Medellín, 25 de Agosto de 2022

Señores:

A quien interese

ASUNTO: Certificación de los diseños estructurales realizados para el proyecto "**IE SAN ANTONIO – JARDIN ANTIOQUIA**".

Yo, **CAMILO VELASQUEZ MESA**, Ingeniero Civil especialista en Análisis y diseño de estructuras, identificado con cédula de ciudadanía No. 1.017.220.823 y matrícula profesional No. **05202-350201 ANT**, debidamente registrado en el Consejo Profesional Nacional de Ingeniería, actuando como diseñador de elementos estructurales y no estructurales, certifico bajo gravedad de juramento que he realizado los diseños estructurales del proyecto "**IE SAN ANTONIO – JARDIN ANTIOQUIA**", de acuerdo con los requisitos técnicos vigentes y que dicho diseño estructural está siendo ejecutado bajo los lineamientos y parámetros establecidos en el **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.**

Para los fines pertinentes, declaro bajo gravedad de juramento, no estar en curso de ninguna de las inhabilidades consagradas en el artículo 14 de la Ley 1796 de 2016.

CAMILO VELASQUEZ MESA
Ingeniero Civil – Especialista en Estructuras
M.P. 05202-350201 ANT
C.C. 1.017.220.823 de Medellin.

REPUBLICA DE COLOMBIA
IDENTIFICACION PERSONAL
CEDULA DE CIUDADANIA

NUMERO **1.017.220.823**

VELASQUEZ MESA

APELLIDOS

CAMILO

NOMBRES

Camilo Velasquez

FIRMA





INDICE DERECHO

FECHA DE NACIMIENTO **08-JUL-1994**

MEDELLIN
(ANTIOQUIA)
LUGAR DE NACIMIENTO

1.91 ESTATURA | **O+** G.S. RH | **M** SEXO

10-JUL-2012 MEDELLIN
FECHA Y LUGAR DE EXPEDICION

REGISTRADOR NACIONAL
CARLOS ARIEL SÁNCHEZ TORRES

P-0100100-00421331-M-1017220823-20130115 0032123256A 1 38533634

REPÚBLICA DE COLOMBIA
COPNIA
Consejo Profesional Nacional de Ingeniería

Certificado de vigencia y antecedentes disciplinarios
CVAD-2022-1527795

CONSEJO PROFESIONAL NACIONAL DE INGENIERÍA
COPNIA

EL DIRECTOR GENERAL

CERTIFICA:

1. Que CAMILO VELASQUEZ MESA, identificado(a) con CEDULA DE CIUDADANIA 1017220823, se encuentra inscrito(a) en el Registro Profesional Nacional que lleva esta entidad, en la profesión de INGENIERIA CIVIL con MATRICULA PROFESIONAL 05202-350201 desde el 27 de Enero de 2017, otorgado(a) mediante Resolución Nacional 135.

2. Que el(la) MATRICULA PROFESIONAL es la autorización que expide el Estado para que el titular ejerza su profesión en todo el territorio de la República de Colombia, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 842 de 2003.

3. Que el(la) referido(a) MATRICULA PROFESIONAL se encuentra **VIGENTE**

4. Que el profesional no tiene antecedentes disciplinarios ético-profesionales.

5. Que la presente certificación se expide en Bogotá, D.C., a los veinticuatro (24) días del mes de Agosto del año dos mil veintidos (2022).

Rubén Darío Ochoa Arbeláez

Firmal del titular (*)

(*)Con el fin de verificar que el titular autoriza su participación en procesos estatales de selección de contratistas. La falta de firma del titular no invalida el Certificado

El presente es un documento público expedido electrónicamente con firma digital que garantiza su plena validez jurídica y probatoria según lo establecido en la Ley 527 de 1999. Para verificar la firma digital, consulte las propiedades del documento original en formato .pdf.

Para verificar la integridad e inalterabilidad del presente documento consulte en el sitio web https://tramites.copnia.gov.co/Copnia_Microsite/CertificateOfGoodStanding/CertificateOfGoodStandingStart indicado el número del certificado que se encuentra en la esquina superior derecha de este documento.

ESTUDIO GEOTÉCNICO

RECONOCIMIENTO, INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO, ANÁLISIS Y RECOMENDACIONES DE INGENIERÍA.

DIRIGIDO A:

HERNANDO GONZÁLEZ HENAO

ING. CIVIL- ESP. EN INGENIERIA SISMORESISTENTE MP 30615 ANT



ESTRUCTURA DE INFORME:

División técnica Estudios y Ensayos S.A.S

CALCULOS Y REVISION DE INFORME:

ISABEL ALDANA BENAVIDES

ESPECIALISTA EN MECÀNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES EAFIT

JARDÍN-ANTIOQUIA, AGOSTO DE 2022

Código interno de estudio ES-EYE-074-2022

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 3
GENERALIDADES 4
Objetivo general 4
Objetivos específicos 4
Metodología 5
Alcance del estudio 5
Localización de la zona de estudio 6
GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA GENERAL 8
EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 10
PERFIL GEOTÉCNICO Y PARÁMETROS DEL SUELO 17
Resistencia del suelo a la penetración normal – SPT 18
Parámetros geotécnicos 19
PERFIL DE DISEÑO SISMORESISTENTE 20
EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE CONDICIONES ESPECIALES 22
Licuación 22
Metodología del análisis del potencial de licuación 22
Evaluación de suelos expansibles 24
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y DEFORMACIONES PARA LA CIMENTACIÓN 25
Capacidad de carga cimentación superficial 25
Asentamientos cimentación superficial 27
Recomendación de cimentación y esquema ilustrativo 29
Esquema ilustrativo de cimentación 29
Módulo de reacción (ks) 30
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32
Anexo 1. Registro Fotográfico 33
Anexo 2. Ensayos de campo y laboratorio 41

INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al estudio geotécnico realizado en la zona urbana del municipio de Jardín-Antioquia, en el colegio SAN ANTONIO donde se proyecta la CONSTRUCCIÓN DE AULAS de categoría baja.

El lote donde se proyecta la construcción colinda con aulas existentes y la cancha de microfutbol, en un terreno de pendiente moderada y no evidencia comportamientos anormales del suelo existente. (Ver Ilustración I)

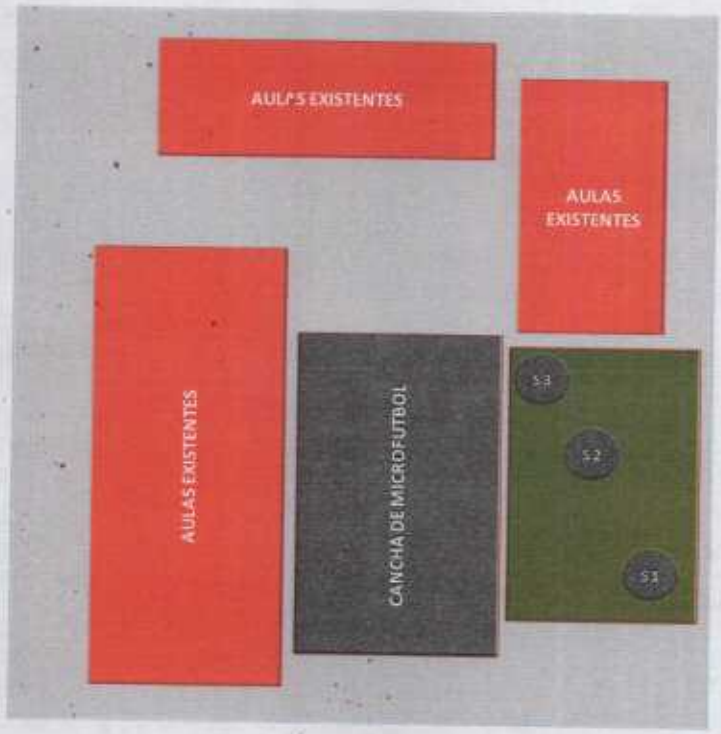


Ilustración I. Ubicación de sondeos en zona proyectada.

Por lo anterior, se ejecutó una exploración geotécnica en el área sobre la cual se construirá mediante tres (3) sondeos, realizados a través de perforación manual y la implementación del ensayo de penetración estándar cada metro de acuerdo con la Norma ASTM D1586 – 67 y ensayos de laboratorio siguiendo las normas INVIAS, esto con el fin de obtener toda la información posible sobre las características geotécnicas.

Por último, se realiza la caracterización geotécnica de los materiales del subsuelo para determinar sus propiedades físico – mecánicas, con lo cual se realiza la elección de las cimentaciones, la capacidad portante admisible y los asentamientos máximos esperados de acuerdo con las cargas máximas estimadas para este proyecto.

GENERALIDADES

Objetivo general

Conocer las características y propiedades del subsuelo del lote donde se llevará a cabo el proyecto, con el fin de recomendar el diseño de una cimentación apropiada y recomendaciones generales, que cumpla con los requerimientos de la norma, las condiciones de carga de la estructura y lo evidenciado en la exploración geotécnica.

Objetivos específicos

- ✓ Realizar visita de campo y la exploración geotécnica para obtener muestras alteradas e inalteradas para determinar las propiedades físico-mecánicas que rigen el suelo e identificar las condiciones de frontera que limitan el diseño de la cimentación.
- ✓ Levantar el perfil estratigráfico tipo terreno en el área de estudio, mediante la información suministrada por los sondeos y la ejecución de un programa de ensayos de laboratorio. Llevar a cabo la metodología descrita en la NSR – 10 para la obtención del Perfil de Suelo aplicando las ecuaciones del capítulo A.2.4.
- ✓ Analizar y extraer información importante de los ensayos de laboratorio y de campo.
- ✓ Verificar la capacidad de soporte del suelo para la edificación propuesta haciendo un adecuado uso de los factores de seguridad directos e indirectos descritos en el reglamento NSR – 10. Tablas H.2.4-1 y H.4.7-1.
- ✓ Estimar los posibles asentamientos que sufrirá el sistema cimentación-estructura.
- ✓ Presentar la recomendación de la cimentación óptima en términos de diseño, estabilidad y construcción en el área donde se proyecta la construcción.
- ✓ Presentar recomendaciones generales del área restante según lo observado.
- ✓ Elaborar recomendaciones generales que sean necesarias para el proceso de diseño y construcción.

Metodología

El presente estudio de suelos se establece siguiendo los procedimientos reglamentados por la norma NSR 10 y la Norma Técnica Colombiana para clasificación de Suelos.

Dentro de los ensayos geotécnicos se realizaron pruebas *in situ* y a nivel de laboratorio para de esa manera determinar las principales características del subsuelo de la zona de estudio. Para este proceso se reconocen los siguientes pasos.

Reconocimiento del terreno

- ✓ Recopilación y revisión bibliográfica de otros estudios del municipio
- ✓ Trabajo de campo (Sondeos)
- ✓ Trabajo de laboratorio
- ✓ Análisis de geotecnia y resultados

Alcance del estudio

La exploración realizada en campo junto con el programa de ensayos a nivel de laboratorio efectuado a las muestras extraídas, permitirán establecer los parámetros índices del suelo de fundación de las estructuras (Ensayos de clasificación, entre otros).

Para la estimación de los parámetros ángulo de fricción interna (Φ) y cohesión (C) se adelantarán ensayos de SPT y con base en el registro de golpes por pie de penetración se sacarán las correlaciones necesarias para determinar estas dos variables.

Localización de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra localizada en el municipio de Jardín Antioquia.

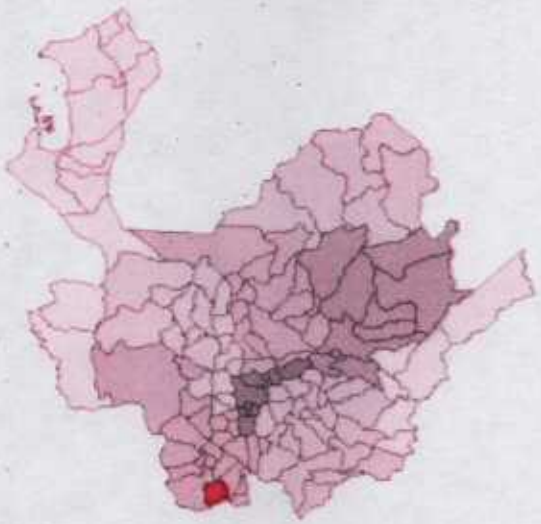


Ilustración 2. Localización del municipio de Jardín en el Departamento de Antioquia. Tomado de: Wikipedia.



Ilustración 3. Imagen satelital área de estudio. Tomado de: Google Earth 2022.



Ilustración 4. Localización área de estudio. Tomado de: Google Maps 2022.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA GENERAL

En el municipio de Jardín se pueden encontrar rocas sedimentarias correspondientes a:

- **Formación Combia**

Dicho nombre fue dado por Grosse (1926) a un conjunto de rocas volcánicas de ambiente subaéreo y volcano-elásticas de ambiente continental, de edad Terciaria Superior, que afloran al este y oeste del río Cauca, desde unos 20 Km al sur de La ciudad de Medellín.

Esta unidad está compuesta por flujos de lava basáltica, rocas piroclásticas de composición intermedia y rocas sedimentarias de ambiente continental. Dada su variabilidad litológica se ha dividido para su descripción en dos miembros diferentes, uno volcánico y otro sedimentario, separación que no aparece en el mapa. (INGEOMINAS, 1980)

- **Depósitos fluviales**

Son aquellos formados a expensas de las aguas corrientes superficiales, bien estén encauzadas o discurran libremente. Los principales depósitos de esta naturaleza en el área con aluviones, coluviones, terrazas, taludes y abanicos aluviales. En el municipio de Jardín se pueden distinguir:

- Aluviones y Terrazas: Las terrazas por ser la base parcial de asentamientos humano, son aquellas sobre las cual está construidas la cabecera del municipio.

- Coluviones: Son aquellos depósitos formados en las laderas a expensas de los materiales arrancados a las mismas por la erosión de los agentes atmosféricos y transportados por las aguas lluvias hasta alguna pequeña depresión o rellano de estas donde pueden ser depositados. Su ocurrencia en el área es local y en extensiones muy reducidas por lo cual no aparecen cartografiados. Al norte de Jardín existen varios depósitos de pie de monte, de escasa pendiente denominados glacis. (INGEOMINAS, 1980)

Por otro lado, en cuanto a rocas ígneas se tienen las siguientes unidades:

- **Formación Barroso**

Con este nombre se designa la secuencia volcánica de ambiente submarino profundo a somero que aflora al oeste del río Cauca. Dicho nombre fue utilizado por Alvarez y González (1978) para describir una secuencia volcánica, con la misma posición respecto al río Cauca, más al norte de esta área.

Esta unidad se presenta en el área en diversos puntos, danto la impresión de ser una Formación muy potente que no aflora en superficie dada la extensa cobertura volcánica de naturaleza piroclástica (Formación Combia) que cubre el área. Entre sus principales manifestaciones se encuentra Un cuerpo de forma alargada que aflora al suroeste de la población de Jardín a través de una longitud de 12 kilómetros y uno amplitud de 3 a 4 km.

- **Formación Combia**

Miembro volcánico.Se compone esencialmente de flujos de lava y rocas piroclásticas.
Los flujos de lava son de composición básica, rinciplamente son basaltos feldespáticos de color oscuro, afanitícas o porfiritícas, vesículares o amigdaloides, con vesículas rellenas de calcedonita, muy frescos, diaclasdos, exhibiendo localmente bloques redondeados producto de la meteorización esferoidal y a veces estructuras columnares, su afloramiento se presentan sobre la carretera de Jardín – Ríosucio.

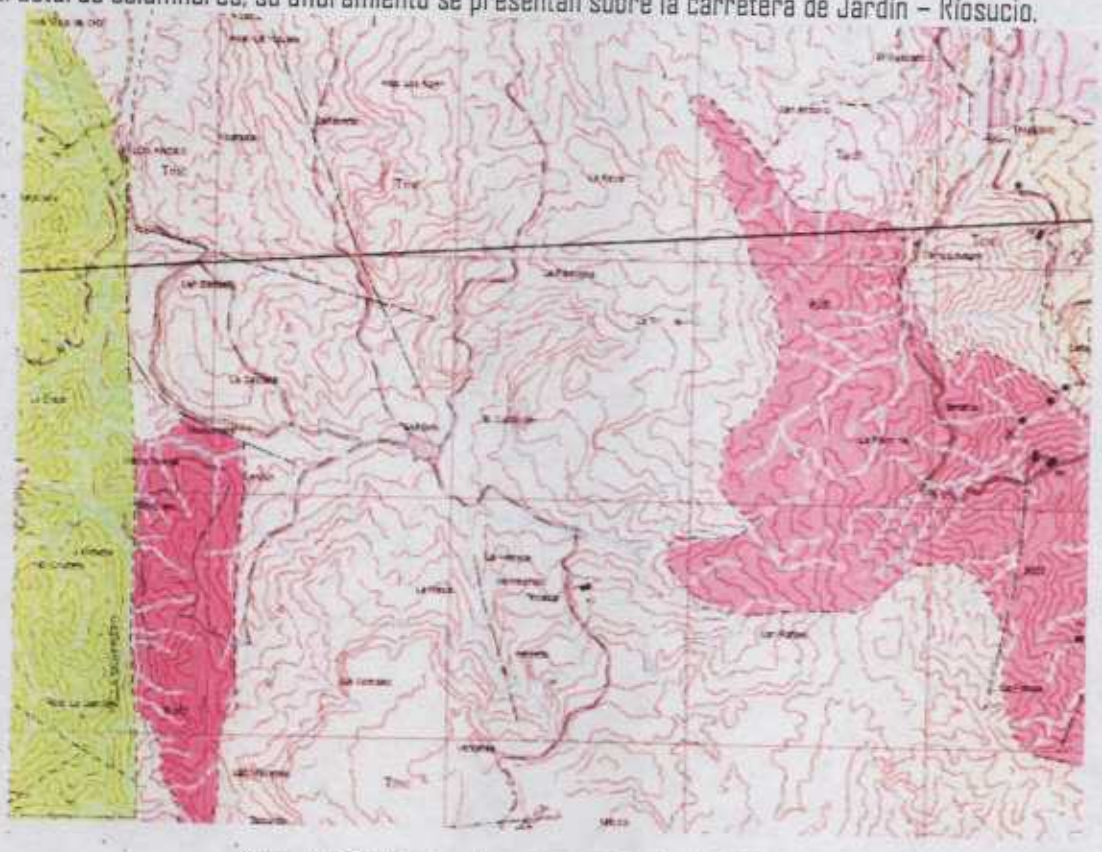


Ilustración 5. Geología general zona de estudio. Tomado de: INGEOMINAS. 2012

EXPLORACIÓN DE CAMPO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Después de hacer un reconocimiento de la superficie del terreno, se desarrolló un programa de exploración del subsuelo por medio de TRES (03) sondeos.

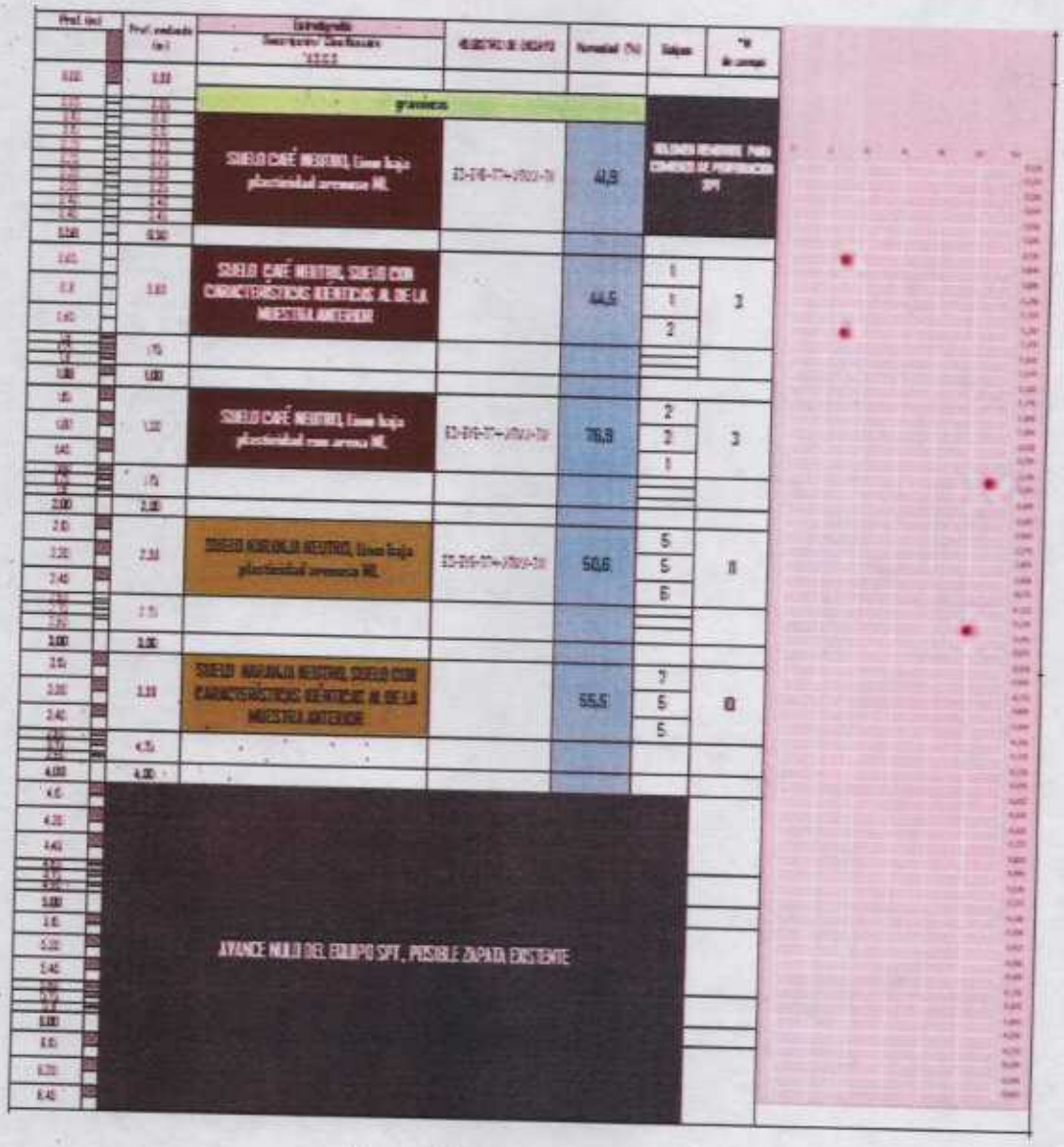


Ilustración 6. Perfil estratigráfico sondeo I.

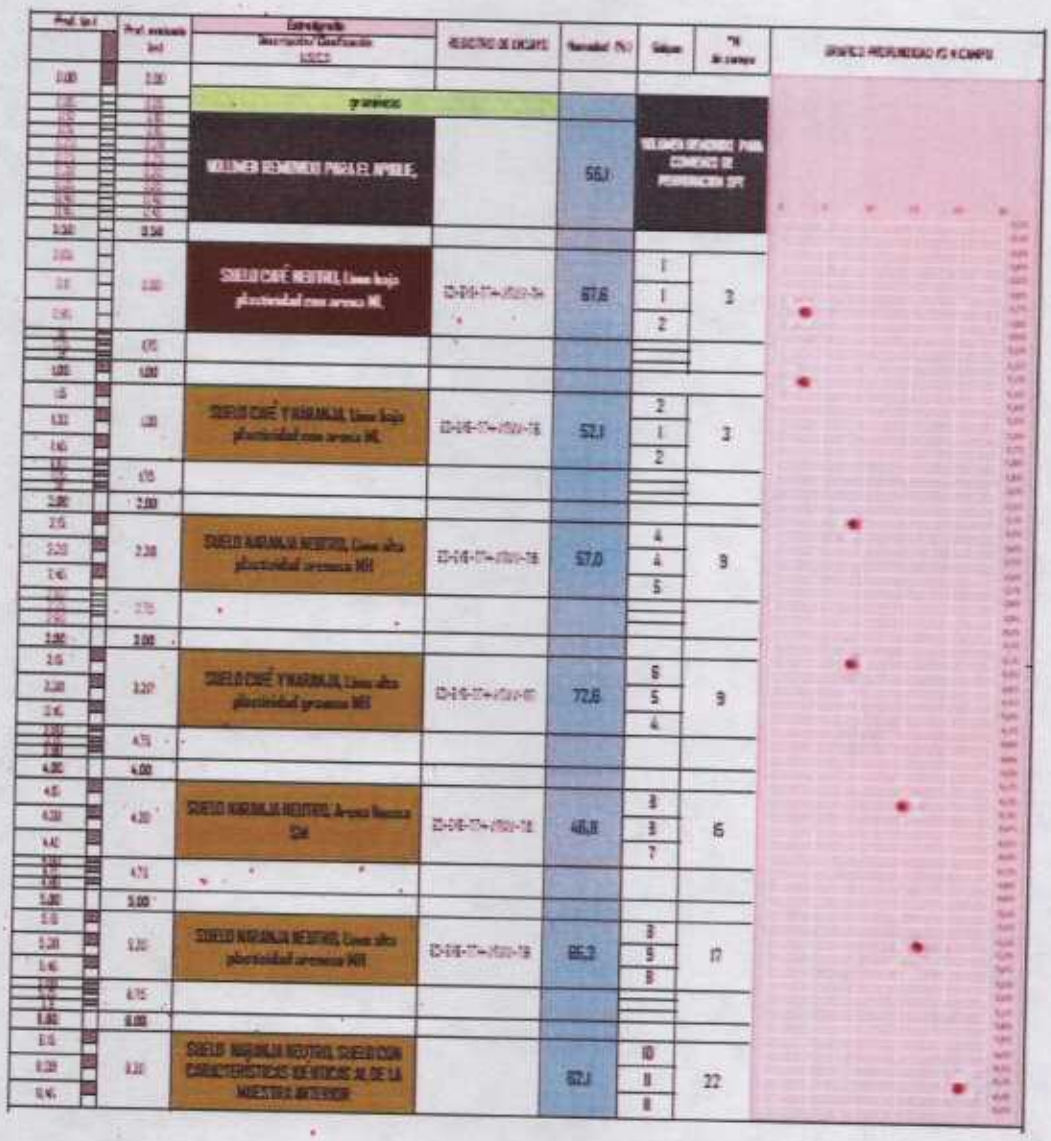


Ilustración 7 Perfil estratigráfico sondeo 2

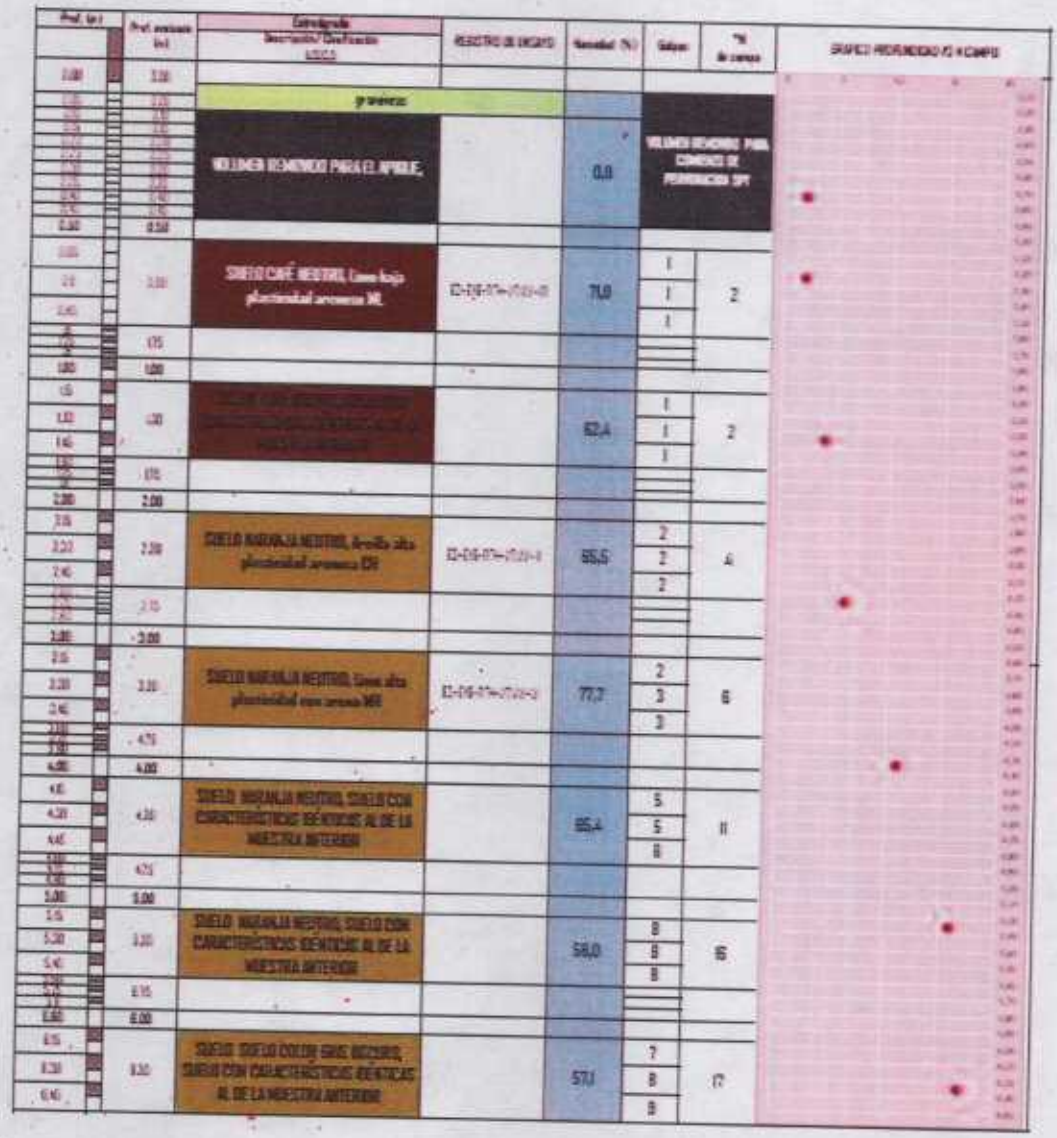


Ilustración 8. Perfil estratigráfico sondeo 3.

SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m) DE	PROFUNDIDAD (m) A	N° de golpes	Humedad (%)	Nivel freático	Clasificación USC	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice Plástico	Índice de consistencia	Índice de liquidez	Consistencia	%Grava	%Arena	%Finos	SP (1)	SP (2)	SP-PROM	Grado de expansión
SPT-01	1	0.00	0.45		41.90		ML	48	33	15	0.41	0.59	MEDIA	10.30	33.10	56.51	1.60	0.90	1.25	BAJO
	2	1.00	1.45	3	76.90		ML	-	-	-	-	-	MUY SUELTO	0.00	26.10	73.91	-	-	-	-
	3	2.00	2.45	11	50.60		ML	-	-	-	-	-	MEDIA	7.40	24.10	68.48	-	-	-	-
SPT-02	1	0.00	0.45		55.10		MH	55	41	14	-0.01	1.01	FLUIDA	0.00	9.90	90.07	1.35	0.83	1.09	BAJO
	2	0.45	1.00	3	67.60		ML	42	33	9	-2.84	3.84	FLUIDA	0.00	27.50	72.52	0.46	0.54	0.50	BAJO
	3	1.00	1.45	3	52.10		ML	48	35	13	-0.32	1.32	FLUIDA	0.00	27.80	72.22	1.13	0.76	0.94	BAJO
	4	2.00	2.45	9	57.00		MH	55	37	18	-0.11	1.11	FLUIDA	1.20	33.70	65.15	2.50	1.16	1.83	MEDIO
	5	3.00	3.45	9	72.60		MH	59	36	23	-0.59	1.59	FLUIDA	28.60	18.30	53.17	4.54	1.76	3.15	MEDIO
	6	4.00	4.45	15	46.80		SM	59	43	16	0.76	0.24	MUY FIRME	12.30	41.90	45.85	1.87	0.98	1.43	BAJO
	7	5.00	5.45	17	65.30		MH	58	46	12	-0.61	1.61	FLUIDA	8.10	30.40	61.56	0.93	0.70	0.81	BAJO
SPT-03	1	0.45	1.00		71.00		ML	47	33	14	-1.71	2.71	FLUIDA	5.60	27.90	66.46	1.35	0.83	1.09	BAJO
	2	2.00	2.45	4	65.5		MH	62	43	19	-0.18	1.18	FLUIDA	1.20	34.30	64.48	2.85	1.26	2.05	MEDIO
	3	3.00	3.45	6	77.7		MH	61	42	19	-0.88	1.88	FLUIDA	2.80	26.40	70.87	2.85	1.26	2.05	MEDIO

Tabla I. Resumen de resultados de laboratorio.

Donde:

SPT: Ensayo de penetración estándar.

W: Contenido de humedad.

USCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

LL: Limite Liquido.

LP: Limite Plástico.

IP: Índice de plasticidad

IC: Índice de consistencia: es la resistencia al flujo, que está relacionado con la fuerza de atracción entre partículas y denota el comportamiento en campo de los suelos fino granulares cuando están saturados.

$$Ic = \frac{(L_L - w)}{(L_L - Lp)}$$

0< Ic <0.25. Suelo de consistencia muy blanda.

0.25< Ic <0.50 Suelo de consistencia blanda.

0.50< Ic <0.75 Suelos de consistencia media.

0.75< Ic <1.0 Suelo de consistencia dura.

Si Ic = 1.0 El suelo se encuentre en su límite plástico.

Si Ic = 0.0 El suelo se encuentra en su límite líquido.

Si Ic > 1.0 El suelo se encuentra en su estado sólido y tendrá un comportamiento rígido.

SI Ic <0.0 El suelo en este caso se comporta como un fluido viscoso.

IL: Índice de Liquides. Este índice es utilizado para medir la escala el contenido de humedad natural de una muestra de suelos. respeto a los límites líquidos y plásticos.

$$IL = \frac{w_n - LP}{IP}$$

CONSISTENCIA DEL SUELO COHESIVO	IL	COMPORTAMIENTO DEL SUELO
DURA	<0.2	Se puede penetrar solo con instrumentos filoso; el suelo forma terrones que ofrecen gran dificulta a ser pulverizados.
MUY FIRME	0.2 A 0.35	Se penetra con gran esfuerzo.
FIRME	0.35 A 0.50	Se penetra a mano con gran dificulta.
MEDIA	0.50 A 0.65	Dificilmente moldeable.
BLANDA	0.65 A 0.80	Se moldea facilmente con la mano.
MUY BLANDA	0.80 A 1.0	Se escurre entre los dedos cuando se la presiona.
FLUIDA	>1.0	Suelo saturado. Se comporta como liquido viscoso.

Tabla 2 Consistencia del suelo e indice de liquidez.

γ_h: Peso especifico Humedo. (kN/m^3).

γ_s: Peso especifico seco. (kN/m^3).

Actividad: (A) Skempton de finio la actividad como:

$$A = \frac{IP}{porcentaje\ de\ particulas\ tamaño\ arcilla\ (\% < 2\mu m)}$$

SP: potencial de expansion

$$SP = 60K(IP)^{2.44}$$

O

$$SP = Be^{A(IP)}$$

Donde:

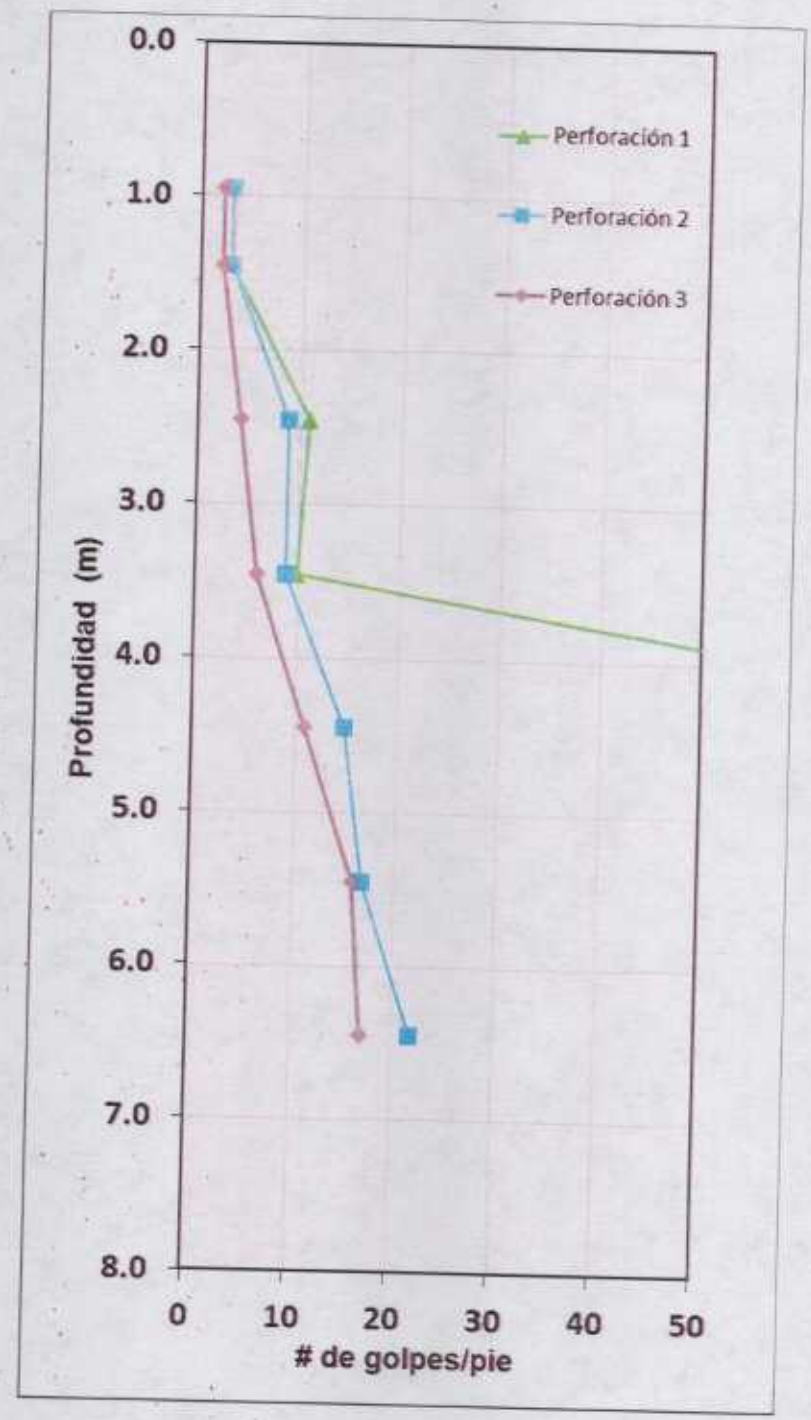
A=0.0838

B=0.2558

K=3.6x10^{-5}

Potencial de expansión	Grado de expansión
>25	Muy alto
5-25	Alto
1.5-5	Medio
0-1.5	Bajo

Tabla 3. Clasificacion del grado de expansión (AGUS SETYO MUNTOHAR 2003).



Gráfica I. Profundidad vs. Número de golpes.

PERFIL GEOTÉCNICO Y PARÁMETROS DEL SUELO

Con base en el conocimiento de las condiciones geotécnicas del lote y después de analizar y correlacionar toda la información obtenida en el sondeo. Se concluye que el perfil geológico de sitio está conformado por DOS estratos.

Para fines prácticos se presenta las propiedades geotécnicas de cada uno de los materiales encontrados. El nivel freático en la zona donde se realizará la construcción no fue reportado en los sondeos ejecutados.

- El primer estrato está conformado por un lleno clasificado como un limo de baja a alta plasticidad, con espesor de hasta 1.45m, de acuerdo con los ensayos de laboratorio se encontró que el suelo se clasifica según la USC como un ML, humedad natural entre 41.9% hasta 76%, límite liquido entre 0%-55% e índice de plasticidad entre 0%-15%, encontrado superficialmente en los tres sondeos, y de compacidad predominante fluida.
- El segundo estrato está conformado por un limo de baja a alta plasticidad, con espesor desde 1.45m hasta 6.45m, de acuerdo con los ensayos de laboratorio se encontró que el suelo se clasifica según la USC como un ML a MH, humedad natural entre 46.8% hasta 77.7%, límite liquido entre 0%-62% e índice de plasticidad entre 0%-23%, y tiene una compacidad principalmente fluida.

Resistencia del suelo a la penetración normal – SPT

La implementación de la prueba de penetración estándar se llevó a cabo por dos razones: a) Con el fin de tener el registro del número de golpes por pie de penetración del suelo (Ncampo) para ser utilizado en la obtención de parámetros geomecánicas mediante correlaciones ampliamente utilizadas y aceptadas; b) Con el fin de recuperar muestras menos alteradas para resultados más confiables.

El registro de perforación obtenido en campo de muestra en la Ilustración 6, Ilustración 7 e Ilustración 8.

DATOS DE LA PERFORACIÓN

- Tipo de perforación: Manual – Equipo de percusión
- Peso del martillo = 63,5 Kg
- Longitud total de la tubería = 1 m.
- Tipo de revestimiento de la excavación = Sin revestimiento
- Diámetro de excavación = 5.08 cm. (2.0")

Durante la exploración en campo se presentan diversos efectos que están implícitos, tales como el diámetro de la perforación, longitud de la tubería, masa del martillo de golpe, entre otros.

Por todo lo anterior, el Ncor se expresa de la siguiente forma:

$$Ncor = Ncampo.\ \eta 1.\ \eta 2.\ \eta 3.\ \eta 4$$

Donde,

Ncor = Valor de Ncampo corregido

Ncampo = Número de golpes obtenido en campo

η1 = Corrección por balance de energía ≈ 0.45

η 2 = Corrección por longitud de tubería = 0.75 en los primero 4 m, y 0.85 hasta 6 m.

0 - 4 m. = 0.75
4 - 6 m. = 0.85
6 - 10 m. = 0.95
> 10 m. = 1.00

η_3 = Corrección por revestimiento = **1.00** (sin revestimiento)

η_4 = Corrección por diámetro de excavación = **1.00**

60 - 120 mm. = 1.00
120 - 150 mm. = 1.05
> 150 mm. = 1.15

Una vez aplicadas las correcciones se obtiene la siguiente tabla de Nspt con el cual se realizarán los cálculos para este estudio.

SONDEO	NÚMERO DE GOLPES (N60) VS PROFUNDIDAD						
	0.45	1.45	2.45	3.45	4.45	5.45	6.45
1	2	2	7	6	Rechazo		
2	2	2	6	6	10	11	16
3	2	2	3	4	8	11	13

Tabla 4. Corrección de Número de golpes.

Parámetros geotécnicos

Con base en el conocimiento de las condiciones geológicas del lote y después de analizar y correlacionar toda la información obtenida en los sondeos. Se concluye que el perfil geológico de sitio se define como se evidencia:

Parámetro	Unidad	Valor
γ	(kN/m^3)	17
c'-Ueno	kPa	2
ϕ-Ueno	°	14
c'-Res	kPa	8
ϕ-Res	°	20
E	kPa	4338

Tabla 5. Parámetros geotécnicos por estrato.

Es importante resaltar que los parámetros evidenciados en la Tabla 5, son determinados a partir de correlaciones existentes en la literatura y que se aplican ampliamente en geotecnia a partir de los ensayos obtenidos, sin embargo la información utilizada es de manera preliminar y es necesario más información de cada área en particular para definir correctamente estos.

PERFIL DE DISEÑO SISMORESISTENTE

De acuerdo con el Titulo A de la NSR-2010

Aceleración pico efectiva. Aa = 0.15.

Velocidad pico efectiva Av = 0.20.

Coeficiente de importancia I = 1.00.

El perfil de diseño sismo resistente de acuerdo con el Titulo H de norma propone el siguiente espectro de respuesta.

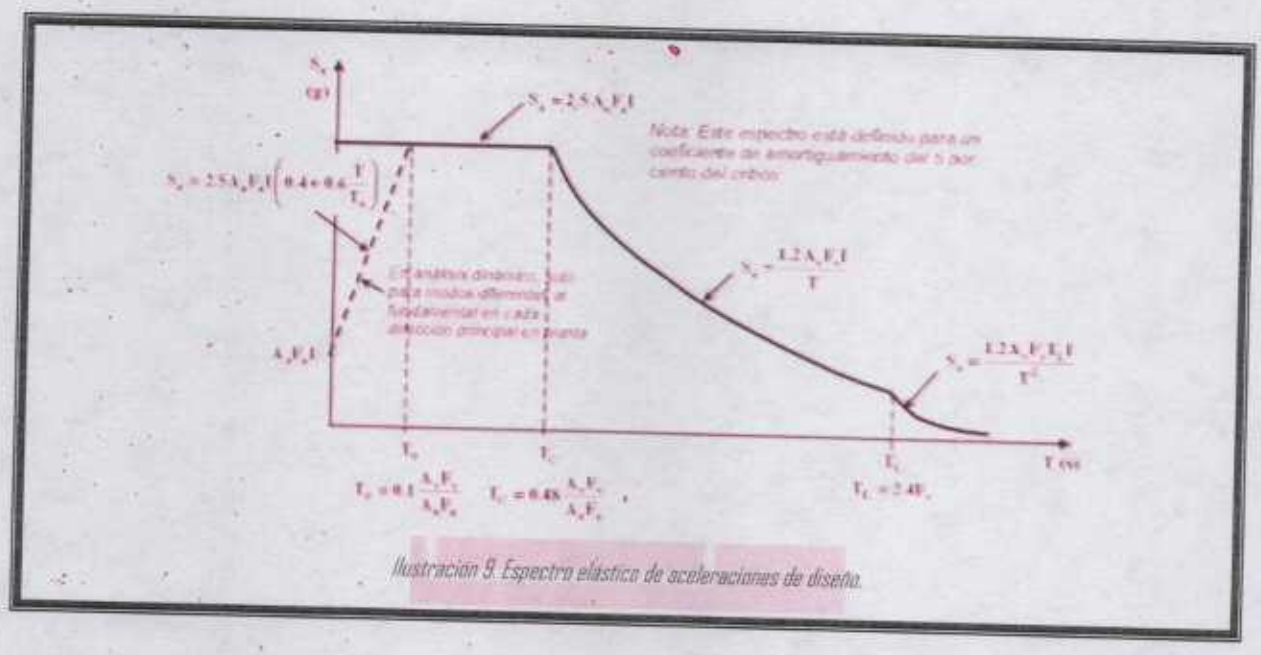


Ilustración 9. Espectro elástico de aceleraciones de diseño.

De acuerdo con la metodología del enunciado H.2.5 "SUELOS NO COHESIVOS O GRANULARES Y SUELOS COHESIVOS", se define el tipo de suelos presentes en el área de exploración, para efectos de la determinación del perfil de suelo A.2.4.3. NSR-10.

Con base en la exploración se determinó que se presentan dos estratos bien definidos a lo largo del perfil dentro de los 6 m. superiores, el primero de poco espesor de carácter granular y el segundo de carácter cohesivo hasta el final de la exploración.

Debido a que no se cuentan con registros de velocidad media de la onda cortante medida en campo, y se presentan estratos tanto cohesivos como granulares dentro de la exploración, se eligió el parámetro (b) que considera "*el número medio de golpes del ensayo de penetración estándar, **N**, en golpes/pie a lo largo de todo el perfil*" *(NSR-10 A.2.4.3)*.

A.2.4.3.2 Número medio de golpes del ensayo de penetración estándar.

El número medio de golpes del ensayo de penetración estándar en cualquier perfil de suelo, indistintamente que esté integrado por suelos no cohesivos o cohesivos, se obtiene por medio de:

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{N_i}}$$ Ecuación A.2.4-2 NSR-10

Siendo:

Ni: Número de golpes por pie obtenidos en el ensayo de penetración estándar, realizado in situ de acuerdo con la norma ASTM D 1586, haciendo corrección por energía N60, correspondiente al estrato i. El valor de Ni a emplear para obtener el valor medio, no debe exceder 100.

d_i = espesor del estrato i

Ahora, teniendo en cuenta la Tabla A.2.4-2 del Reglamento NSR – 10, el perfil de suelo del se clasifica como **E.**

EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE CONDICIONES ESPECIALES

Licuación

La licuación es la pérdida de resistencia de los suelos como consecuencia de los incrementos en la presión de poros cuando el suelo es sometido a vibración, generalmente producida por un sismo.

Este fenómeno es particularmente importante en materiales granulares saturados y sueltos localizados en zonas de alta sismicidad y es el responsable de un alto porcentaje de los daños que se registran durante eventos sísmicos.

Metodología del análisis del potencial de licuación

La forma de determinar el potencial de licuación de una manera acertada es la utilización de métodos semiempíricos el cual tiene en cuenta la comparación de las características de los materiales encontrados en el sitio del estudio con otros materiales encontrados en algunos sectores en donde se ha producido licuación; también se puede utilizar métodos numéricos los cuales compara el esfuerzo de corte inducido por el sismo con el esfuerzo de corte resistente del suelo este también se utiliza en el método semiempírico pero la diferencia de los dos métodos es la forma de determinar estos, el primero determina esfuerzo de corte inducido y el resisten mediante la aplicación de correlaciones de ensayos de campo como el SPT o CPT y la recopilación de información de zonas donde se a presentado este fenómeno mientras que el numérico utiliza técnicas de propagación de los sismos a través del suelo, basadas en métodos de elementos finitos unidimensionales o bidimensionales y para el cálculo del esfuerzo resistente se utilizan ensayos dinámicos de laboratorio.

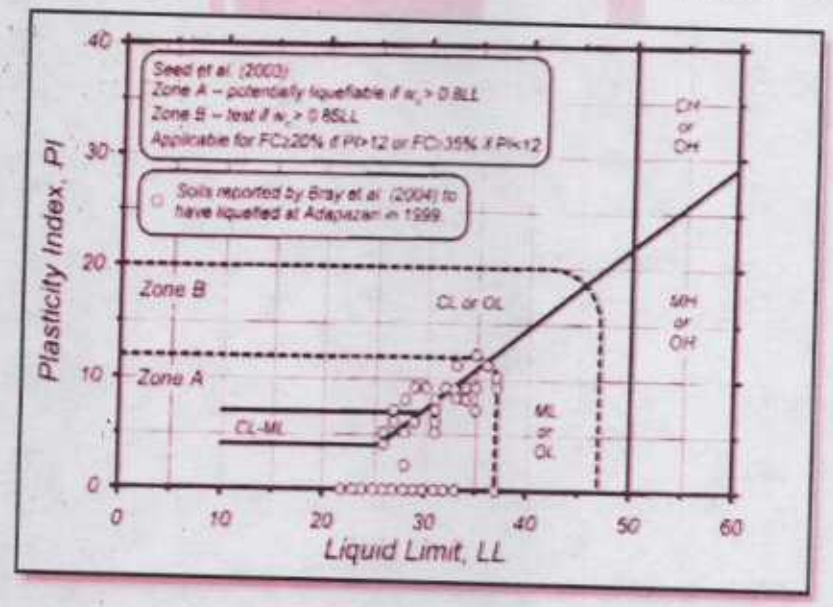
Para la evaluación del potencial de licuación se decidió utilizar en un primer paso el método semiempirico y dado a que durante mucho tiempo se ha demostrado que es un método efectivo y es el propuesto por Andrews and Martin (2000) el cual es la modificación del criterio chino de Wang (1979) y replanteado por Seed and Idriss (1982), este criterio sirve como primera evaluación para determinar el potencial de licuación, de ser este potencial alto se procederá a refinarlo utilizando la metodología propuesta por R.B. Seed et al (2003), en este método el esfuerzo de corte aplicado se calcula por el método aproximado de Seed (1984) y el esfuerzo resistente a partir de correlaciones con la resistencia a la penetración estándar (SPT) corregidas de acuerdo con el contenido de finos del suelo y con la velocidad de onda de corte del suelo (Vs).

	Liquid Limit[1] < 32	Liquid Limit ≥ 32
Clay Content[2] < 10%	Susceptible	Further Studies Required *(Considering plastic non-clay sized grains – such as Mica)*
Clay Content[2] ≥ 10%	Further Studies Required *(Considering non-plastic clay sized grains – such as mine and quarry tailings)*	Not Susceptible

Notes:
1. Liquid limit determined by Casagrande-type percussion apparatus.
2. Clay defined as grains finer than 0.002 mm.

Tabla 6. Potencial de licuación de limos y arenas arcillosas. Tomado de: (Andrés and Martin, 2000).

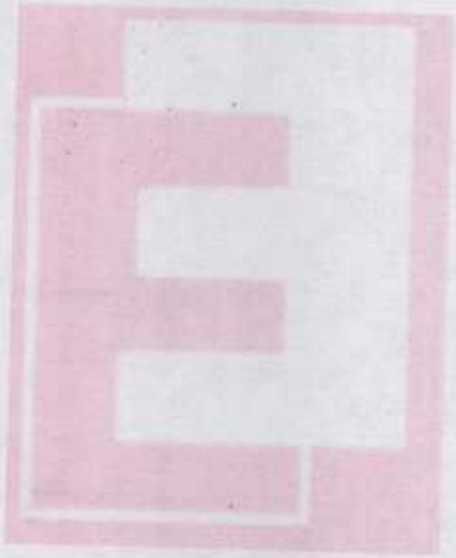
De acuerdo con lo antes expuesto entonces el método de Andrews and Martin (2000) ver Tabla 5.



Dada las propiedades geotécnicas del suelo encontrado, se concluye que, **NO ES PROBABLE QUE SE PRESENTE ESTE FENÓMENO EN EL SECTOR.**

Evaluación de suelos expansibles

Teniendo en cuenta los resultados evidenciados en la Tabla I. **Se tiene una susceptibilidad media a baja para presentar problemas por suelos expansibles**



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA Y DEFORMACIONES PARA LA CIMENTACIÓN

Para la selección y el diseño de un sistema de soporte adecuado se debe aplicar criterios de seguridad y confiabilidad, como garantía de que las obras van a ser estables, seguras y funcionales durante su vida útil. Teniendo en cuenta estos conceptos diseñamos nuestras cimentaciones utilizando las recomendaciones, análisis y discusiones que se llevan a continuación.

Cabe resaltar que los parámetros de Diseño necesarios para calcular la capacidad de soporte se estimaron de acuerdo con las características geotécnicas del sitio donde se desea construir la edificación, con base en las perforaciones y los ensayos de laboratorio.

Capacidad de carga cimentación superficial

El análisis de capacidad de soporte se realizó a partir del criterio propuesto por Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Hansen (1979) y Vesic (1973), en la cual se considera los parámetros del suelo donde se cimentará las estructuras. De acuerdo con las propiedades geotécnicas encontradas y a lo antes expuesto en este informe, se recomienda los siguientes tipos de cimentación:

Capacidad de soporte zapata cuadrada-Terzagui (1943)				
Profundidad de desplante D (m)		1.60	Factor de seguridad	3
Ancho (m)	**1.20**	**1.50**	**1.80**	**2.00**
Qu (Ton/m²)	38.62	39.11	39.6	39.9
Qa (Ton/m²	12.87	13.04	13.20	13.31
qa (Ton)	17.67	28.25	41.47	51.80
Nota: Qu: Capacidad de carga última, Qa: Capacidad de carga admisible, qa: Capacidad de carga en Ton, admisible				

Capacidad de soporte zapata cuadrada-Meyerhof (1963)				
Profundidad de desplante D (m)		1.60	Factor de seguridad	3
Ancho (m)	**1.20**	**1.50**	**1.80**	**2.00**
Qu (Ton/m²)	47.62	46.05	45.2	44.8
Qa (Ton/m²	15.87	15.35	15.05	14.92
qa (Ton)	21.99	33.46	47.47	58.25
Nota: Qu: Capacidad de carga última, Qa: Capacidad de carga admisible, qa: Capacidad de carga lineal admisible				

Capacidad de soporte zapata cuadrada-Hansen (1979)				
Profundidad de desplante D (m)		1.60	Factor de seguridad	3
Ancho (m)	**1.20**	**1.50**	**1.80**	**2.00**
Qu (Ton/m²)	51.41	50.16	51.3	50.3
Qa (Ton/m²	17.14	16.72	17.11	16.76
qa (Ton)	23.81	36.54	54.14	65.60
Nota: Qu: Capacidad de carga última, Qa: Capacidad de carga admisible, qa: Capacidad de carga en Ton, admisible				

Capacidad de soporte zapata cuadrada-Vesic (1973)				
Profundidad de desplante D (m)		1.60	Factor de seguridad	3
Ancho (m)	**1.20**	**1.50**	**1.80**	**2.00**
Qu (Ton/m²)	44.99	44.29	52.9	51.92
Qa (Ton/m²	15.00	14.76	17.62	17.31
qa (Ton)	20.73	32.14	55.79	67.79
Nota: Qu: Capacidad de carga última, Qa: Capacidad de carga admisible, qa: Capacidad de carga en Ton, admisible				

Tabla 7. Capacidad de carga método de Terzaghi, Meyerhof, Hansen y Vésic (Zapata Cuadrada).

Donde:

Qu: Capacidad portante última en Ton /m²

Qa: Capacidad portante admisible en Ton /m²

qa: Capacidad portante admisible en Ton.

Asentamientos cimentación superficial

De acuerdo con la NSR-10, en la sección H.4.8.4, el asentamiento total de una cimentación superficial se divide en tres partes:

- ✓ Asentamiento elástico (S_e)
- ✓ Asentamiento por consolidación primaria (S_c)
- ✓ Asentamiento por compresión secundaria (S_s)

$$S = S_e + S_c + S_s$$

- ✓ **Asentamiento elástico**

Para una cimentación perfectamente flexibles se puede expresar como:

$$S_e = q(\alpha' B')\frac{1-\mu s}{Es} I_s I_f$$

Donde:

q: Incremento de esfuerzo a la profundidad de desplante

α': Factor que depende de la posición donde se calcule el asentamiento (esquina o centro)

B': Dimensión lateral mínima que contribuye al área de la cimentación. B/2 para el centro de la cimentación y B para la esquina.

E_s: Módulo de elasticidad promedio del suelo bajo la cimentación (0≤z≤5B)

μ_S: Relación de Poisson del suelo.

I_S: Factor de forma (propuesto por Steinbrenner, 1934)

I_f: Factor de profundidad (propuesto por Fox, 1948)

$$I_z = F_1 + \left[\frac{1-2\nu}{1-\nu}\right] F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi}\left[m\,LN\frac{\left(1+\sqrt{m^2+1}\right)\sqrt{m^2+n^2}}{m\left(1+\sqrt{m^2+n^2+1}\right)} + LN\frac{\left(m+\sqrt{m^2+1}\right)\sqrt{n^2+1}}{m+\sqrt{m^2+n^2+1}}\right]$$

$$F_2 = \frac{n}{2\pi}\tan^{-1}\left(\frac{m}{n\sqrt{m^2+n^2+1}}\right)$$

Para calcular el asentamiento en el centro de la cimentación:

α'=4: $m = \frac{L}{B}$, $n = \frac{H}{\frac{B}{2}}$

Para calcular el asentamiento en una esquina de la cimentación:

α'=1: $m = \frac{L}{B}$, $n = \frac{H}{B}$

El factor de profundidad If, se determina a partir de gráficas.

Teniendo en cuenta los resultados, se obtienen los siguientes asentamientos:

	Carga (P)	Carga (q0)	Se	Sc	St (mm)
Asentamiento1	200.0	138.9	32.6	52.1	84.7
Asentamiento2	300.0	208.3	48.9	78.2	127.0
Asentamiento3	350.0	243.1	57.0	91.2	148.2

Tabla 8. Asentamientos esperados (mm).

Recomendación de cimentación y esquema ilustrativo

Las dimensiones para elegir se realizarán principalmente por condiciones geotécnicas encontradas, para cargas del orden de hasta 30 Ton, es posible zapatas aisladas de 1.5x1.5 a una profundidad de desplante de 1.6m, y para cargas de hasta 22 Ton dimensiones de 1.2x1.2 a una profundidad de 1.6m.

Esquema ilustrativo de cimentación

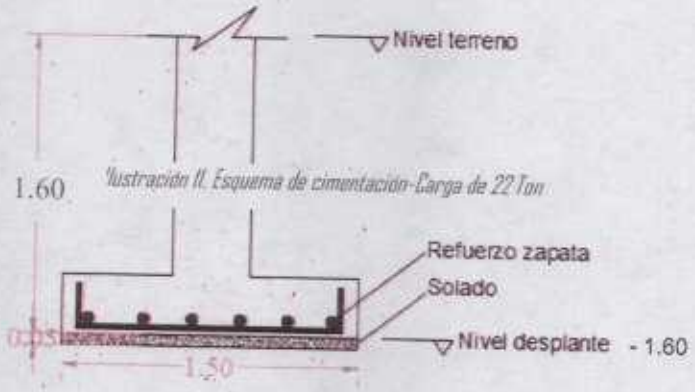
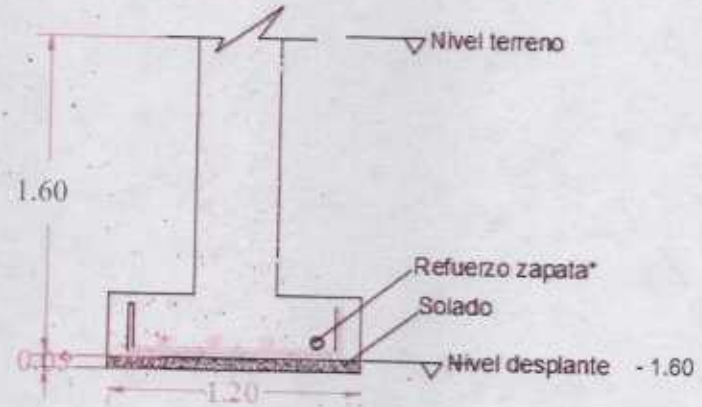


Ilustración 11. Esquema de cimentación-Carga de 22 Ton

B=L=1,5 m

Ilustración 10. Esquema de cimentación-Carga de 30 Ton



B=L=1,2 m

Módulo de reacción (ks)

Para las verificaciones de la cimentación, se estima un módulo según Bowles (1996), el valor obtenido es como se muestra a continuación:

Dimensión B=L	ks (kN/m³)
1.20	20564
1.50	20064
1.80	20532
2.00	20112

Tabla 9. Módulos de reacción ks, para diferentes anchos de cimentación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para adelantar un control sobre el funcionamiento de la solución propuesta se requiere cumplir los siguientes aspectos:

- Al momento de empezar los trabajos respectivos para la construcción, se deberá informar con el objeto de visitar el sitio durante la construcción de la cimentación y de la estructura.
- Ninguna fundación deberá apoyarse sobre llenos, materia orgánica o cualquier otro material no apto para el apoyo de la estructura, ya que podría producir asentamientos considerables en la estructura.
- Se recomienda no dejar la excavación a merced de las aguas lluvias, ya que éstas pueden ocasionar que el suelo adyacente llegue a la saturación y origine desplome de las excavaciones elaboradas.
- Debido a las condiciones del sector y de los resultados obtenidos, es posible cimentar superficialmente, las dimensiones mínimas son de 1.5x1.5 a una profundidad de desplante de 1.6m, siempre y cuando las cargas transmitidas por columna no excedan las 30 Ton.
- Es importante mencionar que en caso de que las cargas de servicio transmitidas por columnas sean mayores a las presentadas en este informe debe informarse a esta oficina para recomendar las dimensiones pertinentes.
- Si el material encontrado durante la excavación de alguna de las cimentaciones no coincide con el perfil mostrado en el presente informe, favor informar a esta oficina inmediatamente.
- En caso de encontrarse el nivel freático se deberán realizar bombeos controlados para permitir el avance de la excavación y posterior vaciado.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para el proyecto mencionado y con condiciones de hasta tres niveles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Andrews. D. C. A. and Martin. G. R. (2000). "Criteria for Liquefaction of Silty Soils." 12th World Conference on Earthquake Engineering. Proceedings. Auckland. New Zealand.
2. Asociación De Ingeniería Sísmica. 1988. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Publicación especial. INGEOMINAS. Segunda edición. 17-27.
3. INGEOMINAS (1980). Geología y Geoquímica de la plancha 180. Riosucio
4. Joseph e. Bowles. (1982). Foundation Analysis and Design. 4ª Ed.. Mc Graw-Hill.
5. Jiménez Salas. Geotecnia y Cimientos III. Editorial Rueda. Madrid.
6. Manuel Delgado. "Ingeniería de Fundaciones". Editorial Escuela Colombina de Ingeniería
7. Normas Colombianas De Diseño Y Construcción Sismo Resistente NSR-2010.
8. Seed. H.B. and Idriss. I.M. (1982). "Ground motion and soil liquefaction during earthquakes". Monograph. Earthquake Engineering Research Institute. Oakland.
9. R. B. Seed et al (Recent advances in soil liquefaction engineering: a unified and consistent framework" Report No. EERC 2003-06.
10. Wang. W. (1979.) "Some Findings in Soil Liquefaction". Research Report. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientiific Research Institute. Beijing. August.

ISABEL ALDANA BENAVIDES
I.C M.P 05202-420102 ANT
Esp. Mecánica de suelos y cimentaciones

Anexo 1. Registro Fotográfico


E&E ESTUDIOS Y ENSAYOS S.A.S













