

CONSORCIO N V P

ESTUDIOS TÉCNICOS, DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS Y DE INGENIERÍA NECESARIOS
Y COMPLEMENTARIOS PARA LAS OBRAS DE URBANISMO, REDES DE SUMINISTRO
DE SERVICIOS PÚBLICOS Y CONSTRUCCIÓN DE LOS ACCESOS PRINCIPALES DEL
PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMEN, UBICADO EN LA LOCALIDAD
DE USME, BOGOTÁ D.C

ESTUDIO DE SUELOS
ES 23-4634
V3

Bogotá, D.C. enero de 2023

CONTENIDO

Memorando de Responsabilidad

Copia de la Matricula Profesional

INFORME

1. OBJETO	7
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
2.1 Localización del predio	7
2.2 Descripción de la construcción	8
2.3 Clasificación de la construcción	10
3. CONDICIONES DE AMENAZA	11
4. EXPLORACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO	13
4.1 Investigación de campo	13
4.2 Ensayos de laboratorio	15
5. PROPIEDADES DE LOS SUELOS.....	16
5.1 Reseña geológica	16
5.2 Secuencia estratigráfica.....	17
5.3 Posición del nivel freático	18
6. ANÁLISIS.....	18
6.1 Propiedades físicas y geomecánicas	18
6.2 Características especiales.....	21
6.2.1 Expansividad.....	21
6.2.2 Potencial de licuación	24
6.3 Caracterización geotécnica	25
7. RECOMENDACIONES	27
7.1 Determinantes en el planteamiento de la solución	27
7.2 Cimentación	28
7.2.1 Pilotes	28
7.2.2 Zapatas	29
7.3 Procedimiento constructivo	30
7.3.1 Generalidades.....	30
7.3.2 Construcción de pilotes.....	30
7.3.3 Construcción de zapatas	31
8. RECOMENDACIONES PARA ZONAS EXTERIORES	32
8.1 Senderos, zona de parqueaderos, plazoleas	32
8.1.1 Condiciones iniciales	32
8.1.2 Alistamiento del terreno	33
8.1.3 Indicaciones para la construcción	33
8.1.4 Espesores recomendados	35
8.1.5 Sendero peatonal elevado	36
8.2 Taludes, rellenos, excavaciones	36

8.3	Cerramientos.....	38
8.4	Cajas y ductos subterráneos (redes eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	39
8.5	Muros de contención.....	39
8.6	Puentes	40
8.7	Tanque.....	40
8.8	Materiales para relleno	41
8.9	Medidas preventivas.....	42
9.	FACTORES DE SEGURIDAD	43
10.	CARACTERIZACIÓN SÍSMICA.....	44
10.1	Norma NSR-10	44
10.2	Microzonificación sísmica de Bogotá	45
10.3	Definición del perfil del suelo	46
11.	OTRAS RECOMENDACIONES.....	48

Lista de Tablas

Tabla 1–Espaciamientos entre ejes – acceso 1	9
Tabla 2–Espaciamientos entre ejes – acceso 2	10
Tabla 3–Categoría de las unidades de construcción NSR10: Tabla H.3.1-1	10
Tabla 4–Número mínimo de sondeos y profundidad	11
Tabla 5–Localización de perforaciones	15
Tabla 6–Secuencia estratigráfica	18
Tabla 7–Clasificación de suelos expansivos.....	22
Tabla 8–Evaluación de la expansividad de las arcillas.....	23
Tabla 9–Descripción de la zona geotécnica.....	26
Tabla 10–Propiedades básicas y clasificación	26
Tabla 11–Capacidad admisible de pilotes, PA (ton)	29
Tabla 12–Estructura zonas de tráfico vehicular	35
Tabla 13–Estructura zonas de uso exclusivamente peatonal	35
Tabla 14–Factores de seguridad indirectos (H.4.7-1, NSR10).....	44
Tabla 15–Factores de seguridad básicos mínimos (NSR-10 tabla H.2.4-1)	44
Tabla 16–Coeficientes para diseño sísmico (NSR-10).....	45
Tabla 18–Coeficientes para diseño sísmico (Decreto 523 de 2010).....	46
Tabla 18–Velocidad de onda de cortante.....	47
Tabla 19–Equivalencia microzonificación sísmica y NSR-10.....	47
Tabla 20–Clasificación de los perfiles de suelo.....	48

Lista de Figuras

Figura 1–Localización general.....	7
Figura 2–Planta de localización – Accesos 1 y 2	8
Figura 3–Corte transversal – Acceso 1	9
Figura 4–Mapa Amenaza por fenómenos de remoción en masa SIRE.GOV.CO	11
Figura 5–Mapa Amenaza por inundación	12

Figura 6–Amenaza por avenida Torrencial	13
Figura 7–Localización de perforaciones	14
Figura 8–Mapa geológico local.....	16
Figura 9–unidades aflorantesl.....	17
Figura 10–Resistencia in-situ (VST) vs profundidad.....	19
Figura 11–Resistencia a la compresión simple (qu)	19
Figura 12–Humedad natural	20
Figura 13–Carta de plasticidad	20
Figura 14–Curvas granulométricas	21
Figura 15–Humedad de equilibrio y presión de expansión	23
Figura 16–Evaluación del potencial de ablandamiento.....	24
Figura 17–Mapa geotécnico de la zona.....	26
Figura 18–Factores de estabilidad de cortes.....	37
Figura 19–Sección transversal del tanque.....	40
Figura 20–Variación del factor de seguridad	44
Figura 21–Mapa amenaza sísmica NSR-10.....	45
Figura 22–Mapa de respuesta sísmica.....	46
Figura 23–Perfil del modelo geológico geotécnico.....	47

ANEXOS

Registros de perforación

Resultados de los ensayos de laboratorio

Memorias de cálculo

Especificaciones para materiales de relleno

Registro fotográfico

**CONSORCIO NVP
ACCESOS 1 Y 2 DEL PARQUE ARQUEOLÓGICO HACIENDA EL CARMÉN
USME, BOGOTÁ, D.C. COLOMBIA
ESTUDIO DE SUELOS**

1. OBJETO

El propósito de este informe es presentar los resultados de las exploraciones de campo, investigaciones de laboratorio, análisis de ingeniería, así como las recomendaciones de cimentación para la construcción de los accesos 1 y 2 del parque arqueológico Hacienda el Carmen.

El estudio se ha realizado de acuerdo con las especificaciones legales vigentes: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10, Ley 400 de 1997 (Modificada Ley 1229 de 2008), Decreto 926 del 19 de marzo de 2010; Microzonificación Sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 16 de diciembre de 2010.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

2.1 Localización del predio

El parque arqueológico Hacienda El Carmen esta ubicado en la Localidad de Usme, al margen oriental de la Avenica Carrera 14, a la altura de la calle 132 Sur. La localización regional se presenta en la **Figura 1**.

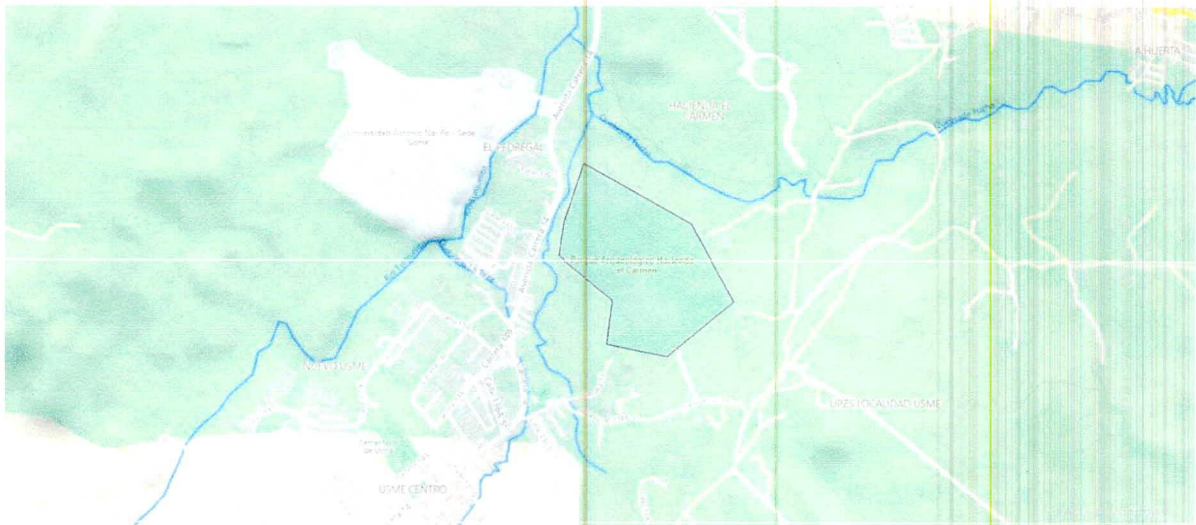


Figura 1–Localización general²

² FUENTE: BING MAPS
ES 22-4634

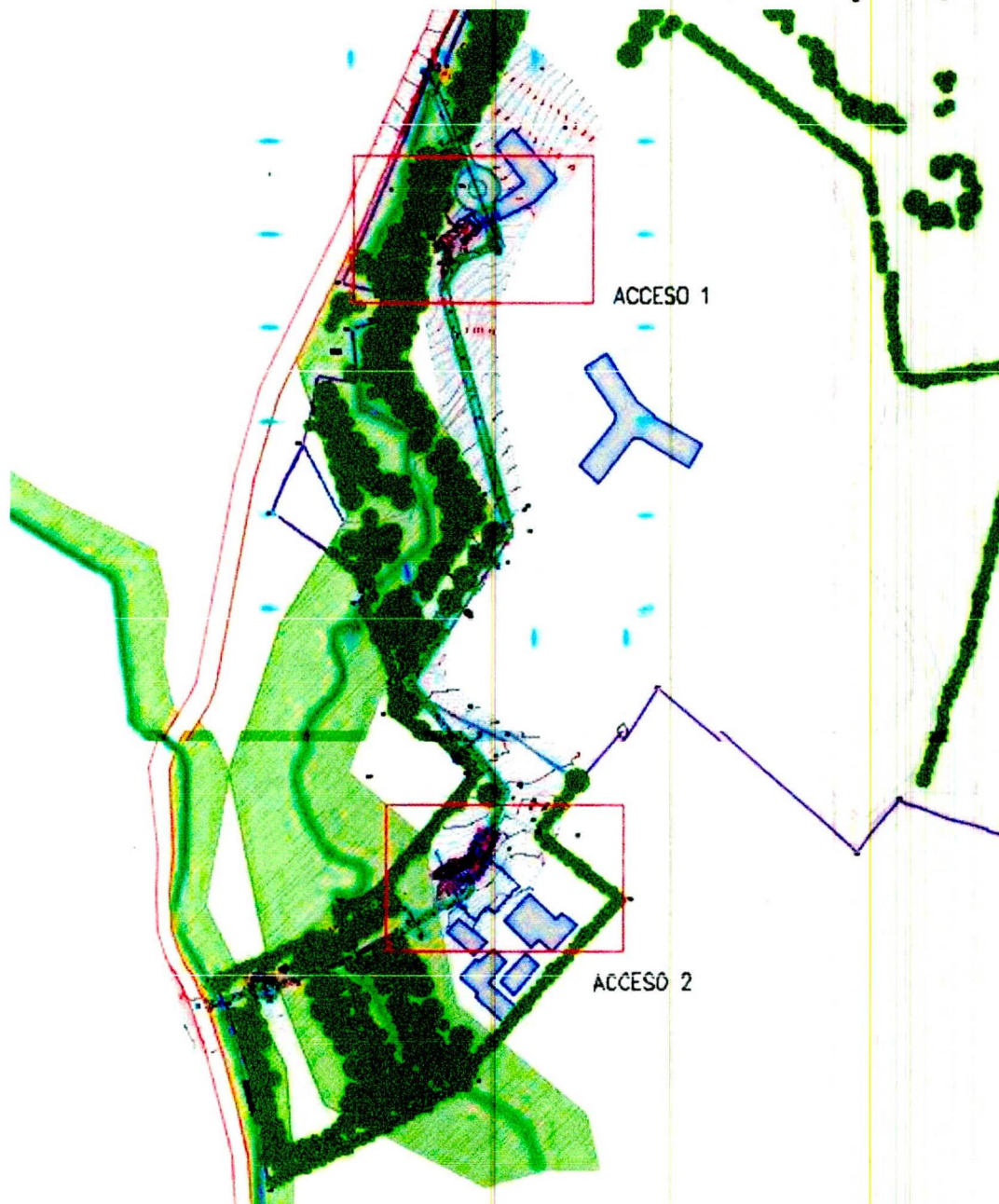


Figura 2-Planta de localización – Accesos 1 y 2³

2.2 Descripción de la construcción

El acceso 1 será una construcción de 1 piso y cubierta liviana, desarrollado en sistema de pórticos metálicos modulado como se muestra en la **Tabla 1**.

³ FUENTE: proyecto arquitectónico
ES 22-4634

Tabla 1–Espaciamientos entre ejes – acceso 1⁴

Dirección largo del lote		Dirección corta del lote	
Tramo	Distancia, m	Tramo	Distancia, m
1-2	3.75	A-B	3.75
3-4	2.90	B-C	1.95
4-5	2.51	C-D	2.99
5-6	2.43	D-E	2.33
		E-F	1.91

El terreno escogido para la construcción es de topografía inclinada con una pendiente del 20% (12°). Un corte arquitectónico se presenta en la **Figura 3**.

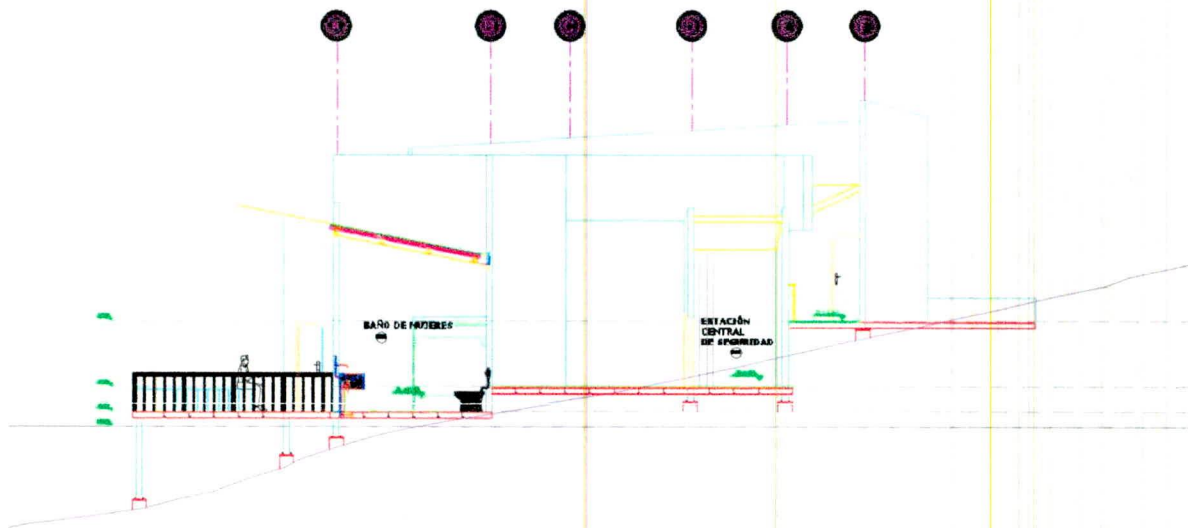


Figura 3–Corte transversal – Acceso 1⁵

El acceso 2, ubicado al sur del parque, incluye una batería de baños y zona de oficinas, además del punto turístico y la recepción.

Será construido en estructura metálica en un terreno de topografía ligeramente inclinada que varía entre las cotas 2755msnm y 2757msnm, pendiente promedio del 8% (5°).

Los espaciamientos entre columnas se presenta en la **Tabla 2**.

⁴ FUENTE: Proyecto arquitectónico

⁵ FUENTE: proyecto arquitectónico

Tabla 2-Espaciamientos entre ejes – acceso 2⁶

Tramo	Distancia, m	Tramo	Distancia, m
1-2	1.87	A-B	2.43
2-3	2.41	B-C	2.36
3-4	2.34	C-D	3.16
4-5	2.40	E-F	5.62
5-6	1.81		
6-7	2.40		
7-8	2.40		
8-9	2.40		
9-10	1.82		
10-11	2.40		

El sendero peatonal que comunica los el acceso 2 con la la bahía de parqueo vehicular, será una estructura de 2.7m de ancho por 270m de longitud.

Se han estimado cargas de servicio moderadas, variables entre 5ton en el perímetro de las construcciones y 25ton en la zona central con mayor afluencia.

Por el carácter de preservación del parque, todas las estructuras proyectadas están concebidas de manera que se intervenga el terreno en la menor medida posible. Es así como los accesos y senderos se ajustarán a los niveles de terreno existentes limitando las excavaciones a las necesarias para la construcción de la cimentación.

2.3 Clasificación de la construcción

La cantidad y profundidad de las exploraciones deben cumplir con los requerimientos mínimos establecidos por la NSR-10, en su capítulo H.3. Por su altura y sus cargas de servicio, la construcción clasifica como de categoría BAJA, según lo establece la NSR-10 en su parágrafo "H.3.1.1-Clasificación de las unidades de construcción por categorías".

Con esta premisa, en la **Tabla 3**, se presenta la profundidad indicativa, que para el caso de la categoría es de 6m.

Tabla 3-Categoría de las unidades de construcción NSR10: Tabla H.3.1-1

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas(kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,000 y 8,000
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000

⁶ FUENTE: Proyecto arquitectónico
ES 22-4634

Tabla 4–Número mínimo de sondeos y profundidad⁷

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de Sondeos: 15 m Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m Número mínimo de sondeos: 5

A continuación, se describen los detalles de las investigaciones de campo y laboratorio, el análisis geotécnico y las recomendaciones que conduzcan a una solución de cimentación adecuada enmarcada dentro de los parámetros de funcionabilidad y seguridad.

3. CONDICIONES DE AMENAZA

La Hacienda el Carmen de Usme esta ubicada en zona de amenaza media, con áreas de amenaza baja en su parte central y franjas de amenaza alta, particularmente en las delimitadas por los cursos de las quebradas Fucha (al norte), Requilina (al oriente) y Agua Dulce (al occidente).

En estas circunstancias, el IDPC, contrató la ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS, COMPLEMENTARIOS Y NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DISEÑO DE OBRAS DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS realizado por la consultora INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO.

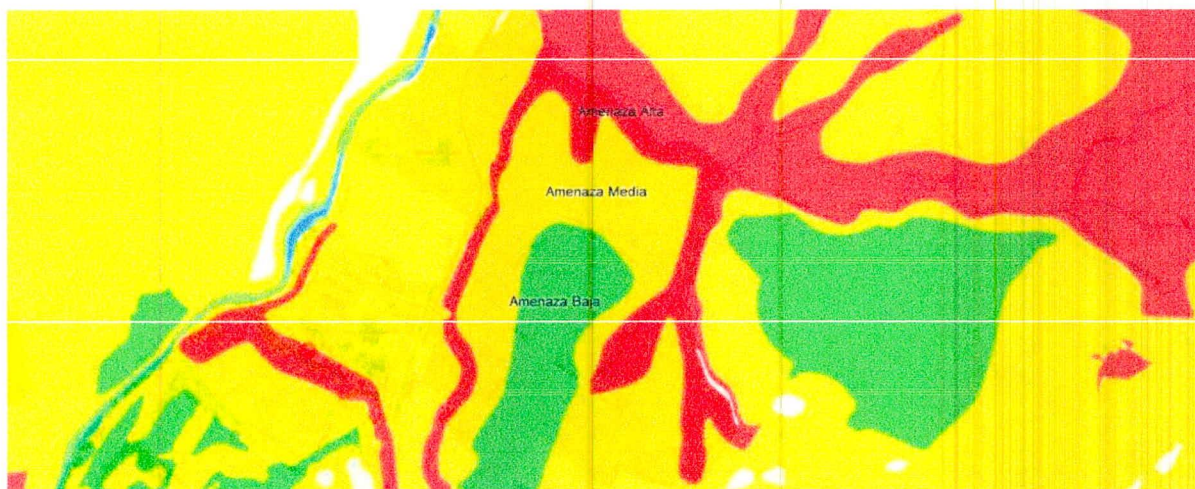


Figura 4–Mapa Amenaza por fenómenos de remoción en masa SIRE.GOV.CO

No existe amenaza por inundación. El mapa se presenta en la **Figura 5**.

⁷ FUENTE: Tabla H.3.2-1 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada de construcción categoría de la construcción
ES 22-4634

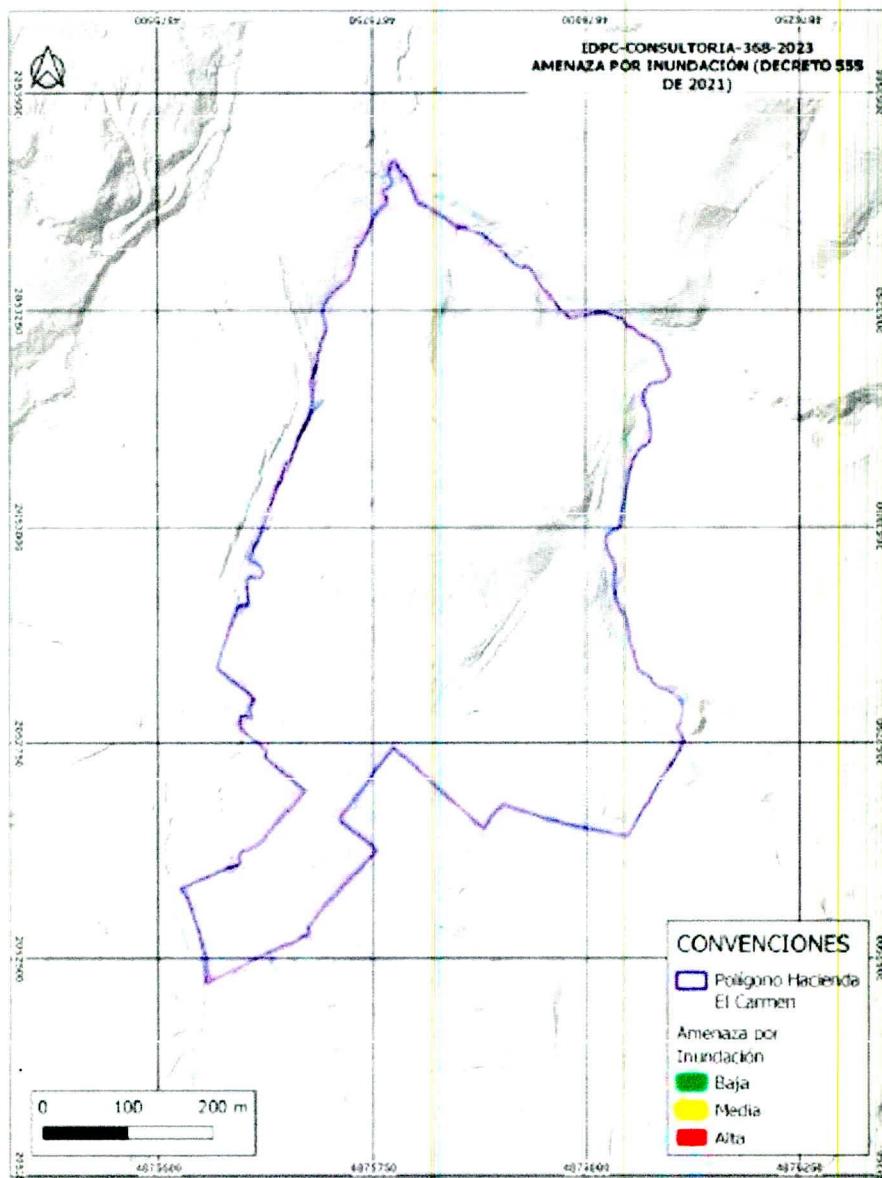


Figura 1.39 23 Zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento.

FUENTE: DECRETO 555 DE 2021 (VIGENTE)

Figura 5—Mapa Amenaza por inundación

En relación con la Amenaza por fenómeno de avenida torrencial, las zonas aledañas a las quebradas Fucha, Requilin, Aguadulce y la Taza presentan Amenaza Alta.

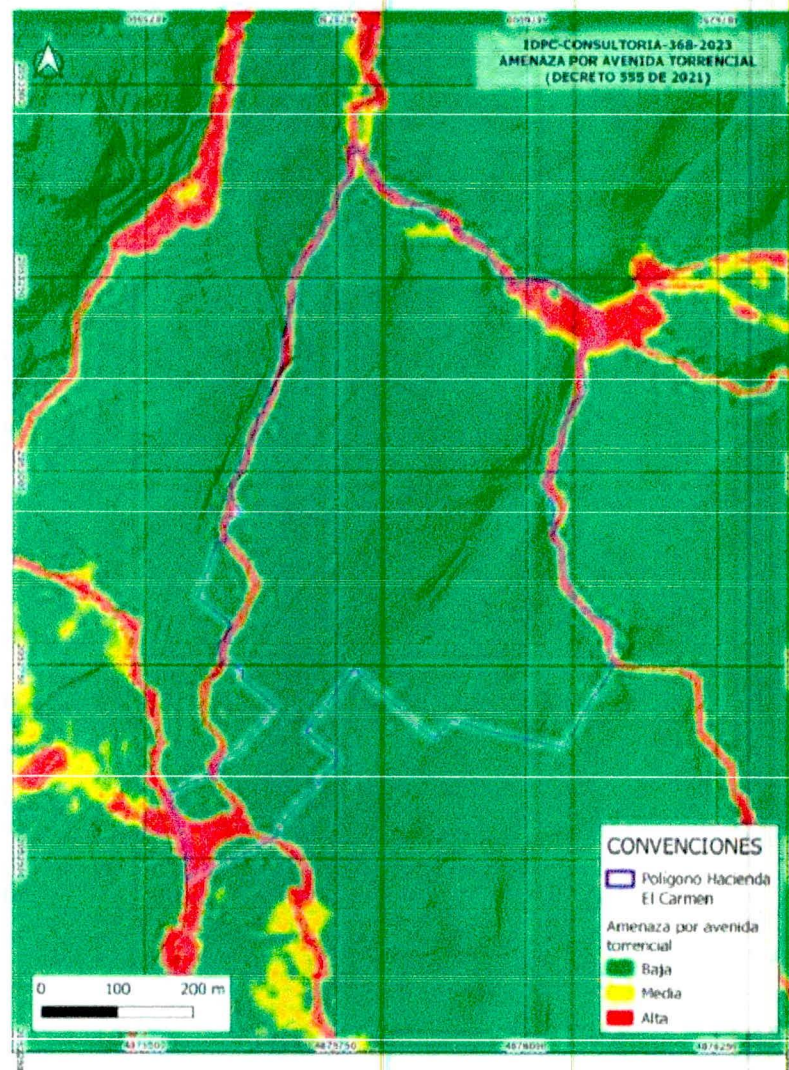


Figura 1.40 Zonificación de amenaza por avenida torrencial.

FUENTE: DECRETO 555 DE 2021 (VIGENTE).

Figura 6–Amenaza por avenida Torrencial

Los diseños a cargo del consorcio NVP han sido ubicados de manera que las obras proyectadas estarán en zonas de amenaza baja y media. Las eventuales obras de mitigación de amenaza no son objeto del presente informe.

4. EXPLORACIÓN DE CAMPO Y LABORATORIO

4.1 Investigación de campo

En la **Figura 7** se presenta la localización de las perforaciones.

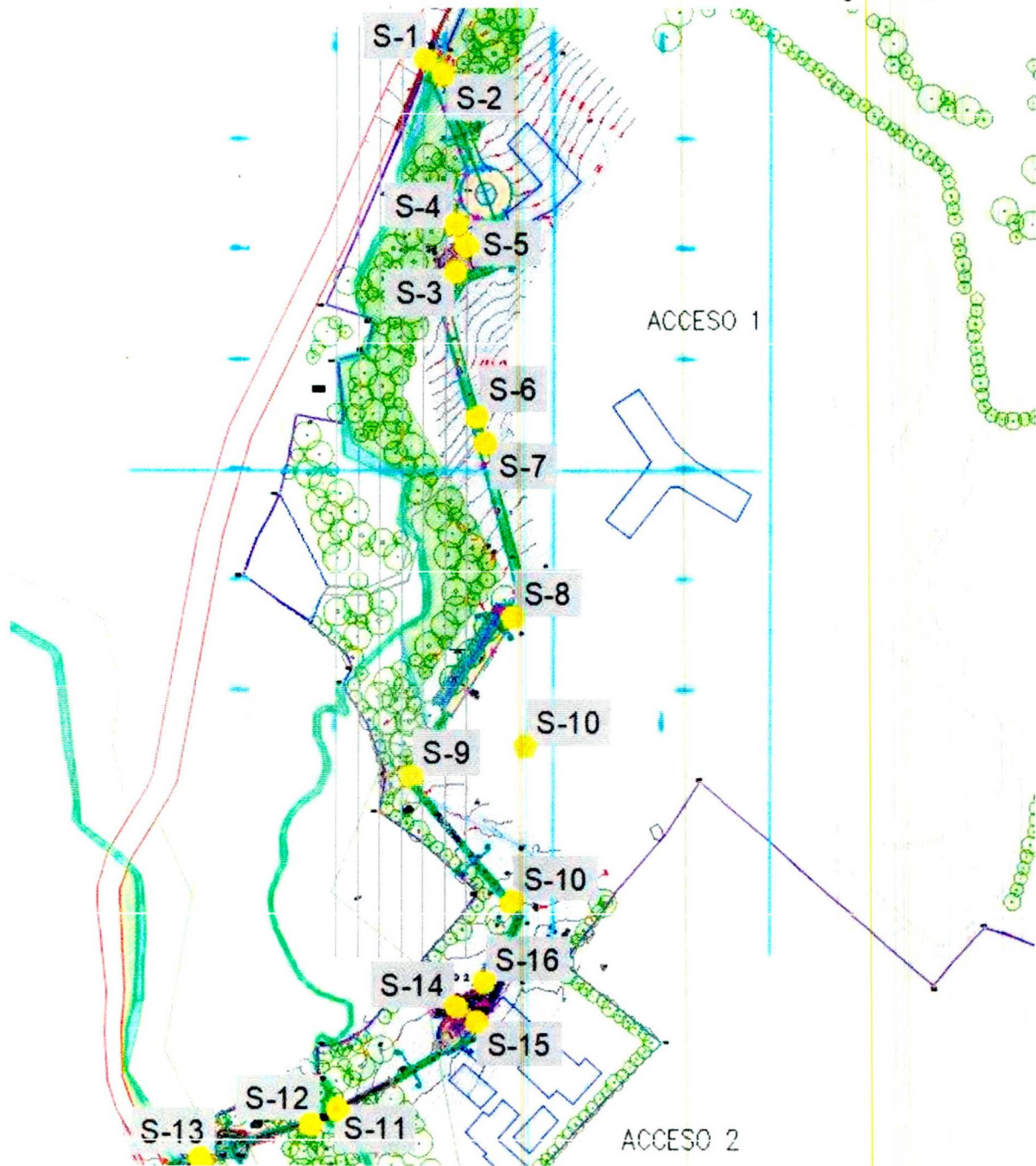


Figura 7-Localización de perforaciones

Se realizaron 16 perforaciones, distribuidas como se muestra en la **Tabla 5**. Para las distancias entre sondeos, se ha tomado el mojón M49 situado en la parte más septentrional, inicio de la vía vehicular.

Tabla 5–Localización de perforaciones

punto	COORDENADA		distancia referida al punto de origen (M49)		ubicación	Profundidad de exploración, m
	N	E	N	E		
			(y, m)	(x, m)		
M49	87093	95146			mojón	
S-1	87084	95142	9m al sur	4 al oeste	entrada vehicular	2.0
S-2	87079	95146	14m al sur	0 al oeste	entrada vehicular	1.6
S-4	87009	95155	84m al sur	9m al este	Acceso 1	3.0
S-5	87001	95159	92m al sur	13m al este	Acceso 1	3.0
S-3	86989	95155	104m al sur	9m al este	Acceso 1	3.0
S-6	86921	95165	172m al sur	19m al este	sendero peatonal	1.5
S-7	86913	95167	180m al sur	21m al este	sendero peatonal	3.0
S-8	86833	95180	260m al sur	34m al este	sendero peatonal	3.0
S-9	86761	95133	332m al sur	13 al oeste	sendero peatonal	1.3
S-10	86702	95180	391m al sur	34m al este	sendero peatonal	3.0
S-16	86666	95168	427m al sur	22m al este	Acceso 2	5.0
S-15	86653	95165	440m al sur	19m al este	Acceso 2	3.0
S-14	86666	95156	427m al sur	10m al este	Acceso 2	4.0
S-11	86607	95098	486m al sur	48 al oeste	sendero peatonal	1.5
S-12	86603	95090	490m al sur	56 al oeste	sendero peatonal	1.5
S-13	86587	95038	506m al sur	108 al oeste	acceso peatonal	1.5

En cuanto a la profundidad de las perforaciones se reproduce el literal (d) del párrafo H.3.2.5: (d) En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán alcanzar las siguientes penetraciones en material firme (material designado como A, B o C en la Tabla A.2.4.4-1 del Título A de este Reglamento.), de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción: - Categoría Baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales; - Categoría Media, penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados; - Categoría Alta y Especial, penetrar un mínimo de 4 metros o 2.5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales y su consistencia con el marco geológico local.

Además de lo anterior, conviene explicar que debido al carácter de reserva arqueológica, los trabajos de perforación debieron ejecutarse con equipo liviano para reducir al máximo la afectación en el área de estudio.

4.2 Ensayos de laboratorio

Los ensayos in-situ se han complementado con los ensayos de laboratorio consistentes básicamente en la determinación de las propiedades índices. En suelos de carácter cohesivo se practicaron ensayos de clasificación y de resistencia con una frecuencia tal que permitió la adecuada caracterización del depósito

explorado. Los ensayos se describen a continuación:

Ensayos de clasificación:

- Humedad Natural, 23
- Límites de Atterberg, 22
- Peso Unitario, 24
- Granulometría, 23

Tanto los registros de perforación como los resultados de las pruebas de laboratorio se incluyen en el anexo de éste informe.

5. PROPIEDADES DE LOS SUELOS

5.1 Reseña geológica

De acuerdo con el informe "GEOLOGÍA DE LA SABANA DE BOGOTÁ" Ingeominas 2007, la Sabana de Bogotá está ubicada en el Departamento de Cundinamarca, en la zona axial de la Cordillera Oriental y comprende la Cuenca Hidrográfica Alta del río Bogotá; fisiográficamente está conformada por una superficie plana de 2.600msnm altura promedio, la cual es rodeada por montañas con alturas hasta los 3.600msnm.

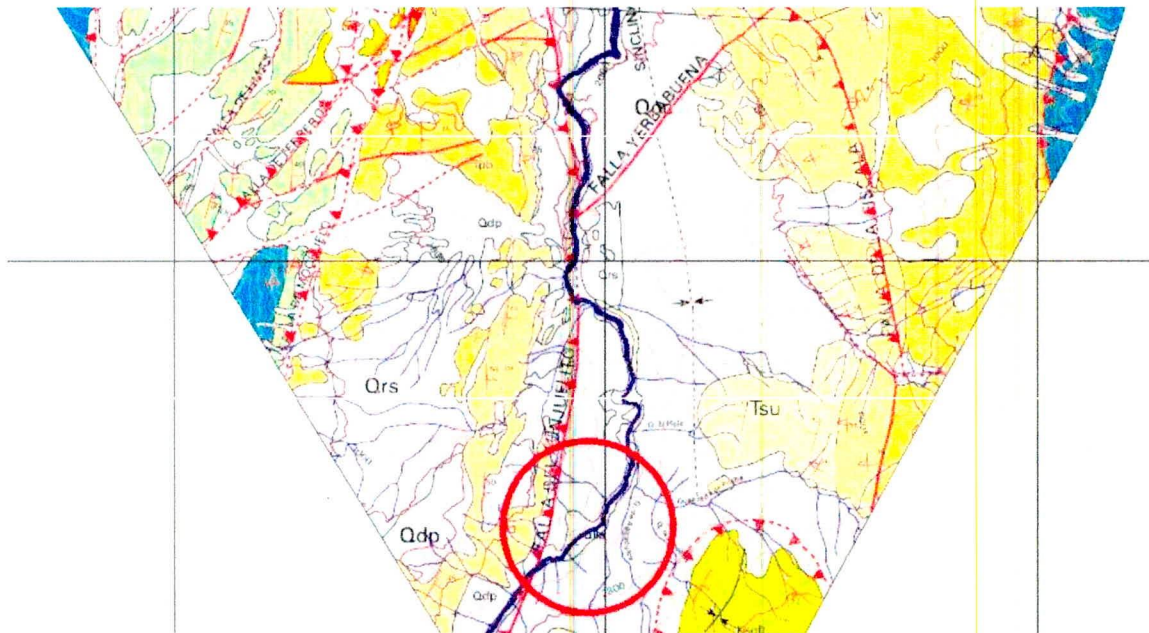


Figura 8–Mapa geológico local⁸

⁸ Tomado del mapa Geológico de Bogotá, INGENOMINAS 1993
ES 22-4634

111

Formación Marichuela (N1m)⁹. En el valle de Usme, Helmes & Van der Hammen (1995) observan depósitos que suprayacen rocas precuaternarias y que provienen de un sistema de abanicos que se originan a alturas desde los 3.100 a 3.600 m.s.n.m, estos depósitos son gravas con clastos hasta de tamaño de bloques. Depósitos de este tipo se observan en la región de Usme, La Calera, Laguna del Neusa y en la región del Sisga; en la vereda Suralá.

El origen de estos depósitos se asocia a avalanchas torrenciales inducidas posiblemente por eventos sísmicos o cambios climáticos asociado a lluvias torrenciales; las forman que los caracterizan son lomas bajas y abanicos de morfología alomada de longitudes muy largas, de formas convexas y abruptas (Carvajal et al., 2005)

Para Helmes & Van der Hammen (1995), la formación Marichuela siempre se encuentra sobre rocas del sustrato rocoso (rocas cretácicas), la alta deformación que sufren y el carácter sin-orogénico la sitúan por debajo de la secuencia pliocena-cuaternaria, por lo tanto sería Miocénica. Toro et al., (2003), por huellas de fisión en circones arrojan con seguridad edades entre 2 y 5 millones de años (m.a) que la colocan en el Plioceno, sin embargo presentan un dato de 8.2 m.a correspondiente al Mioceno (Toro et al., 2003).

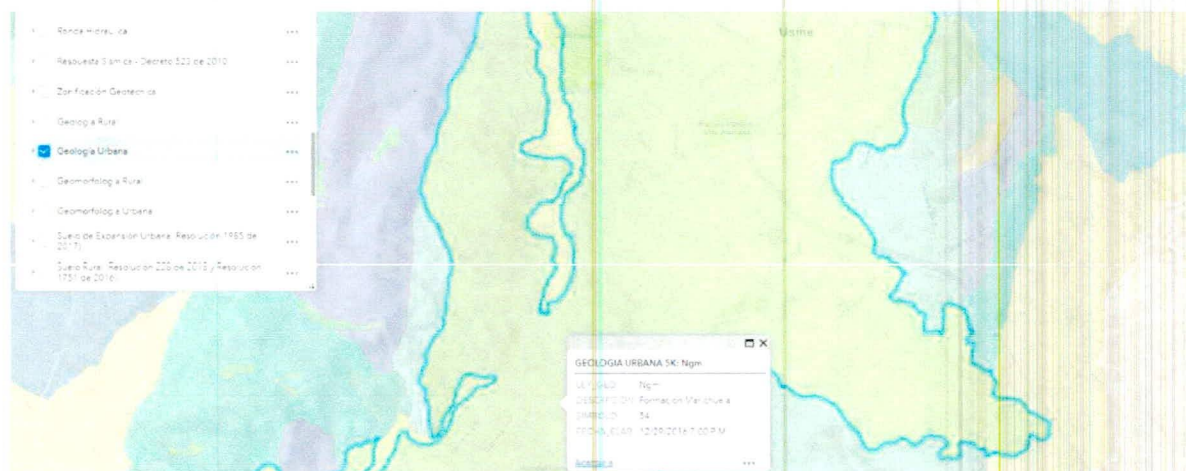


Figura 9–unidades aflorantes¹⁰

5.2 Secuencia estratigráfica

En la perforaciones se encontraron básicamente 4 capas:

⁹ FUENTE: Geología de la Sabana de Bogotá, INGEOMINAS 2005

¹⁰ FUENTE: SIRE.GOV.CO

122

Tabla 6–Secuencia estratigráfica

Profundidad	Matriz	Propiedades	
0.0 – 1.0	Arcilloso con limo orgánico	Humedad variable entre 4% - 29% Peso unitario, 1.68 – 2.0 ton/m ³ Porcentaje de finos: 69%	S-3, S-4, S-7, S-14)
1.0 – 2.0	Arcilloso con limo y algo de arena	Humedad 17% - 33% Peso unitario 1.75ton/m ³ – 2.0ton/m ³ Porcentaje de finos 45% a 85%	
2.0 – 3.0	Arcillosa con arena	Humedad 17% a 27% Peso unitario 1.78ton/m ³ – 2.6ton/m ³	
3.0 – 3.5	Arcilla con Arenisca, clastos, bloques, grava	Humedad inferior a 20% Porcentaje de finos variable entre 50% y 60% eventualmente más alto	

En algunos sectores, S-1, S-2, S-5, S-10, S-11 se encontró un relleno heterogéneo de espesor variable entre 0.2m y 0.7m.

5.3 Posición del nivel freático

No se registró agua libre sub superficial en ninguna de las perforaciones realizadas.

La presencia de capas granulares y la pendiente del terreno facilitan la evacuación temprana de las aguas lluvias, reduciendo el caudal de infiltración.

6. ANÁLISIS

6.1 Propiedades físicas y geomecánicas

Los parámetros de resistencia in-situ al corte (VST) y su evolución con la profundidad, se han graficado en la **Figura 10**.

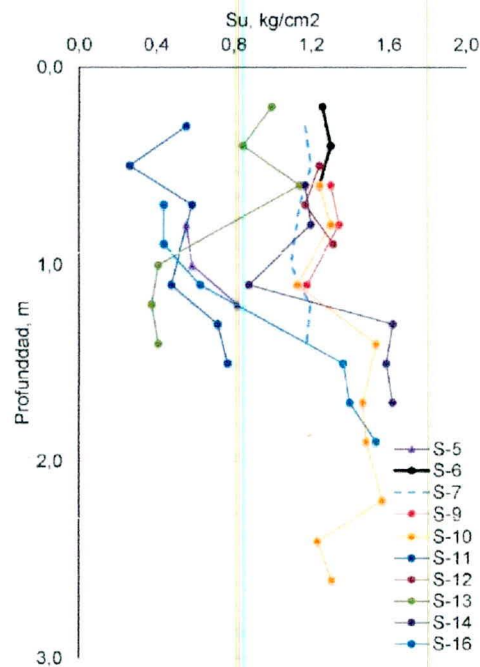


Figura 10–Resistencia in-situ (VST) vs profundidad

En la **Figura 11** se registra el comportamiento de la compresión simple, en términos de "qu" obtenidos a partir del ensayo de penetración dinámica.

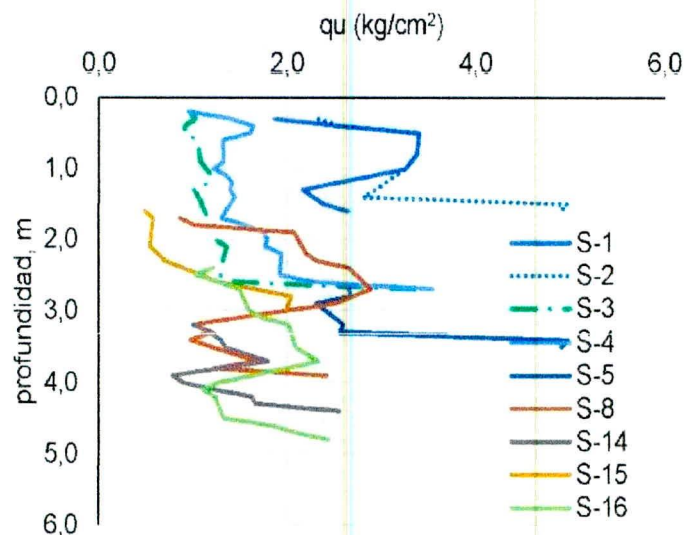


Figura 11–Resistencia a la compresión simple (q_u)

En la **Figura 12** se presenta la humedad natural en su variación con la profundidad. La humedad es de media baja con una variación que por lo general se presenta entre 15% y 30%; los porcentajes menores corresponden a las matrices granulares.

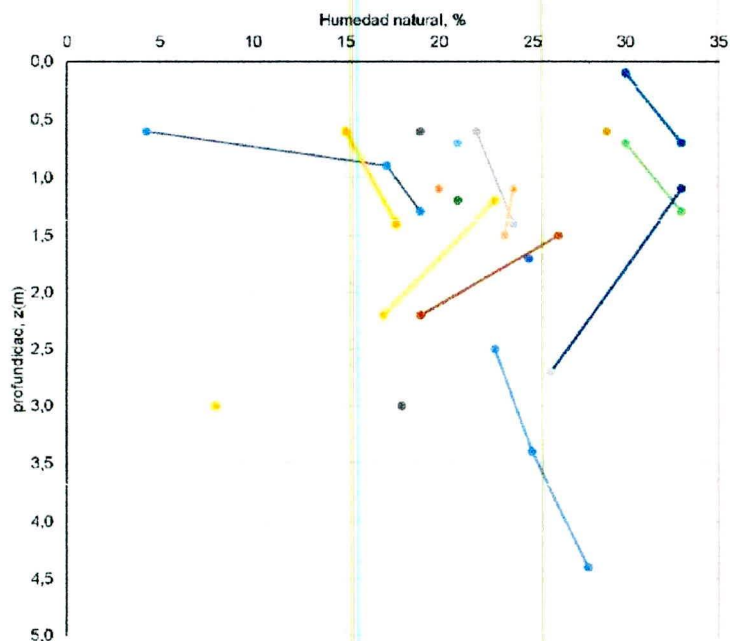


Figura 12-Humedad natural

Todas las muestras ensayadas se han representado en la **Figura 13**. Como se aprecia, se trata de suelos de límite líquido variable entre 30% y 90%, clasificados como CLy CH, eventualmente OH-MH.

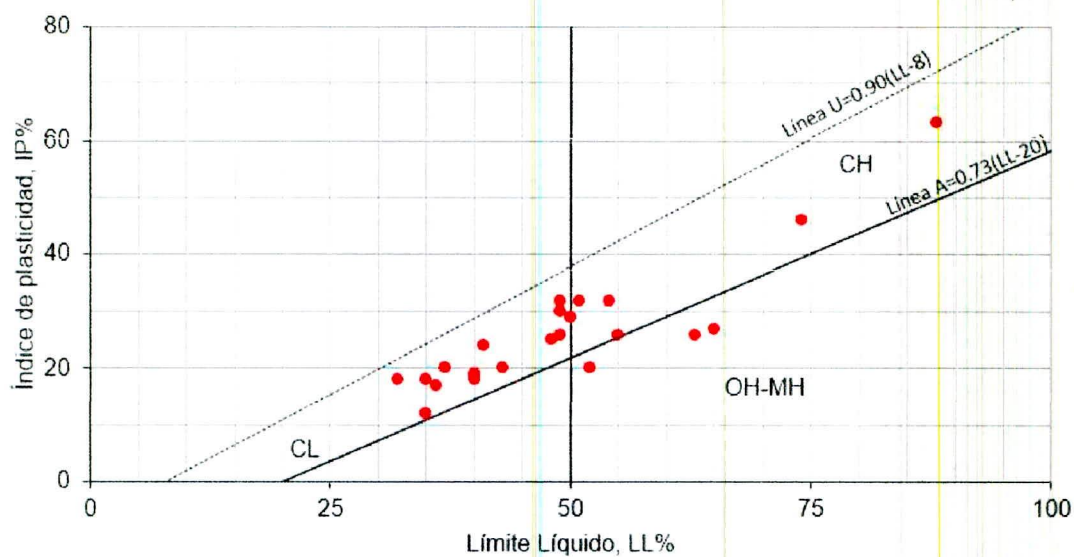


Figura 13-Carta de plasticidad¹¹

¹¹ FUENTE: elaboración propia
ES 22-4634

En la **Figura 14** se agrupan las curvas granulométricas. El porcentaje de finos varía entre 10% y 30%.

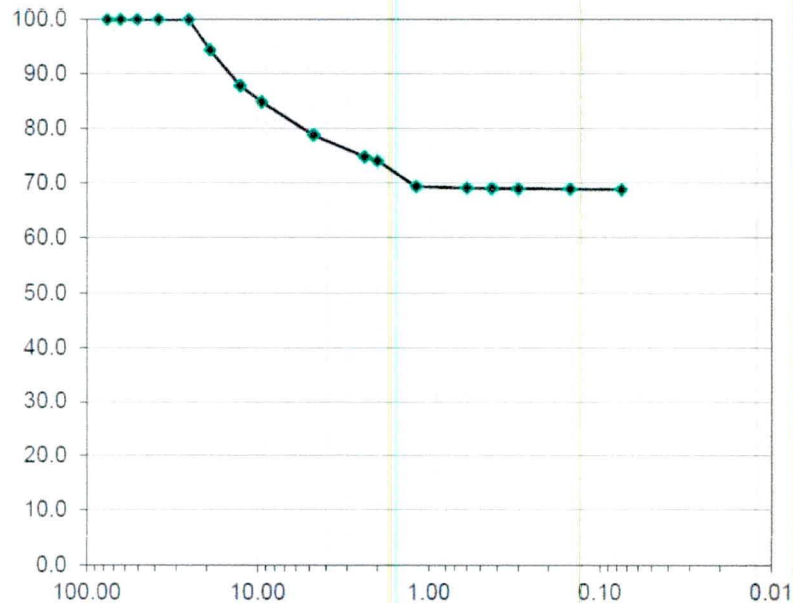


Figura 14-Curvas granulométricas¹²

6.2 Características especiales

La NSR-10, en su capítulo H-9, recomienda examinar las condiciones geotécnicas especiales que puedan requerir de tratamientos y obras anexas a las de cimentación propiamente dichas. Entre otras se examinan aquí, la expansividad, el potencial de licuación.

6.2.1 Expansividad

Expansividad es el aumento de volumen por absorción de agua, y retracción la disminución volumétrica por eliminación de agua. El cambio de volumen está condicionado, además de los factores geológicos, por los siguientes:

- Variaciones climáticas: de ellas depende la presencia de agua para producir la expansión, o la evaporación para inducir la retracción.
- Vegetación: puede cambiar localmente el contenido de humedad del suelo con las consiguientes variaciones volumétricas. La vegetación y sus raíces pueden ser los agentes que desencadenen el fenómeno.

¹² FUENTE: elaboración propia
ES 22-4634

116

- Cambios Hidrológicos: relacionados con las acciones climáticas o las variaciones del nivel freático debidas a la explotación de acuíferos o construcción de embalses.

Como la expansividad y la retracción se relacionan con el contenido arcilloso del depósito, su valoración atiende criterios de evaluación de las arcillas para determinar su grado de acción.

En la NSR-10 se presenta la tabla H.9.1-1 en la que se indica el potencial expansivo de las arcillas en relación con el valor de algunos parámetros, entre ellos el límite líquido y el índice de plasticidad.

Tabla 7–Clasificación de suelos expansivos¹³

Potencial de expansión	Expansión (%) medida en consolidometro bajo presión vertical de 0.07 kgf/cm ²	Límite líquido LL en (%)	Límite de contracción en (%)	Índice de plasticidad IP en (%)	Porcentaje de partículas menores de una micra (μ)	Expansión libre EL en (%) medida en probeta
Muy alto	> 30	> 63	< 10	> 32	> 37	> 100
Alto	20-30	50 – 63	6 – 12	23– 45	18 – 37	> 100
Medio	10-20	39 – 50	8 – 18	12 – 34	12 – 27	50 – 100
Bajo	< 10	< 39	> 13	< 20	< 17	< 50

El índice de plasticidad es el rango de variación de l contenido de agua de un suelo. Sin embargo, una elevada plasticidad no necesariamente indica un alto potencial expansivo. Por esto es necesario evaluar otros parámetros que tienen que ver con los cambios de humedad de las arcillas y compararlas con los indicadores de plasticidad para emitir determinar el grado del potencial expansivo de los suelos.

La humedad de equilibrio es la avidez del suelo por el agua: si la humedad de equilibrio, de acuerdo con la formulación de Weston, es superior a la humedad natural, el suelo presentará una tendencia a ganar humedad con el consiguiente cambio volumétrico. La humedad de equilibrio aparece muy cercana a la humedad natural, lo cual quiere decir que, en el estado actual, el suelo tiene satisfecha su avidez por el agua.

Para establecer de manera numérica el efecto de un cambio volumétrico en las arcillas, se ha calculado la presión de expansión más probable (Davis & Komornik) que generarían las arcillas en el evento de alcanzar su humedad de equilibrio. La presión de expansión en caso de presentarse, indica un potencial expansivo bajo con un valor promedio de 0.35kg/cm².

¹³ FUENTE: NSR-10, Tabla H.9.1-1
ES 22-4634

117

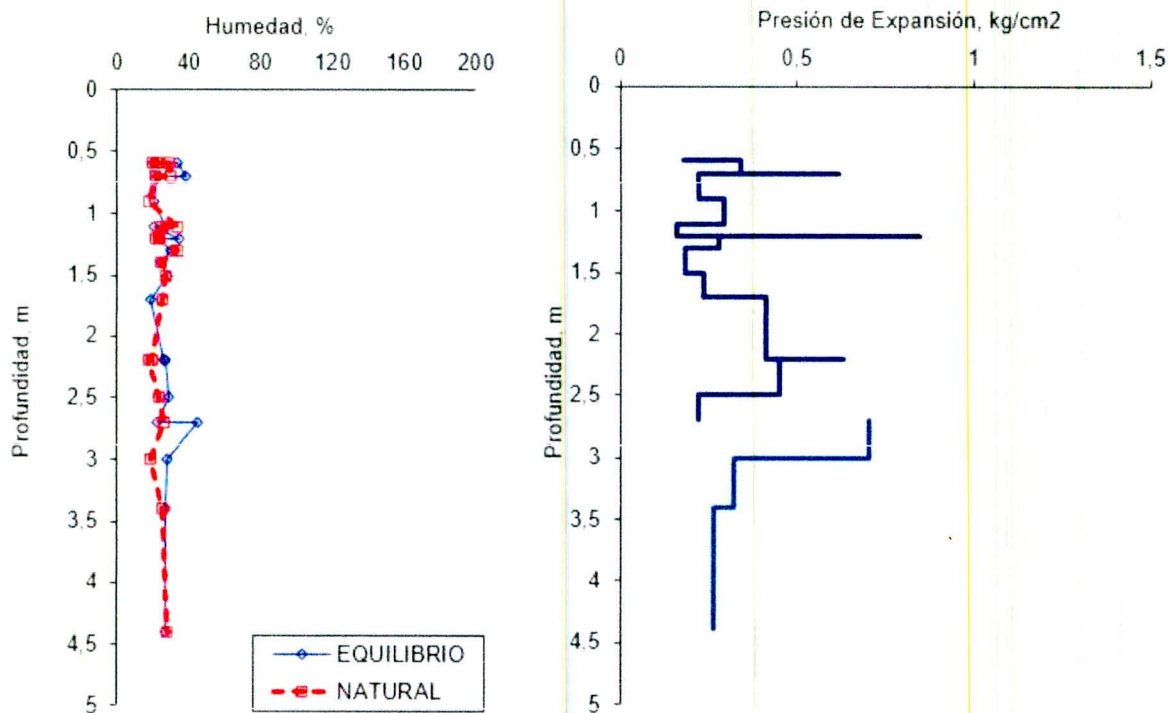


Figura 15–Humedad de equilibrio y presión de expansión¹⁴

Tabla 8–Evaluación de la expansividad de las arcillas¹⁵

Prof.	LÍMITE LIQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	LÍMITE DE CONTRACCIÓN (%)	HUMEDAD NATURAL (%)	HUMEDAD EQUILIBRIO (%)	PRESION EXP (Kg/cm²)	Clasificación
0,6	35	12	19	22	20	0,18	i-baja
0,6	37	20	13	19	21	0,29	i-baja a media
0,6	63	26	25	29	33	0,34	i-baja a media
0,7	40	19	16	21	22	0,22	i-baja
0,9	35	18	13	17	20	0,29	i-baja a media
1,1	49	26	16	33	27	0,16	i-baja
1,1	36	17	15	24	21	0,16	i-baja
1,2	41	24	12	23	23	0,28	i-baja a media
1,3	55	26	20	33	29	0,18	i-baja
1,4	43	20	17	24	24	0,24	i-baja
1,5	52	20	23	26	28	0,24	i-baja
1,7	32	18	11	25	19	0,13	i-baja
2,2	48	25	16	19	26	0,41	i-baja a media
2,5	54	32	14	23	29	0,45	i-baja a media

En general las presiones de expansión son inferiores al esfuerzo que ejercerán las estructuras proyectadas con lo cual se logra inhibir el potencial en caso de que se

¹⁴ FUENTE: elaboración propia

¹⁵ FUENTE: elaboración propia

llegue a desencadenar dicha presión. No obstante se recomienda: redundar en obras de recolección de aguas lluvias, evitar la siembra de árboles frondosos en las cercanías de los cimientos.

6.2.2 Potencial de licuación

6.2.2.1 Arcilla

Las capas encontradas son sucesiones de arcillas, la evaluación de esta condición se realiza con base a su índice de plasticidad, y la relación entre su humedad natural y límite líquido (Bray et. Al 2004), en efecto para que una arcilla sea licuable debe cumplirse que:

Suelo susceptible cuando: $IP \leq 12$ y $w/LL > 0.85$

Suelo con susceptibilidad moderada si: $12 < IP \leq 20$ y $w/LL > 0.8$

Si el IP es menor a 12% y la relación w/LL es superior a 0.85 el suelo es definitivamente susceptible al ablandamiento cíclico.

Todas las muestras caen fuera de la zona de susceptibilidad. En la **Figura 16**, se presenta la posición de las muestras dentro de la carta de Bray.

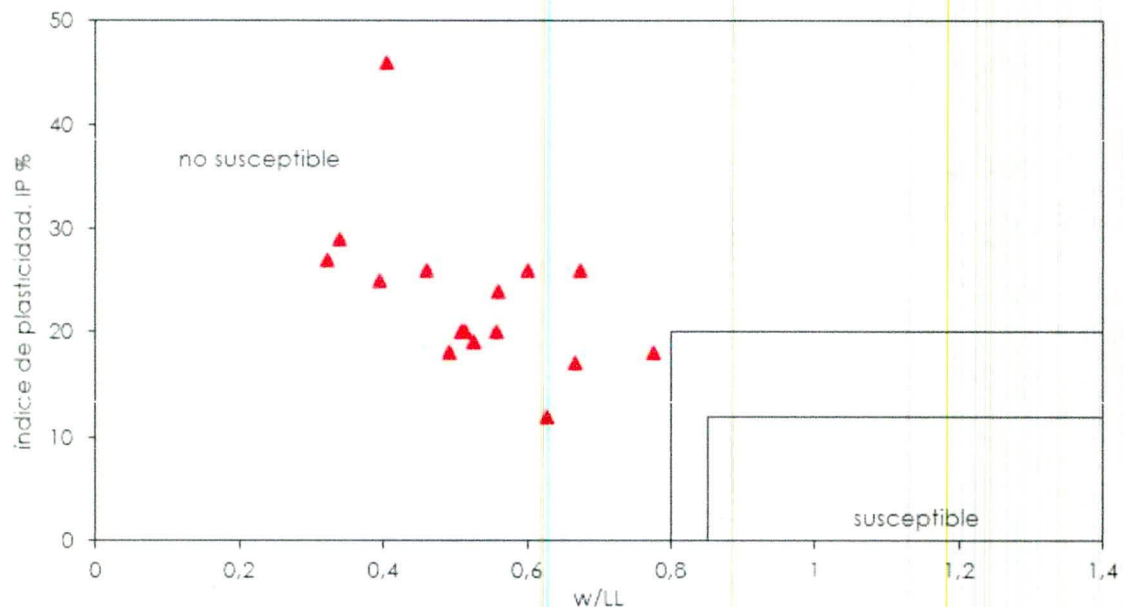


Figura 16–Evaluación del potencial de ablandamiento¹⁶

¹⁶ FUENTE: elaboración propia
ES 22-4634

119

6.2.2.2 Arena

Para que un suelo presente licuación deben cumplirse todas las características siguientes:

- a) Grado de Saturación del 100%
- b) Grado de compactación bajo ($N < 10$ golpes/pie)
- c) Nivel Freático
- d) Contenido de finos inferior a 10%
- e) Posición de la capa licuable superficial
- f) Magnitud del Movimiento igual o superior a 5.5

Las capas de arena encontradas en el lote del proyecto, son de densidad media, con un importante contenido de finos, por lo que su susceptibilidad a la licuación es de baja a nula. No obstante, lo anterior, se hace el análisis acudiendo a los Métodos de Seed&Idriss (1971)

$$CSR = \frac{\tau_{cm}}{\sigma'_v} = 0,65 \frac{\sigma'_v a_{max}}{\sigma'_v g} r_d$$

CSR = Relación de Tensión Tangencial Cíclica

τ_{cm} = Esfuerzo cortante cíclico medio

σ_v = Esfuerzo total

σ'_v = Esfuerzo efectivo

a_{max} = Aceleración máxima horizontal

g = Aceleración de la gravedad

r_d = Factor de reducción con la profundidad

$$(N_1)_{60} = N \cdot c_N \cdot c_E \cdot c_B \cdot c_R \cdot c_S$$

$(N_1)_{60}$ = SPT normalizado para una presión de 10t/m² y 60% de energía eficaz

c_N = $(Pa/\sigma'_v)^{0.5}$

Pa = Presión atmosférica

c_E = (N_{45}/N_{60})

c_B = 1.0

c_R = 0.75

c_S = 1.0

6.3 Caracterización geotécnica

En la **Figura 17** se presenta el mapa geotécnico de la zona, en el que se describen los suelos como Depósito de ladera, lo cual es consistente con lo encontrado en la presente investigación y se enmarca, además, con la geología local presentada en este documento.

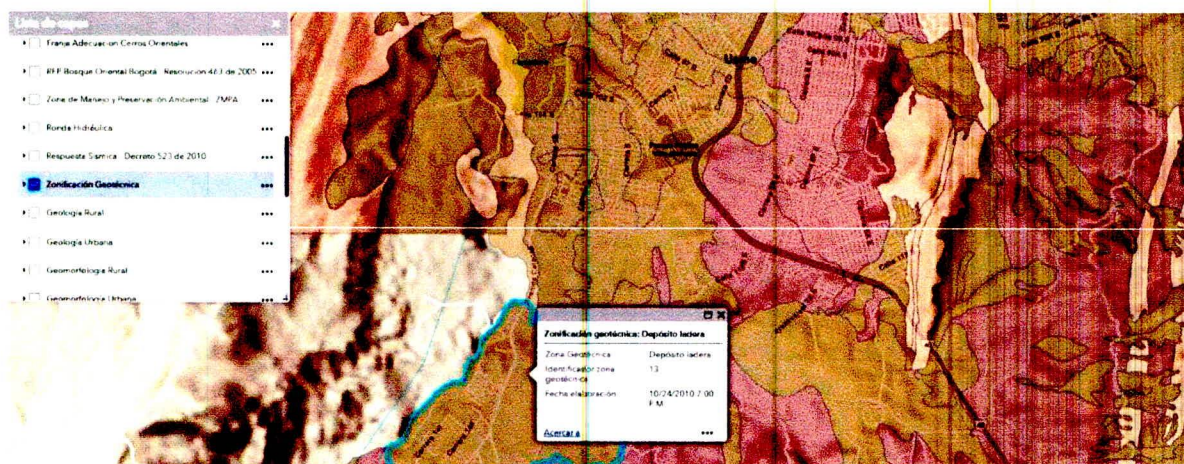


Figura 17–Mapa geotécnico de la zona¹⁷

Tabla 9–Descripción de la zona geotécnica¹⁸

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnico general
Depósitos Suelo de ladera	Depósitos Suelo de ladera	Depósito ladera	Cerros	Gravas areno arcillosas compactas	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes

La clasificación de cada una de las capas y sus propiedades básicas se presentan en la **Tabla 10**.

Tabla 10–Propiedades básicas y clasificación

Perf.	Z	LL	LP	IP	ω	Gs	γ	Granulometría			USCS
								Finos	Arena	Grava	
S-1	0,6				4		2,00				
S-1	0,9	35	17	18	17	2,65	1,89				CL
S-1	1,3				19			56,0	44,0	0,0	
S-1	1,8							62,2	37,8	0,0	
S-2	0,7							68,8	10,0	21,2	
S-2	1,1				20	2,62		56,1	43,9	0,0	
S-2	1,4							85,0	15,0	0,0	
S-3	0,6	35	23	12	22						
S-3	1,4	43	23	20	24	2,62	1,86				CL
S-3	3,0							81,6	18,4	0,0	
S-4	0,6				15						
S-4	1,4	NL	NP	NP	18	2,68	1,99	56,5	43,5	0,0	ML
S-4	2,2							62,7	37,3	0,0	
S-4	3,0							53,2	46,8	0,0	
S-5	1,7	32	14	18	25	2,63	1,88	60,7	39,3	0,0	CL
S-5	2,7							58,8	41,2	0,0	

¹⁷ FUENTE: SIRE <https://www.sire.gov.co/>

¹⁸ FUENTE: Decreto 523 de 16 de dic 2010, Alcaldía Mayor de Bogotá

Tabla 10–Propiedades básicas y clasificación

Perf.	Z	LL	LP	IP	ω	Gs	γ	Granulometría			USCS
								Finos	Arena	Grava	
S-6	0.7	74	28	46	30	2.63	1.81				CH
S-6	1.3	55	29	26	33	2.62	1.75				CH
S-7	1.5	52	32	20	26	2.64	1.65	75.5	23.8	0.0	MH
S-7	2.2	48	23	25	19	2.64	1.78	68.1	31.0	0.9	CL
S-8	0.6	37	17	20	19	2.65	1.91				CL
S-8	1.3							73.6	26.4	0.0	
S-8	2.0							79.7	20.3	0.0	
S-8	2.7							47.4	52.6	0.0	
S-8	3.0	51	19	32	18	2.64	2.02				CH
S-9	0.6	63	37	26	29	2.64	1.68				CH
S-9	1.3							66.6	32.6	0.9	
S-10	1.1	49	23	26	33	2.60	1.89	76.7	20.4	2.9	CL
S-10	2.7	40	22	18	26	2.62	2.06				CL
S-11	1.2	65	38	27	21	2.63	1.84				CH
S-11	1.6							67.7	30.6	1.7	
S-12	0.7	40	21	19	21	2.63	1.73				CL
S-13	1.1	36	19	17	24			45.0	55.0	0.0	CL
S-13	1.5				24	2.62	1.98				
S-14	2.7	88	25	63	26	2.64	1.86	65.7	34.3	0.0	CH
S-14	3.5							68.8	30.2	0.0	
S-15	1.2	41	17	24	23	2.61	2.00				CL
S-15	2.2	50	21	29	17	2.62	1.91				CH
S-15	2.5							64.3	35.7	0.0	
S-15	3.0	NL	NP	NP	8	2.65	1.86				
S-16	2.5	54	22	32	23	2.64	1.88				CH
S-16	3.4	49	19	30	25	2.60	1.93				CL

CONVENCIONES					
Perf	Perforación	IP	Índice de plasticidad, %	γ_d	Peso unitario seco, ton/m ³
Z	Profundidad, m	ω	Humedad natural, %	e_o	Relación de vacíos
LL	Límite líquido, %	Gs	Gravedad específica	S	Grado de saturación, %
LP	Límite plástico, %	γ	Peso unitario total, ton/m ³	USC	Clasificación unificada de suelos

En los numerales anteriores se hizo una descripción somera de las características de la edificación por construir, la magnitud de las cargas involucradas de la estructura y los principales aspectos constructivos por atender. También se ha hecho un análisis de los suelos encontrados y de sus características geotécnicas. Ahora se presentan las recomendaciones tendientes a lograr una cimentación segura.

7. RECOMENDACIONES

7.1 Determinantes en el planteamiento de la solución

Los suelos de la zona son caracterizados como de depósito de ladera. En el caso presente, predomina la arcilla en superficie con numerosas capas granulares más

22

frecuentes con la profundidad.

Existe un relleno antrópico, localizado, que varía entre 0.2m y 0.7m de espesor y una capa de arcilla o limo orgánico, también, localizada, no en todo el terreno explorado.

No se registró agua libre a la profundidad explorada, por lo que no se esperan flujos de agua al nivel de excavación para la cimentación.

Según se demostró en el capítulo de análisis, se descartaron condiciones especiales de los suelos como expansividad y licuación; por tanto, no se harán correcciones específicas sobre estos aspectos.

El terreno de la construcción está conformado por laderas de pendientes variables entre moredas y medias.

El carácter de reserva arqueológica impone severas restricciones para el desarrollo de las obras. Existen en el área restos arqueológicos de invaluable riqueza cultural, que limitan la intervención que limitarán las excavaciones a las estrictamente necesarias. No habrán explanaciones, cortes, ni movimientos de tierras. Para ellos los arquitectos e ingenieros diseñadores han planteado estructuras que se adaptan a la topografía local existente.

De la misma manera, la cimentación deberá ser lo menos invasiva posible; se plantea un sistema de pilotes de corta longitud y pequeño diámetro, que desarrollen su capacidad, parte por fricción y parte por punta.

Los requerimientos de carga, por columna, no serán mayores a las 10ton, por tanto es posible lograr una disipación de cargas con unidades pilotes.

- Los pilotes propuestos podrán ser ejecutados con equipo manual, de mediana capacidad, lo cual garantiza el acceso a los materiales competentes sin mayores dificultades y con la posibilidad un examen detallado de los materiales extraídos.

Se estudia la manera de realizar el amarre del sistema, sin necesidad de alterar la superficie del terreno.

7.2 Cimentación

7.2.1 Pilotes

La cimentación se resolverá mediante pequeños pilotes como se recomienda

enseguida:

- Los pilotes podrán ser pre-excavados mediante equipo manual.
- La capacidad admisible de los pilotes, desarrollada por fricción y por punta, será la consignada en la siguiente tabla.

Tabla 11–Capacidad admisible de pilotes, P_A (ton)

Longitud Efectiva de Pilote	Capacidad Admisible, P _A (ton)		
	d=0.3 m	d=0.4 m	d=0.5 m
L= 3.0m	7,1	10,6	14,6

- Todos los elementos de la cimentación serán fundidos en concreto cuya resistencia mínima será 3500psi.
- El refuerzo longitudinal de los pilotes se prolongará a lo largo de la longitud total y variará entre 0.005 y 0.010 del área de la sección transversal del pilote, de acuerdo con las solicitaciones de carga en cada caso.
- El esfuerzo de la pila deberá mantenerse por debajo de $f_c < 0.25 f'_c$
- El asentamiento esperado para esta solución será cercano a los 4cm

7.2.2 Zapatas

Para efectos de comparación, se incluye una solución a base de zapatas. El cálculo se ha realizado para una ubicación de pilotes en ladera.

- Las columnas se cimentarán sobre zapatas diseñadas para una capacidad admisible:

Zapatas individuales cuadradas: $\sigma_{a1} = 9.3 \text{ ton/m}^2$

- Para acceder al piso de cimentación, la profundidad de excavación será

$D_{f1} = 1.50\text{m}$

- El estrato de fundación será el descubierto al excavar previa comprobación de su calidad, que en este caso estará constituido por la arcilla arenosa color marrón amarillento.
- El piso de fundación será revisado cuidadosamente; en caso de encontrarse material inadecuado, este será retirado y reemplazado por concreto

ciclópeo.

- El módulo de reacción de la subrasante, a nivel de cimentación, estará dado por
 $K_s = 2580/B \text{ ton/m}^3$, en donde B es la dimensión menor del cimiento
- Los asentamientos esperados para esta solución serán del orden de los 4 cm.
- Los rellenos necesarios sobre los cimientos, o en sus cercanías, deberán realizarse en material seleccionado, tipo recebo, debidamente compactado.

7.3 Procedimiento constructivo

7.3.1 Generalidades

- Para la fase de construcción de la cimentación se recomienda contar con la asesoría del ingeniero geotecnista
- Para cualquiera de las opciones de cimentación, el piso de fundación debe ser autorizado por el ingeniero geotecnista.

7.3.2 Construcción de pilotes

- Seleccionar un pilote para que sirva de piloto y de acuerdo con las observaciones realizadas en su ejecución, ajustar las recomendaciones para la construcción de la totalidad del pilotaje.
- Para garantizar la representatividad del muestreo del sub-suelo: se deben tomar muestras de suelo cada metro, estas tienen que estar claramente identificadas particularmente la profundidad fueron extraídas. Se debe registrar la profundidad a la cual se encuentra el nivel freático (eventual) . En este punto se requerirá de la visita del ingeniero de suelos.
- Por su longitud y calidad de los materiales no se prevé el uso de elementos de estabilización. El pilote debe ser fundido, en lo posible el mismo día de su perforación. Para ello se recomienda no iniciar la excavación si no se tienen disponibles los refuerzos y el concreto.
- En aquellos puntos que presenten inestabilidad, se debe optar: primero estabilización con agua; segundo encamisado. Con esto se garantizará la

estabilidad durante la fundida, evitando expansiones excesivas. Los lodos bentonitos o poliméricos no son la primera opción ya que su manejo en un entorno de las restricciones del parque arqueológico, pueden generar complicaciones relacionadas con las protecciones mínimas exigidas por las autoridades ICANH.

- Debe existir un minucioso control de expansión y desperdicio de concreto. Ello permitirá conocer los eventuales tramos con mayor sensibilidad.
- La perforación de pilotes de un mismo grupo debe ser alternada: no se fundirá un pilote de un mismo grupo hasta que no hayan transcurrido al menos 24 horas de fundido el anterior. Se busca que el concreto haya fraguado y encontrado un nivel de resistencia adecuado.

7.3.3 Construcción de zapatas

- Preparar la superficie con la horizontalidad suficiente para replantear las zapatas.
- Se debe tener conocimiento de zonas blandas o con comportamientos anormales que puedan dificultar la ejecución de los trabajos de cimentación. Se recomienda realizar inspecciones detalladas y recompactación del terreno para detectar estas anomalías. Convendrá entonces realizar unas perforaciones, barrenos o apiques, para comprobar las condiciones de suelos superficiales descritas en este informe.
- Del mismo modo, deberá tenerse conocimiento previo de la posible existencia de aguas entrapadas o encharcamientos para realizar los achiques necesarios. Deberá también considerarse la existencia de cimentaciones cercanas y los servicios afectados que puedan perjudicar la ejecución de las tareas.
- Después de efectuar el replanteo de la zapata, se inicia la excavación con equipo mecánico o manual, según la disponibilidad; por la profundidad limitada de excavación se pueden plantear excavaciones verticales.
- Al alcanzar el fondo de la excavación, este se nivela y se comprueba si el terreno, considerando las condiciones de esfuerzos admisibles del proyecto, es el previsto para efectuar la cimentación. Debe verificarse que la apariencia del piso de fundación sea la misma descrita en el estudio de suelos.
- Las dimensiones de las zapatas deben ser las de los planos, con una

tolerancia, positiva o negativa, de 5cm.

- Las tareas de excavación del fondo y laterales se efectúan inmediatamente antes del vertido del hormigón de limpieza, para impedir así que el terreno de cimentación sufra cualquier deterioro. Se procura mantener abierta la excavación el menor tiempo que sea posible.
- Si la excavación para la zapata debe permanecer abierta por tiempos prolongados, se recomienda recubrir sus paredes con malla común y mortero.
- Sobre el piso de la excavación se debe colocar el concreto pobre de limpieza con un espesor de 0.05m o el necesario para nivelar la superficie.
- Para las eventuales placas de contrapiso la excavación será la necesaria para satisfacer los requerimientos de cota 0.00m del proyecto arquitectónico. Si la superficie encontrada presenta condiciones inadecuadas se puede proceder a su remoción total, incrementando el espesor del recebo de apoyo en una cantidad suficiente para recuperar la cota de proyecto.

8. RECOMENDACIONES PARA ZONAS EXTERIORES

8.1 Senderos, zona de parqueaderos, plazoletas

En este numeral se hacen algunas consideraciones para las obras de construcción de los senderos, plazoletas áreas de parqueo. Estas recomendaciones deben ser avaladas por el ingeniero especialista de pavimentos.

8.1.1 Condiciones iniciales

El espesor conjunto o individual del relleno mixto, llega a 0.8m. De manera que este será el nivel de excavación máximo. Bajo estos materiales se encuentran suelos de buena condición, en general una arcilla arenosa.

La topografía es variable con pendientes que pueden llegar a los 12°

Por tratarse de un área de conservación, se tienen restricciones de diseño y constructivas, que deben ser atendidas en las recomendaciones que se dan enseguida.

Se tendrán dos tipos de circulación: peatonal y vehicular; habrá además una zona

de circulación mixto. El sendero mixto será una calada continua conformada por una zona de paso peatonal y otra de tránsito vehicular. El volumen de tránsito vehicular será limitado en volumen. Tendrá un ancho entre bordillos de 7.5m.

En los sitios que no cuenten con bordillo o confinamiento lateral, podrá programarse un sobre ancho lateral en recebo que contribuirá al aislamiento de la estructura y por ende disminuirá el impacto de los cambios atmosféricos en las áreas pavimentadas.

8.1.2 Alistamiento del terreno

En la etapa inicial de la construcción de los senderos, zonas de parqueo y plazoletas, se debe tener en cuenta que, en general, hay que adaptarse al relieve del terreno y a la presencia de vegetación mayor (árboles); para no alterar el paisaje natural de la zona, si es posible en el recorrido, se deben rodear estos elementos antes de retirarlos, de no ser el caso, se procede a retirar todos los materiales extraños ubicados en el área que ocupará el sendero, parqueo o plazoleta, tales como montículos de desmonte, montículos de basura, material vegetal, etc.

Los materiales serán recogidos con picos, palas; serán retirados del área de la obra mediante carretillas, estos se ubicarán en zonas dispuestas para el efecto, debiendo posteriormente ser trasladados a lugares autorizados. Por tratarse de un área protegida, el uso de equipo mecánico pesado solo se hará en casos excepcionales con la debida autorización de las autoridades competentes.

Enseguida se trasladan los diseños al terreno: ejes, formas. Se hace el replanteo medida y niveles, con la verificación en el campo de las dimensiones de senderos, áreas de parqueo y terrazas con la ubicación de cada una de sus obras y adicionales.

Para esta tarea se utilizarán yeso, estacas, cordel, barras amarradas con cintas, pintura y otros. El replanteo debe ser apoyado con un equipo topográfico.

8.1.3 Indicaciones para la construcción

- Establecer el nivel cero de la superficie de rodadura
- Hacer el corte y/o el relleno necesario para la implantación del sendero, parqueo y/o plazoleta.
- Preparar la caja necesaria para satisfacer los requerimientos urbanísticos y los espesores de diseño, teniendo en cuenta el diseño adoptado.

- Se utilizarán herramientas manuales como palas, picos, barretones, carretillas, hachas, rastrillos, serruchos y machetes etc. Para la demolición de los eventuales cantos y bloques rocosos se usarán equipos neumáticos manuales.
- Densificar la subrasante mediante compactación severa. En este punto se determinará la presencia de fallos locales, los que deberán removerse y reemplazarse por material seleccionado. El equipo utilizado, dadas las restricciones de la zona de conservación, serán de bajo impacto, canguro, rana o pisón manual, en cualquier caso, el autorizado por la interventoría
- En caso necesario, se colocar una capa de nivelación mejoramiento que cumplirá las funciones de densificación y homogenización de la superficie de apoyo de la estructura. El material utilizado puede ser recebo común grueso o rajo (piedra partida) según la gravedad del caso específico.
- En donde se tenga superficie tratada con rajón o piedra partida, se debe extender un sello en recebo para proteger el geotextil.
- Sobre la superficie preparada se extenderá un geotextil no tejido que garantizará que la estructura no será contaminada, asegurando de paso el funcionamiento para el periodo de diseño.
- Finalmente se construye la estructura de pavimento.
- Una vez sentado el adoquín sobre la capa de arena, se procederá al emboquillado con una mezcla de arena-cemento de baja humedad ($w \leq 10\%$) y se recompactará la superficie mediante algún medio mecánico, protegiendo la superficie del adoquín con una lámina de madera para evitar la rotura del mismo con la vibración del aparato.
- Las estructuras de pavimento requieren pendientes suficientemente grandes para ser efectivas en lo que respecta a la evacuación de aguas de escorrentía. Como guía podrán utilizarse pendientes transversales (bombeo) $b=2\%$; las pendientes longitudinales estarán gobernadas por la topografía local, aunque al menos se garantizará $L \geq 2\%$.
- El pavimento articulado necesita de obras puntuales que eviten el desencaje de los adoquines, se recomienda un emboquillado con una mezcla de arena y cemento de baja humedad, adicionado de elementos de confinamiento lateral y transversal, como bordillos, cunetas-bordillos o sardineles.

Finalmente, para las vías con grandes pendientes longitudinales, deberán construirse vigas transversales de confinamiento distanciadas no más de 3.0m, de manera que el adoquín permanezca estable en condiciones de tráfico constante y aún en las temporadas de invierno.

8.1.4 Espesores recomendados

Tabla 12–Estructura zonas de tráfico vehicular

Especificación	Espesor, cm
Adoquín	7
Arena	3
Base Granular BG	20
Sub Base Granular SBG	30
Geotextil NT	-
Afirmado	≥20
Total	≥80

Tabla 13–Estructura zonas de uso exclusivamente peatonal

Especificación	Espesor, cm
Adoquín	7
Arena	3
Afirmado	≥40
Geotextil NT	-
Total	≥50

Los alineamientos y dimensiones de los pasos y plazoletas serán los indicados en los planos urbanísticos del proyecto.

La superficie terminada tendrá una pendiente transversal de 2.0% hacia la vía o zona de parqueos, salvo que se cuente con cunetas en el interior contra las jardineras o zonas verdes, en cuyo caso la pendiente será en ese sentido.

La pendiente longitudinal será la misma de la vía adyacente, o la indicada en cada sector del parque.

La base del andén será conformada en afirmado de no menos de 0.4m de espesor compacto. Las características de este material serán las presentadas más adelante.

El afirmado se colocará en una superficie recompactada, limpia, libre de fallos y de raíces.

Los andenes que requieran refuerzo se construirán en donde se indique en los planos del proyecto y de acuerdo con los diseños especificados en los mismos. Todos los concretos y refuerzos cumplirán las normas técnicas

aplicables.

- Acabado en adoquín. Sobre la estructura se extenderá una capa de arena de espesor de 3.0cm. El espesor de los adoquines de la estructura del andén será de 7.0cm. El andén quedará encapsulado en su parte externa por el bordillo de la vía correspondiente; en la parte interna deberá conformarse un bordillo de confinamiento, de similares características al exterior.
- Superficies de concreto. De requerirse paso en concreto, estos se construirán sobre el afirmado; tendrán 10 cm de espesor, con resistencia de 3000psi.
- El acabado se hará utilizando niveleta de madera hasta obtener una superficie plana uniforme, con las pendientes preestablecida. Para lograr una superficie antideslizante se hará un barrido con escoba.
- Las juntas de dilatación estarán espaciadas máximo cada 2.0 m; serán biseles metálicos o de madera de 1.5cm de espesor y 5.0cm de profundidad. Los biseles metálicos serán galvanizados y contarán con una capa de anticorrosivo; los biseles de madera protegidos contra la humedad por una capa de pintura.
- Se limpiará la superficie preservándola del tráfico, mínimo 3 días después de vaciado, hasta que se garantice su resistencia.

8.1.5 Sendero peatonal elevado

La cimentación del sendero peatonal elevado se diseñará según las opciones de cimentación contenidas en el numeral 6.2.

Se utilizará la alternativa más viable desde los puntos de vista técnico y económico, teniendo en cuenta también las restricciones sobre los volúmenes de excavación impuestas por la naturaleza de conservación del parque arqueológico.

8.2 Taludes, rellenos, excavaciones

La estabilidad de las excavaciones está determinada, entre otros, por los siguientes factores:

- Profundidad de excavación. En este caso, la profundidad de excavación

es, en general, moderada; solo en casos excepcionales se tendrán cortes superiores a 2.0m.

- Resistencia de los suelos. Como se presentó atrás se trata de suelos de buena consistencia, salvo casos puntuales asociados a materiales de relleno antrópico. Los 3.0m más superficiales del depósito estudiado están conformados mayormente por arcillas.
- Construcciones vecinas. No se tiene colindancia con construcciones
- Vías circundantes. La vía pública de acceso está suficientemente distanciada de las áreas de corte y relleno.
- Variaciones climáticas
- Presencia de aguas libres. No se registraron en la exploración realizada

El análisis de estabilidad se hace mediante las cartas de Taylor, en la que se valora la estabilidad de acuerdo con el factor de estabilidad de corte N_s . El factor de estabilidad de los cortes estará lejos de 3, que se considera el inicio de la plastificación.

Según el análisis de estabilidad se podrán tener cortes con pendientes generosas. La inestabilidad puede provenir entonces, de la presencia de suelos residuales en las primeras capas, material orgánico, flujos de agua y sobre-tamaños adheridos a la matriz principal.

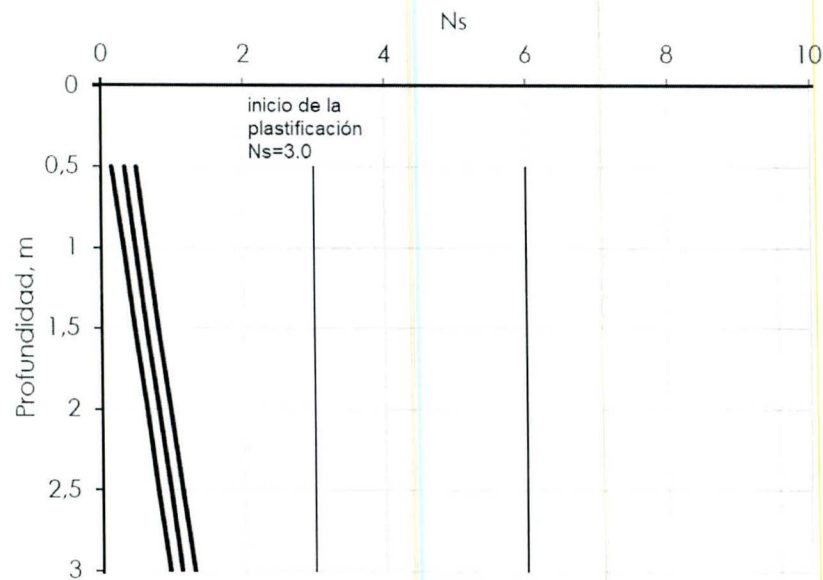


Figura 18-Factores de estabilidad de cortes

De acuerdo con los ábacos de Hoek and Bray se evalúa la inclinación de los cortes en términos del factor de seguridad, para diferentes ángulos de inclinación y niveles de sobre carga. Se aprecia que aún para un corte vertical es posible obtener factores satisfactorios, superiores a 2 incluso en condiciones de sobre carga.

De tal manera que se recomienda tallar todos los taludes a una pendiente

Talud temporal: 1.0h:4.0v

Talud permanente: 1.0h:2.0v

Con este ángulo se cobijan los eventuales fallos locales. Sin embargo, en obra con la observación de la situación real, podrán ajustarse los taludes consistentemente.

El talud definitivo debe considerar no solo la estabilidad; también es necesario que el talud no se convierta en obstáculo visual que genere restricciones al normal tráfico.

Aguas arriba de los taludes permanentes deben construirse zanjas interceptoras; en las caras de los taludes se pueden instalar drenes para evitar sobre presiones generadas por aguas infiltradas.

Los senderos deben dotados de cunetas según la recomendación específica del ingeniero hidráulico.

Los taludes permanentes deben protegerse, entre otros, de: erosión eólica, arrastre de partículas (lluvias), desecación y agrietamiento. Por ello se recomienda, recubrirlos con mantos geotextiles, empradización, morteros de cal y/o cemento sobre malla eslabonada.

Los sectores que presenten surcos de agua deben ser dotados de cunetas interceptoras y pequeños boxculver que permitan dar continuidad al flujo del agua y a los senderos.

8.3 Cerramientos

Los cerramientos pueden ser en malla eslabona cuyos elementos de soporte verticales, serán tubulares distanciados a no más de 3.0m. Podrá ser un cerramiento con un pequeño antepecho en mampostería.

Las cargas deberán ser transmitidas a los apoyos que coincidirán con la ubicación de los postes o tubulares verticales de soporte.

La cimentación se hará según las recomendaciones contenidas en el capítulo 6.2 Cimentación.

Con los valores reales de carga y la geometría definitiva del muro, el ingeniero estructural hará las comprobaciones, para: Deslizamiento, Vuelco, Capacidad. Para tales efectos, se tomarán en consideración los parámetros de presión de tierras incluidos en el numeral 7.5:

8.4 Cajas y ductos subterráneos (redes eléctricas, hidráulicas, gas, etc)

Las cajas y ductos requerirán, en general excavaciones menores. La estabilidad de estas excavaciones se muestra en el capítulo 7.2.

El fondo de la caja debe ser en concreto, a la manera de una pequeña losa de cimentación. La verificación del esfuerzo admisible cumplirá con lo establecido en el numeral 6.2. Se verificará en todos los caso que la placa se apoye sobre materiales naturales

Los muros pueden ser en concreto o en mampostería reforzada. Para su diseño se seguirán las recomendaciones sobre presión de tierras contenidas en el parágrafo 7.5.

8.5 Muros de contención

La necesidad de muros de contención depende en gran medida de los resultados del estudio de amenaza por remoción en masa. Para otras estructuras requeridas en el proceso de conformación del proyecto, se recomienda:

Deberán diseñarse para una presión de tierras del tipo triangular, dada por:

$$P = K \gamma Z$$

Donde,

P	=	Presión a la profundidad Z
K _A	=	coeficiente activo de presión de tierras = 0.43
K _p	=	coeficiente pasivo de presión de tierras = 2.34
K _p	=	coeficiente de presión de tierras en reposo= 0.60

El muro se apoyará sobre su propia zarpa; el cimiento se diseñará de acuerdo con las recomendaciones contenidas en el numeral 6.2.

8.6 Puentes

Las recomendaciones de diseño de las obras de construcción de los puentes deben ser puntuales y aplicadas a cada caso específico, atendiendo las características particulares de cada paso elevado. Para efectos de pre-dimensionamiento se pueden utilizar los parámetros sobre opciones de cimentación (capacidad portante, profundidad de cimentación, etc.) contenidos en el numeral 6.2.

Para los estribos, se pueden utilizar las recomendaciones sobre estructuras de contención incluidas en el numeral 7.5 de este estudio.

8.7 Tanque

El tanque para reserva de suministro (34m³) y reserva de incendio 58m³, junto con el cuarto de máquinas, será una estructura rectangular con 10.5m de longitud, 4.5m de ancho y 4.3m de altura. Para lograr los volúmenes de almacenamiento requeridos, se necesitará una lámina de agua de 2.88m.

El emplazamiento del tanque, en una zona de pendiente transversal, ocasionará una excavación de altura diferencial: 3.2m en la parte baja y 4.2m en la parte más alta. En la **Figura 16** se muestra la estructura propuesta.

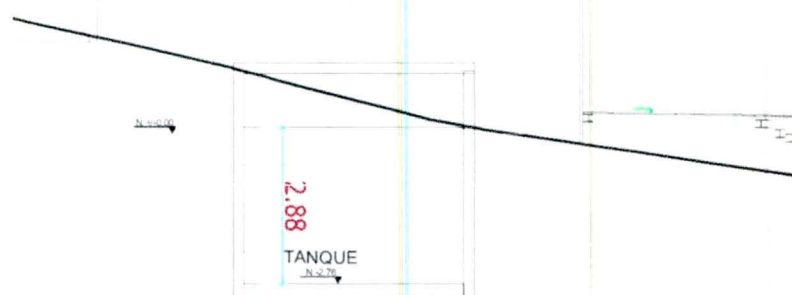


Figura 19–Sección transversal del tanque

Los análisis de estabilidad de cortes se presentan en el numeral 7.2. Las recomendaciones particulares son:

- Realizar la excavación mediante métodos manuales, salvo aprobación de la interventoría para usar equipo mecánico menor.

- Es probable la presencia de material rocoso en el área de trabajo. Su demolición se hará con martillos neumáticos manuales, salvo aprobación especial de la interventoría para utilizar equipos pesados.
- Dada la calidad de las matrices, es posible manejar pendientes generosas, en este caso 1h:4v
- Si bien no se encontraron niveles freáticos en las exploraciones de campo realizadas, esto no implica la eventual presencia de aguas infiltradas. En este caso, se recomienda mantener la excavación permanentemente drenada utilizando drenes y cañuelas que conduzcan los flujos de agua a un pozo desde el cual se bombeará el líquido.
- Al llegar al fondo de la excavación se comprobará la calidad de la subrasante; se realizarán los mejoramientos a que haya lugar y se extenderá un lastre de concreto ciclópeo de 0.5m de espesor. El lastre estará dispuesto para contrarrestar las tendencias a la flotación generadas a tanque vacío.
- Enseguida se construirá la placa de fondo, que será a su vez de placa de cimentación. La placa se comprobará para una presión de contacto no mayor que
$$\sigma_2 \leq 8.0 \text{ ton/m}^2$$
- Los muros del tanque se diseñarán de acuerdo con los parámetros incluidos en el numeral 7.5. La tapa del tanque aportará para la rigidez de la estructura del tanque.

8.8 Materiales para relleno

Se ha mencionado la necesidad de utilizar rellenos en las actividades de adecuación del terreno de cimentación y construcción. Las características de estos materiales se presentan enseguida.

Recebo. Este material debe cumplir con las exigencias establecidas en el Artículo 311 de las especificaciones técnicas del INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO IDU. Se colocará solo para alcanzar las cotas establecidas en el proyecto arquitectónico.

En el anexo de este informe se incluyen las especificaciones de estos materiales.

Ciclópeo. En cuanto a las calidades del concreto ciclópeo (como relleno o lastre o submuración), sugerimos lo siguiente:

El concreto debe dosificarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión especificada en los planos; se sugiere no inferior a 2500psi.

Los requisitos para comprobar la resistencia del concreto, deben basarse en pruebas de cilindros de acuerdo con los métodos AASHTO o ASTM, la resistencia a la compresión del concreto se basará en pruebas a los 28 días.

El concreto ciclópeo es una combinación de concreto de cemento de moderada resistencia y piedras grandes de tamaño no mayor de 30 centímetros.

El volumen total de piedra no debe exceder de un tercio ($1/3$) del volumen total del concreto ciclópeo y 67 de piedra. Las piedras pueden ser partidas o canto rodado (piedra bola), limpias y de peso específico elevado.

Rajón. Los materiales a emplear deberán proceder de fuentes autorizadas por la dirección técnica o interventoría de la obra.

- Serán fragmentos angulares de roca sana, compacta, resistente y durable.
- Se usará preferiblemente areniscas duras, cuarzosas.
- El diámetro nominal de los fragmentos oscilará entre 4" y 6".
- El porcentaje en peso de partículas menores al tamiz de 1" será inferior al treinta por ciento. 30.
- El porcentaje en peso de partículas que pasen por el tamiz No. 200 será inferior a 10.

El rajón se debe colocar a mano, procurando cubrir toda la zona afectada. Una vez extendido el rajón se compacta con equipo pesado, hasta que el material se incruste en la subrasante; se deben colocar tantas capas como sea necesario hasta liberar la superficie del fallo.

8.9 Medidas preventivas

Durante el proceso de excavación y construcción se recomienda implementar un plan de seguimiento y monitoreo documentado que tenga en cuenta las diferentes etapas constructivas, de tal manera que si se advierten síntomas de inestabilidad geotécnica o estructural se puedan tomar los correctivos necesarios y se pueda hacer un seguimiento por parte de las autoridades competentes. Como medidas preventivas se indican las siguientes:

- Construir el cerramiento en materiales adecuados. Demarcar la obra con cinta reflectiva, malla o las áreas externas a la obra que impliquen algún uso de la obra misma.
- Demarca los accesos: definir senderos peatonales con un ancho no inferior a 1.0m. Señalizar dichos senderos y cruces
- Aislar totalmente las áreas de excavación activas. Para la excavación de los cimientos es importante contar con sistemas de iluminación que permitan la visualización del área.
- Se debe asegurar la estabilidad de las paredes bajo todas las condiciones de trabajo utilizando, siempre, sistema de entibado continuo con puntales transversales y aún diagonales en las esquinas; el sistema será de madera o metálico o una combinación de los dos.
- El terreno descubierto permanecerá constantemente drenado utilizando para ello un equipo de bombeo adecuado. La base de la excavación será recompactada, los fallos que se presenten serán removidos y reemplazados por material seleccionado.
- Al observarse algún síntoma de inestabilidad que pueda comprometer la construcción vecina, se procederá a submurar con concreto ciclópeo.
- Debe programarse un control topográfico que incluya el monitoreo de la obra como de sus vecinos, incluyendo las vías perimetrales. Dicho control incluirá tanto tendencias verticales como horizontales.

9. FACTORES DE SEGURIDAD

El factor de seguridad en geotecnia es un concepto que tiene varios matices: para los taludes puede calcularse como la relación entre los momentos resistentes y los momentos desestabilizantes, mientras que para las cimentaciones superficiales, el factor de seguridad F es la resultante de la capacidad de carga, q_u , y la carga actuante Q , ninguna de ellas evaluada en función de F .

Como la evaluación de los esfuerzos cortantes no es lineal, por lo menos en ϕ , el factor de seguridad básico, F_{sb} , resulta distinto al F_{si} , que en ningún caso deberá ser inferior a los valores consignados en la tabla H.2.4-1.

Evaluando el incremento de los esfuerzos cortantes por causa de la sobrecarga que generará la nueva construcción, el factor de seguridad será satisfactorio para un $L=3.0m$. El factor de seguridad básico supera los mínimos establecidos en

la NSR-10 (tabla H.2.4-1). En el anexo se presenta el cálculo respectivo.

Tabla 14-Factores de seguridad indirectos (H.4.7-1, NSR10)

Condición	FSICP Mínimo
	Diseño
Carga Muerta + Carga Viva Normal	3.0
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	2.5
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de diseño Seudo estático	1.5

Tabla 15-Factores de seguridad básicos mínimos (NSR-10 tabla H.2.4-1)

Condición	FSBM		FSBUM	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + carga Viva Máxima	1.25	1.10(*)	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo Estático	1.10	1.00	No se permite	No se permite
Taludes - Condición estática y Agua subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes - Condición Seudo estática con agua Subterránea normal y coeficiente sísmico de Diseño	1.05	1.00(*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: los parámetros sísmicos seudo estáticos de construcción serán el 50 de los diseños

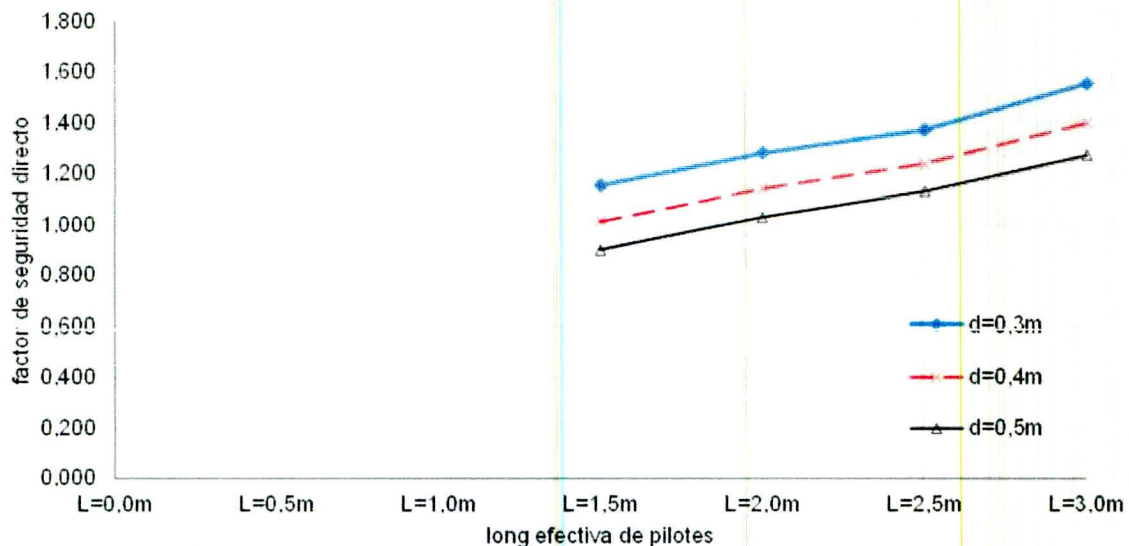


Figura 20-Variación del factor de seguridad

10. CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

10.1 Norma NSR-10

Bogotá se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10). Según este estatuto los parámetros para el análisis sísmico son:

SA

Tabla 16–Coeficientes para diseño sísmico (NSR-10)

Zona de amenaza Sísmica	Aa	Av	Ae	Ad
	coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva	coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva	coeficiente que representa la aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada	coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para el umbral de daño
Intermedia	0.15	0.20	0.13	0.06

El mapa de amenaza sísmica de Colombia, se presenta en la **Figura 21**, con indicación de los parámetros definidos para Bogotá.

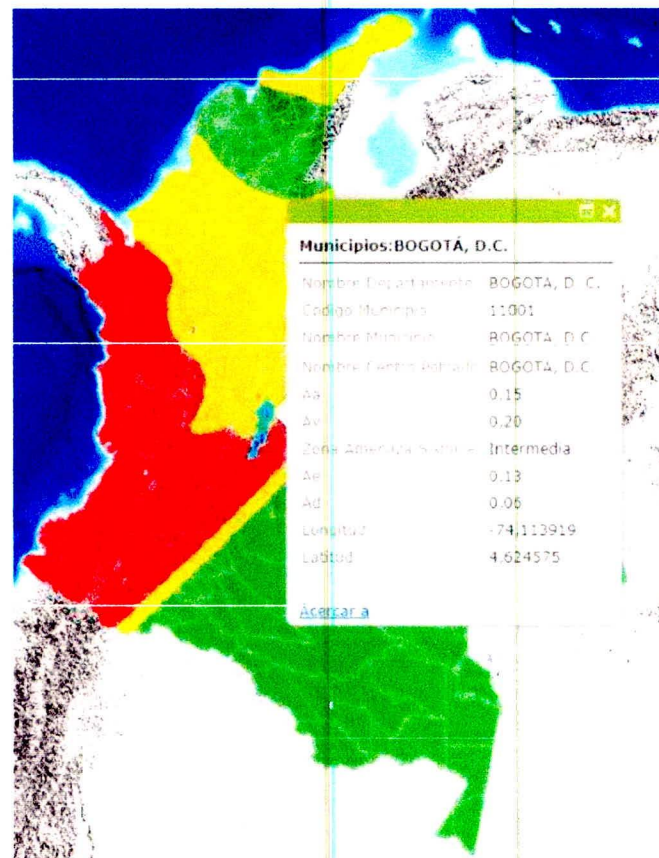


Figura 21–Mapa amenaza sísmica NSR-10

10.2 Microzonificación sísmica de Bogotá

En el Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá (Decreto 523 de 16 de diciembre de 2010), el lote del proyecto se asienta sobre suelos de la zona Depósito de Ladera.

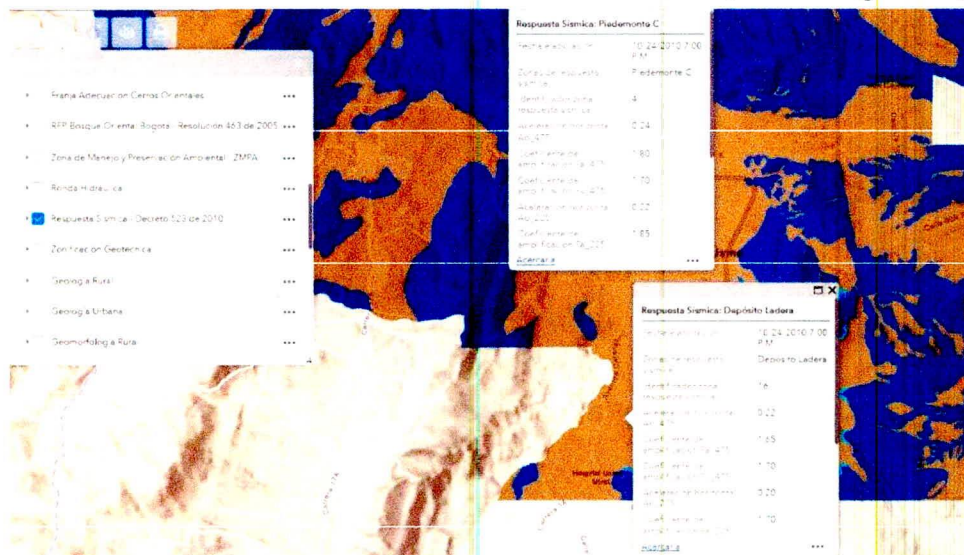


Figura 22–Mapa de respuesta sísmica

Tabla 17–Coeficientes para diseño sísmico (Decreto 523 de 2010)

Zona	Coef. Amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos	Coef. Amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios	Periodo corto	Periodo largo	Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie
	$F_a (475)$	$F_v (475)$	$T_c (s)$	$T_l (s)$	$A_0(475) [g]$
Depósito de ladera	1.65	1.70	0.66	3.0	0.22
PIEDEMONTES	1.80	1.70	0.60	3.0	0.24

10.3 Definición del perfil del suelo

En el artículo 5.7 se establecen los siguientes criterios para reclasificar el perfil de suelo, cuando se trata de las zonas Cerros, Piedemonte (A, B, C) y Depósito de Ladera:

- Para espesores de suelo menores a 6.0m será Zona Cerros
- Para espesores de suelo comprendidos entre 6.0m y 12.0m, Ladera
- Para espesores superiores a 12.0m la zona será Piedemonte: A, B o C según corresponda con su cercanía geográfica.

En el estudio de amenaza riesgo y vulnerabilidad (CI INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO, Agosto de 2024), se presentaron 10 líneas de reacción sísmica. De acuerdo con los resultados de esta exploración, no se registraron velocidades de onda de cortante, $v_s \geq 750 \text{ m/s}$, en los primeros 12m del depósito, por lo que el perfil de suelos deberá ser PIEDEMONTES C.

En el perfil H-1 del estudio de CI INGENIERÍA GEOTÉCNICA Y CAMBIO CLIMÁTICO, Agosto de 2024 se muestra la secuencia de los estratos.

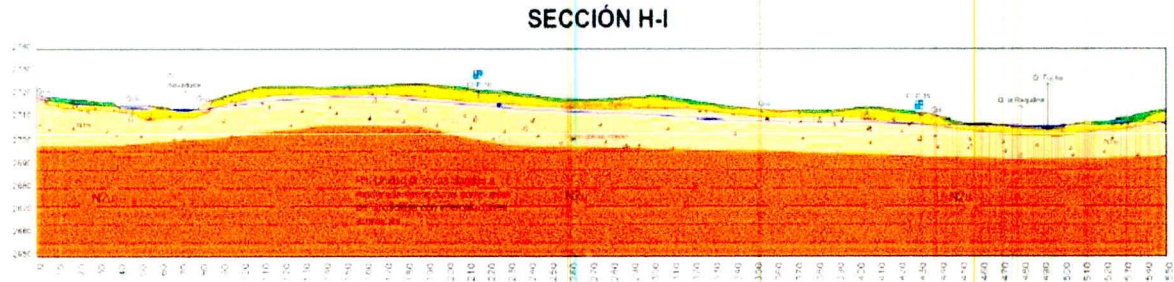


Figura 23–Perfil del modelo geológico geotécnico

Tabla 18–Velocidad de onda de cortante

Línea sísmica	estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Profundidad de mayores velocidades, m
CI-LRS-1	184	308	829	13
CI-LRS-2	193	502		13
CI-LRS-3	152	298	682	16
CI-LRS-4		560	1017	8
CI-LRS-5		293	736	12
CI-LRS-6	201	299	630	13
CI-LRS-7	350	671	1290	12
CI-LRS-8	144	289	638	19
CI-LRS-9	179	417	720	16
CI-LRS-10	197	363	702	12

Tabla 19–Equivalencia microzonificación sísmica y NSR-10

Zona de microzonificación	Periodo fundamental (seg)	Perfil del suelo (NSR-10)
1. Cerros	<0.3	TIPO C
2. Piedemonte A	0.3 – 0.6	TIPO D
3. Piedemonte B		
4. Piedemonte C		
5. Lacustre 50	1.0 – 1.5	TIPO F
6. Lacustre 100	2.5 – 2.5	
7. Lacustre 200	2.5 – 3.5	
8. Lacustre 300	3.5 – 4.5	
9. Lacustre 500	4.5 – 6.5	
10. Lacustre Aluvial 200	2.0 – 3.0	
11. Lacustre Aluvial 300	3.0 – 4.0	
12. Aluvial 50	0.4 – 0.8	
13. Aluvial 100	0.8 – 1.2	
14. Aluvial 200	1.5 – 2.5	
15. Aluvial 300	2.5 – 4.0	
16. Depósito de ladera	< 0.3	TIPO D

En el caso presente no se pudo confirmar la velocidad de onda de roca, tal como

lo requiere el citado artículo, de manera que se adopta la condición del piedemonte más cercano, en este caso Piedemonte C. En estas circunstancias, corresponde el perfil Tipo D de la NSR-10 para los aspectos no contemplados en la Microzonificación sísmica de Bogotá.

Tabla 20—Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición	Suelos Tipo F
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$	
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante o,	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$	
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ o $\bar{s}_u \geq 100 \text{ kPa}$ ($\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$)	F1- Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera con el criterio de velocidad de la onda de cortante o,	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$	F2- Arcillas de muy alta plasticidad ($H > 7.5 \text{ m}$ con índice de plasticidad $IP > 75$)
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50 \text{ kPa}$ ($\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$)	F3- Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3 \text{ m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante o,	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$	F4- Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 36 \text{ m}$)
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40$ 50 kPa $(\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$	

FUENTE: (A.2.4-1, NSR-10)

11. OTRAS RECOMENDACIONES

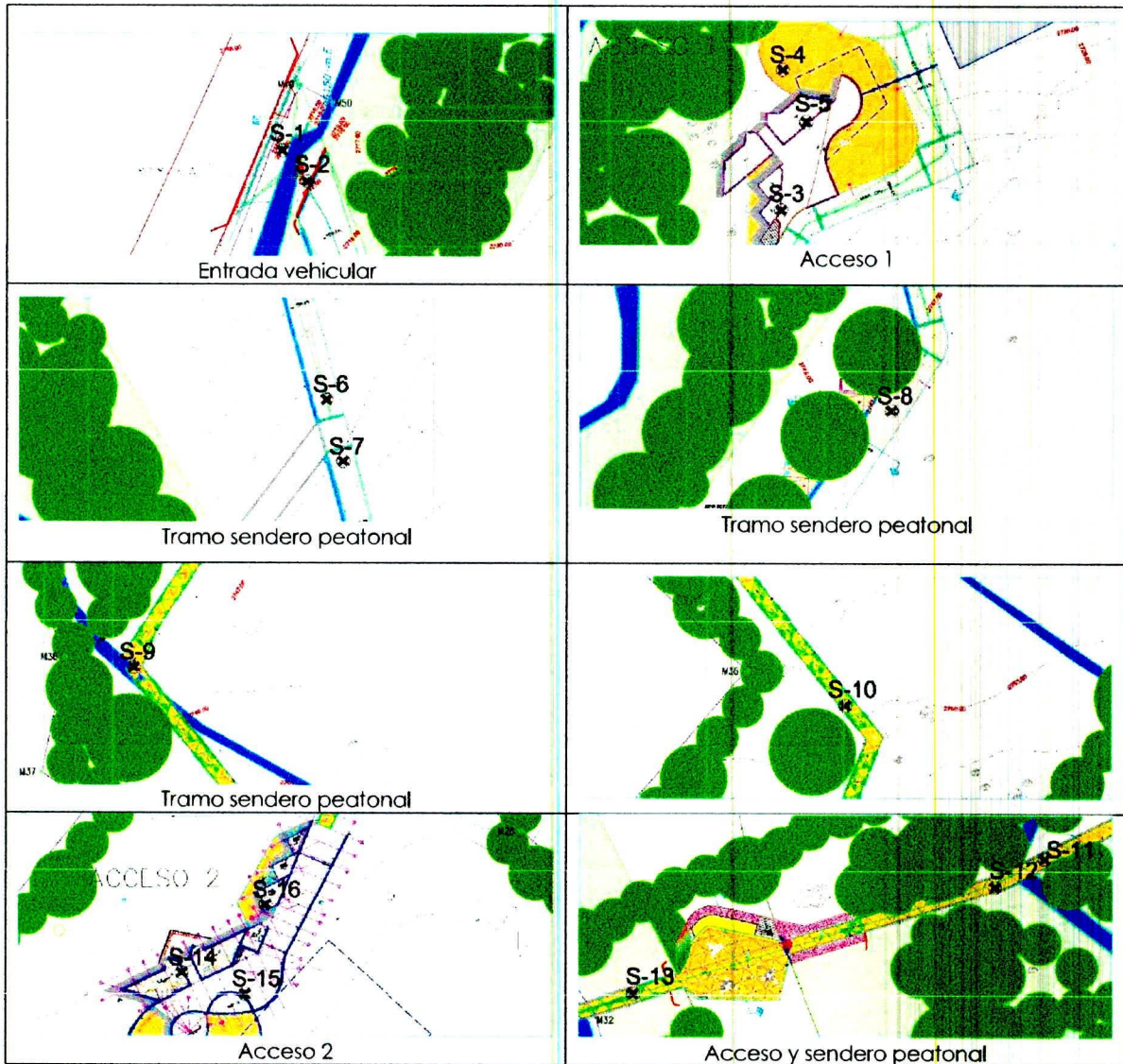
Los valores de diseño y las recomendaciones aquí contenidas, están basadas en las exploraciones de campo y laboratorio. En caso de presentarse alguna diferencia que pueda alterar el normal desarrollo de los trabajos, esta deberá ser consultada al Ingeniero de Suelos para su consideración y análisis.

WILLIAM ARIZA JIMÉNEZ
Matricula profesional No. 25202-286427 CND

Bogotá D.C. enero de 2023

ANEXOS

- . Registros de perforación
- . Resultados de los ensayos de laboratorio
- . Memorias de cálculo
- . Especificaciones para materiales de relleno
- . Registro fotográfico



<div>simétrica</div> <div>arquitectos</div>					REGISTRO DE PERFORACIÓN									
					PROMOTOR: Consorcio NVP					Referencia:		22-4634		
					PROYECTO: Parque arqueológico Hacienda el Carmen					perforación		S - 1		
					DIRECCIÓN: Hacienda El Carmen, Usme. Bogotá									
Fecha inicio: 23/11/2022					SPT: Ensayo de penetración estándar					observaciones				
Fecha finalización:					Nc: (golpes/pie)									
Perforador: FO-HM-LA-AL					VST: Ensayo de veleta de campo									
Equipo: rotación/percusión					qu: penetrómetro de bolsillo (kg/cm2)									
NF: nivel freático					ST: Muestras inalterada en tubo Shelby									
aparece					SS: Muestras alterada en tubo partido									
al terminar					c: Muestra de clasificación									
					w: humedad natural									
Profundidad, m			Muestra	NF	S - 1	Descripción	Límites, %			γ ton/m3	w(%)			
inicia	finaliza	LL					LP	IP						
0,0	0,6	1				Relleno; limo arenoso con escombros de construcción, color gris marrón				2,0	4			
0,6	0,9	2				Arcilla (CL) limosa con algo de arena; color marrón oscuro	35	17	18	1,9	17			
0,9	1,3	3				Arcilla limosa con arena; algunas raíces; color gris marrón, con vetas amarillentas Granulometría (Arcilla 56%, Arena 44%)					19			
1,3	1,8	4				Arcilla arenoso con gravas; color marrón rojizo Granulometría (Arcilla 62%, Arena 38%)								
1,8	2,0					Arenisca grava y clastos (rechazo, no se recupera muestra)								

(fin del sondeo)

					REGISTRO DE PERFORACIÓN									
					PROMOTOR: Consorcio NVP					Referencia:		22-4634		
					PROYECTO: Parque arqueológico Hacienda el Carmen					perforación		S - 2		
					DIRECCIÓN: Hacienda El Carmen, Usme, Bogotá									
Fecha inicio: 23/11/2022					SPT: Ensayo de penetración estándar					observaciones				
Fecha finalización:					Nc: (golpes/pie)									
Perforador: FO-HM-LA-AL					VST: Ensayo de veleta de campo									
Equipo: rotación/percusión					qu: penetrometro de bolsillo (kg/cm2)									
NF: nivel freático					ST: Muestras inalterada en tubo Shelby									
aparece					SS: Muestras alterada en tubo partido									
al terminar					c: Muestra de clasificación									
					w: humedad natural									
Profundidad, m					Muestra	NF	S - 2	Descripción	Limites, %			γ ton/m3	w(%)	
inicia		finaliza		LL					LP	IP				
0,0		0,4		M-1				Relleno limo arenoso; color gris marrón						
0,4		0,7		M-2				Relleno; limo arenoso algo arcilloso, con gravas y raíces, color gris marrón						
0,7		1,1		M-3				Arcilla arenosa con raíces color marrón oscuro (Granulometría: Arcilla 56%, Arena 44%)					20	
1,1		1,4		M-4				Arcilla algo arenosa; con raíces, color gris marrón (Granulometría: Arcilla 85%, Arena 15%)						
1,4		1,6						Arenisca, grava y clastos (rechazo, no se recupera muestra)						

(fin del sondeo)