



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 1 de 49

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA REFORZAMIENTO Y AMPLIACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

CONSORCIO SALUD BOGOTÁ 2019



INFORME FINAL



Certificado No. SG 2016001338 A
Sistema de Gestión de Calidad



Certificado No. SG 2016001338 B
Sistema de Gestión Ambiental



Certificado No. SG 2016001338 F
Sistema de Gestión en Seguridad
y Salud Ocupacional



**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN
HOSPITAL DE ENGATIVA**

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 2 de 49

**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA REFORZAMIENTO Y
AMPLIACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA**

CONSORCIO SALUD BOGOTÁ 2019

INFORME FINAL

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ	APROBÓ CLIENTE
VA	2/09/2019	Informe	OR	GTM	GTM	

PROYECTO No.	DOCUMENTO No.
---------------------	----------------------



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 3 de 49

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA REFORZAMIENTO Y AMPLIACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

ESTUDIO GEOTECNICO

Contenido

1	GENERALIDADES DEL ESTUDIO	7
1.1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.2	OBJETIVO	7
1.3	ALCANCE DEL ESTUDIO.....	7
1.4	METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	7
2	CONDICIONES DEL PROYECTO	8
2.1	LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	8
2.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	9
2.3	CATEGORÍA DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN	9
3	GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA	10
3.1	GEOLOGIA LOCAL	10
3.2	GEOMORFOLOGÍA	11
3.3	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	12
4	CARACTERIZACIÓN SÍSMICA.....	12
4.1	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ.....	12
5	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	15
5.1	CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA	16
5.2	LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN	20
6	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	20
6.1	DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO	20
6.2	NIVEL FREÁTICO	23
6.3	LABORATORIOS	24
6.4	CLASIFICACIÓN DE MATERIALES	25
6.4.1	CONTENIDO DE MATERIALES	25
6.4.2	LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	27



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 4 de 49

6.5	PARAMETROS DE RESISTENCIA Y COMPRESIBILIDAD	28
6.5.1	PESO UNITARIO	29
6.5.2	RESULTADOS ENSAYO CPTu	30
6.5.3	RELACIÓN DE SOBRE CONSOLIDACIÓN (RSC).....	32
6.5.4	RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Su)	34
6.5.5	MÓDULOS DE ELASTICIDAD	35
6.6	MODELO GEOTÉCNICO	36
7	ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	36
7.1	FACTORES DE SEGURIDAD.....	36
7.2	SÍSTEMA DE CIMENTACIÓN.....	37
7.2.1	CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES.....	37
7.3	ASENTAMIENTO DE LOS PILOTES	42
7.4	MÓDULOS DE REACCION.....	42
7.5	EFICIENCIA DE LOS PILOTES	44
8	RECOMEDACIONES	45
9	CONCLUSIONES	46
10	BIBLIOGRAFÍA	47
11	LIMITACIONES DEL ESTUDIO	47



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 5 de 49

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Coeficientes sísmicos de diseño zona de estudio según microzonificación Bogotá.....	13
Cuadro 2. Coeficientes sísmicos de umbral de daño para la zona de estudio según microzonificación Bogotá.	14
Cuadro 3. Clasificación de las unidades de construcción por categorías.....	15
Cuadro 4. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción Categoría de la unidad de construcción.....	15
Cuadro 5. Exploración realizada en Hospital de Engativa, Sondeos.....	16
Cuadro 6. Registros de nivel freático	24
Cuadro 7. Cantidad de ensayos de laboratorio.....	25
Cuadro 8 Modelo geotécnico asumido.....	36
Cuadro 9. Condición de carga, capacidad admisible y factor de seguridad.	36
Cuadro 10. Factor de seguridad para fuste.	37
Cuadro 11: Parámetros de análisis para capacidad portante de pilotes.....	39
Cuadro 12: Resultados de capacidad portante para las alternativas de pilotes	40
Cuadro 13 Asentamiento de pilotes.....	42
Cuadro 14: Módulo de reacción horizontal de los pilotes	43
Cuadro 15 Módulos de balasto vertical de pilotes.	44
Cuadro 16: Eficiencia de pilotes 2D	45
Cuadro 17: Perfil geotécnico.....	46

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 6 de 49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización del proyecto.....	9
Figura 2 Mapa geológico de Bogotá D.C. Ubicación Hospital de Engativá	10
Figura 3 Unidad geomorfológica en la zona del Hospital de Engativa.....	11
Figura 4 Zonificación geotécnica- Hospital de Suba	12
Figura 5 Zona de respuesta sísmica para la zona del Hospital de Engativa	13
Figura 6 Ubicación exploración geotécnica, base Google Earth.	20
Figura 7: Contenido granulométrico según la estratificación del material.....	26
Figura 8 Carta de plasticidad	27
Figura 9 Humedad natural y límites de consistencia respecto a la profundidad	28
Figura 10: Peso unitario total según la profundidad.....	29
Figura 11 Resultados Ensayo CPTu1	31
Figura 12 Resultados Ensayo CPTu2.....	32
Figura 13: Relación de sobreconsolidación	33
Figura 14 Resistencia al corte no drenado Su.	34
Figura 15 Módulo de elasticidad no drenado respecto a la profundidad	35
Figura 16: Modelo de referencia para capacidad portante de pilotes	40
Figura 17: Ábaco de capacidad portante de pilotes.....	41



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 7 de 49

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA REFORZAMIENTO Y AMPLIACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

1 GENERALIDADES DEL ESTUDIO

1.1 INTRODUCCIÓN

El proyecto consiste en los estudios y diseños para la remodelación y ampliación del Hospital de Engativá. Que se encuentra en la calle 82 con Avenida Cundinamarca. La estructura actual del hospital cuenta con edificios de 1 a 4 pisos y con sótano de un nivel.

Este estudio en particular contempla la ejecución de acciones geotécnicas tales como sondeos, ensayos de laboratorio, y evaluación geotécnica de tal forma que se puedan definir las condiciones de resistencia y deformabilidad de la zona de estudio para determinar las propiedades del suelo y su posterior comportamiento al momento de realizar las aplicaciones de carga y las excavaciones para la construcción de la cimentación que quedará a nivel del sótano.

1.2 OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo realizar el estudio geotécnico y de suelos para el proyecto ESTUDIOS GEOTÉCNICO DEL HOSPITAL CALLE 80, siguiendo los lineamientos establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10, Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 y sus modificatorias, especialmente el título H.10.

1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO

El estudio comprende el siguiente alcance:

- Reconocimiento de campo.
- Exploración del subsuelo.
- Interpretación y análisis de los resultados obtenidos.
- Elaboración del informe.

1.4 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

En el estudio se desarrollaron las siguientes actividades:

- Exploración Geotécnica. Los trabajos de campo consistieron en el reconocimiento e inspección del área, ejecución de sondeos con equipo manual

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 8 de 49

y mecánico. Durante estos trabajos se recuperaron muestras inalteradas con tubo de pared delgada – Shelby y alterada con tubos de cuchara partida. Con base en los resultados de los sondeos se elaboraron los registros de campo donde se recopila la información obtenida. Los resultados de la exploración de campo fueron analizados y se llevó a cabo la selección de muestras, programación y ejecución de ensayos de laboratorio para clasificación de los suelos encontrados y para determinar las características de resistencia de estos y otras propiedades necesarias para los análisis de cimentación de las estructuras.

- Análisis de resultados. Con los resultados de las actividades anteriores se adelantó la interpretación y análisis de la exploración, se delimitaron las diferentes capas que constituyen el perfil estratigráfico y se calcularon los parámetros de resistencia y compresibilidad del suelo. Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y los módulos se determinaron con base en la resistencia no drenada al esfuerzo cortante obtenida mediante ensayos de compresión confinada. Esto teniendo en cuenta la naturaleza de los suelos de la zona y que el tiempo de construcción de los sistemas de cimentación es rápido en comparación con la disipación del exceso de presión de poros generado por el proyecto.
- Con los parámetros de las diferentes capas de suelos, definidos en la etapa anterior, se determinó la capacidad portante para definir el tipo de fundación de la estructura prevista.
- Con los parámetros de las diferentes capas de suelos se efectuaron los análisis de deformación de las cimentaciones y área adyacente, se evaluó la necesidad de entibados, pilotes u obras de contención para realizar el sistema de

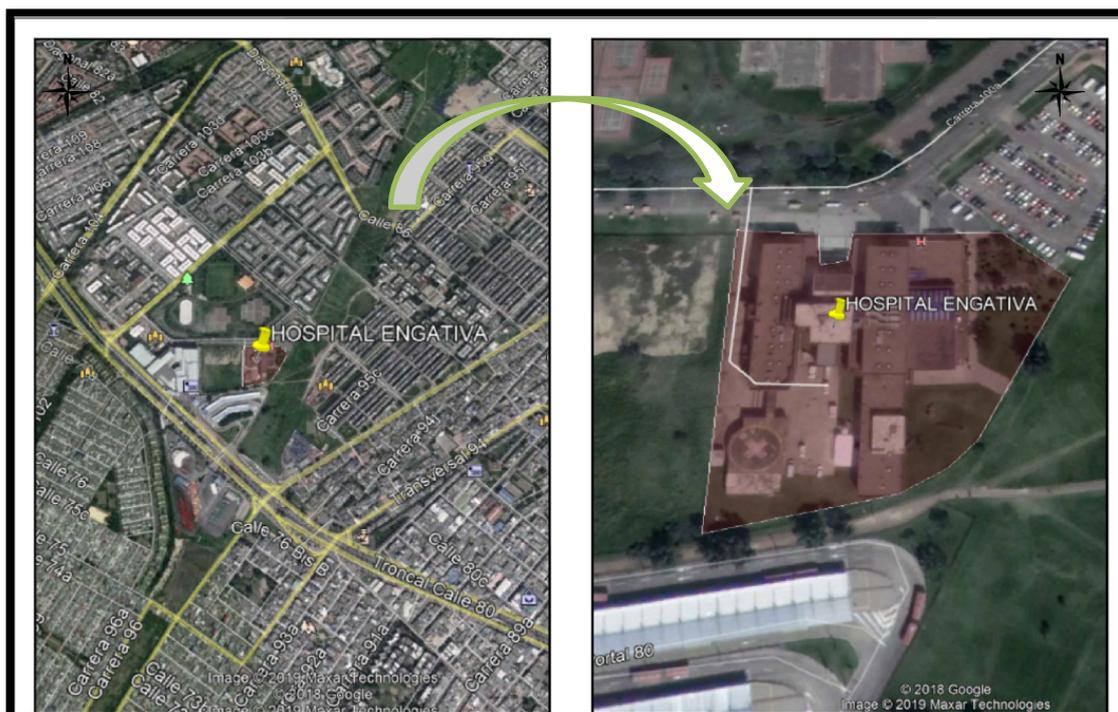
2 CONDICIONES DEL PROYECTO

2.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

Los sondeos se realizaron en la ciudad de Bogotá D.C, en el barrio Bochica II de la localidad de Engativá Localidad # 10 en el norte de la ciudad, en el predio ubicado en la dirección Tv. 100a #80a-50. La localización del proyecto se muestra en la Figura 1.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 9 de 49

Figura 1 Localización del proyecto



Fuente: Elaboración propia

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se localiza en un lote que posee un área de 42.722 m², proyectando la construcción de edificios de 1 a 4 pisos, incluyendo un sótano. No se cuenta con cargas estructurales para la elaboración de este informe ni un sistema estructural definido. Partiendo de la idea que el proyecto se basa en la adición de una nueva unidad del hospital, se estiman cargas de servicio en el rango entre 4000 kN y 8000 kN por columna de manera conservadora.

El lote colinda al nororiente con la vía vehicular Calle 82, al noroccidente con la avenida 102 y al suroccidente con la calle 80.

2.3 CATEGORÍA DE LA UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN

Teniendo en cuenta las condiciones estimativas y conservadoras en cuanto a niveles y cargas del proyecto, además de las especificaciones entregadas por el cliente; la categoría de la unidad de construcción se define como **Alta**, teniendo en cuenta lo mencionado en la Tabla H.3.1-1 de la NSR-10 considerando el escenario dominante

entre niveles de pisos y cargas. Esta definición se da a partir de la estimación de las cargas en el rango de 4000 kN a 8000 kN, teniendo en cuenta que el proyecto pertenece a la adición de una unidad hospitalaria.

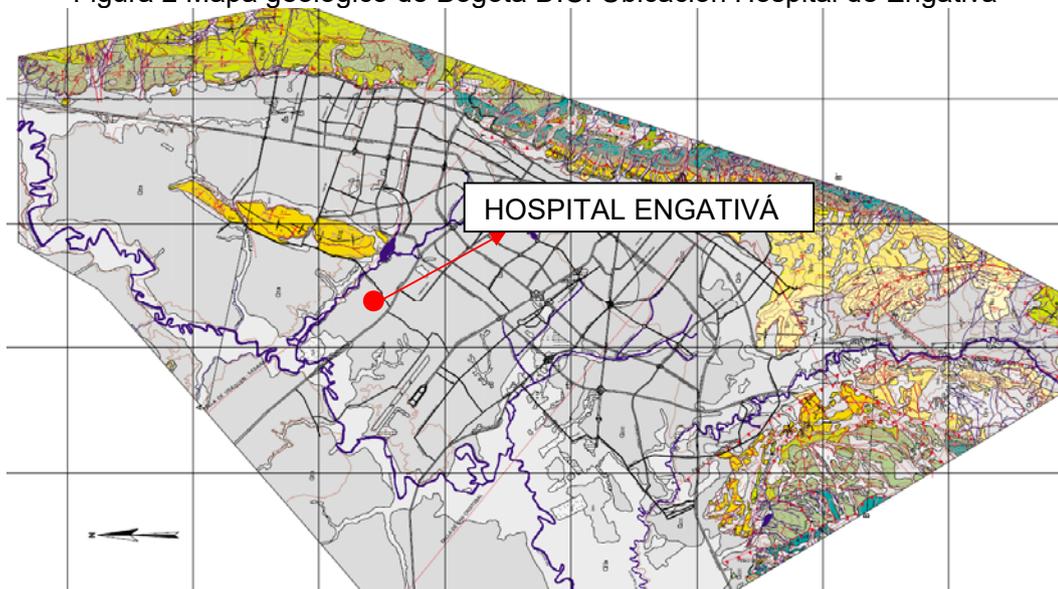
3 GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA

3.1 GEOLOGIA LOCAL

De acuerdo con el mapa geológico de Bogotá tomado de la microzonificación de Bogotá del 2010, el lugar de estudio se encuentra ubicado en las zonas de depósitos Fluvio-Lacustres de terrazas altas (Qta), la cual, se compone de arcillas, con intercalaciones de importantes de bancos de arena y grava, ocasionalmente con delgadas capas de ceniza volcánica y turbas.

La microzonificación de Bogotá D.C. 2010 describe geotécnicamente a estos materiales como suelos de baja media capacidad portante muy compresibles.

Figura 2 Mapa geológico de Bogotá D.C. Ubicación Hospital de Engativá



	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 11 de 49

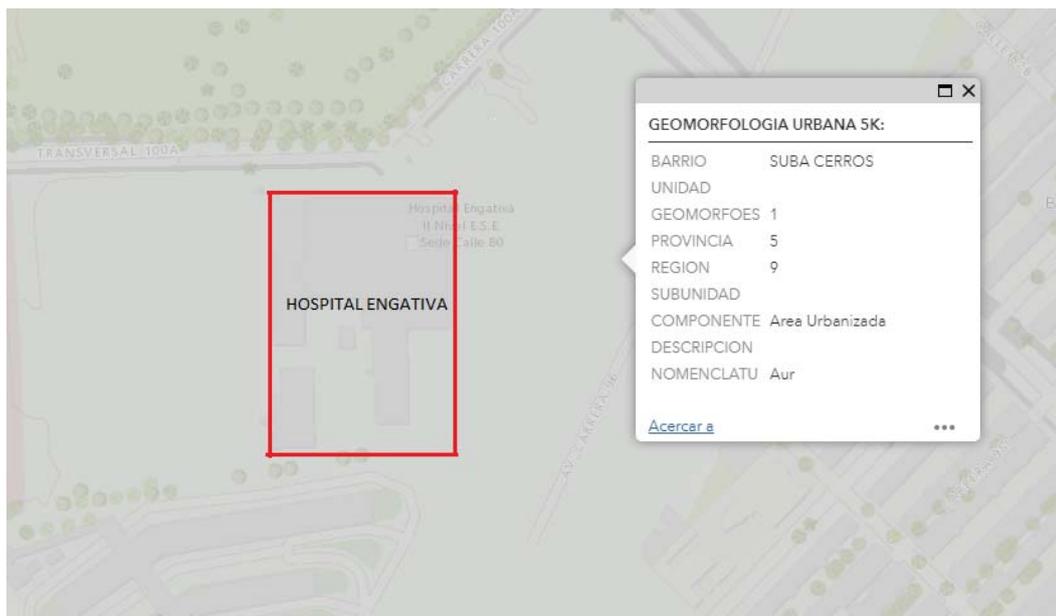


Fuente: SIG Predial- IDIGER

3.2 GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el mapa de unidades geomorfológicas de Bogotá consultado en la plataforma SIRE del IDIGER, los sondeos se encuentran ubicados en la unidad “Suba Cerros” en zona de valle aluvial. Esta zona se caracteriza por tener una superficie de morfología plana, baja a ondulada.

Figura 3 Unidad geomorfológica en la zona del Hospital de Engativá



Fuente: SIRE Geoportal del IDIGER

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 12 de 49

3.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo con el Decreto 523 del 2010 por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., el Hospital de Engativá se encuentra en la zona geotécnica **Lacustre A**, la cual se caracteriza por ser materiales con capacidad portantes entre muy baja a media, y muy compresibles. Son conformados principalmente por materiales arcillosos y limosos, muy blandos.

Figura 4 Zonificación geotécnica- Hospital de Suba



Fuente: SIRE Geoportal del IDIGER

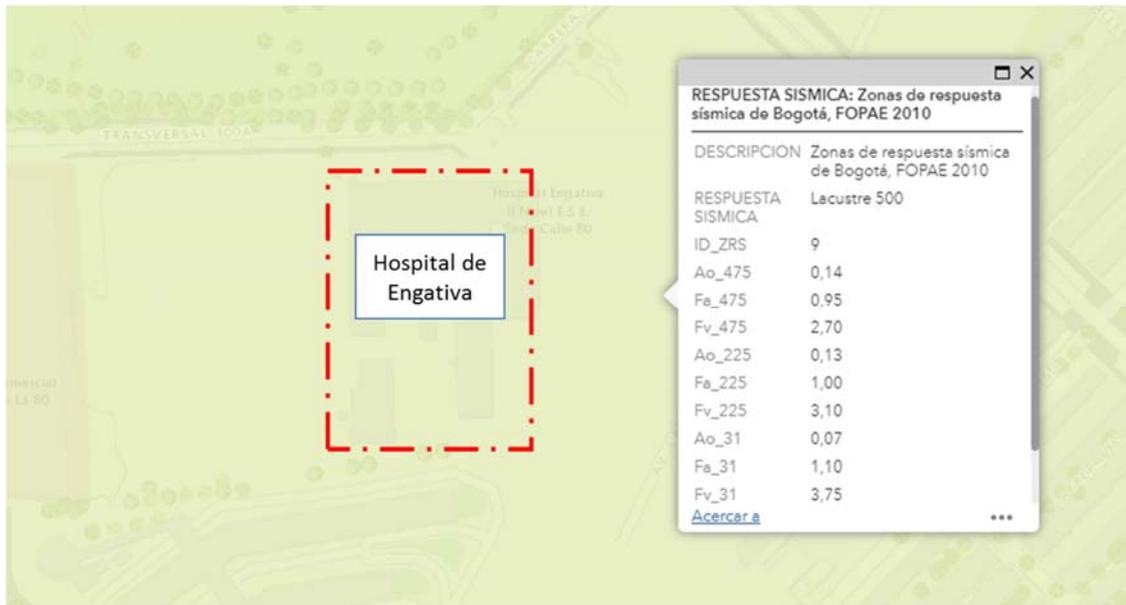
4 CARACTERIZACIÓN SÍSMICA

4.1 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ.

De acuerdo con el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C., la zona de estudio del Hospital de Engativá se encuentra en la zona geotécnica **Lacustre A**. En la plataforma del SIRE, publicada por el IDIGER, se determinó la zona de respuesta sísmica del suelo para el Hospital de Engativá. De acuerdo con esto, el proyecto se emplaza en la zona de respuesta sísmica **Lacustre 500**.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 13 de 49

Figura 5 Zona de respuesta sísmica para la zona del Hospital de Engativá



Modificado de SIRE

Los coeficientes para esta zona geotécnica se presentan a continuación:

Cuadro 1. Coeficientes sísmicos de diseño zona de estudio según microzonificación Bogotá.

Zona	F_a	F_v	T_C (s)	T_L (s)	A_0 (g)
Lacustre 300	0.95	2.70	1.77	5	0.14

Fuente: Elaboración propia

- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos $F_a = 0.95$.
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios $F_v = 2.70$.
- Periodo corto $T_C = 1.77$.
- Periodo Largo $T_L = 5.0$.
- Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g) **$A_0 = 0,14$** .

Adicionalmente a continuación se presentan los coeficientes sísmicos de umbral de daño.

Cuadro 2. Coeficientes sísmicos de umbral de daño para la zona de estudio según microzonificación Bogotá.

Zona	F_a	F_v	T_{0d} (s)	T_{Cd} (s)	T_{Ld} (s)	A_{0d} (g)
Lacustre 300	1.10	3.75	0.32	1.60	5.0	0.07

Fuente: Elaboración propia

- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos $F_a = 1.10$.
- Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios $F_v = 3.75$.
- Periodo corto $T_C = 1.60$.
- Periodo Largo $T_L = 5.0$.
- Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g) **$A_0 = 0,07$** .

5 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

De acuerdo con el reglamento NSR-10 numeral H.3.1.1 y partiendo de las primicias de cargas a nivel estructural, la clasificación de la unidad constructiva corresponde a categoría media teniendo en cuenta la tabla siguiente de la NSR10:

Los registros de exploración se encuentran en el **Anexo 1**.

Cuadro 3. Clasificación de las unidades de construcción por categorías

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 800Kn
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: Tabla H.3.1-1 del NSR-10

El número mínimo de sondeos se adopta de acuerdo con la tabla H.3.2-1 del NRS-10

Cuadro 4. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción
Categoría de la unidad de construcción

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

Fuente: Tabla H.3.2-1 del NSR-10

De acuerdo con el numeral H.3.2.4 Características y distribución de los sondeos de la NSR10 se indica lo siguiente:

- Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
- Al menos el 50% de los sondeos deben quedar ubicados dentro de la proyección sobre el terreno de las construcciones.

De acuerdo con el numeral H.3.2.5 Profundidad de sondeos de la NSR10 se indica lo siguiente:

Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la profundidad dada en la tabla H.3.2.1 afectada a su vez por los siguientes criterios los cuales deben ser justificados por el ingeniero Geotecnista:

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 16 de 49

- 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión.
- Longitud total del pilote más largo, más 4 veces el diámetro del pilote o 2 veces el ancho del grupo de pilotes.
- En los casos donde se encuentra roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberá alcanzar las siguientes penetraciones en material firme. Categoría baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales.
- En todo caso primará el concepto del ingeniero Geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados y en todos los casos, el 50% de las perforaciones deberán alcanzar una profundidad por debajo del nivel de apoyo de la cimentación. En algunos casos, a juicio del ingeniero Geotecnista responsable del estudio, se podrán reemplazar algunos sondeos por apiques o trincheras.

En el numeral H.3.2.6 Número mínimo de sondeos, se establece:

Para definir el número de sondeos en un proyecto, se definirán inicialmente las unidades de construcción de acuerdo con las normas dadas en el numeral H.3.1.1. En todos los casos el número mínimo de sondeos para un estudio será de tres (3) para definir el número se debe aplicar el mayor número de sondeos resultante y el número de unidades construcción. Los sondeos realizados en la frontera entre unidades adyacentes de construcción de un mismo proyecto se pueden considerar válidos para las dos unidades siempre y cuando domine la mayor profundidad aplicable.

Como conclusión a partir de todo lo anterior, la cantidad y profundidad mínima de sondeos de acuerdo con la NSR10 para este proyecto clasificado como categoría Alta, es de 4 y 25 m respectivamente.

5.1 CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

La exploración del subsuelo está comprendida por la exploración directa con 5 sondeos mecánicos (S) y 2 sondeo con penetración de piezocono (CPTu). Las profundidades y ubicación general de la exploración directa e indirecta se presentan a continuación teniendo en cuenta los sondeos de Bateman:

Cuadro 5. Exploración realizada en Hospital de Engativá, Sondeos

SONDEO	Profundidad (m)	COORDENADAS	
		N(m)	E (m9)
INGERCIVIL S.A.S			
S-01	10	1012731.96	996469.40



**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN
HOSPITAL DE ENGATIVA**

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 17 de 49

SONDEO	Profundidad (m)	COORDENADAS	
		N(m)	E (m9)
INGERCIVIL S.A.S			
S-02	25	1012683.43	996465.70
S-03	25	1012650.56	996448.75
S-04	20	1012629.99	996382.18
S-05	25	1012686.20	996408.69
CPTu1	25	1012714.76	996424.72
CPTu2	30	1012620.46	996430.88
BATEMAN			
1	20	1012702.48	996435.19
2	10	1012668.99	996437.97
3	10	1012676.98	996396.98
4	10	1012724.59	996395.75
5	5	1012719.68	996450.60
6	5	1012696.33	996417.94
7	5	1012699.71	996400.99

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente registro fotográfico se presenta la ejecución de la exploración geotécnica llevada a cabo.

Registro Fotográfico 1 Vista de ejecución de exploración geotécnica



S-01



S-02



S-03



S-04



S-05



CPTu1



CPTu2

Fuente: Elaboración propia

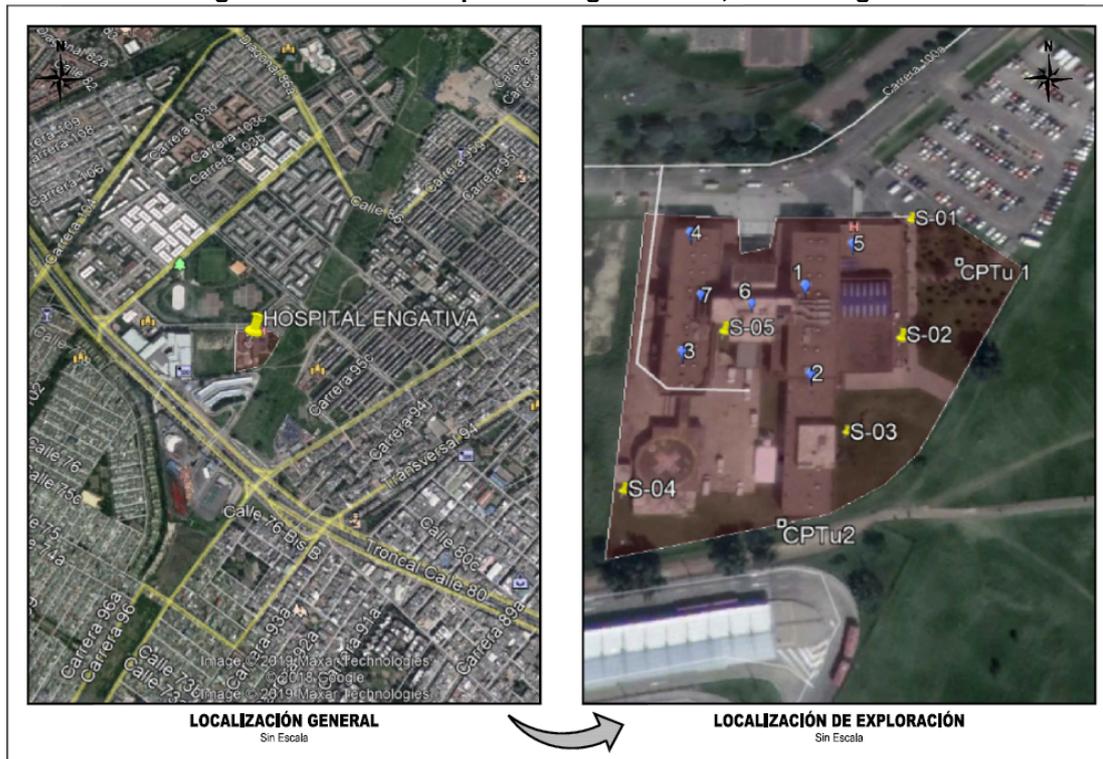
En el Anexo 1 se presentan los registros de exploración realizados durante la campaña. Así como el registro fotográfico correspondiente.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 20 de 49

5.2 LOCALIZACIÓN DE LA EXPLORACIÓN

En la siguiente figura se presenta la ubicación de la exploración geotécnica:

Figura 6 Ubicación exploración geotécnica, base Google Earth.



Tomada de Google Earth

La localización de la exploración dentro del plano topográfico se presenta en el Anexo 1.

6 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

6.1 DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Teniendo en cuenta los materiales recuperados durante los sondeos, se podría clasificarlos en 6 grupos de la siguiente manera:

Material 1. Limo de alta plasticidad café: El primer estrato clasifica como un limo de alta plasticidad café de consistencia y humedad altas con algo de raíces, con un espesor promedio asumido desde 0 hasta 4.2 m. Esta capa se encuentra en los sondeos S-01 S-02 y S-05.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 21 de 49

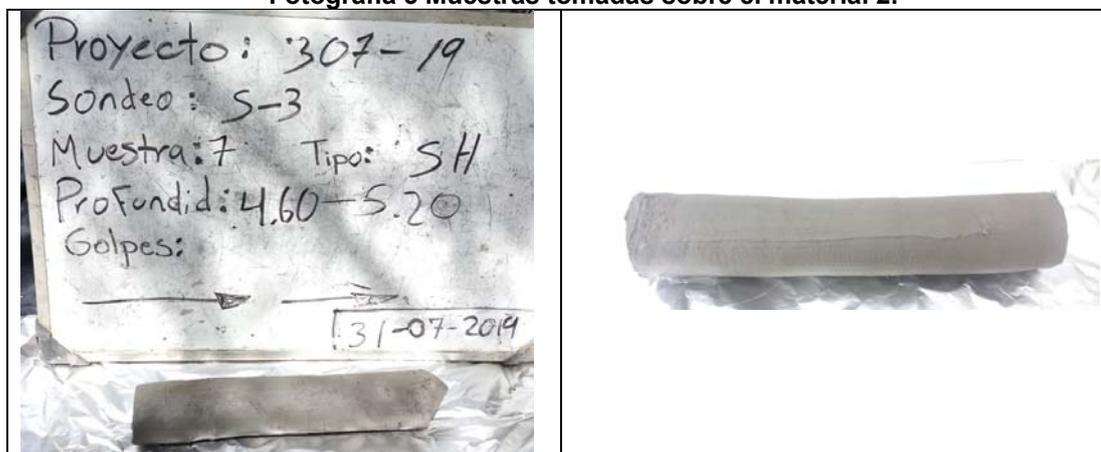
Fotografía 2 Muestras tomadas sobre el material 1.



Fuente: Elaboración propia

Material 2. Arcilla limosa gris: El segundo material clasifica como una arcilla limosa gris de consistencia y humedad altas. El estrato se encuentra entre los 4.2 m de profundidad y 8.2 m. Este material puede encontrarse en los sondeos S-03, S-04 y S-05.

Fotografía 3 Muestras tomadas sobre el material 2.



Fuente: Elaboración propia

Material 3. Arcilla de alta plasticidad gris 1: El tercer material clasifica como una arcilla de alta plasticidad gris de consistencia media y humedad alta. El estrato se encuentra entre los 8.2 m hasta 14.7 m de profundidad. Este material puede encontrarse en los sondeos S-01, S-02, S-03, S-04 y S-05.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 22 de 49

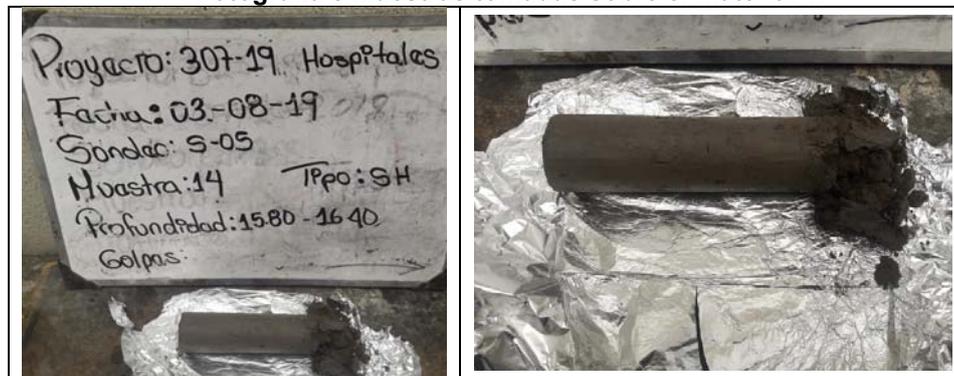
Fotografía 4 Muestras tomadas sobre el material 3.



Fuente: Elaboración propia

Material 4. Arcilla de alta plasticidad café: El cuarto material clasifica como una arcilla de alta plasticidad café, de consistencia baja y humedad alta. Este estrato puede encontrarse entre los 14.7 m y 17.5 m de profundidad. Este material puede encontrarse en los sondeos S-03, S-04 y S-05.

Fotografía 5 Muestras tomadas sobre el material 4.



Fuente: Elaboración propia

Material 5. Arcilla de alta plasticidad verdosa: El quinto material clasifica como una arcilla de alta plasticidad verdosa de consistencia blanda y humedad alta. Este estrato puede encontrarse entre los 17.5 m y 20 m de profundidad. Se encontró en sondeo S-02.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 23 de 49

Fotografía 6 Muestras tomadas sobre el material 5.



Fuente: Elaboración propia

Material 6. Arcilla de alta plasticidad gris 2: El sexto material clasifica como una arcilla de alta plasticidad gris de consistencia blanda y humedad alta. Este material puede encontrarse entre los 20 m y 25 m, este estrato se define por el nivel que alcanzaron los sondeos de acuerdo con la solicitud reglamentaria de la NSR10. Se encontró en los sondeos S-02 y S-05.

Fotografía 7 Muestras tomadas sobre el material 6.



Fuente: Elaboración propia

6.2 NIVEL FREÁTICO

La medición del nivel freático se realizó al iniciar y finalizar la jornada de trabajo en cada uno de los sondeos. Los registros obtenidos se muestran en el siguiente cuadro:

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 24 de 49

Cuadro 6. Registros de nivel freático

SONDEO	FECHA	NIVEL FREÁTICO (m)
INGERCIVIL		
S-01	31/07/2019	3.20
S-02	2/08/2019	2.75
S-03	31/07/2019	3.10
S-04	5/08/2019	2.60
S-05	01/08/2019	No Reporta
CPTu1	5/08/2019	2.0
CPTu2	12/08/2019	3.8
BATEMAN		
1	Enero/1995	2.90
2	Enero/1995	3.50
3	Enero/1995	7.00
4	Enero/1995	3.50
5	Enero/1995	No reporta
6	Enero/1995	No reporta
7	Enero/1995	No reporta

Fuente: Elaboración propia

De manera conservadora a partir de los registros obtenidos del nivel freático, se asume para términos de modelación un nivel freático de 1.0 m teniendo en cuenta el carácter poco permeable del material al haber clasificado en la mayoría del perfil geotécnico definido, como un material arcilloso.

Las fluctuaciones durante las jornadas exploratorias del nivel freático se deben a la variación e intensidad de las precipitaciones presentadas en el área de influencia del proyecto.

6.3 LABORATORIOS

Sobre las muestras obtenidas en las exploraciones se realizaron ensayos de clasificación que consistieron en determinar el contenido de humedad y el porcentaje de la fracción fina (menor de 75 μ m), las características de plasticidad de este mediante límites líquido y plástico, así como la determinación del peso unitario de las muestras de ensayadas en campo y laboratorio.

En el siguiente cuadro se relacionan los ensayos ejecutados en laboratorio por Ingercivil S.A.S y en el estudio previo realizado Bateman.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 25 de 49

Cuadro 7. Cantidad de ensayos de laboratorio

Ensayo	Ingercivil SAS	BATEMAN	TOTAL
Limites Atterberg (líquido y plástico)	20	13	33
Humedad natural	20	61	81
Lavado sobre tamiz 200	8	0	8
Gravedad específica	4	0	4
Compresión inconfiada	34	4	38
Consolidación	4	0	4

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de los ensayos de laboratorio se presentan en el **Anexo 2**.

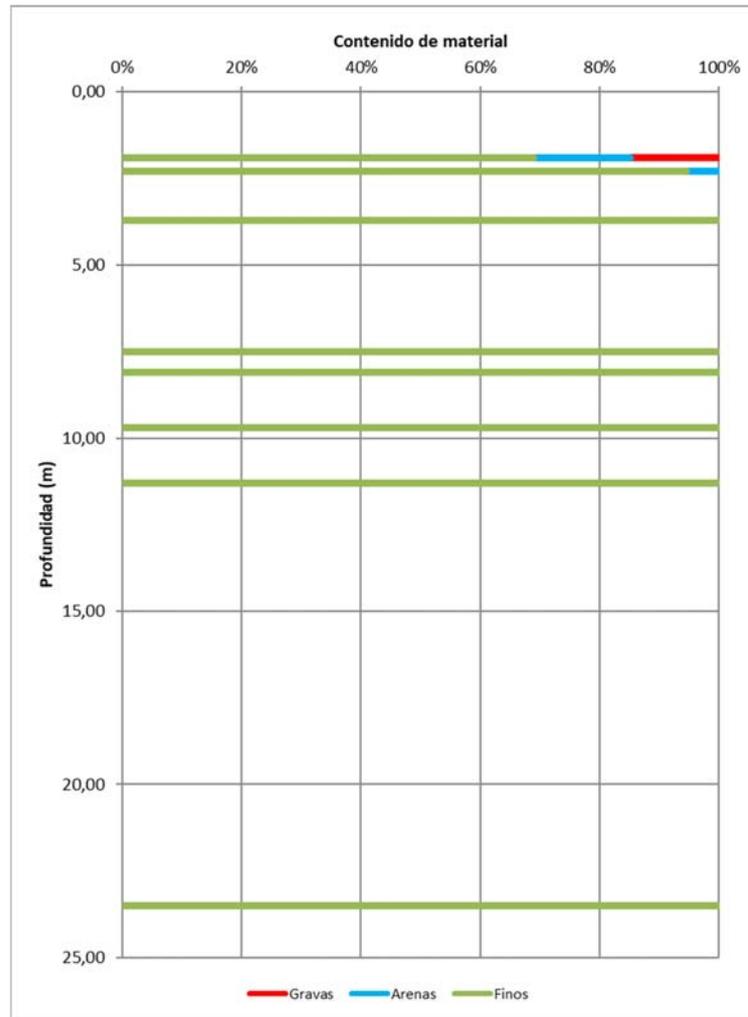
6.4 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES

6.4.1 CONTENIDO DE MATERIALES

Los resultados obtenidos del ensayo de lavado sobre tamiz 200, se muestran en la siguiente figura:

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 26 de 49

Figura 7: Contenido granulométrico según la estratificación del material.



Fuente: Elaboración propia

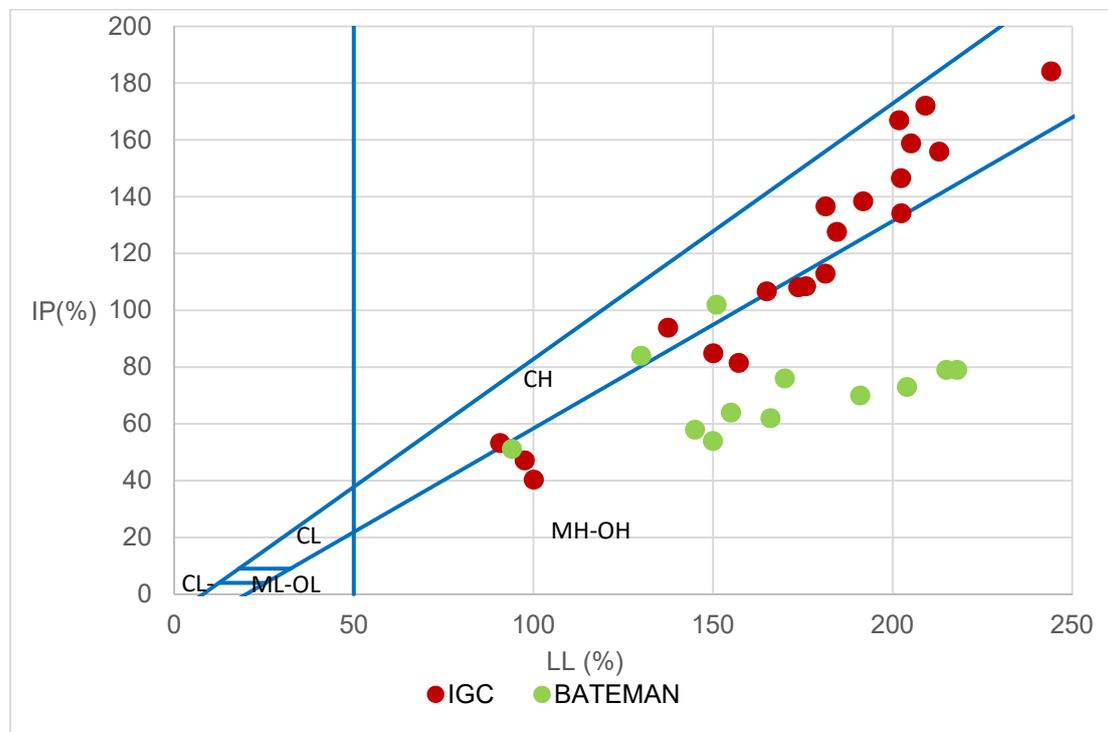
Los anteriores resultados corresponden únicamente a los resultados obtenidos por Ingercivil S.A.S. No se cuenta con registros de lavado de tamiz 200 en los reportes de laboratorio de Bateman.

A partir de los resultados obtenidos, se observa como material predominante en el perfil de suelo materiales tipo arcilla, lo que de entrada define la condición de modelación de los parámetros de resistencia, siendo los más adecuados los no drenados, esto, debido a la naturaleza poco drenante de los materiales arcillosos.

6.4.2 LÍMITES DE CONSISTENCIA

A partir de los resultados de los límites de consistencia, se puede observar lo siguiente:

Figura 8 Carta de plasticidad

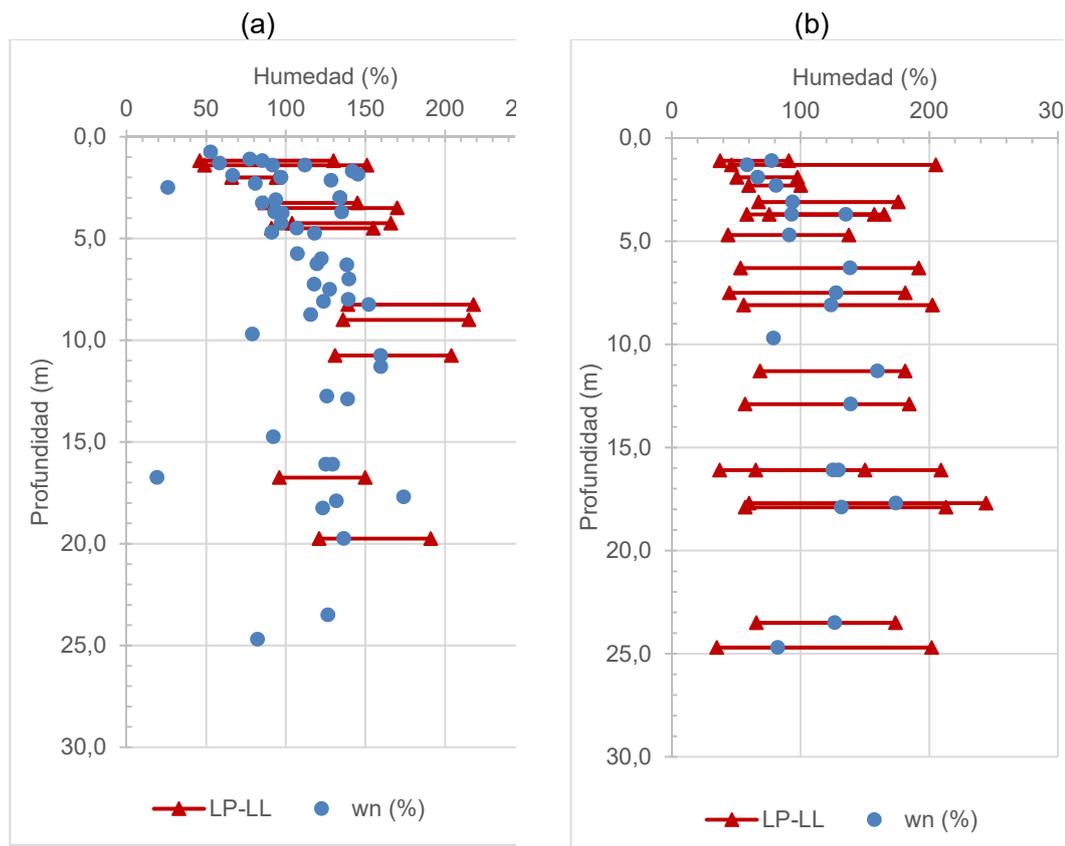


Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos anteriormente se puede observar que la tendencia de clasificación de los materiales realizada por Ingercivl da como resultado, materiales arcillosos altamente plásticos; por otra parte, de acuerdo con los resultados registrados por Bateman, la clasificación del material da limos arcillosos de alta plasticidad. Estos resultados obtenidos por Bateman corresponden a muestras recuperadas en los primeros 4 metros de exploración, datos que coinciden con los obtenidos por Ingercivl para los primeros metros de sondeo.

La variación de los límites puede observarse de una mejor manera en la siguiente tabla.

Figura 9 Humedad natural y límites de consistencia respecto a la profundidad



(a) Resultados Ingercivil (b) Resultados Bateman
Fuente: Elaboración propia

Como observación general, se puede señalar que, de las muestras recuperadas a distintos niveles de profundidad, la tendencia de los límites líquido y plástico está alrededor del 180% y 60% respectivamente. Siendo el mayor y menor valor de los límites líquidos de 244% a los 17 m de profundidad y 93% a los 2 m respectivamente. De igual forma para los límites plásticos, mayor valor es de 96% a los 16.75m y el menor valor es de 34.9% a los 24.7m.

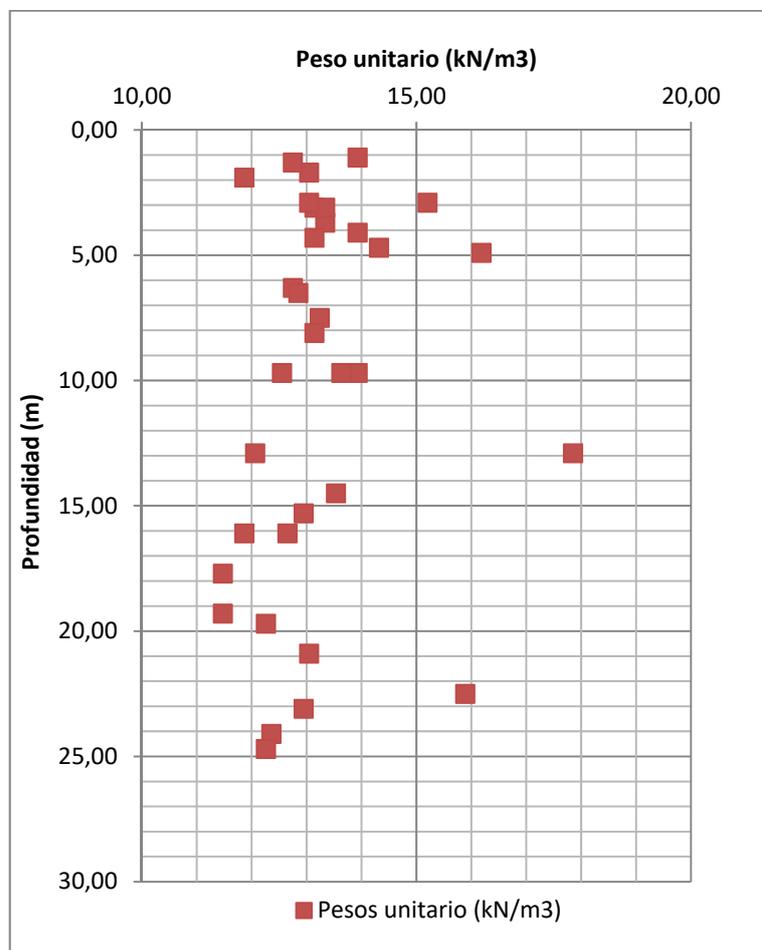
Vale la pena destacar la proximidad del porcentaje de humedad al límite líquido a los y 11.3 m de profundidad, denotando una capa de material altamente deformable sobre el que no sería conveniente utilizar estructuras de transferencia de cargas a dicho nivel, lo que lleva a plantear de entrada, cimentaciones que superen por lo menos los 12 m de profundidad para evitar inconvenientes de fluencia del material a dicho nivel.

6.5 PARAMETROS DE RESISTENCIA Y COMPRESIBILIDAD

6.5.1 PESO UNITARIO

En la siguiente figura se presentan los resultados de peso unitario obtenidos mediante ensayo:

Figura 10: Peso unitario total según la profundidad



Fuente: Elaboración propia

A partir de la gráfica se puede concluir que los valores de peso unitario del material en los primeros, se alcanza a presentar una tendencia alrededor de los 13 kN/m³. La mayor variación se presenta alrededor de los 17 m, presentando una tendencia alrededor de los 12 kN/m³. Se podría decir que estos resultados representan adecuadamente la consistencia y tipo de materiales, al ser estos, arcillosos.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 30 de 49

6.5.2 RESULTADOS ENSAYO CPT_u

Para determinar de una manera más confiable el perfil de suelo, se realizó un ensayo de piezocono CPT_u, donde se registra la resistencia de los materiales tanto en punta como en fricción. A partir de estas medidas, se han desarrollado diferentes técnicas de estimación de parámetros y comportamientos geotécnicos, de acuerdo con la carta de tipo de comportamiento del suelo *SBT*.

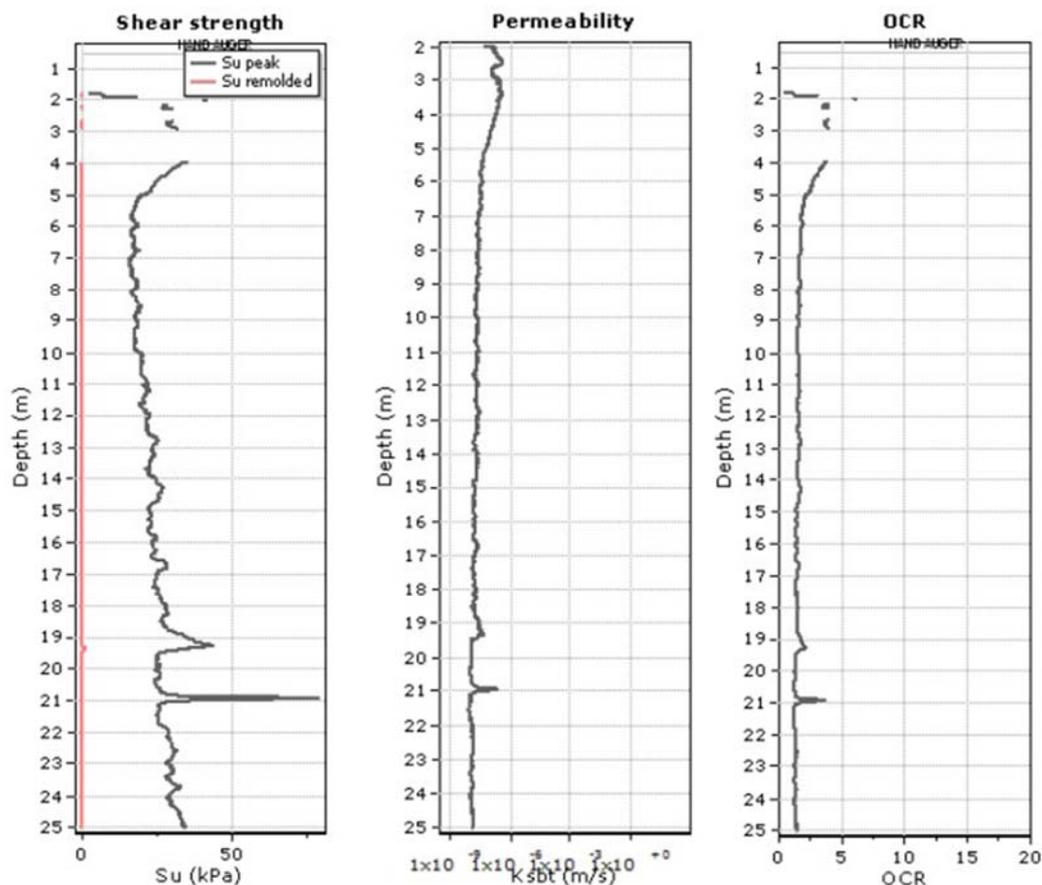
Los resultados indican la presencia de suelos arcillosos blandos de baja resistencia y alta deformabilidad a lo largo del perfil, soportando el resultado final de la presencia de un estrato grueso de suelos blandos arcillosos.

Es posible relacionar directamente los valores del ensayo CPT_u con los valores de diseño debido a que el ensayo proporciona menor alteración a la estructura del suelo y logra caracterizar de mejor manera las propiedades de los materiales.

La totalidad del resultado del ensayo se puede consultar en el Anexo 3.

Para los dos sondeos realizados, el material clasifica de manera estimativa como arcillosos y limosos

Figura 11 Resultados Ensayo CPTu1

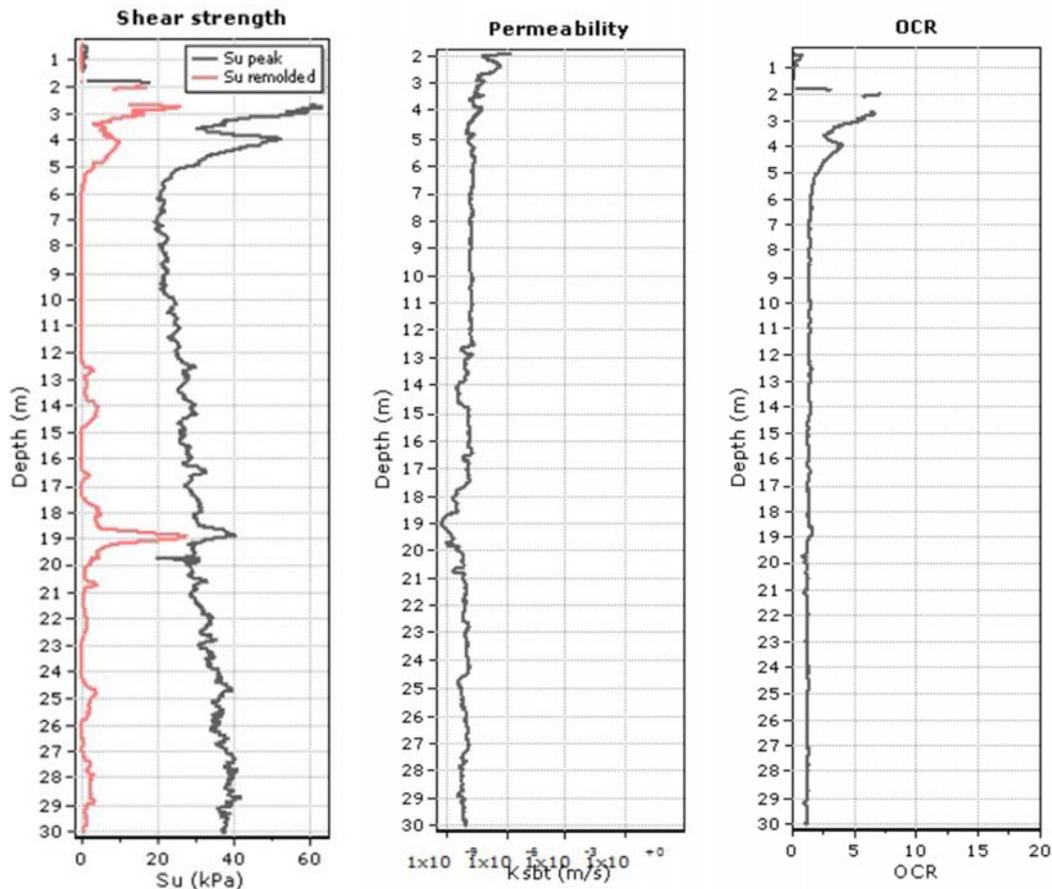


Fuente: Elaboración propia

La clasificación del material sondeado en el CPTu1 da como resultado un material predominantemente arcilloso, con una profundidad del nivel freático estimativa de 2.0 m aproximadamente.

La variación de la resistencia al corte no drenado presenta un comportamiento característico durante los primeros metros de un material sobre consolidado con una resistencia de material pico alrededor de los 35 kPa para luego descender, y a continuación empezar de nuevo a presentar un aumento de la resistencia al corte no drenado. Alrededor de los 20.9 m de profundidad la Su presenta un aumento y descenso abrupto, esto se puede deber a un lente de material altamente friccional.

Figura 12 Resultados Ensayo CPTu2



Fuente: Elaboración propia

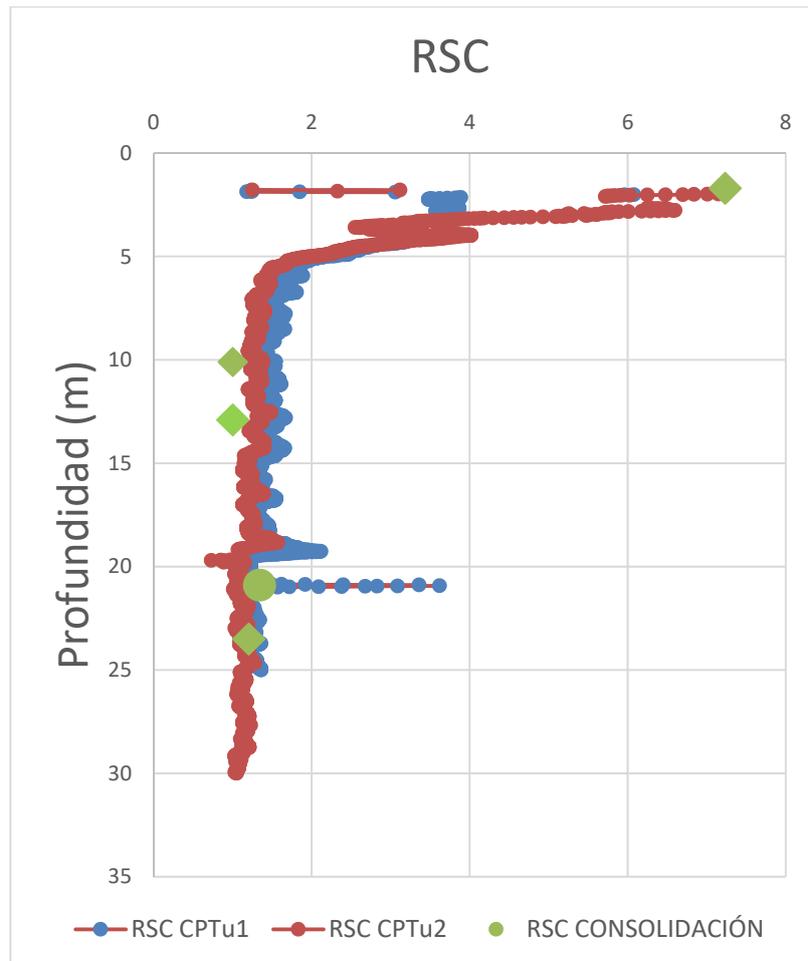
La clasificación del material sondeado en el CPTu2 da como resultado un material predominantemente arcilloso, con una profundidad del nivel freático estimativa de 3.8 m aproximadamente.

Al finalizar el sondeo se estima que la resistencia pico de esta exploración es de alrededor de 65 kPa.

6.5.3 RELACIÓN DE SOBRE CONSOLIDACIÓN (RSC)

A partir de los materiales sondeados durante las perforaciones, se obtiene el siguiente resultado respecto a la relación de sobreconsolidación:

Figura 13: Relación de sobreconsolidación



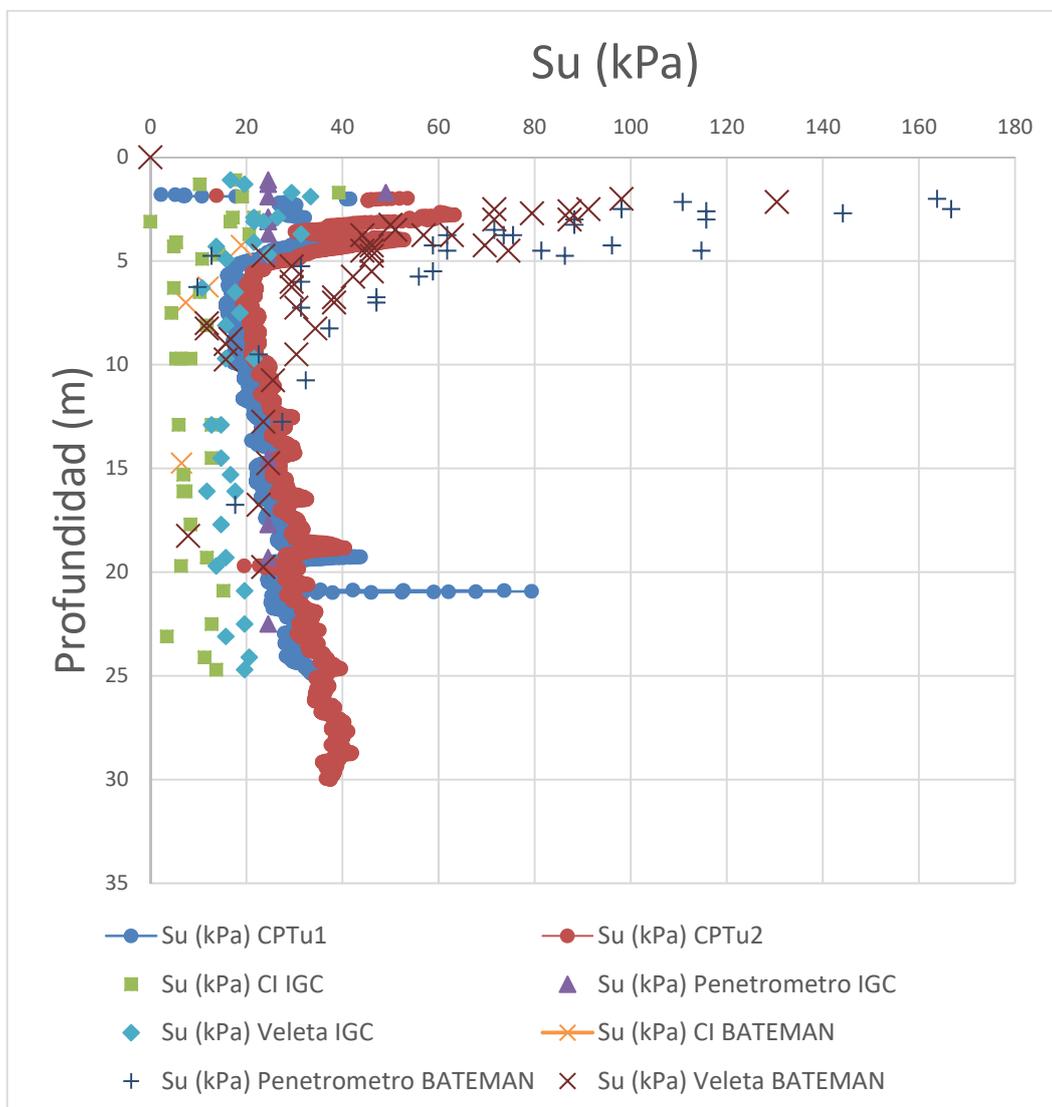
Fuente: Elaboración propia

De la anterior figura, se pueden identificar que, durante los primeros metros, es decir hasta los 5 m de profundidad aproximadamente, se observa un material sobre consolidado. A medida que la profundidad aumenta, los materiales se van volviendo normalmente consolidados. El pico presentado en el sondeo del CPTu1, puede obedecer a lentes de arena que no fueron detectados durante los sondeos mecánicos, sin embargo, es una capa muy pequeña que no aporta significativamente al comportamiento mecánico del material.

6.5.4 RESISTENCIA AL CORTE NO DRENADO (Su)

Realizando ensayos de CPTu, veleta, compresión inconfiada, y penetrómetro, tanto por Ingercivl y Bateman, se tiene como resultado lo siguiente:

Figura 14 Resistencia al corte no drenado Su.



Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados anteriores, se pueden identificar los siguientes espesores de estratos; desde los 0 m hasta los 4.2 m de profundidad, aproximadamente una tendencia de 53 kPa, desde los 4.2 m hasta los 8.2 m una cohesión no drenada de 27 kPa, de los

IGC_EG_327-19_SUELOS CALLE 80_VA.docx

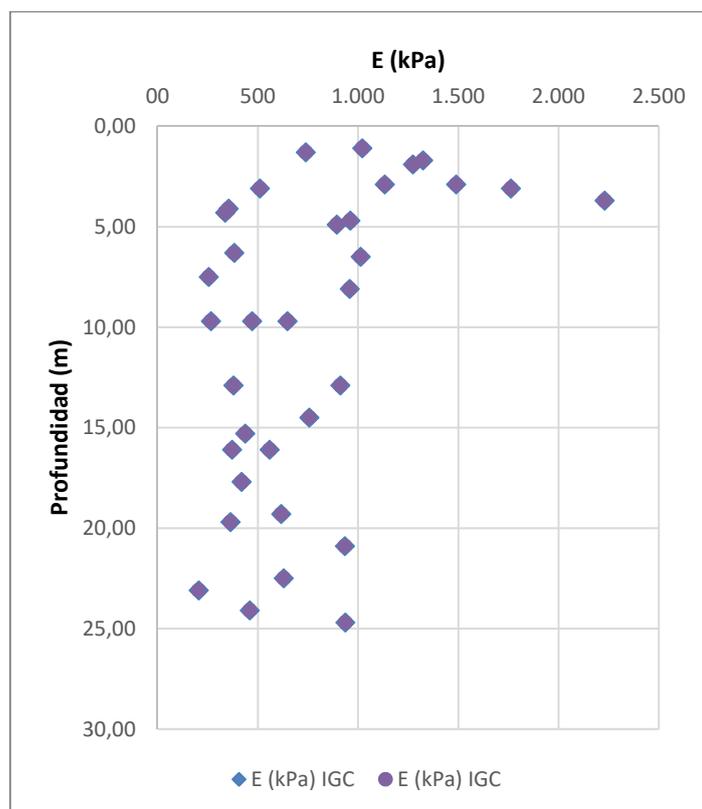
8.2 m hasta los 14.7 m, una tendencia de 18 kPa, de los 14.7 m hasta los 17.5 m, una tendencia de 23 kPa, desde los 17.5 m hasta los 20 m una tendencia de 28 kPa y desde los 20 m hasta 25 m que es la profundidad límite de sondeos, corresponde a valores con una tendencia 31 kPa.

A los 20.93 m de profundidad en el sondeo del CPTu1, se presenta un pico en la resistencia no drenada del material sondeado, esta tendencia puede deberse a que se encuentra un material

6.5.5 MÓDULOS DE ELASTICIDAD

A partir de los resultados de laboratorio se obtiene como resultado la siguiente tabla:

Figura 15 Módulo de elasticidad no drenado respecto a la profundidad



kPa y vuelve a aumentar desde los 17.5 m hasta los 25 m de sondeo, alcanzando valores de 629 kPa.

6.6 MODELO GEOTÉCNICO

Debido a que el material clasifica predominantemente como arcillas, se opta por tener en cuenta los parámetros mecánicos no drenados del material, debido a la baja permeabilidad que tienen estos.

Por lo tanto, de acuerdo con los resultados obtenidos y presentados en el anexo 2, se muestra a continuación los valores adoptados para los estratos del perfil de suelo explorado.

Cuadro 8 Modelo geotécnico asumido

Profundidad (m)		Esp (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Su (kPa)	RSC	E (kPa)	%w	LL	LP	Gs	e0	Cc	Cr
Desde	Hasta												
0	4.2	4.2	13	53	5	1200	93	165	59	2.72	3.3	1.59	0.14
4.2	8.2	4	13.5	27	1.8	750	119	186	50	-	-	-	-
8.2	14.7	6.5	13.2	18	1.4	620	125	190	61	2.71	3.615	1.67	0.18
14.7	17.5	2.8	12	23	1.3	450	129	170	65	-	-	-	-
17.5	20	2.5	12.2	28	1.4	470	136	197	75	-	-	-	-
20	25	5	12.9	31	1.1	629	106	190	51	2.8	3.5	2.35	0.23

Fuente: Elaboración propia

Donde Su es la resistencia la corte no drenada, RSC es la relación de sobre consolidación, E es el módulo de elasticidad, %w es el porcentaje de agua, LL es el límite líquido, LP es el límite plástico, Gs es la gravedad específica, e0 es la relación de vacíos inicial, Cc es el índice de compresión y Cr es el límite de recompresión.

Parta los estratos comprendidos entre los 4.2 m a 8.2 m, 14.7 m a 17.5 m y 17.5 m a 20 m. No presentan valores de gravedad específica

7 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

7.1 FACTORES DE SEGURIDAD

Los factores de seguridad se basan en los planteados por la NSR-10, en el título H, en donde para punta se toma un FS de 3.0 y fuste 1.8 (tabla H.4.7-1 y H.2.4-1 respectivamente).

Cuadro 9. Condición de carga, capacidad admisible y factor de seguridad.

	ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA	
	Código: FR-IN-05	Versión: 3
Controlado: SI () NO (X)	Vigencia: 01/01/2018	Página 37 de 49

Condición	FS
Carga muerta + carga viva normal	3.0

Fuente: NSR-10. Tabla H.4.7-1

Cuadro 10. Factor de seguridad para fuste.

Condición	FS
Carga muerta + carga viva normal	1.8

Fuente: NSR-10. Tabla H.2.4-1

7.2 SISTEMA DE CIMENTACIÓN

A partir de los registros obtenidos y teniendo en cuenta la clasificación de la super estructura que se tiene proyectada construir en el área del proyecto, se opta por recomendar como sistema de cimentación, pilotes. Esto se debe a que se estima se pueden llegar a desarrollar altas cargas que requieren una transferencia adecuada para los materiales predominantemente blandos sondeados en el área de influencia del proyecto.

El tipo de pilotes se plantea que pueden ser pre excavados, no se considera que pueda existir algún problema en la construcción de estos. Se recomienda tener en cuenta las especificaciones dadas en la norma técnica Artículo 621-13 de INVIAS para su construcción.

7.2.1 CAPACIDAD PORTANTE DE PILOTES

Como propuesta de cimentación se plantea utilizar pilotes pre excavados de 0.3 m, 0.5 m y 0.7 m de diámetro, con una longitud propuesta para cada uno de 12 m, 14 m, 16 m, 18 m y 20 m. Las memorias de cálculo se encuentran incluidas en el Anexo 4.

La capacidad portante de los pilotes se estableció usando el software MP de la casa Geostrud, que permite analizar la capacidad de carga de los pilotes. El método de análisis empleado corresponde con el método α , propuesto por Tomlinson (1971), calculada de la siguiente manera:

$$Q_l = (\alpha * S_u + K * \sigma' * \tan \delta) * A_l * f_w$$

α : coeficiente de adherencia que se obtiene como a continuación:

A_l : superficie lateral del pilote;

f_w : factor de corrección ligado a la tronco-conicidad del pilote

S_u : valor medio de la cohesión (o de la resistencia al corte en condiciones no drenadas);

σ' : presión vertical eficaz del terreno;

K : coeficiente de empuje horizontal, dependiente de la tecnología de ejecución del pilote y de anterior estado de densidad, se calcula como sigue:

$$K = 1 - \sin \phi'$$

El coeficiente de adherencia se calculó usando la expresión del Título H de la NSR-10, presentada a continuación:

$$\alpha = 0.2 + 0.8 * e^{0.35 - (2 * \frac{Su}{Pa})} \leq 1.0$$

Donde:

- Su : resistencia al corte no drenado. (MPa)
- α : factor de adhesión (adimensional).
- Pa : presión atmosférica (0.101 MPa)

Para la resistencia por punta se empleó el método de Vesic que asimila la rotura entorno a la punta del pilote como la expansión de una cavidad cilíndrica en un medio elástico-plástico. Los coeficientes N_q y N_c se calculan como:

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} \left(\exp \left(\left(\frac{\pi}{2} - \phi \right) \tan \phi \right) \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \right) * I_{rr}^{\frac{4 \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)}} \right)$$

El índice de rigidez reducido I_{rr} en la expresión anterior se calcula a partir de la deformación volumétrica ε_v .

El índice de rigidez I_r se calcula utilizando el módulo de elasticidad tangencial G' y la resistencia al corte Su del terreno.

Cuando hay condiciones sin drenaje o el suelo se encuentra en estado denso, el término ε_v se puede asumir igual a cero y se obtiene $I_{rr} = I_r$

Se puede estimar I_r con los siguientes valores:

TERRENO	I_r
Arena	75-150
Limo	50-75
Arcilla	150-250

El termino N_c de capacidad portante, para condiciones no drenadas, se calcula como

$$N_c = \frac{4}{3} (\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1$$

Las propiedades de los suelos incluidas en el software MP para el análisis de capacidad portante, se muestran a continuación:

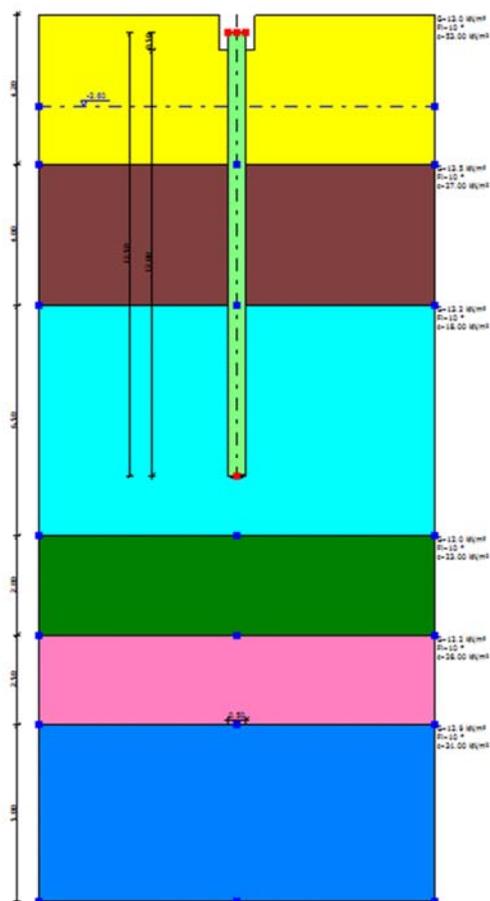
Cuadro 11: Parámetros de análisis para capacidad portante de pilotes

Nr.	DB	Espesor del estrato. [m]	Inclinación del estrato [°]	Peso específico [kN/m ³]	Peso específico saturado [kN/m ³]	Cohesión [kN/m ²]	Ángulo de resistencia al corte [grados]	Rozamiento negativo	Condición no drenada	Módulo elástico [MN/m ²]	Velocidad ondas de corte [m/s]	Coefficiente de adhesión del rozamiento o lateral	Módulo Edométrico [MN/m ²]	Módulo de Poisson	Texture
1		4.2	0	13	13	53	10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2	0	0.424	1.2	0.3	Yellow
2		4	0	13.5	13.5	27	10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.75	0	0.703	0.75	0.3	Brown
3		6.5	0	13.2	13.2	18	10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.62	0	0.836	0.62	0.3	Cyan
4		2.8	0	12	12	23	10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.45	0	0.762	0.45	0.3	Green
5		2.5	0	12.2	12.2	28	10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.47	0	0.689	0.47	0.3	Pink
6		5	0	12.9	12.9	31	10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.629	0	0.647	0.629	0.3	Blue

Fuente: Software MP 2017. Elaboración propia

De la anterior definición de parámetros, se tiene como resultado el siguiente modelo esquemático, al cual se le varían las configuraciones de diámetro y longitud del pilote definidas anteriormente.

Figura 16: Modelo de referencia para capacidad portante de pilotes



Fuente: Software MP 2017. Elaboración propia

A partir de los parámetros de análisis asumidos y al perfil de suelo generado de acuerdo con la interacción suelo estructura, se tiene como resultado lo siguiente:

Cuadro 12: Resultados de capacidad portante para las alternativas de pilotes

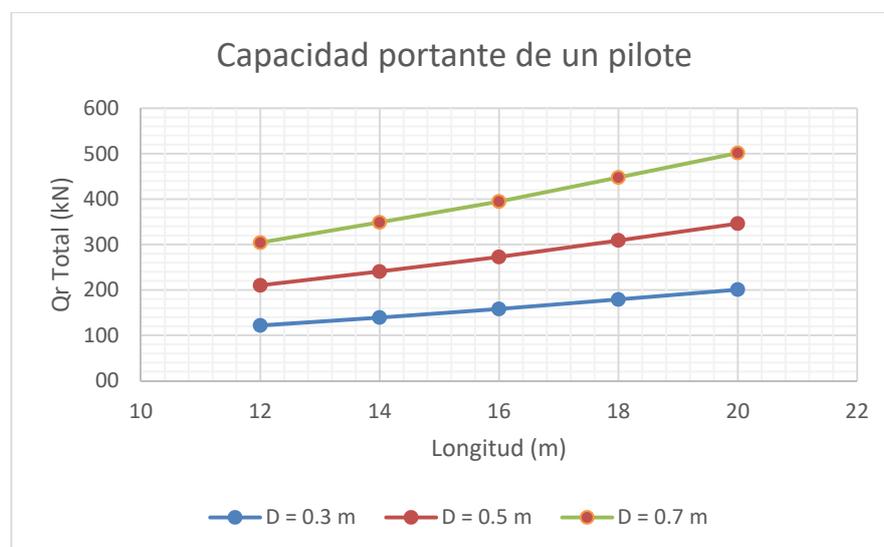
Diámetro (m)	Longitud (m)	Límite de resistencia - Última			Límite de servicio - Admisible		
		Capacidad por punta (kN)	Capacidad por fuste (kN)	Capacidad total (kN)	Qr por punta (kN)	Qr por fuste (kN)	Qr Total (kN)
0.3	12	19.4	207.4	226.8	6.5	115.2	121.7
	14	23.3	236.5	259.8	7.8	131.4	139.1

Diámetro (m)	Longitud (m)	Límite de resistencia - Última			Límite de servicio - Admisible		
		Capacidad por punta (kN)	Capacidad por fuste (kN)	Capacidad total (kN)	Qr por punta (kN)	Qr por fuste (kN)	Qr Total (kN)
	16	25.0	269.5	294.5	8.3	149.7	158.1
	18	28.7	305.0	333.8	9.6	169.5	179.0
	20	31.7	342.1	373.8	10.6	190.1	200.6
0.5	12	54.0	345.7	399.6	18.0	192.0	210.0
	14	64.7	394.1	458.8	21.6	219.0	240.5
	16	69.4	449.2	518.6	23.1	249.5	272.7
	18	79.8	508.4	588.2	26.6	282.4	309.0
	20	88.1	570.2	658.3	29.4	316.8	346.1
0.7	12	105.8	484.0	589.7	35.3	268.9	304.1
	14	126.8	551.8	678.5	42.3	306.5	348.8
	16	136.0	628.9	764.9	45.3	349.4	394.7
	18	156.3	711.8	868.1	52.1	395.4	447.5
	20	172.6	798.9	971.5	57.5	443.8	501.4

Fuente: Elaboración propia

De forma gráfica a partir de la información presentada en el cuadro anterior, se puede definir el siguiente ábaco de capacidad portante de pilotes:

Figura 17: Ábaco de capacidad portante de pilotes



Fuente: Elaboración propia

7.3 ASENTAMIENTO DE LOS PILOTES

Los asentamientos máximos se calcularon usando el método hiperbólico modificado por Flemming (1992), el cual asume una curva de asentamiento de tipo hiperbólico.

Los asentamientos se calcularon para la carga máxima admisible que soporta un pilote individual, haciendo uso del módulo de asentamientos del programa MP. Los resultados se muestran a continuación:

Cuadro 13 Asentamiento de pilotes

Diámetro (m)	Longitud (m)	Carga aplicada (kN)	Asentamiento (mm)
0.3	12	115.2278	13.67
	14	131.37	15.46
	16	149.73	17.41
	18	169.46	18.08
	20	190.07	19.48
0.5	12	192.04	15.74
	14	218.95	19.76
	16	249.54	21.16
	18	282.44	21.93
	20	316.78	20.49
0.7	12	268.86	18.28
	14	306.53	22.69
	16	349.36	24.28
	18	395.42	25.17
	20	443.84	23.41

Fuente: Elaboración propia

Las cargas asumidas para la determinación de los asentamientos, se plantea para un escenario límite de esfuerzos, usando la capacidad admisible por fuste del pilote como carga aplicada. De lo anterior se puede concluir que los asentamientos estimados que dieron como resultado, son para una condición límite de esfuerzos, sin llegar a superar los 150 mm de asentamientos a los cuales hace referencia la NSR10.

7.4 MÓDULOS DE REACCION

También es importante calcular los valores del módulo de reacción o de balasto del suelo para los elementos involucrados en la cimentación. El objetivo de este parámetro es el de reemplazar una masa de suelo por resortes elásticos equivalentes, con una constante k por unidad de área, lo que realmente es una conveniencia matemática que

facilita los cálculos de esfuerzos y deformaciones en las interfaces estructura suelo, puesto que las deformaciones se hacen directamente proporcionales a los esfuerzos aplicados.

Para la condición de pilotes de la estructura, se analiza el módulo de reacción horizontal:

Módulo de reacción horizontal: Dado que el suelo en la zona donde se alojan los pilotes es fundamentalmente cohesivo, se utilizó la expresión sugerida por Terzaghi (1955):

$$K_h = 67 * \frac{S_u}{B}$$

Siendo:

- Kh: módulo de reacción horizontal en ton/m²/m
- Su: Resistencia al corte no drenado en ton/m²
- B: Diámetro del pilote en m

Los resultados obtenidos, haciendo uso de los parámetros de resistencia establecidos en el perfil geotécnico, se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 14: Módulo de reacción horizontal de los pilotes

Profundidad (m)		Cu (ton/m ²)	K _h (ton/m ² /m)		
			Diámetro de pilotes (m)		
Desde	Hasta		0.3	0.5	0.7
0	4.2	5.3	1184	710	507
4.2	8.2	2.7	603	362	258
8.2	14.7	1.8	402	241	172
14.7	17.5	2.3	514	308	220
17.5	20	2.8	625	375	268
20	25	3.1	692	415	297

Fuente: Elaboración propia

Los módulos de reacción vertical se determinaron haciendo uso de la expresión propuesta por Winkler, la cual relaciona el esfuerzo de contacto con el asentamiento producido por esta tensión. La ecuación que relaciona estas variables se muestra a continuación:

$$k_v = \frac{q}{\delta}$$

Donde:

- q es el esfuerzo de contacto, en kPa
- δ es el asentamiento del pilote, en m.

Los resultados obtenidos para cada configuración se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 15 Módulos de balasto vertical de pilotes.

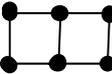
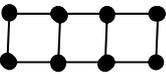
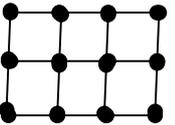
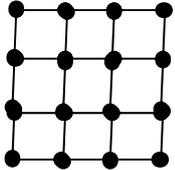
Módulo de reacción de la subrasante vertical					
Diámetro (m)	Longitud (m)	Carga aplicada (kN)	δ (mm)	σ (kN/m²)	k_v (kN/m²/m)
0.3	12	115.2	13.67	1630.1	119249
	14	131.4	15.46	1858.5	120214
	16	149.7	17.41	2118.2	121668
	18	169.5	18.08	2397.4	132598
	20	190.1	19.48	2689.0	138038
0.5	12	192.0	15.74	978.1	62138
	14	219.0	19.76	1115.1	56432
	16	249.5	21.16	1270.9	60061
	18	282.4	21.93	1438.5	65593
	20	316.8	20.49	1613.3	78738
0.7	12	268.9	18.28	698.6	38218
	14	306.5	22.69	796.5	35104
	16	349.4	24.28	907.8	37389
	18	395.4	25.17	1027.5	40822
	20	443.8	23.41	1153.3	49265

Fuente: Elaboración propia

7.5 EFICIENCIA DE LOS PILOTES

De acuerdo con el ejercicio práctico y a la experiencia constructiva, se recomienda que la separación mínima entre ejes de pilotes debe ser de 2.0 veces el diámetro de estos. A partir de esta consideración y haciendo uso del módulo de eficiencia del software MP que hace uso de la metodología de Converse-Labarre, se tiene como resultado lo siguiente:

Cuadro 16: Eficiencia de pilotes 2D

Separación de 2D					
Fila	Columna	Configuración	Cant pilotes	Esquema	Eficiencia (η)
1	2	1x2	2		0.85
1	3	1x3	3		0.8
1	4	1x4	4		0.78
2	2	2x2	4		0.7
2	3	2x3	6		0.66
2	4	2x4	8		0.63
3	4	3x4	12		0.58
4	4	4x4	16		0.56

Fuente: Elaboración propia

8 RECOMEDACIONES

Para la instalación de los pilotes, se recomienda emplear polímeros de estabilización para evitar el cierre o derrumbe de las paredes de la excavación.

La instalación del concreto debe realizarse empleando sistema Tremie o por embudos. El tubo Tremie debe estar siempre sumergido en el concreto al menos 1.5 m para evitar el estrangulamiento del pilote o una indebida colocación del concreto.

El concreto de los pilotes deberá ser instalado hasta la cota inferior de los dados de cimentación y placas de contrapiso.

Se debe verificar que no haya un desplome superior al 10% del diámetro del pilote o 10 cm. La resistencia del concreto debe ser superior a 28 MPa, de igual manera, el ingeniero estructural definirá la resistencia a la compresión a usar en sus diseños, de acuerdo con la NSR-10.

Los pilotes deberán ser construidos desde la superficie actual del terreno y el concreto será fundido hasta la cota de implantación de la cimentación.

No se deben construir pilotes adyacentes o a una distancia inferior a 5 m entre bordes de los pilotes, o en un lapso de 48 h.

El contratista deberá dar aviso una vez sea iniciado el proyecto, así como los registros estratigráficos encontrados y si se presentan grandes variaciones, dar aviso inmediato a esta firma.

9 CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en los sondeos de exploración, se puede presentar como propuesta del perfil de exploración para los materiales identificados en el área donde se tiene proyectado construir el proyecto, el siguiente perfil estratigráfico:

Cuadro 17: Perfil geotécnico

Profundidad (m)		Esp (m)	Peso unitario (kN/m ³)	Su (kPa)	RSC	E (kPa)	%w	LL	LP	Gs	e0	Cc	Cr
Desde	Hasta												
0	4.2	4.2	13	53	5	1200	93	165	59	2.72	3.3	1.59	0.14
4.2	8.2	4	13.5	27	1.8	750	119	186	50	-	-	-	-
8.2	14.7	6.5	13.2	18	1.4	620	125	190	61	2.71	3.615	1.67	0.18
14.7	17.5	2.8	12	23	1.3	450	129	170	65	-	-	-	-
17.5	20	2.5	12.2	28	1.4	470	136	197	75	-	-	-	-
20	25	5	12.9	31	1.1	629	106	190	51	2.8	3.5	2.35	0.23

Fuente: Elaboración propia

Los materiales predominantes en el perfil geotécnico son arcillosos, lo que lleva a plantear un escenario de análisis de parámetros no drenados, debido a la naturaleza poco drenante de estos materiales terrosos.

Se determinó que el sistema de cimentación óptimo, de acuerdo con los requerimientos legales, el perfil de suelo determinado y la tipología de la estructura, es la implementación de pilotes preexcavados.



ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN HOSPITAL DE ENGATIVA

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 47 de 49

Se plantea optar por pilotes de 30 cm 50cm o 70 cm de diámetro que pueden llegar a profundidades de 12 m, 14 m, 16 m, 18 m y 20 m. Esto da en total 15 alternativas de estructuras de cimentación.

La capacidad mínima portante admisible por pilote es de 121.7 kN para un pilote de 0.3 m de diámetro y 12 m de profundidad y la máxima es de 501.4 kN para un pilote de 0.7 m de diámetro a 20 m de profundidad.

Los asentamientos estimativos mínimos por pilote son de 13.67 mm para un pilote de 0.3 m de diámetro y 12 m de profundidad y máximos de 23.41 mm para un pilote de 0.7 m de diámetro a 20 m de profundidad.

10 BIBLIOGRAFÍA

Bowles (1988), Foundation Analysis and Design. Cuarta Edición.

Invias (2013), Artículo 621–13, Pilotes Preexcavados.

Principles of Foundation Engineering, Braja M. Das 1995.

AIIS, INGEOMINAS, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, – Amenaza Sísmica, Bogotá, Comité AIS 300, (1996).

EL CONGRESO DE COLOMBIA, Ley 400 de 1997 y Decreto 33 de 1998, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo resistente.

11 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Los análisis, conclusiones y recomendaciones del presente estudio se basan en los resultados de las investigaciones realizadas y en la suposición de que las condiciones del subsuelo no se desvían apreciablemente de aquellas obtenidas en los sondeos, ensayos y análisis técnico del proyecto.

Si durante el manejo de la información para proyectos en niveles de escala similares se detectan variaciones en la estratigrafía y/o demás condiciones del subsuelo, se deberán informar al proyectista para poder hacer los ajustes necesarios.



**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN
HOSPITAL DE ENGATIVA**

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 48 de 49

GERMÁN D. TAPIA M.
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA
UNIVERSIDAD NACIONAL
MP. 2520260095 CND



**ESTUDIOS GEOTÉCNICOS PARA CIMENTACIÓN
HOSPITAL DE ENGATIVA**

Código: FR-IN-05

Versión: 3

Controlado: SI () NO (X)

Vigencia: 01/01/2018

Página 49 de 49

ANEXOS

Anexo 1 Registros de exploración

Anexo 2 Ensayos de laboratorio

Anexo 3 Resultados CPTu

Anexo 4 Memorias de cálculo