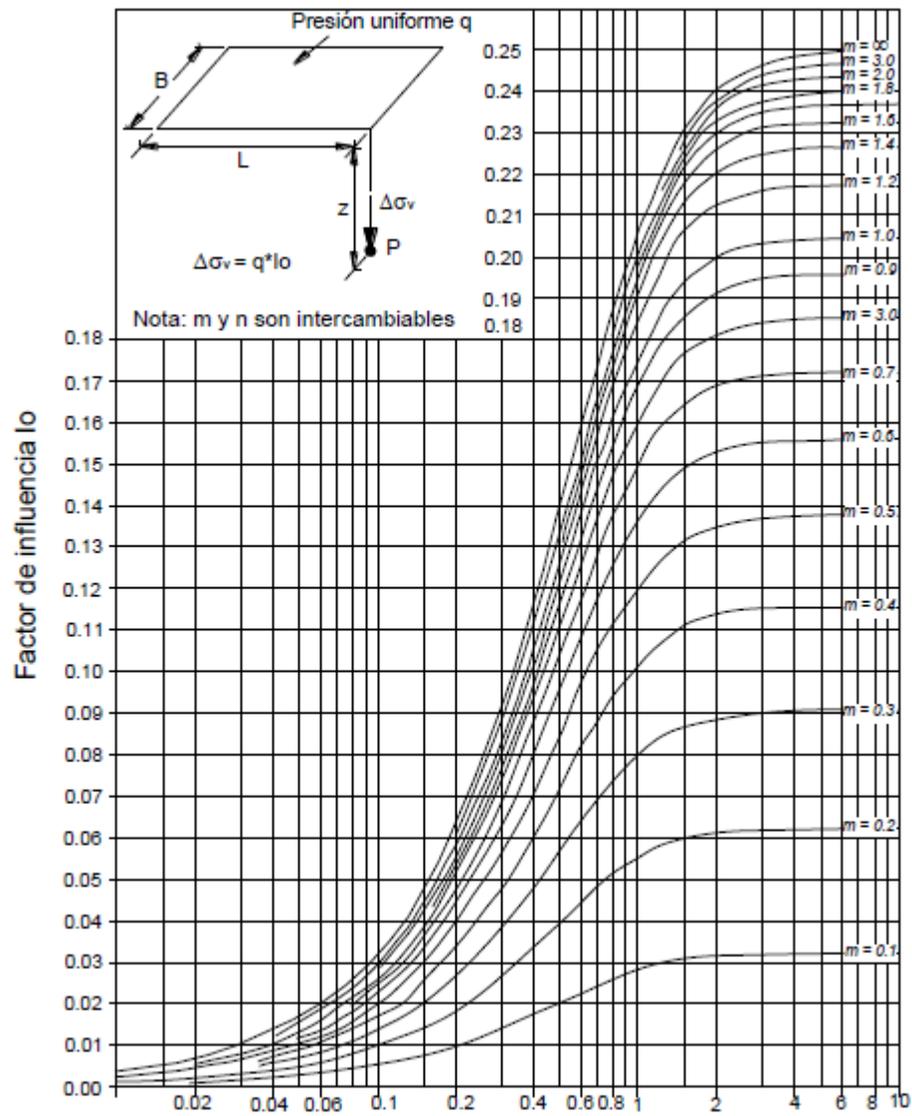
$$\sigma'_{c_{cB}} = \sigma'_c + \left(0.1 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 24.17 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cB}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en B.

$$\sigma'_{oB} + \Delta\sigma_B = 11.54 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cB}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_B = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log\left(\frac{\sigma'_{oB} + \Delta\sigma_B}{\sigma'_{oB}}\right)$$

$$\Delta H_B = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log\left(\frac{4.63 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 6.91 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{4.63 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}\right) = 0.81 \text{ cm}$$



**Figura 1. 34** Valor del factor de influencia en función de \$m\$ y \$n\$  
Fuente: Notas de clase

- o Tercera Capa: Punto de análisis → C

$$\sigma'_{oc} = \gamma * h = \left( 1.3 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) + \left( 2.5 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) = 6.33 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata C-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{Z}, \frac{L}{Z}\right)$$

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.0 \text{ m}}{2.5 \text{ m}} = 0.4$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.125 \text{ m}}{2.5 \text{ m}} = 0.45$$

De la Tabla 1.18 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_o = 0.0655$$

$$\Delta\sigma_C = 4 \times q \times I_o = 4 \times 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.0655 = 3.33 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cc}} = \sigma'_c + \left(1.1 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 25.87 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cc}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en C.

$$\sigma'_{oc} + \Delta\sigma_C = 9.66 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cc}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_C = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log\left(\frac{\sigma'_{oc} + \Delta\sigma_C}{\sigma'_{oc}}\right)$$

$$\Delta H_C = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log\left(\frac{6.33 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 3.33 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{6.33 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}\right) = 0.38 \text{ cm}$$

o Cuarta Capa: Punto de análisis  $\rightarrow$  D

$$\sigma'_{od} = \left(1.3 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(2.5 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(1.0 \text{ m} \times 0.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 7.03 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata C-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{Z}, \frac{L}{Z}\right)$$

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.0 \text{ m}}{3.5 \text{ m}} = 0.29$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.125 \text{ m}}{3.5 \text{ m}} = 0.32$$

De la Figura 1.34 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_0 = 0.038$$

$$\Delta\sigma_D = 4 \times q \times I_0 = 4 \times 12.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.038 = 1.93 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cD}} = \sigma'_c + \left(1.1 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(1.0 \text{ m} \times 0.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 26.57 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cD}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en D.

$$\sigma'_{oD} + \Delta\sigma_D = 8.96 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cD}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_D = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log\left(\frac{\sigma'_{oD} + \Delta\sigma_D}{\sigma'_{oD}}\right)$$

$$\Delta H_D = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log\left(\frac{7.03 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 1.93 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{7.03 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}\right) = 0.22 \text{ cm}$$

Después de calcular el asentamiento para cada capa se calcula el asentamiento total para la zapata C-9 ya que es la más crítica.

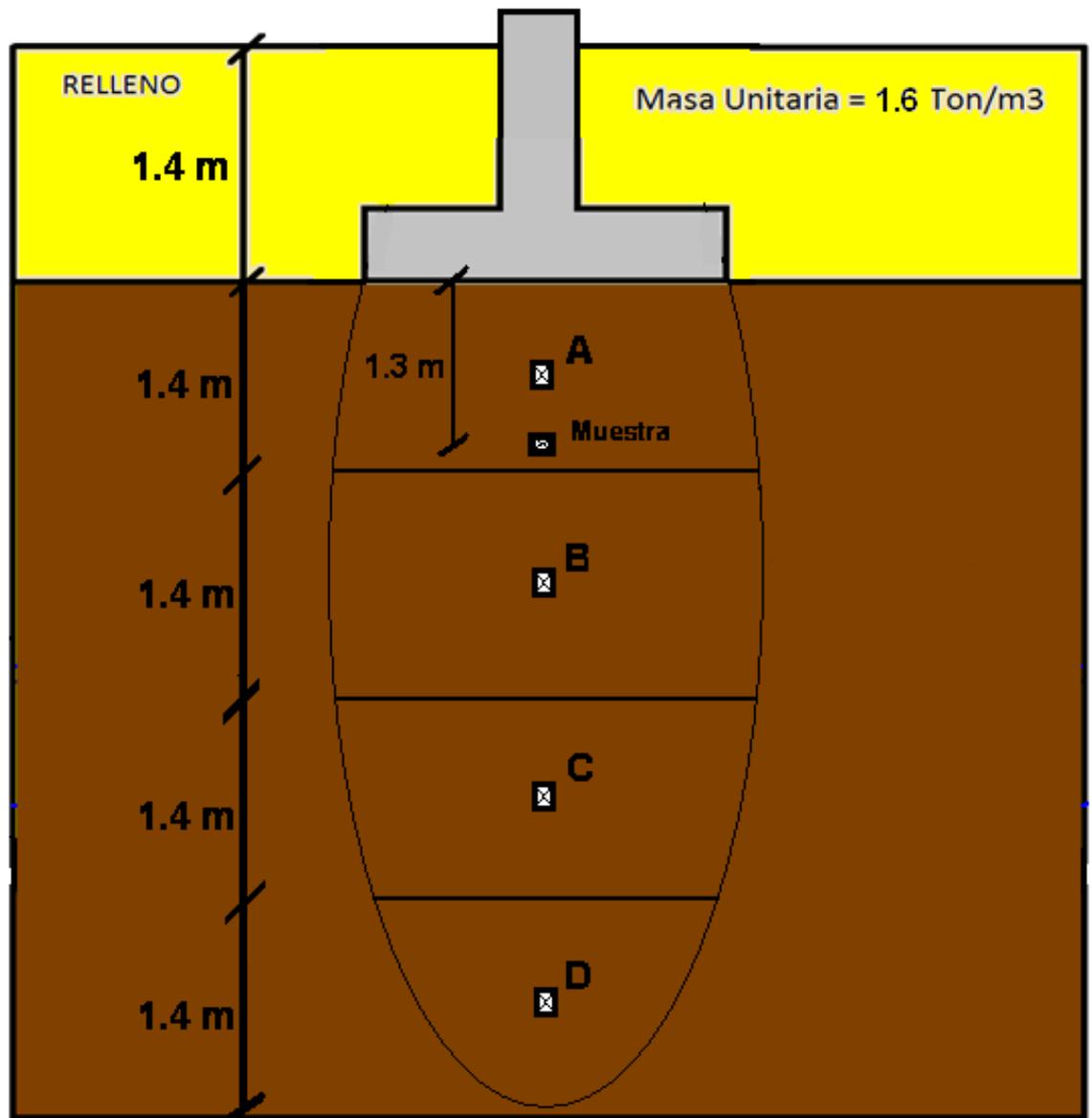
$$\Delta H_{TOTAL} = \Delta H_A + \Delta H_B + \Delta H_C + \Delta H_D = 2.85 \text{ cm} < 6.0 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

- **Eje G**

Zapatas Rectangulares → Bulbo de Presiones = 2B = 5.6 m

Ancho de Capa = B/2 = 1.4 m

→ Numero de Capas = 4



**Figura 1. 35** Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación para el eje G  
(Figura sin escala)

De la Curva de Consolidación obtenida de un ensayo de laboratorio de una muestra de suelo tomada a 2.70 m desde la superficie del terreno se determinó:

$$\sigma'_c = 2.40 \frac{kg}{cm^2} = 24.0 \frac{Ton}{m^2}$$

$$C_c = \frac{e_2 - e_3}{\log\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}\right)} = \frac{1.24 - 1.18}{\log\left(\frac{8 \text{ kg/cm}^2}{4 \text{ kg/cm}^2}\right)} = 0.199$$

$$C_{cr} = \frac{e_1 - e_2}{\log\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}\right)} = \frac{1.318 - 1.296}{\log\left(\frac{1 \text{ kg/cm}^2}{0.34 \text{ kg/cm}^2}\right)} = 0.047$$

$$e_0 = 1.294$$

Ahora se procede a hacer el cálculo del asentamiento por consolidación primaria para cada una de las 4 capas.

$$\sigma'_{omuestra} = \left(1.4 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(1.3 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 4.45 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\text{RSC} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{omuestra}} = \frac{24 \text{ Ton/m}^2}{4.45 \text{ Ton/m}^2} = 5.39 > 1.8 \rightarrow \text{SC}$$

SC: Sobreconsolidado

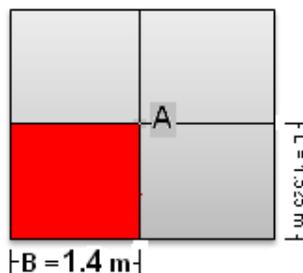
o Primera Capa: Punto de análisis  $\rightarrow$  A

$$\sigma'_{oA} = \gamma * h = \left(1.4 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(0.7 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 3.43 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata G-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{L}, \frac{L}{B}\right)$$



**Figura 1. 36** Vista en planta de la zapata G-9  
(Figura sin escala)

El procedimiento para el cálculo del factor de influencia es válido solo para la esquina de la zapata pero necesitamos el incremento de esfuerzos en la mitad de la zapata, por lo cual se divide la zapata en cuatro partes iguales para convertir el centro en esquina, al final se multiplicará por 4.

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.4 \text{ m}}{0.7 \text{ m}} = 2$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.525 \text{ m}}{0.7 \text{ m}} = 2.18$$

De la Tabla No. 18 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_0 = 0.2334$$

$$\Delta\sigma_A = 4 \times q \times I_0 = 4 \times 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.2334 = 8.94 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cA}} = \sigma'_c - \left(0.6 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 22.98 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cA}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en A.

$$\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A = 12.37 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cA}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_A = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log \left( \frac{\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A}{\sigma'_{oA}} \right)$$

$$\Delta H_A = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log \left( \frac{3.43 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 8.94 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{3.43 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}} \right) = 1.14 \text{ cm}$$

o Segunda Capa: Punto de análisis  $\rightarrow$  B

$$\sigma'_{oB} = \gamma * h = \left(1.4 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(2.1 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 5.81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata G-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{Z}, \frac{L}{Z}\right)$$

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.4 \text{ m}}{2.1 \text{ m}} = 0.67$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.525 \text{ m}}{2.1 \text{ m}} = 0.73$$

De la Figura 1.34 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_o = 0.128$$

$$\Delta\sigma_B = 4 \times q \times I_o = 4 \times 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.128 = 4.90 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cB}} = \sigma'_c + \left(0.8 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 25.36 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cB}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en B.

$$\sigma'_{oB} + \Delta\sigma_B = 10.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cB}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_B = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log\left(\frac{\sigma'_{oB} + \Delta\sigma_B}{\sigma'_{oB}}\right)$$

$$\Delta H_B = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log\left(\frac{5.81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 4.90 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{5.81 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}\right) = 0.54 \text{ cm}$$

o Tercera Capa: Punto de análisis  $\rightarrow$  C

$$\sigma'_{oC} = \gamma * h = \left(1.4 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(3.5 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 8.19 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata C-9

$$I_o = f\left(\frac{B}{Z}, \frac{L}{Z}\right)$$

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.4 \text{ m}}{3.5 \text{ m}} = 0.40$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.525 \text{ m}}{3.5 \text{ m}} = 0.44$$

De la Tabla No. 18 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_0 = 0.0644$$

$$\Delta\sigma_C = 4 \times q \times I_0 = 4 \times 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.0644 = 2.47 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cc}} = \sigma'_c + \left( 2.2 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) = 27.74 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cc}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en C.

$$\sigma'_{oc} + \Delta\sigma_C = 10.66 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cc}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_C = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log \left( \frac{\sigma'_{oc} + \Delta\sigma_C}{\sigma'_{oc}} \right)$$

$$\Delta H_C = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log \left( \frac{8.19 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 2.47 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{8.19 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}} \right) = 0.23 \text{ cm}$$

o Cuarta Capa: Punto de análisis → D

$$\sigma'_{oD} = \left( 1.4 \text{ m} \times 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) + \left( 4.9 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) = 10.57 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$q = 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

q: Esfuerzo de Contacto de la zapata C-9

$$I_0 = f \left( \frac{B}{Z}, \frac{L}{Z} \right)$$

$$m = \frac{B}{Z} = \frac{1.4 \text{ m}}{4.9 \text{ m}} = 0.29$$

$$n = \frac{L}{Z} = \frac{1.525 \text{ m}}{4.9 \text{ m}} = 0.31$$

De la Figura 1.34 se obtuvo el valor del Factor de Influencia.

$$I_0 = 0.038$$

$$\Delta\sigma_D = 4 \times q \times I_0 = 4 \times 9.58 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \times 0.038 = 1.46 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma'_{c_{cD}} = \sigma'_c + \left( 3.6 \text{ m} \times 1.7 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) = 30.12 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$\sigma'_{c_{cD}}$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia corregido en D.

$$\sigma'_{oD} + \Delta\sigma_D = 12.03 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{c_{cD}} \rightarrow \text{Caso 1}$$

$$\Delta H_D = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log \left( \frac{\sigma'_{oD} + \Delta\sigma_D}{\sigma'_{oD}} \right)$$

$$\Delta H_D = \frac{100 \text{ cm}}{1 + 1.294} \times 0.047 \times \log \left( \frac{10.57 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} + 1.46 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}}{10.57 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}} \right) = 0.12 \text{ cm}$$

Después de calcular el asentamiento para cada capa se calcula el asentamiento total para la zapata G-9 ya que es la más crítica.

$$\Delta H_{TOTAL} = \Delta H_A + \Delta H_B + \Delta H_C + \Delta H_D = 2.03 \text{ cm} < 6.0 \text{ cm} \rightarrow \text{OK}$$

## **CAPÍTULO 2**

### **CONSTRUCCIÓN FUNDACIÓN ACADEMIA MUSICAL LA ESCALA**

## 1. Introducción

Se entiende por cimentación a la parte de la estructura que transmite las cargas al suelo. Cada edificación demanda la necesidad de resolver un problema de cimentación. En la práctica se usan cimentaciones superficiales o cimentaciones profundas, las cuales presentan importantes diferencias en cuanto a su geometría, al comportamiento del suelo, a su funcionalidad estructural y a sus sistemas constructivos (Garza, 2000).

En el presente capítulo se muestran los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del análisis geotécnico realizado en un lote ubicado en el barrio Santa Clara de la Ciudad de Popayán (Cauca) sobre el cual se proyecta la construcción de una estructura de dos niveles; este fue realizado respondiendo a la solicitud de la Directora de la Fundación Academia Musical La Escala.

El estudio, se ha efectuado con la finalidad de conocer la estratigrafía del suelo de cimentación y examinar las propiedades geotécnicas del suelo, con el fin de aplicarlas de manera eficiente, en el diseño de la cimentación de la estructura.

Los resultados obtenidos permitieron concluir sobre los dos tipos de cimentación superficial más adecuados para la estructura y las respectivas recomendaciones constructivas inherentes al proyecto.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Realizar el estudio geotécnico para dar las recomendaciones apropiadas sobre el diseño y construcción de la cimentación, bajo las actuales condiciones de sitio, en el lote de propiedad de la Fundación Academia musical La Escala.

### **2.2. Objetivos específicos**

2.2.1. Determinar la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas del suelo de cimentación del sitio donde se proyecta la construcción de la estructura.

2.2.2. Calcular, con un factor de seguridad apropiado, las capacidades de carga del suelo para los dos tipos de cimentación superficial propuestos en este informe.

2.2.3. Chequear que el asentamiento por consolidación primaria, para los dos tipos de cimentación superficial propuestos y bajo las condiciones de esfuerzos de contacto estructura-suelo más críticas, esté dentro de lo permisible.

2.2.4. Dar las recomendaciones pertinentes para la adecuación del suelo donde se proyecta la construcción de la estructura.

### 3. Descripción del sitio y de la estructura a construir

#### 3.1. Localización

El lote donde se proyecta la construcción de la estructura, se encuentra ubicado en la dirección Calle 10N # 11-51 en el barrio Santa Clara de la Ciudad de Popayán, Departamento del Cauca.



**Figura 2. 1** Vista del lote donde se proyecta la construcción

#### 3.2. Tipo de estructura a construir

En este lote se proyecta la construcción de una estructura de dos niveles para aulas de clase, salón de presentaciones y zona de administración.

La estructura será tipo aporticada con vigas y columnas de concreto reforzado, losa de entrepiso también en concreto reforzado y por la distribución arquitectónica y uso de la estructura, en algunos sectores las vigas tendrán luces grandes.

## 4. Metodología

Se realizó un trabajo de campo que consistió en dos perforaciones con equipo manual. Además se realizaron los ensayos de laboratorio necesarios para definir: la estratigrafía del suelo de cimentación, la posición del nivel de aguas freáticas y las propiedades físicas y mecánicas del suelo, parámetros con los que se calculó la capacidad portante del suelo y se pudo dar las recomendaciones para el diseño de la cimentación de la estructura.

### 4.1. Trabajo de campo

Con el fin de recopilar la información necesaria para determinar la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio, se llevaron a cabo las siguientes actividades.

#### 4.1.1. Exploración de Campo

Se realizó un reconocimiento del terreno donde se observaron linderos, y se ubicaron los puntos a perforar, tal como se indica en la Figura que aparece en el Anexo 1.

#### 4.1.2. Perforaciones

Se programaron para este proyecto dos (2) perforaciones, efectuadas con equipo manual (barreno helicoidal, y varillaje de extensión), a una profundidad de 7.0 m cada una, tal como se indica en las imágenes de la Figura 2.2.

#### 4.1.3. Muestreo

Durante el trabajo de campo se tomaron muestras inalteradas con tubos Shelby, y muestras alteradas en bolsas plásticas, a las profundidades indicadas en los registros de perforación para cada sondeo (ver imágenes de la Figura 2.3).



**Figura 2. 2** Perforación con equipo manual



**Figura 2. 3** Muestreo con tubo Shelby

#### **4.2.** Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas, se llevaron al laboratorio de suelos, en donde se desarrollaron las siguientes pruebas:

- Humedad Natural.
- Límites de Atterberg.
- Peso Unitario.
- Compresión Inconfinada.
- Consolidación de Suelos.
- Gravedad Específica.

## **5. Estratigrafía y resultados de caracterización de los suelos encontrados**

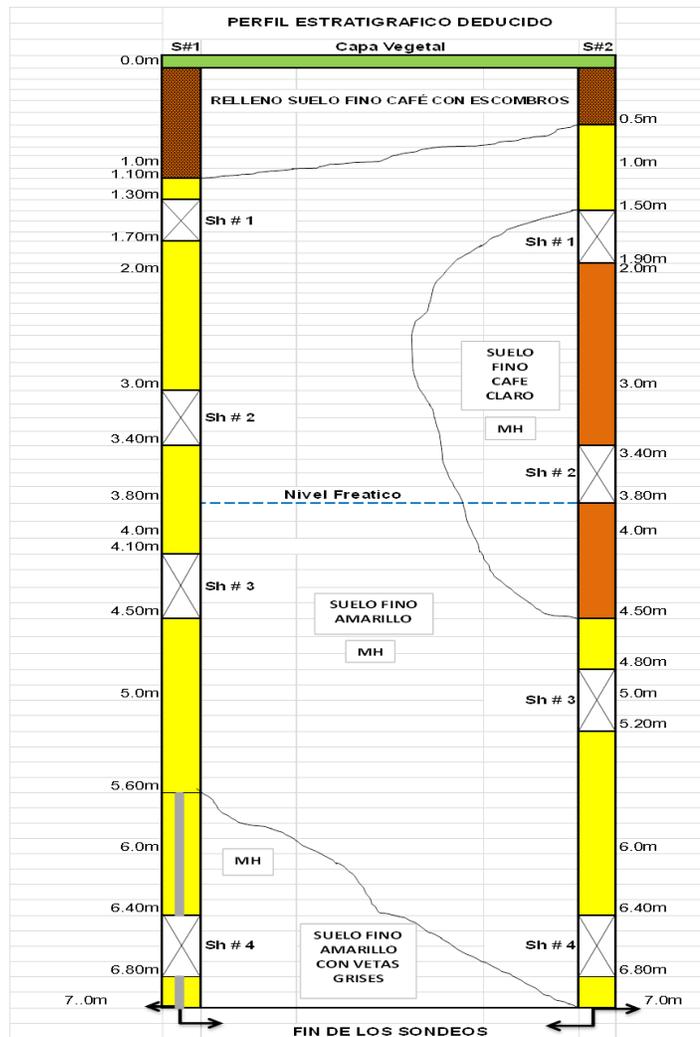
### **5.1. Estratigrafía y propiedades de los suelos**

EL perfil estratigráfico del suelo, obtenido a partir del trabajo de campo y de los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras extraídas; es homogéneo a lo largo y ancho del lote, con una lente de suelo fino café encontrada en uno solo de los sondeos.

Este perfil está conformado básicamente por la capa vegetal en la parte más superficial, seguido de un relleno de suelo fino color café mezclado con escombros, más profundo se encuentra el suelo natural constituido por un suelo fino limoso de color amarillo con vetas grises y un suelo fino limoso color café claro.

A continuación se describirán las características de los diferentes estratos de suelo:

Tal como se puede observar en la Figura 2.4, el perfil de suelos se puede considerar conformado de la siguiente manera:



**Figura 2. 4** Perfil estratigráfico deducido  
Fuente: Elaboración propia

 Primer estrato

Corresponde a un relleno de suelo fino color café mezclado con escombros, tiene un espesor aproximado entre 0,50m y 1,10m y está cubierto por la capa vegetal de color negro con pastos.



**Figura 2. 5** Relleno suelo fino café mezclado con escombros

✚ Segundo estrato

- ❖ Este estrato está constituido por un suelo fino limoso de color amarillo, con un espesor variable entre 3.50 y 4.5m. Este suelo tiene una humedad media inferior al límite líquido y en los primeros metros de profundidad posee una consistencia dura, predominando los valores de consistencia alta en los primeros metros y con una tendencia a disminuir con la profundidad. Solamente en un sitio a 6.60m de profundidad se obtuvo una consistencia de media a baja.



**Figura 2. 6** Suelo fino color amarillo

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 2. 1** Características Físicas y mecánicas del Suelo Fino color Amarillo

Característica	Valor
Humedad (%)	51.2 – 79.9
Límite Líquido (%)	97.4
Índice de Plasticidad (%)	50.3
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.55 – 1.69
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.86 – 1.12
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.39 – 2.04

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En el sondeo No.2 se encontró en medio de la capa de suelo amarillo una capa de suelo fino color café claro con un espesor aproximado de 3.0m. Esta capa de suelo tiene una humedad media inferior al límite líquido y una consistencia media a alta.



**Figura 2. 7** Suelo fino color café claro

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 2. 2** Características Físicas y mecánicas del Suelo Fino color Café Claro

Característica	Valor
Humedad (%)	64.5
Limite Liquido (%)	78.7
Índice de Plasticidad (%)	32
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.63
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.99
Resistencia a la Comprensión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.95

Fuente: Elaboración propia

### Tercer estrato

Esta capa de suelo está constituida por un suelo fino limoso de color Amarillo con Vetas Grises, y tiene un espesor superior a 1.20m.

Este suelo tiene una humedad alta superior al límite líquido y una consistencia media.

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 2. 3** Características Físicas y mecánicas del Suelo Fino Amarillo con Vetas Grises

Característica	Valor
Humedad (%)	78.7
Limite Liquido (%)	77.4
Índice de Plasticidad (%)	31.5
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.59
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.89
Resistencia a la Comprensión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.60

Fuente: Elaboración propia

### Nivel freático

El nivel freático a la fecha de realización de las perforaciones entre el 26 y 28 de enero de 2013, se encontró a una profundidad de 3,80m en las dos perforaciones.



**Figura 2. 8 Nivel Freático**

A continuación se presenta una tabla resumen donde se visualizan las características principales de los suelos encontrados:

**Tabla 2. 4** Resumen de las principales características de los suelos encontrados

Prof (m)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_m$ (Ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (Ton/m <sup>3</sup> )	Descripción
<b>Sondeo Manual No. 1</b>							
1.30 - 1.70	51.2	*	*	2.00	1.69	1.12	Suelo Fino Amarillo (MH)
3.00 - 3.40	75.9	97.4	50.3	1.56	1.60	0.91	Suelo Fino Amarillo (MH)
4.10 - 4.50	69.1	*	*	1.29	1.62	0.96	Suelo Fino Amarillo (MH) con presencia de Nivel Freático
6.40 - 6.80	78.7	77.4	31.5	0.60	1.59	0.89	Suelo Fino Amarillo con vetas grises (MH) y presencia de Nivel Freático
<b>Sondeo Manual No. 2</b>							
1.50 - 1.90	57.7	*	*	1.74	1.64	1.04	Suelo Fino Café Claro (MH)
3.40 - 3.80	64.5	78.7	32.0	0.95	1.63	0.99	Suelo Fino Café Claro (MH)
4.80 - 5.20	66.8	*	*	0.73	1.66	0.99	Suelo Fino Amarillo (MH) con presencia de Nivel Freático
6.40 - 6.80	79.9	*	*	0.39	1.55	0.86	Suelo Fino Amarillo (MH) con presencia de Nivel Freático

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la Humedad Natural, el Limite Líquido, el Índice de Plasticidad, la Masa Unitaria Seca y Húmeda, la Resistencia a la Compresión Inconfinada y la Profundidad, se observaron las siguientes características de los suelos encontrados:

- Superficialmente, aparece la capa vegetal, en la cual se observó un relleno de suelo fino café mezclado con escombros.
- En general la Humedad Natural es inferior al Limite Líquido y aumenta con la Profundidad.
- El Índice de Plasticidad en todos los suelos es mayor a 30%, lo que indica la presencia de suelos de alta plasticidad.
- Estos suelos por su alto contenido de finos plásticos, no son susceptibles a la licuación.
- La Resistencia en términos generales es alta y tiene a disminuir con la profundidad, debido al incremento en su contenido de agua.

## 6. Capacidad de carga y consolidación de suelos

Considerando las características del suelo de cimentación y considerando el tipo de estructura a construir, se recomienda la construcción de dos alternativas de cimentación superficial, constituida por zapatas cuadradas o rectangulares y zapatas corridas o de longitud infinita.

### 6.1. Capacidad Portante

Para el cálculo de capacidad portante de los suelos correspondientes a este estudio, se ha utilizado la teoría de Brown y Meyerhoff, cuya mecánica consiste en hallar la capacidad portante última del suelo, y al aplicarle un correcto factor de seguridad, obtener la capacidad portante admisible.

#### 6.1.1. Teoría general de la Capacidad de Carga

La mecánica consiste en hallar la capacidad de carga última del suelo, considerando la resistencia al corte del suelo de un perfil de suelos estratificado, constituido por dos estratos, uno duro sobre uno de menor consistencia, que al aplicarle un correcto factor de seguridad, se obtiene la capacidad portante admisible.

Las expresiones a usar son:

$$\sigma_u = C_1 \times Nm + \gamma \times D_f$$

$$Nm = \alpha + \frac{C_2}{C_1} \times Nc$$

$$\alpha = \frac{2 \times H \times (B + L)}{B \times L}$$

$$Nc = 5 \times (1 + 0.2 B/L) \times (1 + 0.2 D_f/B)$$

$$\sigma_p = \sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{FS}$$

$$FS = 3$$

Siendo:

**$\sigma_{ult}$  y  $\sigma_{adm}$ :** Capacidades Portantes Última y Admisible, respectivamente.

**C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>**: Cohesión respectiva de cada suelo.

**Nc**: Factor de Capacidad de Carga

**FS**: Factor de seguridad.

$\gamma$  : Peso unitario del suelo.

**Df**: Profundidad de cimentación.

**B**: Ancho del cimiento.

## 6.2. Teoría General de la Consolidación primaria de suelos

La consolidación es un proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por las solicitaciones de carga sobre el suelo. Estos incrementos de carga ocasionados por estructuras, inducen en los suelos saturados el drenaje, con la consecuente reducción del volumen de vacíos del suelo y cambio del volumen total del mismo. Este fenómeno, ocurre con el tiempo y depende entre otros de la magnitud de las cargas, del tipo de suelo y de su permeabilidad.

Esta teoría permite calcular el asentamiento por consolidación primaria, debido al drenaje de agua del suelo cuando este se somete a incrementos de carga. Las expresiones a usar son:

$$\sigma'_{oA} = \gamma * h$$

$$RSC = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{omuestra}}$$

$$\Delta\sigma_A = q * I_o, I_o = f\left(\frac{Z}{B}, \frac{X}{B}\right)$$

$$\Delta H = \frac{H}{1 + e_o} C_{cr} \log\left(\frac{\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A}{\sigma'_{oA}}\right)$$

Siendo:

$\sigma'_{oA}$ : Esfuerzo efectivo a mitad de la capa consolidable. (Ton/m<sup>2</sup>)

**RSC**: Radio de sobreconsolidación.

$\sigma'_c$ : Esfuerzo máximo que ha resistido el suelo en toda su historia. (Ton/m<sup>2</sup>)

$\Delta\sigma_A$ : Sobrecarga debida a la estructura. (Ton/m<sup>2</sup>)

**q**: Presión de contacto entre cimentación y suelo. (Ton/m<sup>2</sup>)

**I<sub>o</sub>**: Factor de influencia.

H: Espesor de la capa consolidable. (cm)

$\Delta H$ : Asentamiento por consolidación primaria. (cm)

Todos los cálculos realizados para determinar la capacidad portante y para el chequeo de asentamiento por consolidación primaria se encuentran en la memoria de cálculos incluida dentro del Anexo 3.

## 7. Resultados

### 7.1. Análisis de la primera propuesta de cimentación

Las zapatas cuadradas y rectangulares son el primer tipo de cimentación superficial que se propone en este informe.

#### 7.1.1. Capacidad portante

A continuación se presentan resumidas en la Tabla 2.5 las capacidades portantes para diferentes relaciones B/L, para una profundidad de desplante, en zapatas cuadradas y rectangulares con un factor de seguridad de 3.

**Tabla 2. 5** Valores de capacidad portante para zapatas rectangulares

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m <sup>2</sup> )				
Df = 0.5 m	B/L = 1	B/L = 0.8	B/L = 0.7	B/L = 0.6
B = 0.8 m	10.38	10.04	9.87	9.70
B = 1.0 m	10.15	9.82	9.66	9.49
B = 1.2 m	10.00	9.68	9.51	9.35
B = 1.5 m	9.85	9.53	9.37	9.21
B = 1.8 m	9.75	9.43	9.28	9.12
B = 2.0 m	9.70	9.39	9.23	9.07
B = 2.2 m	9.66	9.35	9.19	9.03
B = 2.3 m	9.64	9.33	9.17	9.02

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2. Chequeo de asentamientos por consolidación primaria

En la Tabla 2.6 se muestra el asentamiento por consolidación primaria para la zapata cuadrada de mayor tamaño.

**Tabla 2. 6** Valor del asentamiento por consolidación primaria para una zapata cuadrada

B (m)	B/L	Capacidad Portante Admisible (Ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)
2.30	1	9.64	5.27

Fuente: Elaboración propia

Según la NSR-10 se pudo establecer que para la zapata rectangular, de mayor tamaño, no se presentan problemas de asentamiento por consolidación primaria, ya que este asentamiento es menor a 6.0cm.

## 7.2. Análisis de la segunda propuesta de cimentación

Las zapatas corridas o de longitud infinita son el segundo tipo de cimentación superficial que se propone en este informe.

### 7.2.1. Capacidad portante

A continuación se presentan resumidas en la Tabla 2.7 las capacidades portantes para diferentes relaciones B/L, para una profundidad de desplante, en zapatas corridas o de longitud infinita con un factor de seguridad de 3.

**Tabla 2. 7** Valores de capacidad portante para zapatas corridas

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m <sup>2</sup> )	
Df = 0.5 m	B/L = 0
B = 0.5 m	9.25
B = 0.6 m	9.00
B = 0.8 m	8.70
B = 1.0 m	8.50
B = 1.2 m	8.40

Fuente: Elaboración propia

### 7.2.2. Chequeos de asentamientos por consolidación primaria

En la Tabla 2.8 se muestra el asentamiento por consolidación primaria para la zapata corrida con mayor capacidad de carga.

**Tabla 2. 8** Valor del asentamiento por consolidación primaria para una zapata corrida

B (m)	B/L	Capacidad Portante Admisible (Ton/m <sup>2</sup> )	Asentamiento (cm)
0.5	0	9.25	4.43

Fuente: Elaboración propia

Según la NSR-10 se pudo establecer que para la zapata rectangular, de mayor tamaño, no se presentan problemas de asentamiento por consolidación primaria, ya que este asentamiento es menor a 6.0cm.

## 8. Conclusiones

- Considerando las características del suelo y la estructura proyectada se recomienda una de las dos alternativas propuestas, cimentación superficial constituida por zapatas individuales de forma cuadrada o rectangular, o una cimentación constituida por una zapata corrida o de longitud infinita, todas cimentadas a una profundidad de desplante mínima de 0.50m, siguiendo las recomendaciones dadas en este informe.
- Actualmente al lote se entregan aguas superficiales que provienen de la vía, contigua al mismo, estas aguas deben ser canalizadas con el fin de entregarlas al alcantarillado pluvial del sector y evitar que se acumulen en el lote del proyecto, afectando las características mecánicas de los suelos presentes.
- En el sitio se encontró un relleno de escombros en matriz de suelos finos, con un espesor variable entre 0,5 y 1.10m, este relleno debe removerse totalmente y conformar un relleno de buenas características, constituido por un suelo fino poco plástico o por roca muerta bien compactados en capas no mayores a 0.20m.
- Considerando la buena consistencia de los suelos finos presentes en el sitio, se recomienda en lo posible cimentar la estructura sobre el suelo natural por debajo del relleno ya constituido.

Si por cotas del proyecto parte de la cimentación tuviese que quedar sobre el nuevo relleno conformado de acuerdo al numeral anterior, se recomienda que se lleve un estricto control de compactación del relleno, de tal manera que la resistencia a la compresión simple de al menos 4 muestras de control debe resultar igual a  $1.0\text{kg/cm}^2$  como mínimo.

Para el control de compactación se deben tomar muestras inalteradas con tubo shelby, para lo cual se deben poner en contacto con la Ingeniera Margarita Polanco de H. asesora de este proyecto.

- En el lote se encontró un tanque séptico sin uso, este debe rellenarse y no se podrán colocar zapatas individuales en ese sitio.

## Referencias y bibliografía de consulta

GARZA VASQUEZ, Luis. 2000. Diseño y construcción de cimentaciones. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Pp: 12

POLANCO DE HURTADO, Margarita. Notas de clase. Fundaciones. Universidad del Cauca.

ANEXO 1  
LOCALIZACION EN PLANTA DE LOS SONDEOS

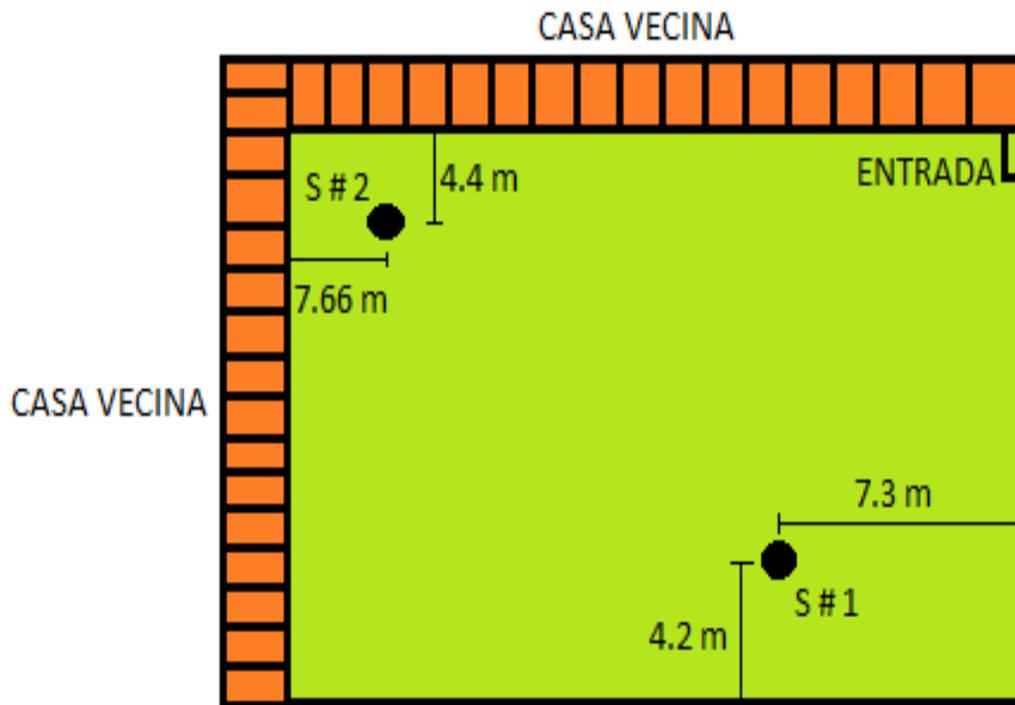
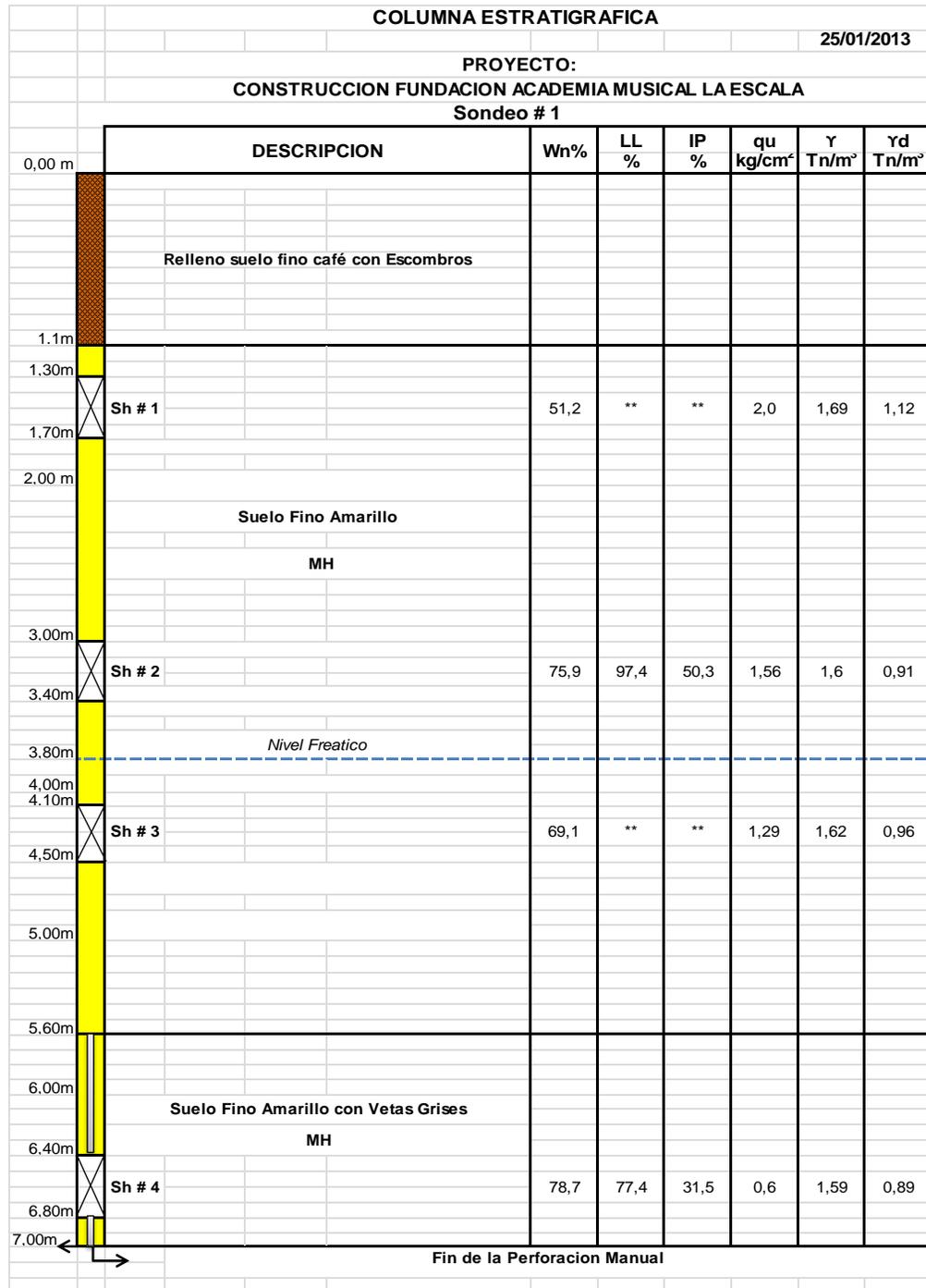


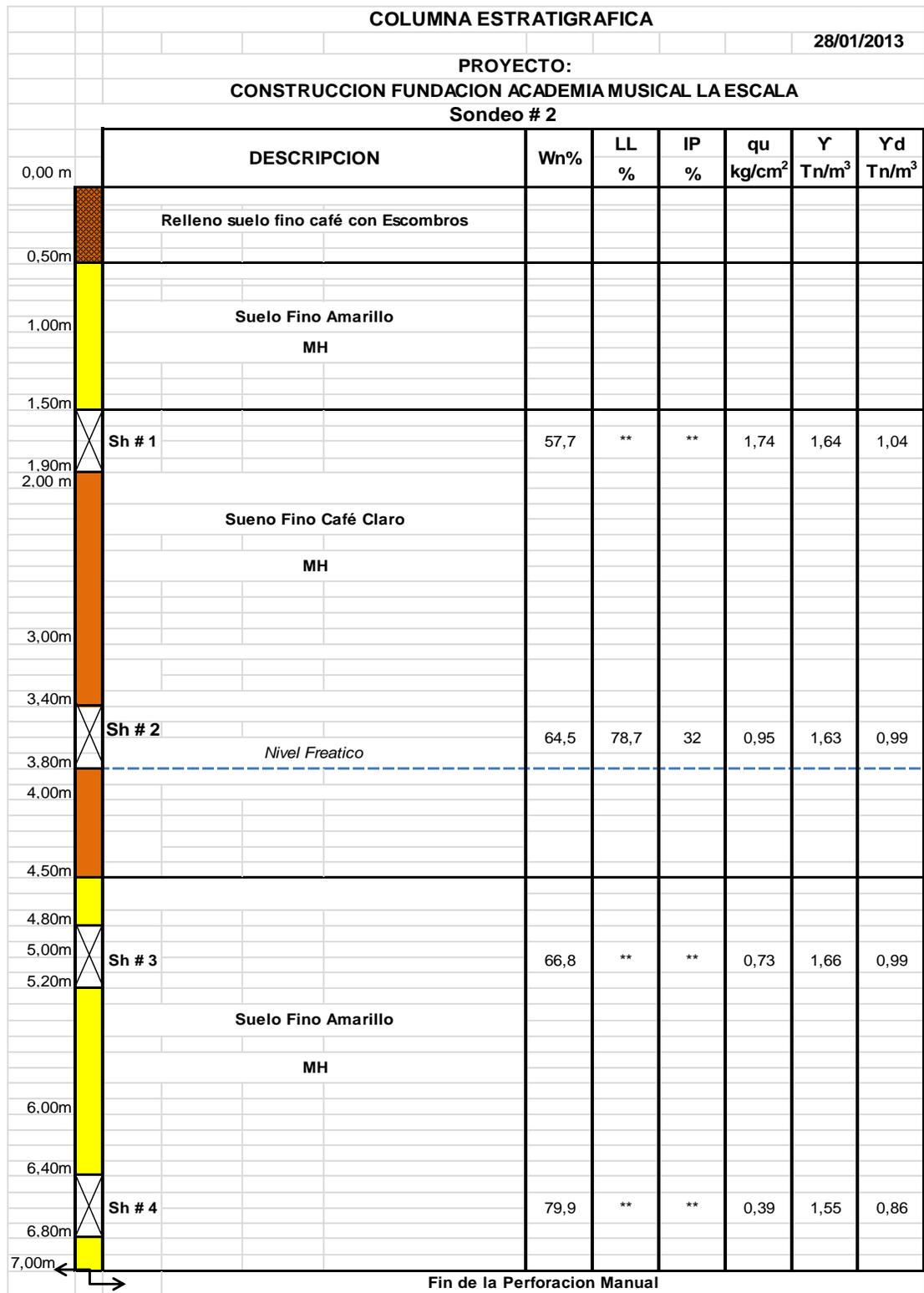
Figura 2. 9 Localización en planta de los Sondeos  
Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2

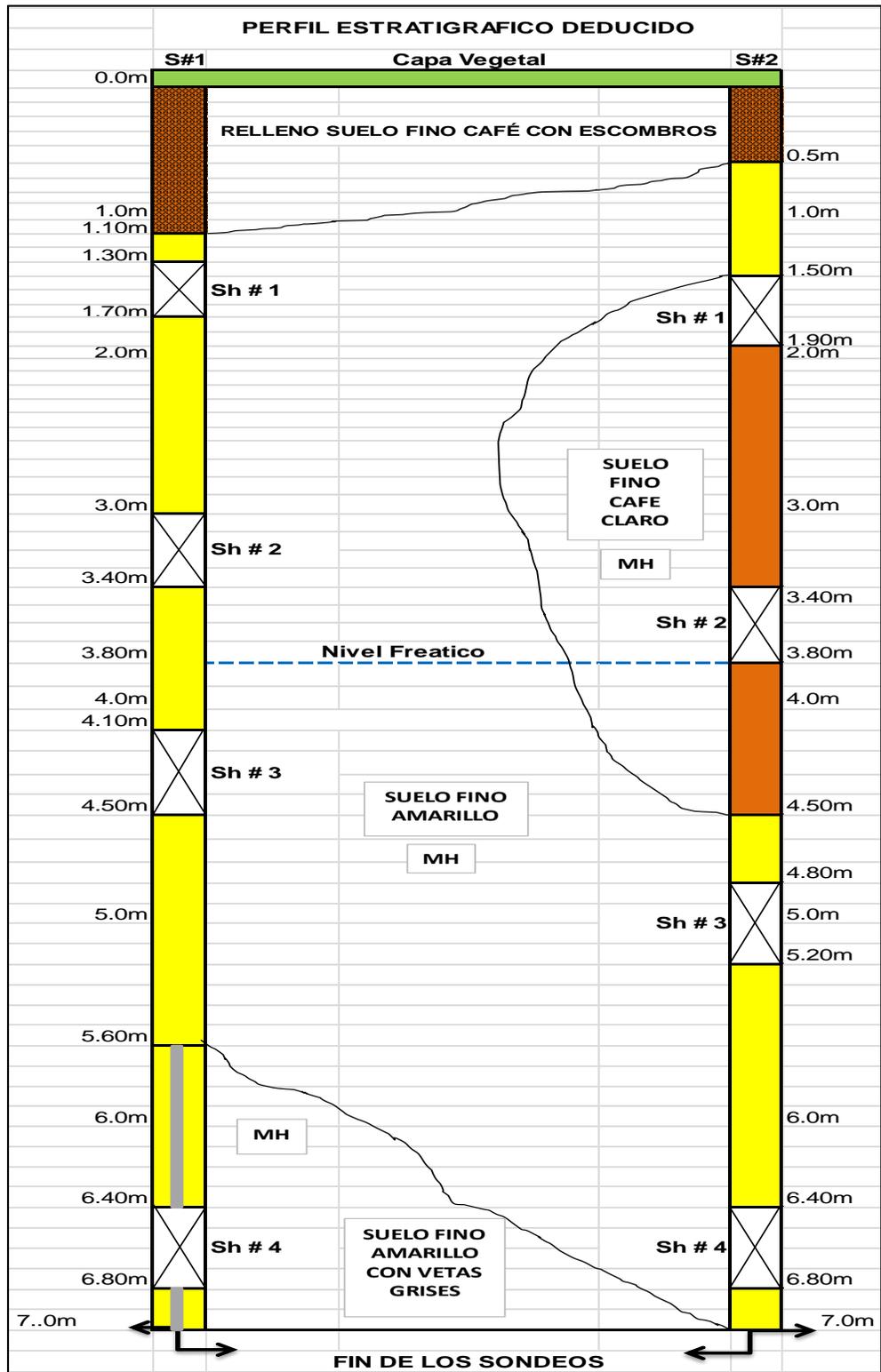
### COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEDUCIDO



**Figura 2. 10** Columna estratigráfica del Sondeo No. 1  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 2. 11** Columna estratigráfica del Sondeo No. 2  
Fuente: Elaboración propia

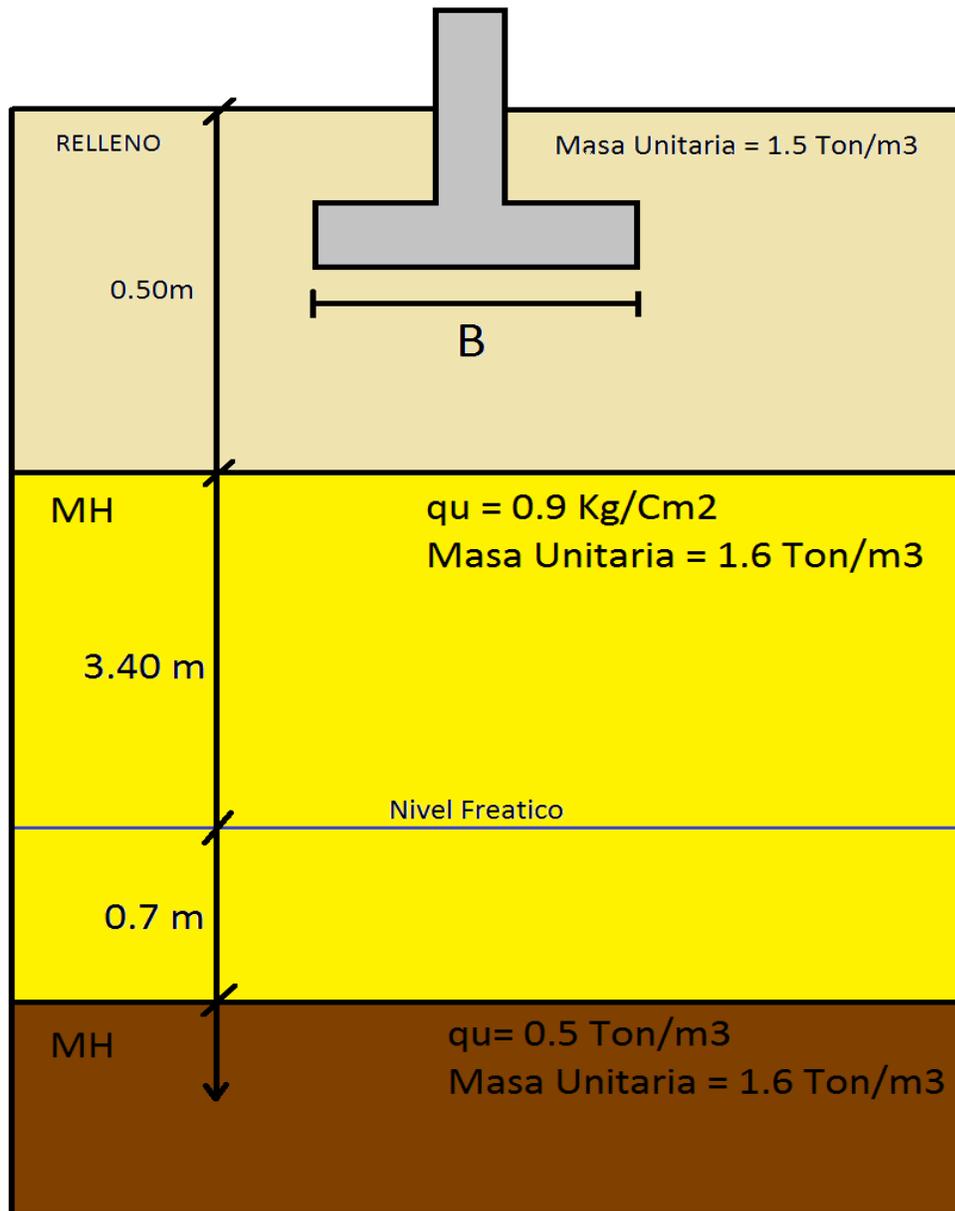


**Figura 2. 12** Perfil estratigráfico deducido  
Fuente: Elaboración Propia

### ANEXO 3

## MEMORIA DE CÁLCULOS

Este es el perfil adoptado para el cálculo de la capacidad de carga:



**Figura 2. 13** Perfil de cálculo de capacidad portante  
(Figura sin escala)

### Calculo tipo:

✓ Zapata cuadrada:

$$Df = 0.5 \text{ m}, \quad B/L = 1, \quad B = 1.5 \text{ m}, \quad C = \frac{qu}{2}$$

$$Nc = 5 \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) \left(1 + 0.2 \frac{Df}{B}\right) = 6.4$$

$$\alpha = \frac{2H(B+L)}{BL} = \frac{2 \cdot 4.1 \text{ m} \cdot (1.5 \text{ m} + 1.5 \text{ m})}{1.5 \text{ m} \cdot 1.5 \text{ m}} = 10.93$$

$$Nm = \alpha + \frac{C2}{C1} Nc = 14.49$$

$$Nc < Nm \Rightarrow Nm = 6.4$$

$$\sigma u = C1 Nm + \gamma Df = \left(4.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}\right) \cdot (6.4) + 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \cdot 0.5 \text{ m} = 29.55 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma p = \frac{\sigma u}{3} = 9.85 \text{ Ton/m}^2$$

✓ Zapata Corrida o de longitud infinita:

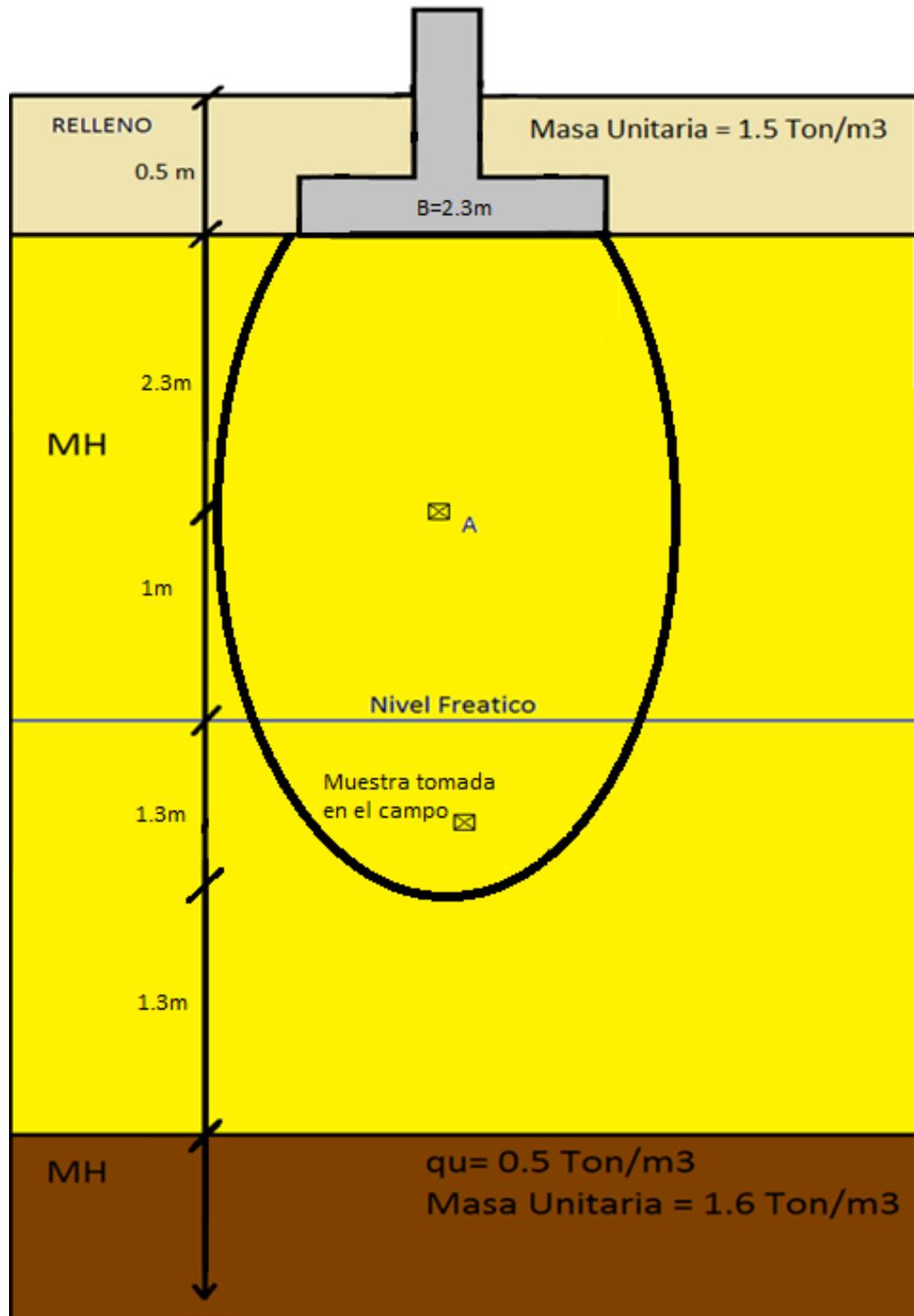
$$Df = 0.5 \text{ m}, \quad B/L = 0, \quad B = 0.5 \text{ m}, \quad C = \frac{qu}{2}$$

$$Nc = 5 \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) \left(1 + 0.2 \frac{Df}{B}\right) = 6.0$$

$$\sigma_u = C1 Nc + YDf = \left(4.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}\right) * (6.0) + 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} * 0.5\text{m} = 27.75 \text{ Ton/m}^2$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{3} = 9.25 \text{ Ton/m}^2$$

Este es el perfil adoptado para el cálculo de asentamientos por consolidación primaria para una zapata cuadrada:



**Figura 2. 14** Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación primaria para zapata cuadrada  
Fuente: Elaboración propia

### Calculo Tipo:

✓ Zapata Cuadrada de mayor tamaño:

$$B = 2.3 \text{ m}, \quad B/L = 1, \quad q = 9.64 \text{ Ton/m}^2, \quad D_f = 0.5 \text{ m}$$

$$\sigma'_c = 1.7 \text{ Kg/cm}^2, \quad C_{cr} = 0.1484$$

$$\sigma'_{oA} = \gamma * h = \left( 2.3 \text{ m} * 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) + \left( 0.5 \text{ m} * 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) = 4.43 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.443 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{o \text{ muestra}} &= \left( 0.5 \text{ m} * 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) + \left( 3.3 \text{ m} * 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) + \frac{(1.6 - 1)\text{Ton}}{\text{m}^3} * 1.2 \text{ m} \\ &= 6.75 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.675 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{RSC} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{o \text{ muestra}}} = \frac{1.7 \text{ Kg/cm}^2}{0.675 \text{ Kg/cm}^2} = 2.52 > 1.8 \Rightarrow \text{Suelo Sobreconsolidado}$$

$$I_o = f\left(\frac{Z}{B}, \frac{X}{B}\right) = 0.085$$

$$\Delta\sigma_A = q * I_o = 9.64 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} * 0.085 * 4 = 3.28 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.328 \text{ Kg/cm}^2$$

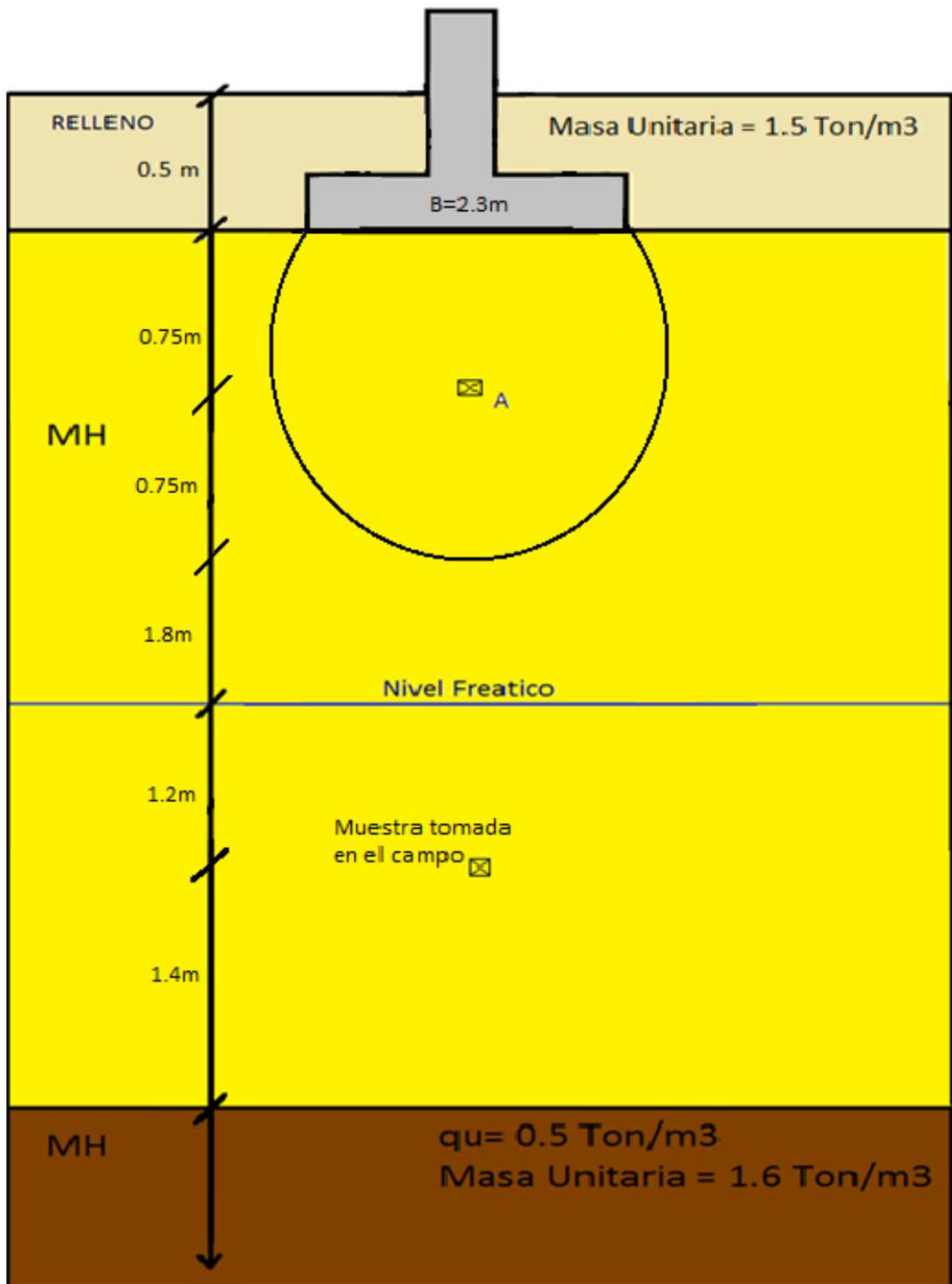
$$\begin{aligned} \sigma'_{ccA} &= 17 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - \left( \left( 1.2 \text{ m} * 0.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) + \left( 1 \text{ m} * 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} \right) \right) = 14.68 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \\ &= 1.468 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A = 7.71 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{ccA} \Rightarrow \text{CASO 1}$$

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_0} C_{cr} \log \left( \frac{\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A}{\sigma'_{oA}} \right) = \frac{460 \text{ cm}}{1+2.12} * 0.1484 * \log \left( \frac{4.43+3.28}{4.43} \right) = 5.27 \text{ cm}$$

$$\Delta H = 5.27 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \Rightarrow \mathbf{OK}$$

Este es el perfil adoptado para el cálculo de asentamientos por consolidación primaria para una zapata corrida o de longitud infinita:



**Figura 2. 15** Perfil de cálculo de asentamiento por consolidación primaria para zapata de longitud infinita  
Fuente: Elaboración propia

✓ Zapata Corrida o de longitud infinita:

$$B = 0.5 \text{ m}, \quad B/L = 0, \quad q = 9.25 \text{ Ton/m}^2, \quad Df = 0.5 \text{ m}$$

$$\sigma'_c = 1.7 \text{ Kg/cm}^2, \quad C_{cr} = 0.1484$$

$$\sigma'_{oA} = \gamma * h = \left(0.75 \text{ m} * 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(0.5 \text{ m} * 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) = 1.95 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.195 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{omuestra} &= \left(0.5 \text{ m} * 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(3.3 \text{ m} * 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \frac{(1.6 - 1)\text{Ton}}{\text{m}^3} * 1.2 \text{ m} \\ &= 6.75 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.675 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{RSC} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_{omuestra}} = \frac{1.7 \text{ Kg/cm}^2}{0.675 \text{ Kg/cm}^2} = 2.52 > 1.8 \Rightarrow \text{Suelo Sobreconsolidado}$$

$$I_o = f\left(\frac{Z}{B}, \frac{X}{B}\right) = 0.6688$$

$$\Delta\sigma_A = q * I_o = 9.25 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} * 0.6688 * 4 = 6.19 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} = 0.619 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma'_{ccA} &= 17 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} - \left(\left(1.2 \text{ m} * 0.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right) + \left(2.55 \text{ m} * 1.6 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}\right)\right) = 12.2 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} \\ &= 1.22 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A = 8.14 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} < \sigma'_{ccA} \Rightarrow \text{CASO 1}$$

$$\Delta H = \frac{H}{1+e_o} C_{cr} \log\left(\frac{\sigma'_{oA} + \Delta\sigma_A}{\sigma'_{oA}}\right) = \frac{150 \text{ cm}}{1+2.12} * 0.1484 * \log\left(\frac{0.195+0.619}{0.195}\right) = 4.43 \text{ cm}$$

$$\Delta H = 4.43 \text{ cm} < 6 \text{ cm} \Rightarrow \text{OK}$$

## **CAPÍTULO 3**

### **CONSTRUCCIÓN URBANIZACIÓN PORTAL DE LA COLINA**

## 1. Introducción

En toda construcción es necesario por no decir imprescindible la realización de un estudio de suelos con el fin de adoptar la mejor solución para la fundación de cualquier tipo de estructura. Cuando se habla de la mejor solución, se refiere tanto al aspecto técnico como al aspecto económico. Técnico porque como consecuencia de que el suelo es muy variable, aun dentro de zonas pequeñas puede haber siempre distintas soluciones que habría que evaluar en cada caso (Amburi, 2013).

En este capítulo se muestran los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir del análisis y estudio geotécnico realizado en el lote propiedad de la urbanización Portal de la Colina de la Ciudad de Popayán (Cauca) sobre el cual se proyecta la construcción de estructuras para vivienda y el diseño de un talud que garantice el buen comportamiento del suelo en los lugares más críticos desde el punto de vista geotécnico.

El estudio, se ha efectuado con la finalidad de conocer la estratigrafía del suelo de cimentación y examinar las propiedades geotécnicas del suelo, con el fin de aplicarlas de manera eficiente, en el diseño de la cimentación de las estructuras y recomendaciones generales para la estabilidad de las mismas desde el punto de vista geotécnico.

Los resultados obtenidos permitieron concluir sobre los tipos de cimentación más adecuados para las estructuras y la estabilidad de las construcciones de este proyecto, con las respectivas recomendaciones constructivas, dando de esta forma alternativas que se adapten además al presupuesto de las personas que se van a ver beneficiadas con el proyecto.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo general**

Realizar el estudio geotécnico para dar las recomendaciones apropiadas sobre el diseño y construcción de las cimentaciones de las viviendas y el manejo de los rellenos y taludes de pequeña altura al borde de una terraza, en el lote donde se desarrolla la Urbanización Portal de la Colina.

### **2.2. Objetivos específicos**

2.2.1. Dar las recomendaciones apropiadas para el diseño y construcción de zapatas corridas o de longitud infinita que constituyen la cimentación de las viviendas.

2.2.2. Dar las recomendaciones para el manejo del talud de la última terraza al borde de sendero ecológico proyectado.

### 3. Descripción del sitio y de la estructura a construir

#### 3.1. Localización

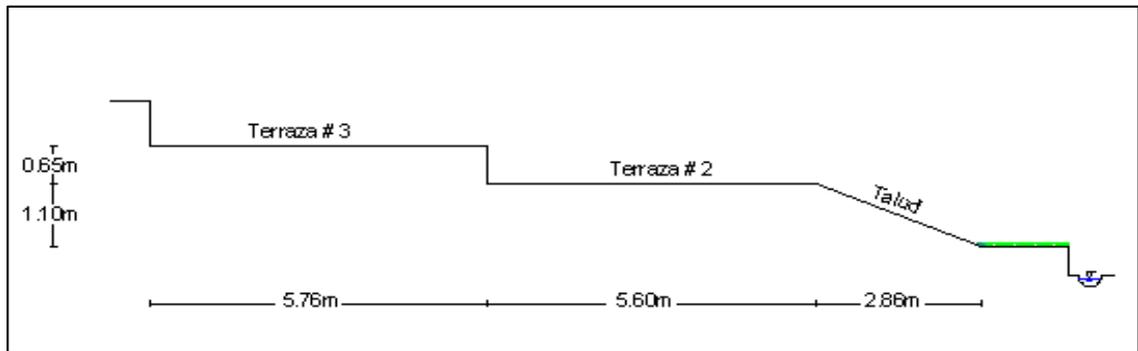
El lote donde se proyecta la construcción de las estructuras, se encuentra ubicado en la dirección Carrera 2, junto al Liceo Alejandro de Humboldt, en el barrio Portal de la Colina de la Ciudad de Popayán, Departamento del Cauca.



**Figura 3. 1** Vista del lote en estudio

#### 3.2 Características Topográficas del proyecto

Por las características topográficas del terreno el lote se ha adecuado con terrazas, como se indica en la Figura 3. 2.



**Figura 3. 2** Representación de las Terrazas en estudio  
Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 3** Vista de la Terraza # 1



**Figura 3. 4** Vista de la Terraza # 2



**Figura 3. 5** Vista de la Terraza # 3

### **3.3 Tipo de estructura a construir**

El proyecto de vivienda está constituido por viviendas de dos plantas, con estructura conformada por muros de carga en ladrillo común, con columnetas y vigas de amarre. Las losas de entrepiso en términos generales serán en aligeradas en concreto reforzado.

## 4. Metodología

Se realizó un trabajo de campo que consistió en cuatro perforaciones con equipo manual. Además se realizaron los ensayos de laboratorio necesarios para definir: la estratigrafía del suelo de cimentación, la posición del nivel de aguas freáticas y las propiedades físicas y mecánicas del suelo, parámetros con los que se calculó la capacidad portante del suelo y se pudo dar las recomendaciones para el diseño de la cimentación de las estructuras.

### 4.1. Trabajo de campo

Con el fin de recopilar la información necesaria para determinar la estratigrafía y las propiedades físicas y mecánicas del suelo en estudio, se llevaron a cabo las siguientes actividades.

#### 4.1.1. Exploración de Campo

Se realizó un reconocimiento del terreno, y se ubicaron los puntos donde se realizaron las perforaciones, tal como se indica en la figura que aparece en el Anexo 1.

#### 4.1.2. Perforaciones

Se programaron para este proyecto cuatro (4) perforaciones, efectuadas con equipo manual (barreno helicoidal, y varillaje de extensión), a diferentes profundidades dependiendo de las características de los suelos encontrados, tal como se indica en las imágenes de la Figura 3.6.

#### 4.1.3. Muestreo

Durante el trabajo de campo se tomaron muestras inalteradas con tubos Shelby, y muestras alteradas en bolsas plásticas, a las profundidades indicadas en los registros de perforación para cada sondeo (ver imágenes de la Figura 3.7).



**Figura 3. 6** Perforación con equipo manual



**Figura 3. 7** Muestreo con tubo Shelby

#### **4.2.** Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas, se llevaron al laboratorio de suelos, en donde se desarrollaron las siguientes pruebas:

- Humedad Natural.
- Límites de Atterberg.
- Peso Unitario.
- Compresión Inconfinada.
- Gravedad Específica.

## **5. Estratigrafía y resultados de caracterización de los suelos encontrados**

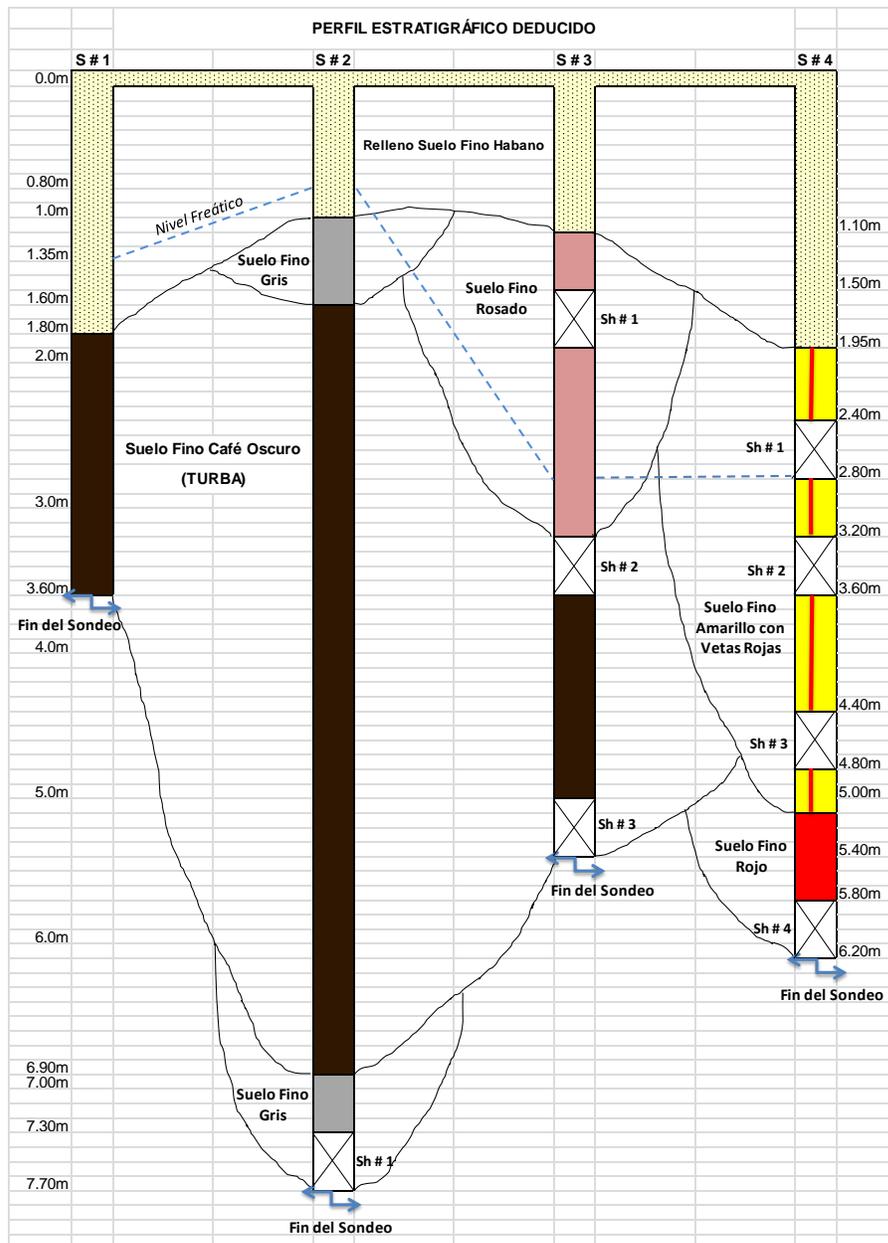
### **5.1. Estratigrafía y propiedades de los suelos**

EL perfil estratigráfico del suelo, obtenido a partir del trabajo de campo y de los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio a las muestras extraídas; es heterogéneo a lo largo y ancho del lote.

Este perfil está conformado básicamente por un relleno de suelo fino color habano en la parte más superficial, seguido de un suelo fino color gris y un suelo fino color rosado. Más profundo se encuentra un suelo fino de color café oscuro (Turba), un suelo fino color amarillo con vetas rojas, un suelo fino de color rojo y un suelo fino de color gris.

A continuación se describirán las características de los diferentes estratos de suelo:

Tal como se puede observar en la Figura 3.8, el perfil de suelos se puede considerar conformado de la siguiente manera:



**Figura 3. 8** Perfil estratigráfico deducido  
Fuente: Elaboración propia

✚ Primer estrato

Corresponde a un relleno de suelo fino color habano, tiene un espesor aproximado entre 0.00m y 1.95m.



**Figura 3. 9** Relleno de Suelo Fino color Habano

 Segundo estrato

- ❖ Este estrato es variable a lo largo del lote, en el sitio donde se realizó el sondeo No.2, la segunda capa de suelo está constituida por un suelo fino de color gris, con un espesor variable entre 0.60 y 0.8m. Este suelo tiene una humedad media inferior al límite líquido y en los primeros metros de profundidad posee una consistencia alta, predominando los valores de consistencia alta en los primeros metros y con una tendencia a disminuir con la profundidad. Solamente en un sitio a 5.30m de profundidad se obtuvo una consistencia baja.



**Figura 3. 10** Suelo Fino color Gris

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 3. 1** Características Físicas y mecánicas suelo fino color gris

Característica	Valor
Humedad (%)	73.9 – 38.4
Limite Líquido (%)	100.2
Índice de Plasticidad (%)	60.2
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.56 – 1.79
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.90 – 1.29
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.50 – 0.40

Fuente: Elaboración propia

- ❖ El sondeo No. 3 el segundo estrato está constituido por un suelo fino de color rosado, con un espesor de 2.10m. Este suelo tiene una humedad y consistencia alta.



**Figura 3. 11** Suelo Fino color Rosado

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 3. 2** Características Físicas y mecánicas suelo fino color rosado

Característica	Valor
Humedad (%)	57.1
Limite Liquido (%)	**
Índice de Plasticidad (%)	**
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.57
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.00
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	1.01

Fuente: Elaboración propia

- ❖ En el sondeo No.4, la segunda capa de suelos está conformada por un suelo fino de color amarillo con vetas rojas, con un espesor de 3.15m. Este suelo tiene una humedad media inferior al límite líquido y en los primeros metros de profundidad posee una consistencia alta.



**Figura 3. 12** Suelo Fino color Amarillo con Vetas Rojas

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 3. 3** Características Físicas y mecánicas suelo fino color amarillo con vetas rojas

Característica	Valor
Humedad (%)	38.1 – 47.6
Limite Liquido (%)	77.2
Índice de Plasticidad (%)	39.6
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.76 – 1.88
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.19 – 1.36
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.01 – 4.48

Fuente: Elaboración propia

#### Tercer estrato

- ❖ Este estrato está constituido por un suelo fino de color café oscuro a negro, con materia vegetal en descomposición, raíces y madera, con alto contenido de humedad y consistencia baja, típico de una Turba. El espesor de esta capa de suelo varía entre 2.20m y 5.30m y sus características se pueden observar en la Figura 3.13.



**Figura 3. 13** Suelo Fino color Café Oscuro

Las principales características físicas y mecánicas de esta capa de suelo son las siguientes:

**Tabla 3. 4** Características Físicas y mecánicas suelo fino color café oscuro

Característica	Valor
Humedad (%)	38.4 – 109.5
Limite Liquido (%)	**
Índice de Plasticidad (%)	**
Masa Unitaria Húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.33 – 1.79
Masa Unitaria Seca (g/cm <sup>3</sup> )	0.64 – 1.29
Resistencia a la Compresión Inconfinada (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.40 – 0.45

Fuente: Elaboración propia

#### Nivel freático

El nivel freático a la fecha de realización de las perforaciones el 26 de abril del 2013, se encontró a una profundidad variable entre de 0.80 y 2.80m en las tres primeras perforaciones.



**Figura 3. 14** Nivel Freático

En la Tabla 3. 5 se presenta un resumen de los resultados obtenidos donde se pueden visualizar las características principales de los suelos encontrados.

**Tabla 3. 5** Resumen de características Físicas y mecánicas de los suelos encontrados

Prof (m)	Wn (%)	LL (%)	IP (%)	$q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_m$ (Ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (Ton/m <sup>3</sup> )	Descripción
<b>Sondeo Manual No. 2</b>							
7.30 - 7.70	73.9	100.2	60.2	1.50	1.56	0.90	Suelo Fino Gris (MH)
<b>Sondeo Manual No. 3</b>							
1.50 - 1.90	57.1	**	**	1.01	1.57	1.00	suelo Fino Rosado
3.20 - 3.60	109.5	**	**	0.45	1.33	0.64	Suelo Fino Café Oscuro (TURBA)
5.00 - 5.40	38.4	**	**	0.40	1.79	1.29	Suelo Fino Café Oscuro (TURBA)
<b>Sondeo Manual No. 4</b>							
2.40 - 2.80	43.5	77.2	39.6	4.48	1.83	1.28	Suelo Fino Amarillo con Vetas Rojas (MH)
3.20 - 3.60	47.6	77.2	39.6	3.01	1.76	1.19	Suelo Fino Amarillo con Vetas Rojas (MH)
4.40 - 4.80	38.1	77.2	39.6	3.66	1.88	1.36	Suelo Fino Amarillo con Vetas Rojas (MH)
5.80 - 6.20	50.9	**	**	1.03	1.75	1.16	Suelo Fino Rojo

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la Humedad Natural, el Limite Líquido, el Índice de Plasticidad, la Masa Unitaria Seca y Húmeda, la Resistencia a la Compresión Inconfinada y la Profundidad, se observaron las siguientes características de los suelos encontrados:

- Superficialmente, aparece una capa de relleno de espesor variable entre 1.0m y 1.95m, constituida por un suelo fino de color habano, colocada en estado relativamente suelto.
- Los suelos por debajo del relleno en términos generales, tienen una Humedad Natural inferior al Limite Liquido y tiende a aumenta con la Profundidad.
- El Índice de Plasticidad en todos los suelos es mayor a 30%, lo que indica la presencia de suelos de alta plasticidad.
- Estos suelos por su alto contenido de finos plásticos, no son susceptibles a la licuación.
- La Resistencia de las capas de suelo natural más superficiales, en términos generales es alta, pero el suelo fino color café oscuro (Turba) posee una consistencia blanda y su espesor es importante en algunos sitios mayor de 3.0m.

## 6. Capacidad de carga

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio, se procedió a realizar los respectivos cálculos para determinar la capacidad portante de los suelos considerando las condiciones topográficas de algunas terrazas.

### 6.1. Capacidad Portante

Por las características del terreno es necesario dividir el cálculo de la capacidad portante de la siguiente manera:

- Cuando el perfil de cálculo muestra un estrato de suelo de consistencia más dura que la capa de suelo inferior, se utilizará la teoría de Brown y Meyerhoff, cuya mecánica consiste en hallar la capacidad portante última del suelo, y al aplicarle un correcto factor de seguridad, obtener la capacidad portante admisible.
- Cuando el perfil del suelo de cimentación muestra un estrato de suelo de consistencia baja sobre otro de mayor consistencia se utilizará la teoría general de capacidad de carga de Vesic.

#### 6.1.1. Teoría general de la Capacidad de Carga

La mecánica consiste en hallar la capacidad de carga última del suelo, considerando la resistencia al corte del suelo de un perfil de suelos estratificado, constituido por dos estratos.

#### ❖ Teoría de Brown y Meyerhoff

Para un suelo duro sobre uno de menor consistencia. Las expresiones a usar son:

$$\sigma u = C_1 \times Nm + \gamma \times D_f$$

$$Nm = \alpha + \frac{C_2}{C_1} \times Nc$$

$$\alpha = \frac{2 \times H \times (B + L)}{B \times L}$$

$$Nc = 5 \times (1 + 0.2 B/L) \times (1 + 0.2 D_f/B)$$

$$\sigma_p = \sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{FS}$$

$$FS = 3$$

Siendo:

$\sigma_u$  y  $\sigma_{adm}$ : Capacidades Portantes Última y Admisible, respectivamente.

$C_1$  y  $C_2$ : Cohesión respectiva de cada suelo.

$N_c$ : Factor de Capacidad de Carga

FS: Factor de seguridad.

$\gamma$  : Peso unitario del suelo.

Df: Profundidad de cimentación.

B: Ancho del cimiento.

❖ Teoría de Vesic para suelos cohesivos.

Para un suelo de consistencia baja sobre uno duro. Las expresiones a usar son:

$$\sigma_u = 5.14 \times C \left(1 + 0.2 \times \frac{B}{L}\right) \times \left(1 + 0.4 \times \frac{Df}{B}\right) + \gamma \times Df$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{FS}$$

$$FS = 3$$

Siendo:

$\sigma_u$  y  $\sigma_p$ : Capacidades Portantes Última y Admisible, respectivamente.

C: Cohesión del suelo de fundación.

FS: Factor de seguridad.

$\gamma$  : Peso unitario del suelo.

Df: Profundidad de cimentación.

B: Ancho del cimiento.

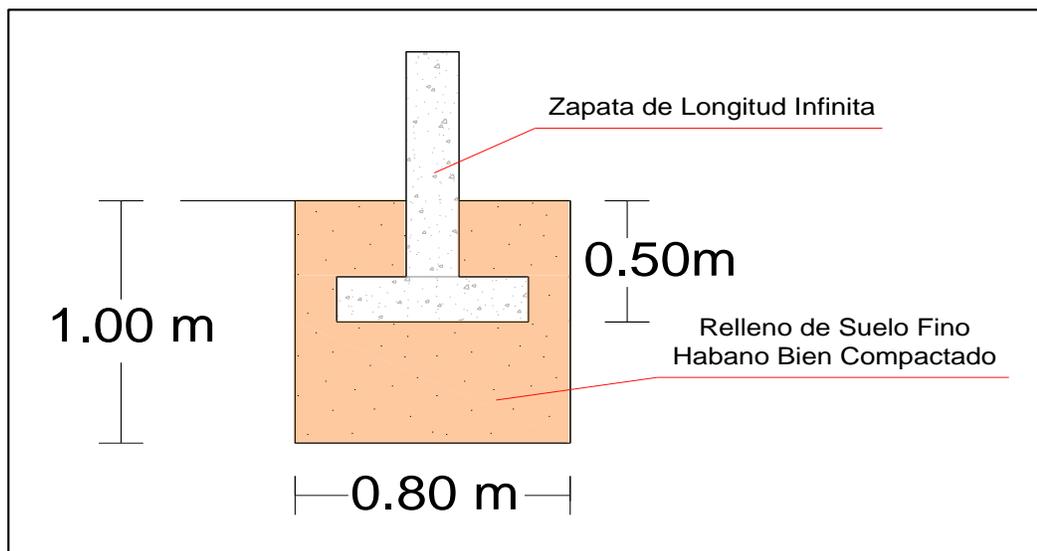
L: Longitud del cimiento.

## 7. Recomendaciones

### 7.1. Recomendaciones para la cimentación

Considerando las características del suelo y las estructuras proyectadas se recomienda la construcción de una cimentación constituida por zapatas corridas o de longitud infinita con una profundidad de desplante de 0.50m y un ancho mínimo de 0.50m, siguiendo estrictamente las recomendaciones que se dan a continuación:

- En las dos últimas hileras de terrazas, en el costado sur oriental del lote o sea las más cercanas al sendero ecológico, se recomienda mejorar el suelo de cimentación así: Construir una zanja de 0.80m de ancho por 1.00m de profundidad, una vez realizada esta zanja se debe rellenar con el suelo fino de color habano presente en el sitio, el cual ha sido utilizado para todos los rellenos del proyecto. Este relleno debe compactarse muy bien en capas de máximo 0.20m de espesor, con equipo de compactación tipo rana o bailarina, hasta lograr la cota de proyecto. Una vez terminada la compactación se deben tomar muestras con tubo shelby y verificar que se logre una resistencia a la compresión Inconfinada de 0.8 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 3. 15** Esquema de las recomendaciones para las franjas de la cimentación  
Fuente: Elaboración propia

Para estas condiciones la capacidad de carga de las cimentaciones, para cada terraza y diferentes anchos de zapata, será:

#### 7.1.1. Terraza # 1 y Terraza # 2

La capacidad portante se calculó con la teoría de Brown y Meyerhoff.

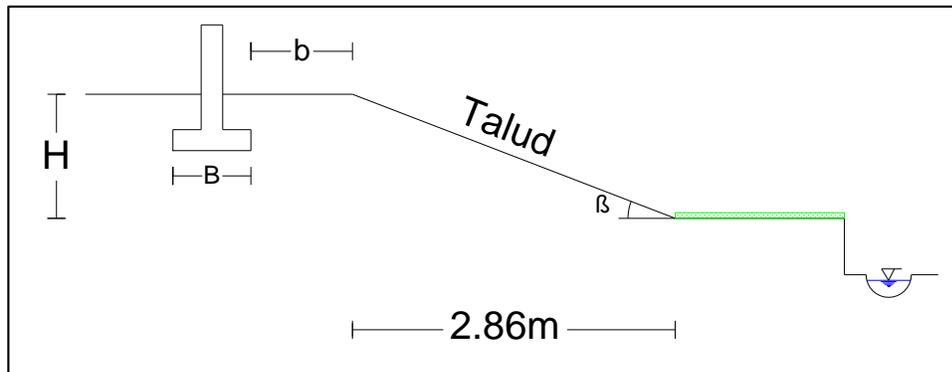
A continuación se presentan resumidas en la Tabla 3.6 las capacidades portantes para diferentes B, para una profundidad de desplante igual a 0.50m, con zapatas de longitud infinita utilizando un factor de seguridad de 3.

**Tabla 3. 6** Valores de Capacidad Portante para diferentes B en la Terraza # 2 y 3

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m <sup>2</sup> )	
Df = 0.5 m	B/L = 0
B = 0.50 m	6.25
B = 0.60 m	5.81
B = 0.70 m	5.49
B = 0.80 m	5.25
B = 0.90 m	5.06

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente se determinó la distancia (b), desde el borde de la zapata hasta el borde de la corona de la terraza donde es posible realizar la construcción, lo cual se ve claramente en la Figura 3.16.



**Figura 3. 16** Representación de la distancia  $b$   
Fuente: Elaboración propia

Dicha distancia deberá ser mayor a la diferencia entre la altura del talud ( $H = 1.10\text{m}$ ) y la profundidad de desplante ( $0.50\text{m}$ ), por lo tanto se adoptará como mínimo  $b = 0.80\text{m}$ .

### 7.1.2. Terraza # 3

La capacidad portante se calculó con la teoría de Vesic.

A continuación se presentan resumidas en la Tabla 3.7 las capacidades portantes para diferentes  $B$ , para una profundidad de desplante, en zapatas de longitud infinita con un factor de seguridad de 3.

**Tabla 3. 7** Valores de Capacidad Portante para diferentes valores de B en la Terraza # 3

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (Ton/m <sup>2</sup> )	
Df = 0.5 m	B/L = 0
B = 0.50 m	7.45
B = 0.60 m	7.10
B = 0.70 m	6.86
B = 0.80 m	6.68
B = 0.90 m	6.53

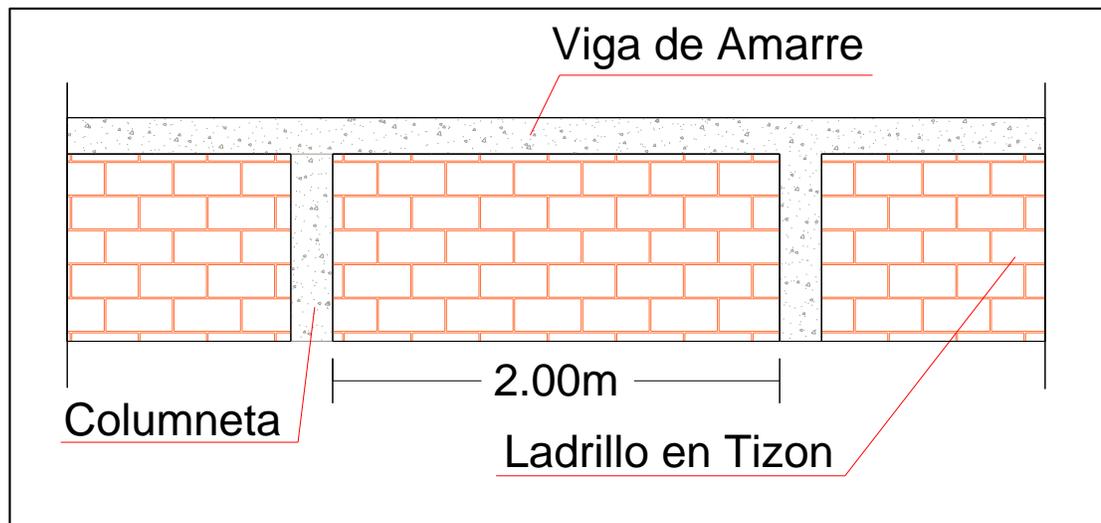
Fuente: Elaboración propia

Para todas las terrazas se chequeó el funcionamiento por capacidad de carga, considerando que el esfuerzo que generan a nivel de cimentación este tipo de viviendas es alrededor de 3.0 Ton/m.

## 7.2. Recomendaciones para el manejo de los cortes entre terrazas y taludes

### 7.2.1. Cortes entre terrazas

En los cortes entre terrazas, los cuales tienen alturas variables entre 0.60 y 0.80m, se recomienda construir muros de contención en ladrillo colocados en tizón con columnetas en concreto reforzado cada 2.00m y viga de amarre también en concreto reforzado en la parte superior del mismo, como se indica en la siguiente figura:



**Figura 3. 17** Esquema del muro de contención entre terrazas  
Fuente: Elaboración propia

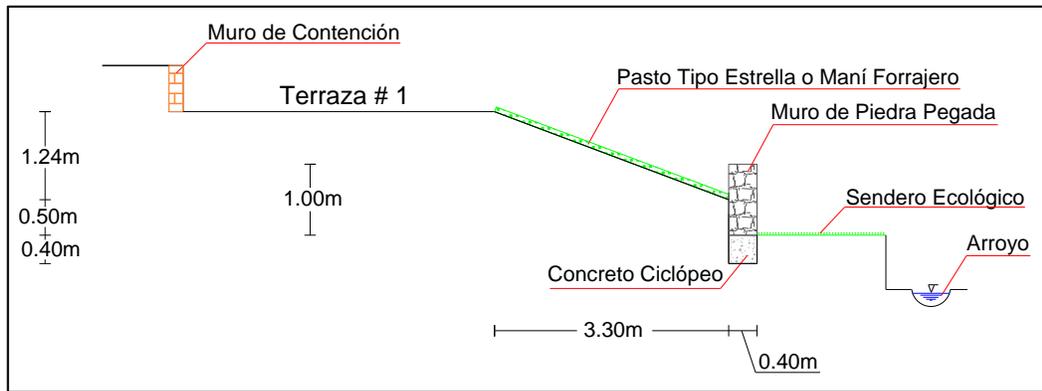
### 7.2.2. Manejo de Taludes

Debido a las características topográficas del proyecto los taludes actualmente tienen un ángulo de inclinación entre  $21^{\circ}$  -  $24^{\circ}$ , ángulos considerados apropiados desde el punto de vista de estabilidad, sin embargo es conveniente seguir estas recomendaciones:

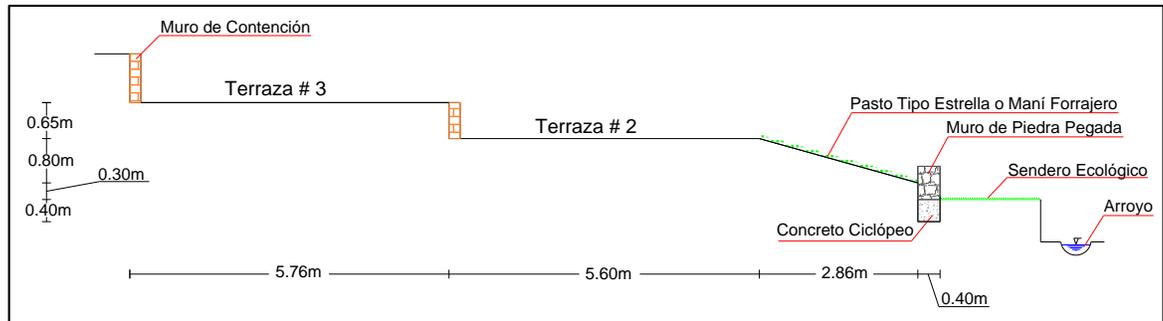
Configurar los taludes con la misma pendiente pero compactando muy bien los taludes. Estos taludes se deben revegetalizar utilizando Pasto tipo estrella o con Maní Forrajero para evitar la erosión superficial por aguas lluvias.

En la parte inferior del talud se debe construir una zanja de 0.40m de ancho y 0.40m de profundidad y fundir allí una zapata en concreto ciclópeo, encima de esta construir un muro de Piedra Pegada con concreto, de 1.00m de altura para la terraza # 1 y 0.60m para la terraza # 2, ambos con un espesor d 0.40m para las dos terrazas.

Adicionalmente los taludes se llevaran hasta la mitad del muro de Piedra Pegada para las dos terrazas. Lo anterior se aprecia claramente en las siguientes figuras.



**Figura 3. 18** Representación del acabado final para la Terraza # 1  
Fuente: Elaboración propia



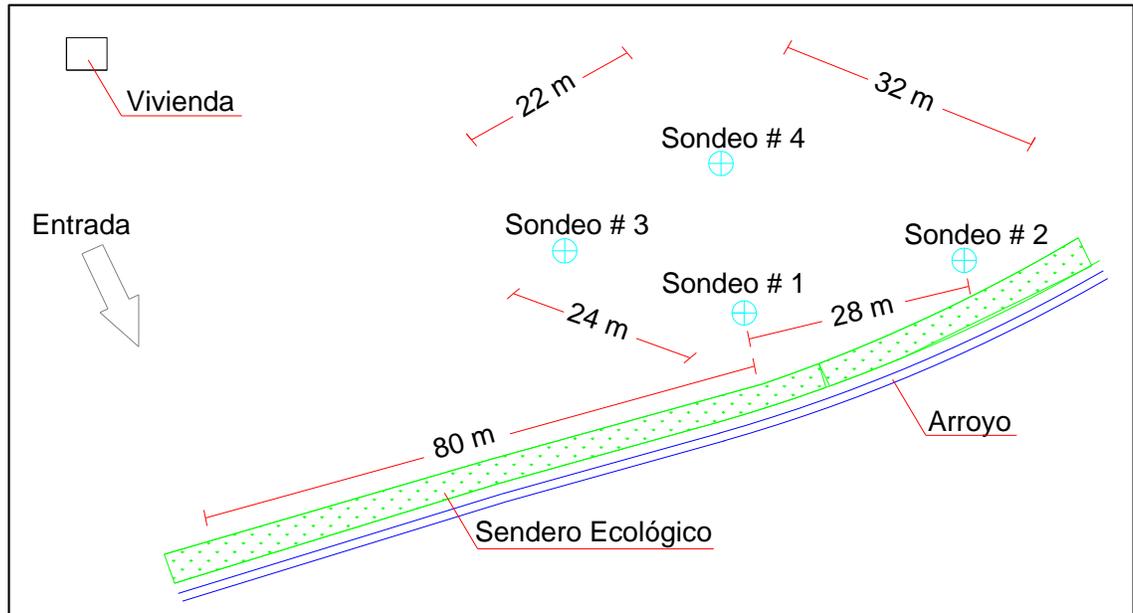
**Figura 3. 19** Representación del acabado final para la Terraza # 2 y Terraza # 3  
Fuente: Elaboración propia

## Referencias y bibliografía de consulta

AMBURI, innovación inmobiliaria. (n.d.). La Importancia del Estudio de Suelo en la Construcción Como Resguardo de la Inversión. Disponible en: <http://pilar.amburi.com.ar/notas-de-interes/la-importancia-del-estudio-de-suelo-en-la-construccion-como-resguardo-de-la-inversion/>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2013.

POLANCO DE HURTADO, Margarita. Notas de clase. Fundaciones. Universidad del Cauca.

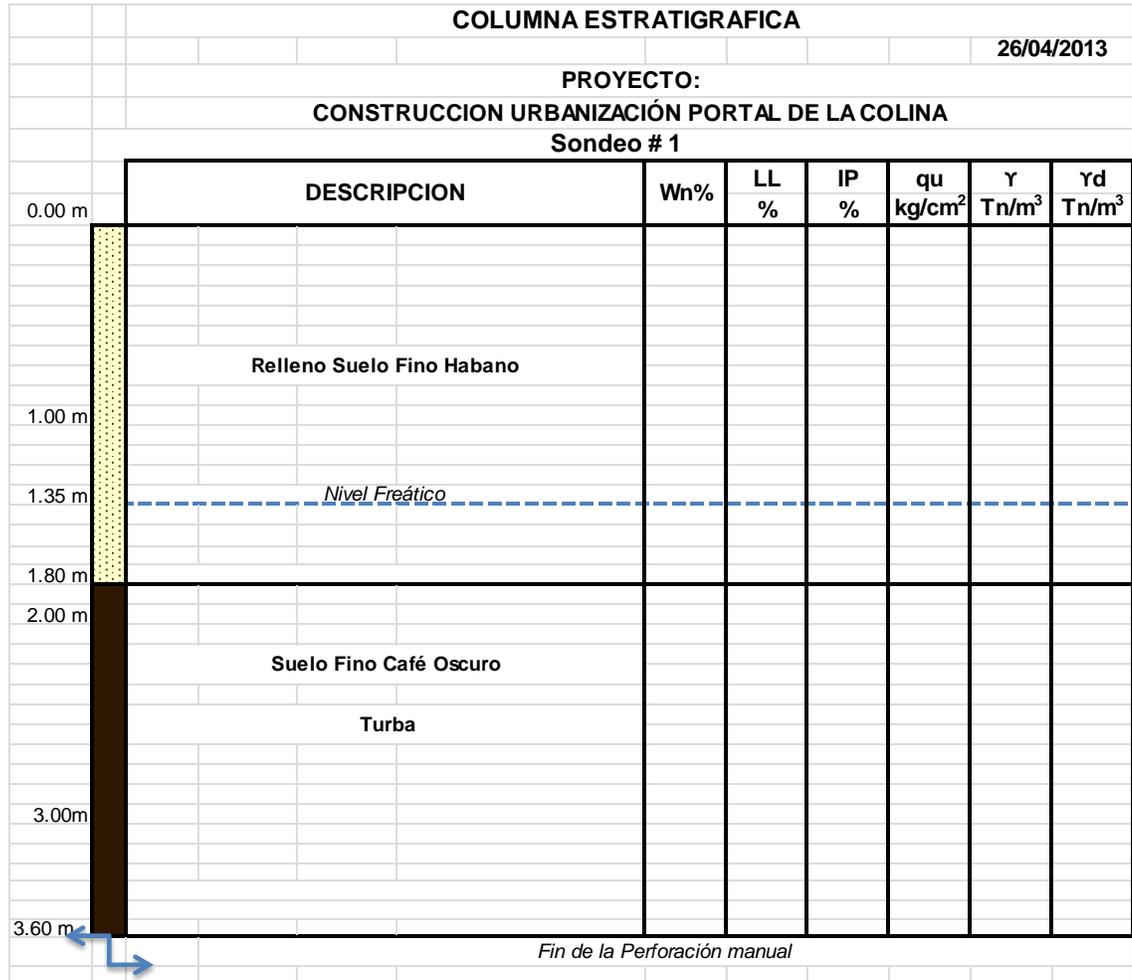
## ANEXO 1 LOCALIZACIÓN EN PLANTA DE LOS SONDEOS



**Figura 3. 20** Localización en planta de los sondeos  
Fuente: Elaboración propia

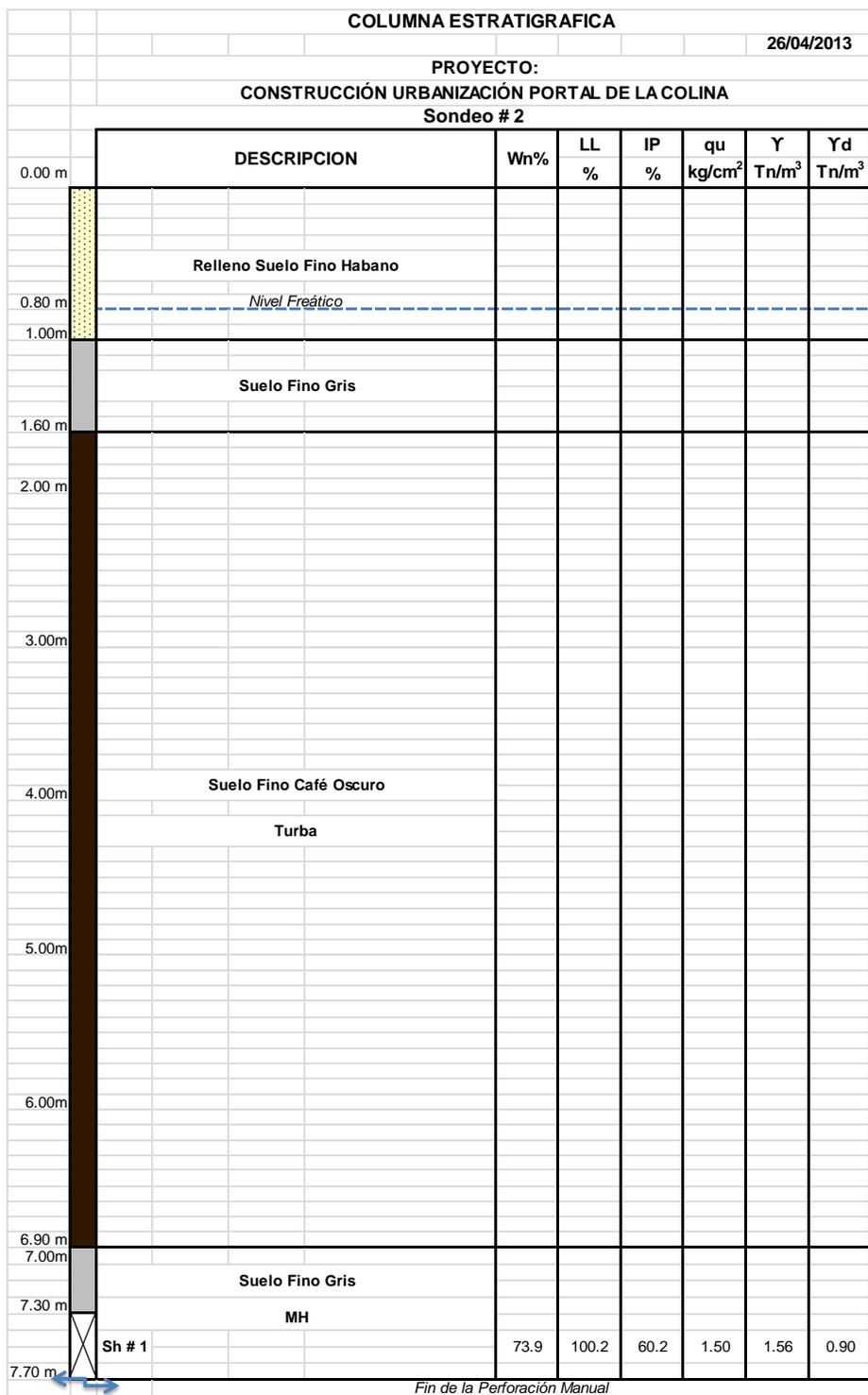
## ANEXO 2 COLUMNAS ESTRATIGRAFICAS

### COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SONDEO NO. 1



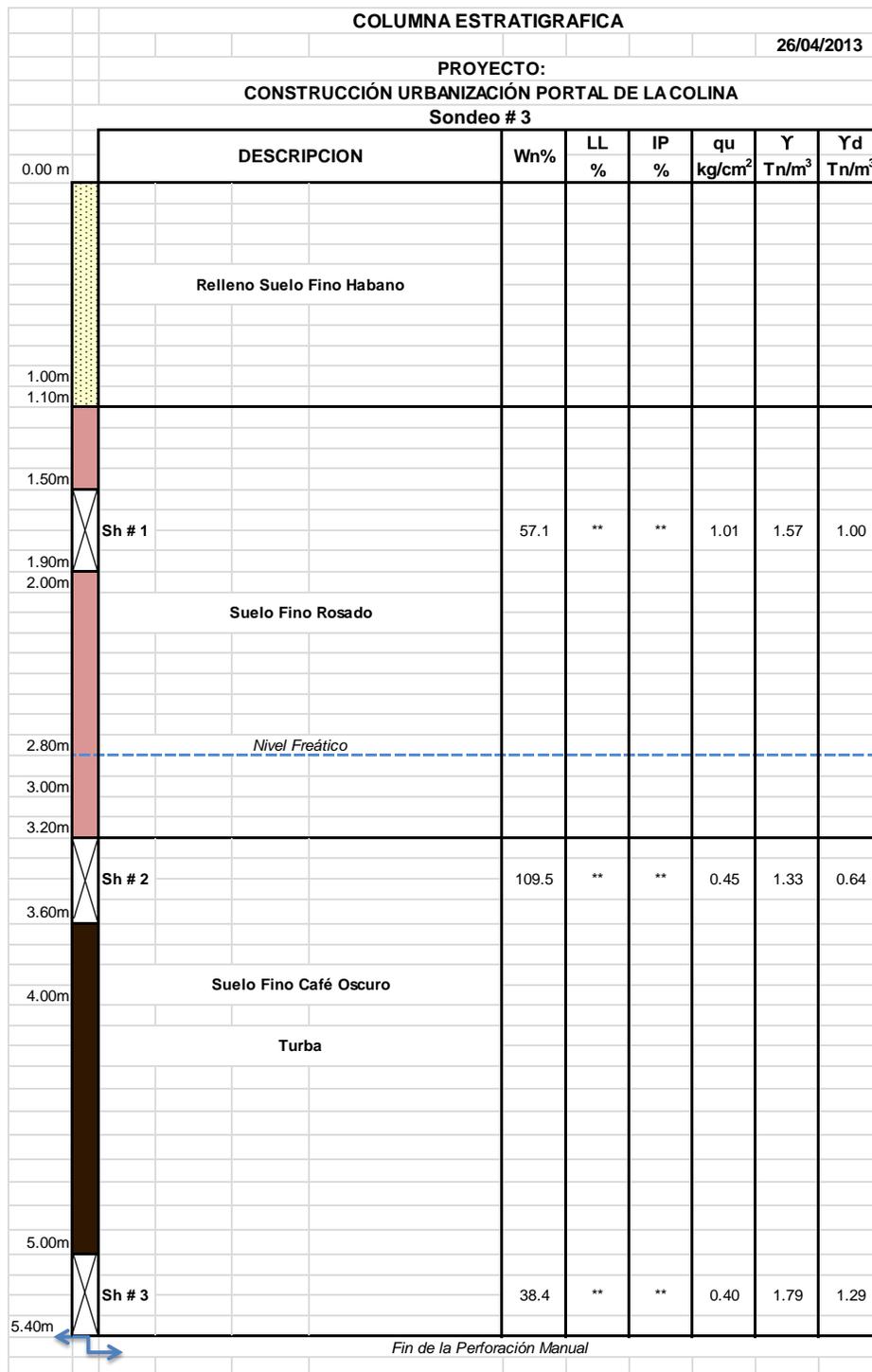
**Figura 3. 21** Columna estratigráfica del sondeo No.1  
Fuente: Elaboración propia

## COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SONDEO No. 2



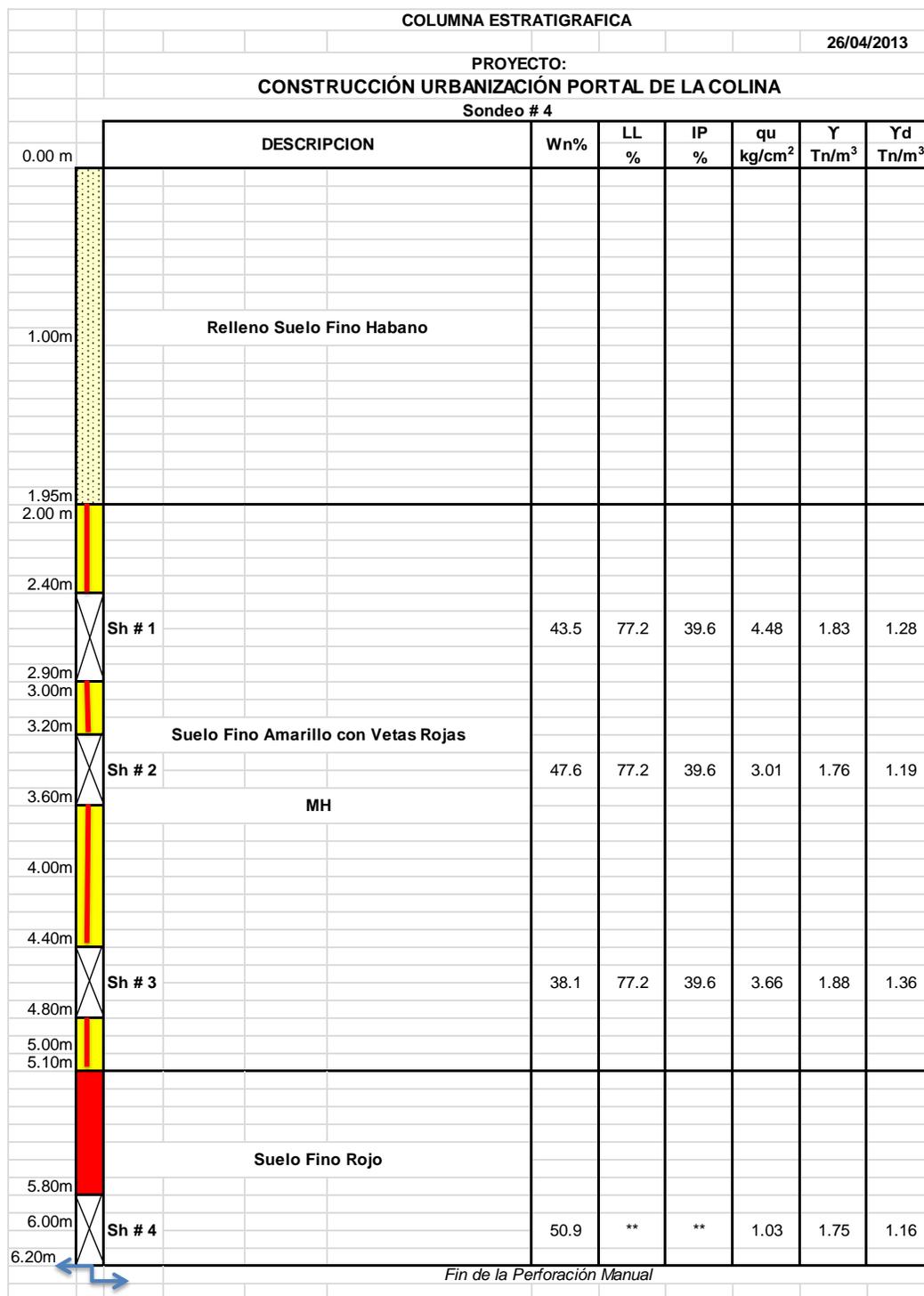
**Figura 3. 22** Columna estratigráfica del sondeo No.2  
Fuente: Elaboración propia

## COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SONDEO No. 3



**Figura 3. 23** Columna estratigráfica del sondeo No.3  
Fuente: Elaboración propia

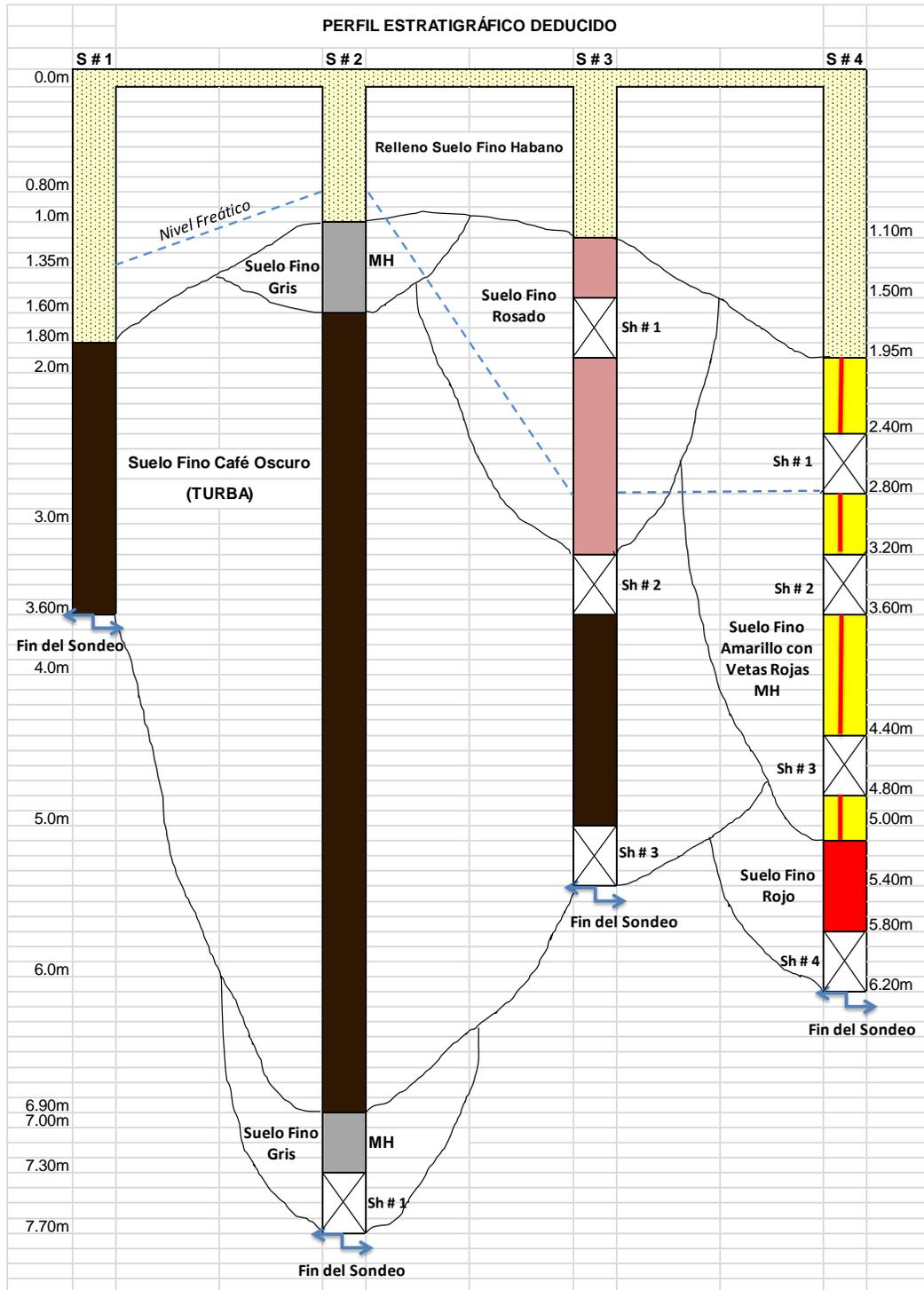
## COLUMNA ESTRATIGRÁFICA SONDEO No. 4



**Figura 3. 24** Columna estratigráfica del sondeo No.4

Fuente: Elaboración propia

## PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEDUCIDO



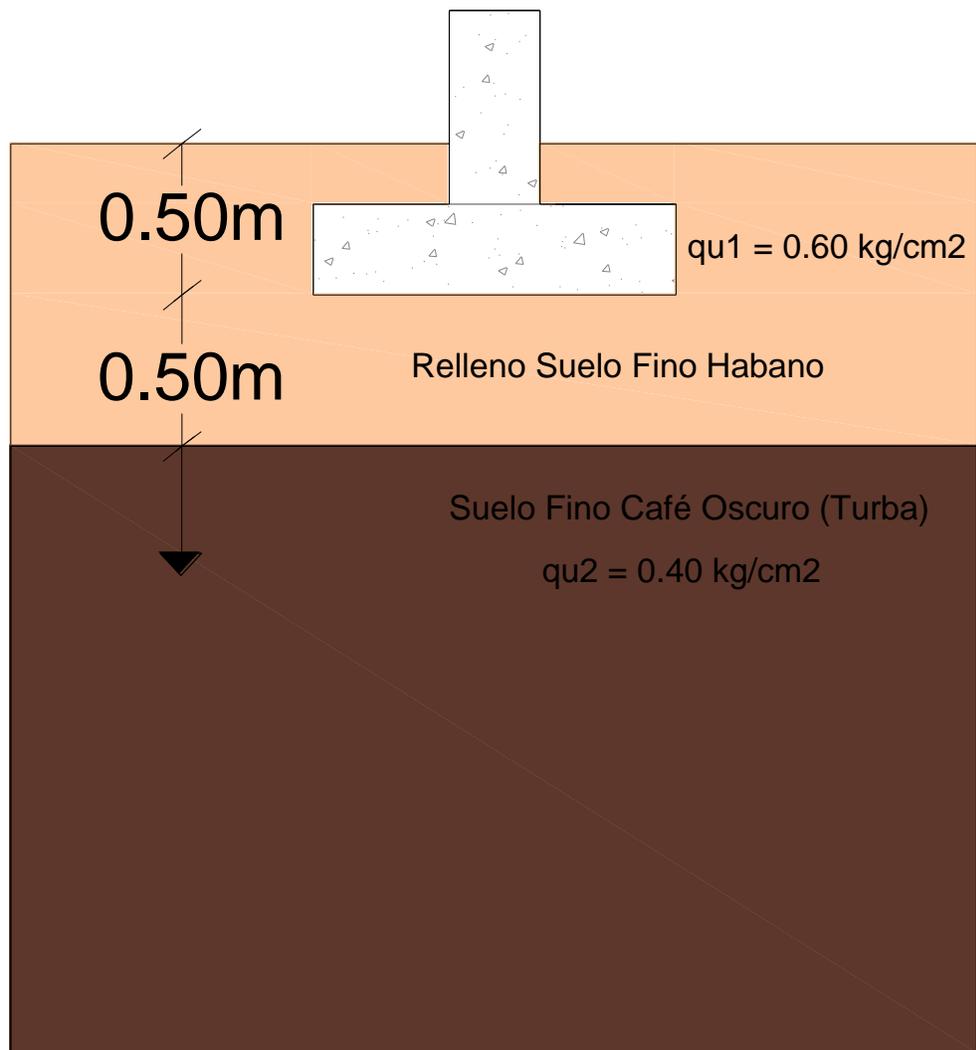
**Figura 3. 25** Perfil estratigráfico deducido

Fuente: Elaboración propia

### ANEXO 3 MEMORIA DE CÁLCULOS

Estos son los perfiles adoptados para el cálculo de la capacidad de carga:

- Terraza # 1 y Terraza # 2



**Figura 3. 26** Perfil de cálculo para las Terrazas # 1 y # 2  
Fuente: Elaboración propia

Calculo Tipo:

Para  $B = 0.50m$ ,  $Df = 0.50m$ ,  $H = 0.50m$

$$C = \frac{qu}{2}$$

$$Nc = 5 \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) \left(1 + 0.2 \frac{Df}{B}\right) = 6$$

$$\alpha = \frac{2H}{B} = \frac{2 * 0.5m}{0.5m} = 2$$

$$Nm = \alpha + \frac{C2}{C1} Nc = 6$$

$$Nc = Nm \Rightarrow Nm = 6$$

$$\sigma u = C1 Nm + \gamma Df = \left(3 \frac{Ton}{m^2}\right) * (6) + 1.5 \frac{Ton}{m^3} * 0.5m = 18.75 Ton/m^2$$

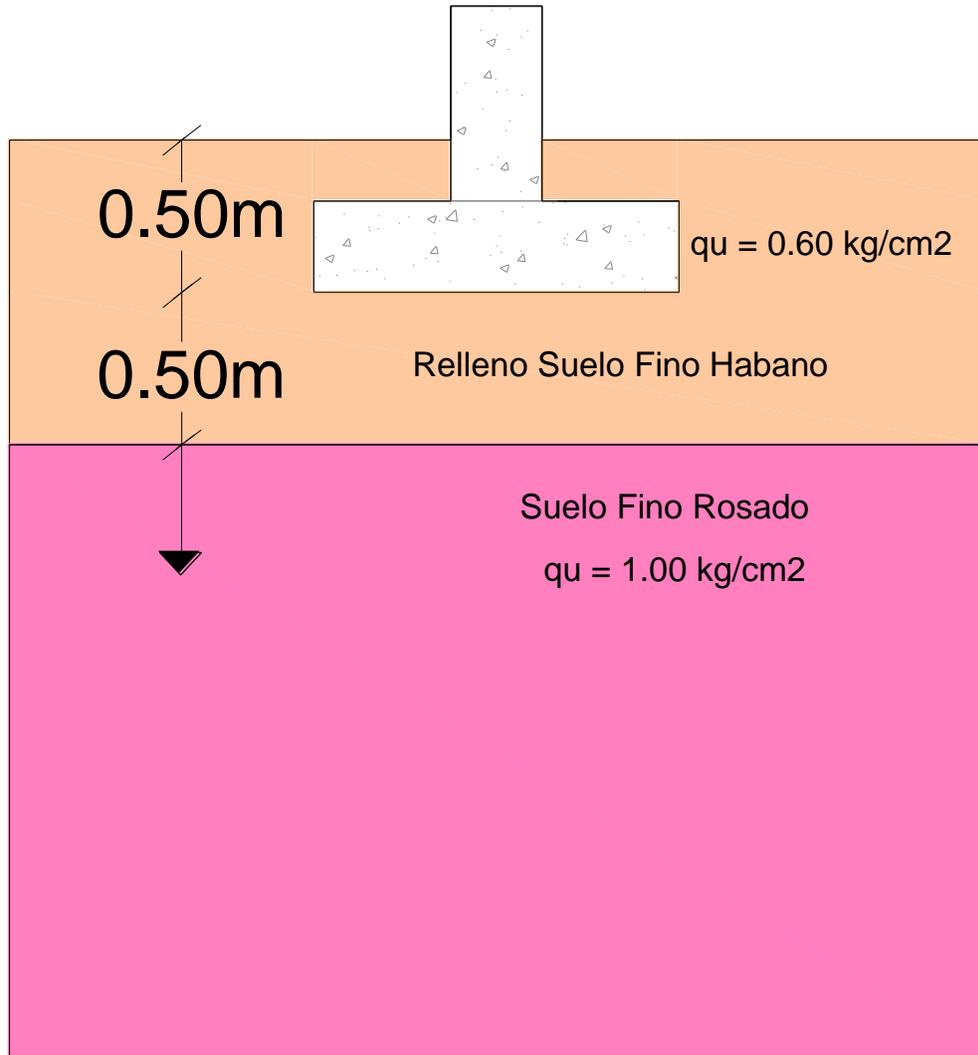
$$\sigma p = \frac{\sigma u}{3} = 6.25 Ton/m^2$$

A continuación se chequeará el funcionamiento por capacidad portante para una vivienda con  $B = 0.50m$  y  $\sigma p = 6.25 Ton/m^2$ .

$$q = \frac{3.0 Ton/m}{0.5m} = 6 Ton/m^2$$

$$q < \sigma p \rightarrow \mathbf{OK}$$

➤ Terraza # 3



**Figura 3. 27** Perfil de cálculo para la Terraza # 3  
Fuente: Elaboración propia

Calculo tipo:

$$Df = 0.5 \text{ m}, \quad B/L = 0, \quad B = 0.5 \text{ m}, \quad C = \frac{qu}{2}$$

$$\sigma_u = 5.14 * C * \left(1 + 0.2 \frac{B}{L}\right) * \left(1 + 0.4 \frac{Df}{B}\right) + \gamma Df$$

$$\sigma_u = 5.14 * 3 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2} * (1 + 0.2 * 0) * \left(1 + 0.4 \frac{0.50\text{m}}{0.50\text{m}}\right) + 1.5 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3} * 0.50\text{m}$$

$$\sigma_u = 22.34 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_p = \frac{\sigma_u}{3} = 7.45 \text{ Ton/m}^2$$

A continuación se chequeará el funcionamiento por capacidad portante para una vivienda con  $B = 0.50\text{m}$  y  $\sigma_p = 7.45 \text{ Ton/m}^2$ .

$$q = \frac{3.0 \text{ Ton/m}}{0.5\text{m}} = 6 \text{ Ton/m}^2$$

$$q < \sigma_p \rightarrow \mathbf{OK}$$