



SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

CONTRATO DE CONSULTORIA No. 937 DE 2015

ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA Y LOS DISEÑOS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES, CON FUNDAMENTO EN EL REGLAMENTO COLOMBIANO DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-10 DE EDIFICACIONES DEL SENA – FASE 3, LOCALIZADAS EN LA CIUDAD DE BOGOTA D.C., UBICADA EN ZONA DE AMENAZA SÍSMICA INTERMEDIA, EN LOS GRUPOS 1, 2, 3 Y 4.

**INFORME ESTUDIO DE SUELOS
SENA COMPLEJO PALOQUEMAO - GRUPO 1
AVENIDA CARRERA 30 # 15-53, BOGOTÁ D.C.**




VERSION 2

FINAL

BOGOTA D.C., MAYO DE 2016

TECNICAS COLOMBIANAS DE INGENIERIA S.A.S.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

HOJA DE CONTROL

ENTIDAD	RESPONSABLE	EJEMPLARES
SENA		

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

ÍNDICE VERSIÓN	SECCION MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0		Abril 2016	
1	3.2 - 4.3.1 - 4.3.3 - 5.6 - 5.7 Tabla 4-2 y Anexo B	Mayo 20116	

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

TITULO DOCUMENTO:		INFORME FINAL ESTUDIO DE SUELOS			
DOCUMENTO No:		No. 3			
A P R O B A C I Ó N	NUMERO DE REVISIÓN		0	1	2
	GEOTECNISTA	Nombre:	CARLOS VALERO	CARLOS VALERO	CARLOS VALERO
		Firma:			
		Fecha:	02/2016	04/2016	05/2016
	ESPECIALISTA ESTRUCTURAL	Nombre:	MIGUEL ROSERO	MIGUEL ROSERO	MIGUEL ROSERO
		Firma:			
		Fecha:	02/2016	04/2016	05/2016
	COORDINADOR	Nombre:	CARMEN HERRERA	CARMEN HERRERA	CARMEN HERRERA
		Firma:			
		Fecha:	02/2016	04/2016	05/2016
	DIRECTOR DE ESTUDIOS	Nombre:	MIGUEL ROSERO	MIGUEL ROSERO	MIGUEL ROSERO
		Firma:			
Fecha:		02/2016	04/2016	05/2016	

VISTO BUENO INTERVENTORÍA

DIRECTOR DE INTERVENTORÍA		
Nombre	Fecha	Firma
GUILLERMO CAMACHO	MAY/2016	





ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

TABLA DE CONTENIDO

		Pág.
1	INTRODUCCIÓN	8
2	GENERALIDADES	8
2.1	LOCALIZACIÓN GENERAL	8
2.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
2.3	DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA	17
3	CONDICIÓN GEOLÓGICA Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	17
3.1	CONDICIÓN GEOLÓGICA	17
3.2	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	18
3.3	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO DE ZONAS ASOCIADAS A PROBLEMAS GEOTÉCNICOS	20
4	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	20
4.1	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.....	20
4.1.1	SONDEOS	20
4.1.2	NIVEL FREÁTICO.....	26
4.1.3	PRUEBAS DE CAMPO	27
4.2	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	27
4.3	CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA.....	28
4.3.1	DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS ENCONTRADAS	28
4.3.2	PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO	33
4.3.3	PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE.....	36
4.4	CONDICIONES GEOTECNICAS ESPECIALES	42
4.4.1	EVALUACIÓN DE EXPANSIÓN.....	42
4.4.2	EVALUACIÓN DE LICUACIÓN.....	43

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

5	ANÁLISIS GEOTÉCNICOS	45
5.1	CONDICIÓN ACTUAL DE LA CIMENTACIÓN	45
5.2	EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE.....	45
5.2.1	ZAPATAS O CIMIENTOS CUADRADOS	47
5.2.2	CIMENTOS CONTINUOS	48
5.3	CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS	49
5.1.4	CIMENTACIÓN CUADRADA	50
5.1.5	CIMENTOS CONTINUOS	51
5.4	EJECUCIÓN DE CORTES Y RELLENOS.....	52
5.5	MEDIDAS DE PROTECCIÓN PARA CONSTRUCCIONES VECINAS.....	53
5.6	ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN.....	53
5.7	CONDICIONES SÍSMICAS	54
5.7.1	ESPECTRO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	55
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
7	LIMITACIONES	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1	Distribución de Estructuras en el Complejo Paloquemao (SENA)	9
Tabla 2-2	Resumen de Cargas en las Estructuras.....	17
Tabla 4-1	Profundidad de los Apiques Ejecutados.....	21
Tabla 4-2	Tipo y cantidad de ensayos de laboratorio realizados.....	27
Tabla 4-3	Valores de cohesión y ángulo de fricción a partir de SPT y compresión inconfiada	41
Tabla 4-4	Parámetros de diseño	41
Tabla 4-5	Clasificación de suelos expansivos	42
Tabla 5-1	Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos cuadrados por el método de Terzaghi	47


ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Tabla 5-2 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos cuadrados por el método de Meyerhof	47
Tabla 5-3 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos continuos por el método de Terzaghi	48
Tabla 5-4 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos continuos por el método de Meyerhof	49
Tabla 5-5 Evaluación de asentamientos inmediatos para una cimentación cuadrada	50
Tabla 5-6 Evaluación de asentamientos inmediatos para una cimentación continua	51
Tabla 5-7 Espectros sísmicos de diseño Aluvial 100.....	55
Tabla 5-8 Espectros sísmicos de diseño Aluvial 200.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Localización General del Complejo de Paloquemao (SENA)	9
Figura 2-2 Distribución de Edificaciones en Sena Complejo Paloquemao	11
Figura 2-3 Cimentación de Estructuras 5 y 6 (Hotel y Gimnasio)	14
Figura 2-4 Cimentación de la Torre Oriente y de Estructuras 4.1 4.2 y 4.3	15
Figura 2-5 Cimentación Cenigraf, Estructuras 1 y 2.....	16
Figura 3-1 Geología Regional del Sitio de Estudio.....	18
Figura 3-2 Zonas geotécnicas – Plano 1.....	19
Figura 4-1 Localización de la Exploración Geotécnica	26
Figura 4-2 Carta de Plasticidad de Casagrande para los materiales encontrados en el sitio de estudio.....	29
Figura 4-3 Variación de la humedad natural y límites de consistencia con la profundidad	29
Figura 4-4 Variación del contenido de gravas, arenas y finos en función de la profundidad	30
Figura 4-5 Variación de la resistencia a la penetración estándar en función de la profundidad.....	31
Figura 4-6 Resistencia al corte no drenada - ensayos de laboratorio.....	32
Figura 4-7 Resistencia al corte no drenada a.....	32
Figura 4-8 Evaluación de c y ϕ a partir de los valores de N del ensayo de SPT	40
Figura 4-9 Resumen calificación potencial de expansión.....	43
Figura 5-1 Esquema de la cimentación de las estructuras	45


ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Figura 5-2 Variación de la Capacidad Portante con el ancho B – cimientos cuadrados 48

Figura 5-3 Variación de la Capacidad Portante con el ancho B – cimientos cuadrados 49

Figura 5-4 Variación de los asentamientos inmediatos con el ancho B - cimientos cuadrados 51

Figura 5-5 Variación de los asentamientos inmediatos con el ancho B - cimientos continuos 52

Figura 5-6 Información espectral 55

Figura 5-7 Aceleración espectral vs Período estructural 56

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 2-1 Vista General Estructura 5.1 y Estructura 5.2 (Hotel SENA) (Desde la Av Carrera 30) 11

Fotografía 2-2 Vista de Estructura 1, Estructura 2.2, Estructura 2.1 y Estructura 3 (Desde la Carrera 32) 12

Fotografía 2-3 Vista de Estructura 5.2, Estructura 5.3, Estructura 6 y Estructura 1 (Desde la Calle 17) 12

Fotografía 2-4 Vista de Estructura 4.1, Estructura 4.2 y Estructura 5.1 (Desde la Calle 15) 13

Fotografía 4-1 Ejecución del Sondeo S-1..... 22

Fotografía 4-2 Muestra No 6 del Sondeo S-1..... 22

Fotografía 4-3 Ejecución del Sondeo S-2..... 22

Fotografía 4-4 Muestra No 7 del Sondeo S-2..... 22

Fotografía 4-5 Ejecución del Sondeo S-3..... 22

Fotografía 4-6 Muestra No 3 del Sondeo S-3..... 22

Fotografía 4-7 Ejecución del Sondeo S-4..... 23

Fotografía 4-8 Muestra No 8 del Sondeo S-4..... 23

Fotografía 4-9 Ejecución del Sondeo S-5..... 23

Fotografía 4-10 Muestra No 11 del Sondeo S-5..... 23


Fotografía 4-11 Ejecución del Sondeo S-6..... 23

Fotografía 4-12 Muestra No 7 del Sondeo S-6..... 23

Fotografía 4-13 Ejecución del Sondeo S-7..... 24

Fotografía 4-14 Muestra No 5 del Sondeo S-7..... 24



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Fotografía 4-15 Ejecución del Sondeo S-8.....	24
Fotografía 4-16 Muestra No 3 del Sondeo S-8.....	24
Fotografía 4-17 Ejecución del Sondeo S-9.....	24
Fotografía 4-18 Muestra No 5 del Sondeo S-9.....	24
Fotografía 4-19 Ejecución del Sondeo S-10.....	25
Fotografía 4-20 Muestra No 5 del Sondeo S-10.....	25
Fotografía 4-21 Ejecución del Sondeo S-11.....	25
Fotografía 4-22 Muestra No del Sondeo S-11.....	25

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A REGISTROS DE PERFORACIÓN Y VARIACIÓN DE PROPIEDADES ÍNDICE DE LOS MATERIALES

ANEXO B TABLA RESUMEN Y REPORTES DE LABORATORIO


ANEXO C NORMALIZACIÓN PRUEBA DEL SPT

ANEXO D EVALUACIÓN DE LICUACIÓN

ANEXO E MEMORIAS DE CÁLCULO - CONSOLIDACIONES

ANEXO F CALCULOS DE CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS

ANEXO G REGISTRO FOTOGRÁFICO

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

1 INTRODUCCIÓN

Bajo el contrato No. 937 de 2015 suscrito entre Técnicas Colombianas de Ingeniería TCI y el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, cuyo objeto es “Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el Reglamento Colombiano de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10 de edificaciones del Sena – FASE 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4”; se cobija el presente documento del Estudio de Suelos. Este se ha estructurado bajo las condiciones establecidas en las reglas de participación, Anexo Técnico 1: ALCANCE ESPECÍFICO DE LA CONSULTORIA que hace parte del proceso CM DG 04 de 2015 publicada en la página de contratación.

Dentro del informe se incluye la metodología para la ejecución del estudio de suelos y el diagnóstico de la cimentación existente, se presenta una breve descripción de la condición geológica del sitio, un resumen de la exploración realizada, pruebas de campo y ensayos de laboratorio que se realizaron para conocer las condiciones del sitio.

Posteriormente se realiza la caracterización geotécnica del sitio de estudio y se define el perfil geotécnico representativo con los parámetros de resistencia y deformabilidad los cuales serán útiles para la definición de nivel y tipo de cimentación, capacidad portante y análisis de asentamientos que se presentarán por efecto de las cargas.

Se incluye un aparte del diagnóstico de la cimentación existente, en este caso a partir de la exploración realizada para conocer la condición de la cimentación se presenta una descripción general del tipo de cimentación existente, profundidad, materiales y se determina su capacidad de carga de acuerdo con la capacidad portante admisible del suelo. Con el diagnóstico se determinará la bondad de la cimentación existente y el cumplimiento de los requerimientos de la Norma Técnica NSR-10.


Finalmente se presentan algunas conclusiones y recomendaciones de la condición geotécnica del suelo y las condiciones de cimentación existentes, así mismo se presentarán las recomendaciones necesarias para el reforzamiento estructural de las edificaciones en caso de requerirse.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL

La sede del SENA correspondiente al Complejo de Paloquemao se encuentra ubicada en la Avenida Carrera 30 # 15-53 en la ciudad de Bogotá, cuenta con un área aproximada de 25.610 m². Se encuentra a una altura promedio de 2630 metros sobre el nivel del mar, su temperatura promedio es de 14°C. En la **Figura 2-1** se presenta la localización general del sitio de estudio (recuadro amarillo).



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

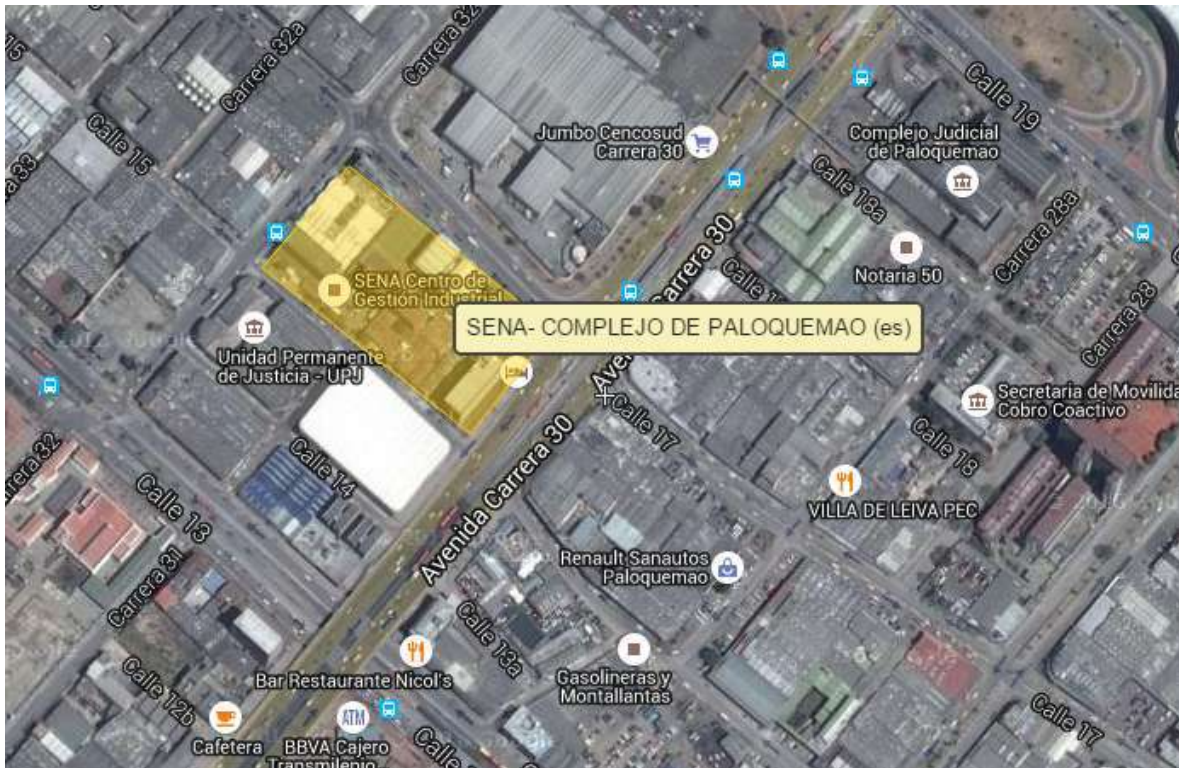


Figura 2-1 Localización General del Complejo de Paloquemao (SENA)

Fuente: Tomado de Wikimapia


2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El complejo Paloquemao cuenta con varias estructuras, las cuales fueron construidas en el periodo comprendido entre los años 1965 al año 1970, de acuerdo con la información recopilada en la etapa previa a la intervención y que reposa en los archivos técnicos del Sena. En la **Tabla 2-1** se muestra la distribución de las estructuras, así como el uso y destinación de las mismas.

Tabla 2-1 Distribución de Estructuras en el Complejo Paloquemao (SENA)

ESTRUC-TURA	No. DE PISOS	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN Y USO	TIPO DE CIMENTACION
Estructura 1 (Cenigraf)	4 pisos	1965	Primer Piso: Acceso peatonal, área administrativa, archivos, depósitos. Segundo Piso al Cuarto Piso: Contiene aulas y oficinas de profesores.	Zapatras con vigas de amarre
Estructura 2,1 (Cenigraf)	1 piso	1965	Tipo bodegas y contiene talleres tipo aula.	Zapatras con vigas de amarre
Estructura 2,2(Cenigraf)	1 piso	1965	Tipo bodegas y contiene talleres tipo aula.	Zapatras con vigas de amarre




ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		<p style="text-align: center;">Cto. 937 de 2015</p> <p>Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4</p>

ESTRUC-TURA	No. DE PISOS	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN Y USO	TIPO DE CIMENTACION
Estructura 2,3 (Cenigraf)	1 piso	Ampliación, no hay datos	Tipo bodegas y contiene talleres tipo aula.	Zapatas con vigas de amarre
Estructura 3 Torre Occidental	4 pisos	No hay datos	Primer Piso: Acceso peatonal, área administrativa, archivos, depósitos. Segundo Piso al cuarto: Contiene aulas y oficinas de profesores.	Zapatas con vigas de amarre
Estructura 4,1 Torre Oriental	4 pisos	1967	Zona que contiene zona administrativa	Zapatas con vigas de amarre
Estructura 4,2 Centro de Diseño	1 piso	1967	Zona que contiene talleres tipo aula	Zapatas con vigas de amarre
Estructura 4,3 Centro de diseño	1 piso	1967 y también existe una zona ampliada de la que no se sabe el año de construcción	Zona que contiene talleres tipo aula	Zapatas con vigas de amarre
Estructura 5.1 Hotel	5 pisos + semisotano	1970-1971	Estructura Hotelera	Placa flotante aligerada H=1,60m
Estructura 5.2 Hotel	7 pisos + semisotano	1970-1971	Estructura Hotelera	Placa flotante aligerada H=1,60m
Estructura 5.3 Hotel	1 piso + semisotano	1970-1971	Estructura Hotelera	Zapatas con vigas de amarre
Estructura 6 Coliseo	1 piso + semisotano	1970-1971	Coliseo cubierto en triple altura con graderías y semisótano	Zapatas con vigas de amarre

Fuente: Archivo SENA - Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

De acuerdo con el numeral A.2.5.1.2 de la NSR-10, estas edificaciones por ser de atención a la comunidad pertenecen al grupo de uso III dentro de las cuales se encuentran guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza.

En la **Figura 2-2** se muestra de forma general la distribución de estructuras descrita en la tabla anterior.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

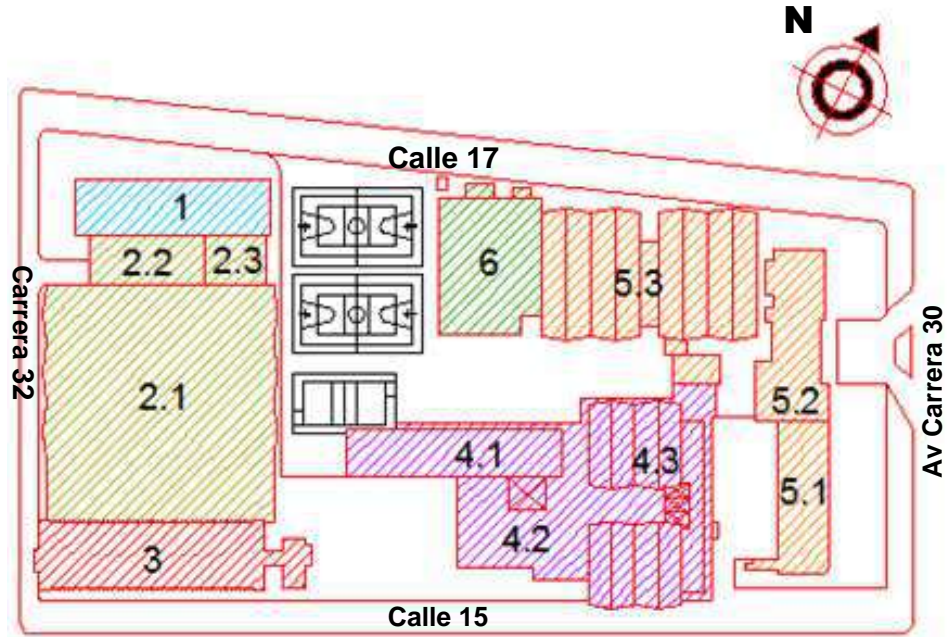
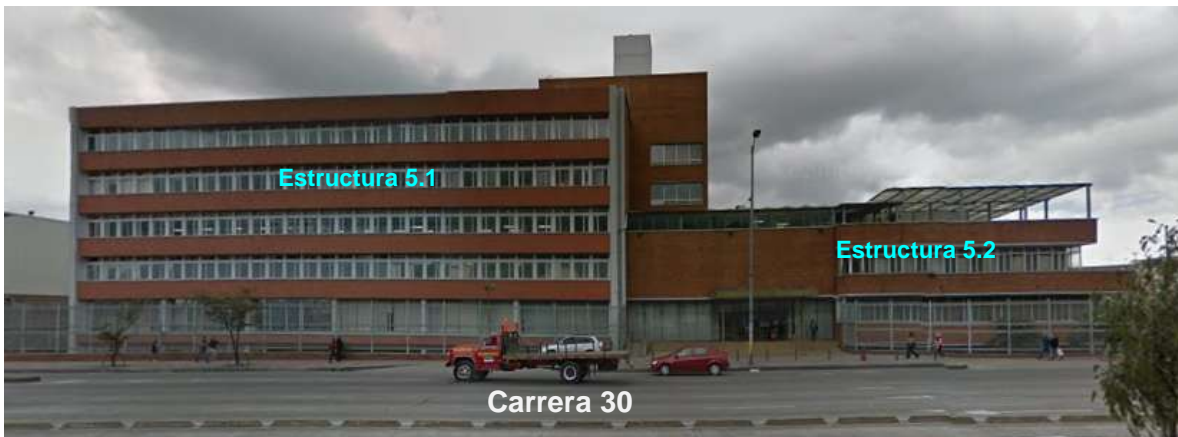


Figura 2-2 Distribución de Edificaciones en Sena Complejo Paloquemao

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016


En las fotografías presentadas a continuación se observan panorámicas de las estructuras del SENA (Complejo de Paloquemao) vistas desde las calles vecinas que limitan su cerramiento.

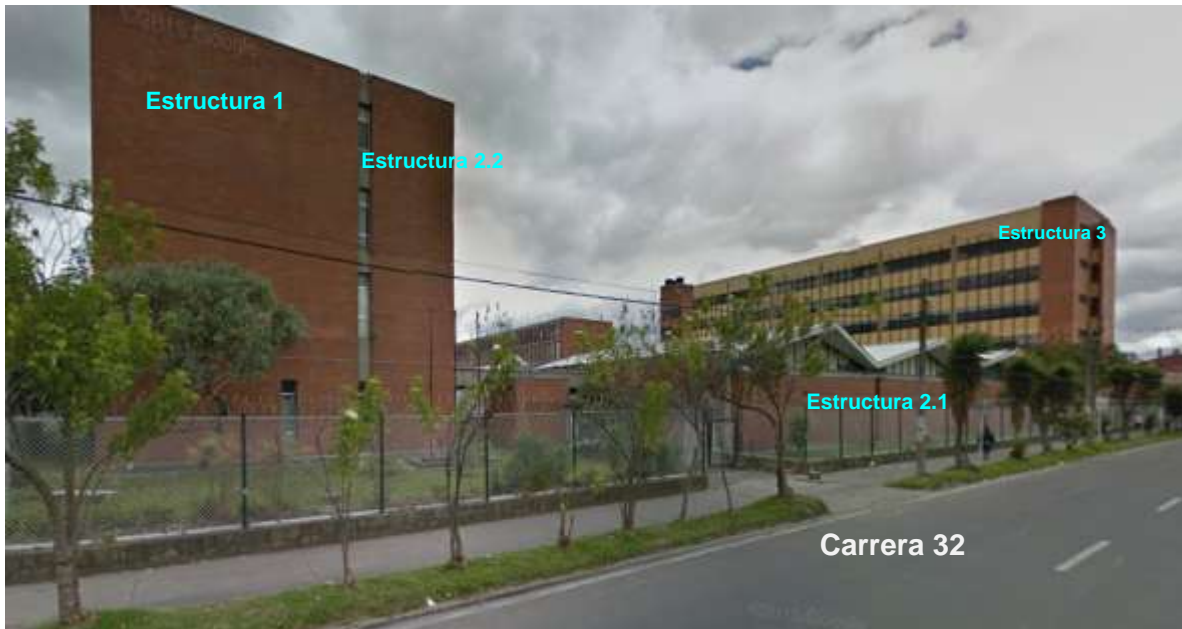


Fotografía 2-1 Vista General Estructura 5.1 y Estructura 5.2 (Hotel SENA) (Desde la Av Carrera 30)

Fuente: Google Street View, 2016




ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Fotografía 2-2 Vista de Estructura 1, Estructura 2.2, Estructura 2.1 y Estructura 3 (Desde la Carrera 32)
Fuente: Google Street View, 2016



Fotografía 2-3 Vista de Estructura 5.2, Estructura 5.3, Estructura 6 y Estructura 1 (Desde la Calle 17)
Fuente: Google Street View, 2016

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Fotografía 2-4 Vista de Estructura 4.1, Estructura 4.2 y Estructura 5.1 (Desde la Calle 15)
Fuente: Google Street View, 2016

En la **Figura 2-3**, **Figura 2-4** y **Figura 2-5** se presenta la planta de cimentación actual de las Estructuras Principales ubicadas en el Complejo Paloquemao del SENA.

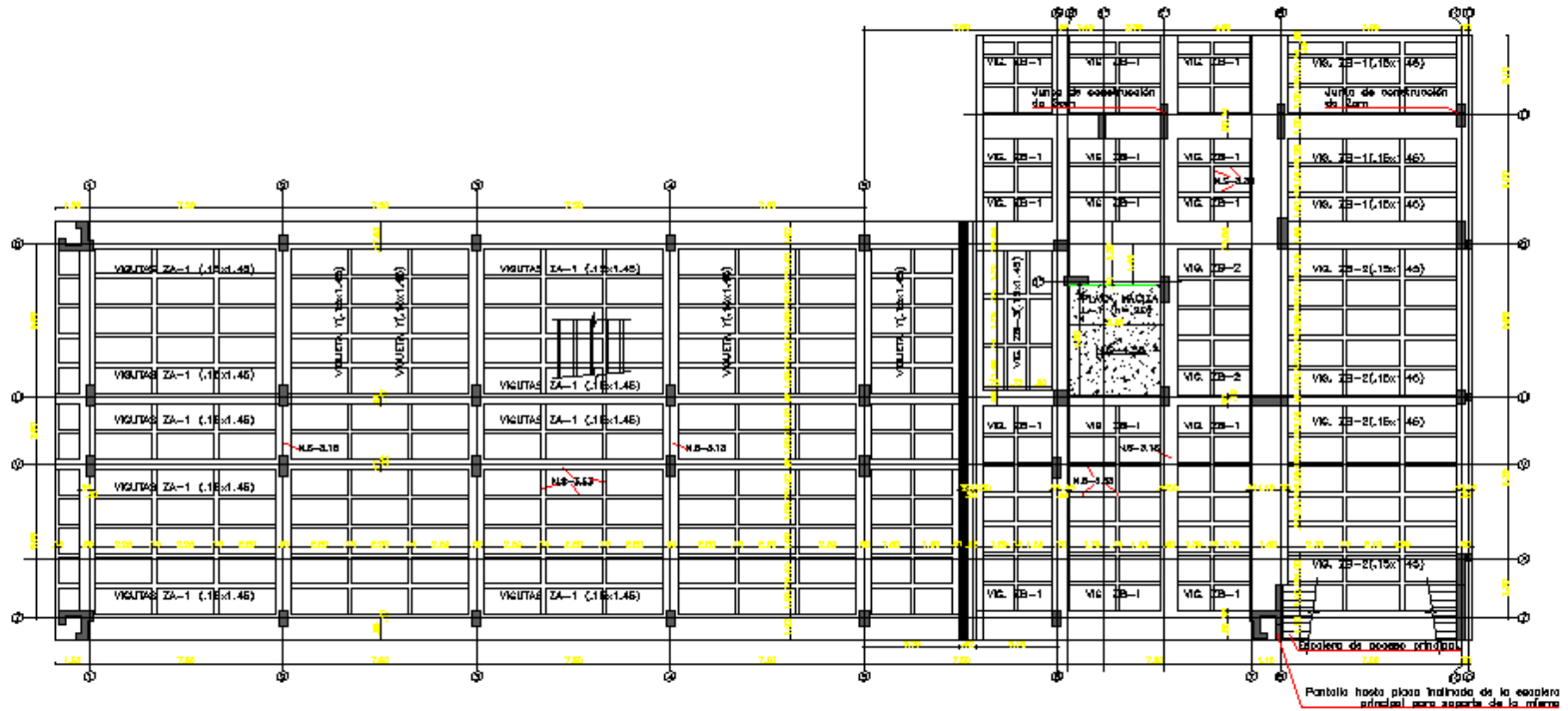


Figura 2-3 Cimentación de Estructuras 5 y 6 (Hotel y Gimnasio)

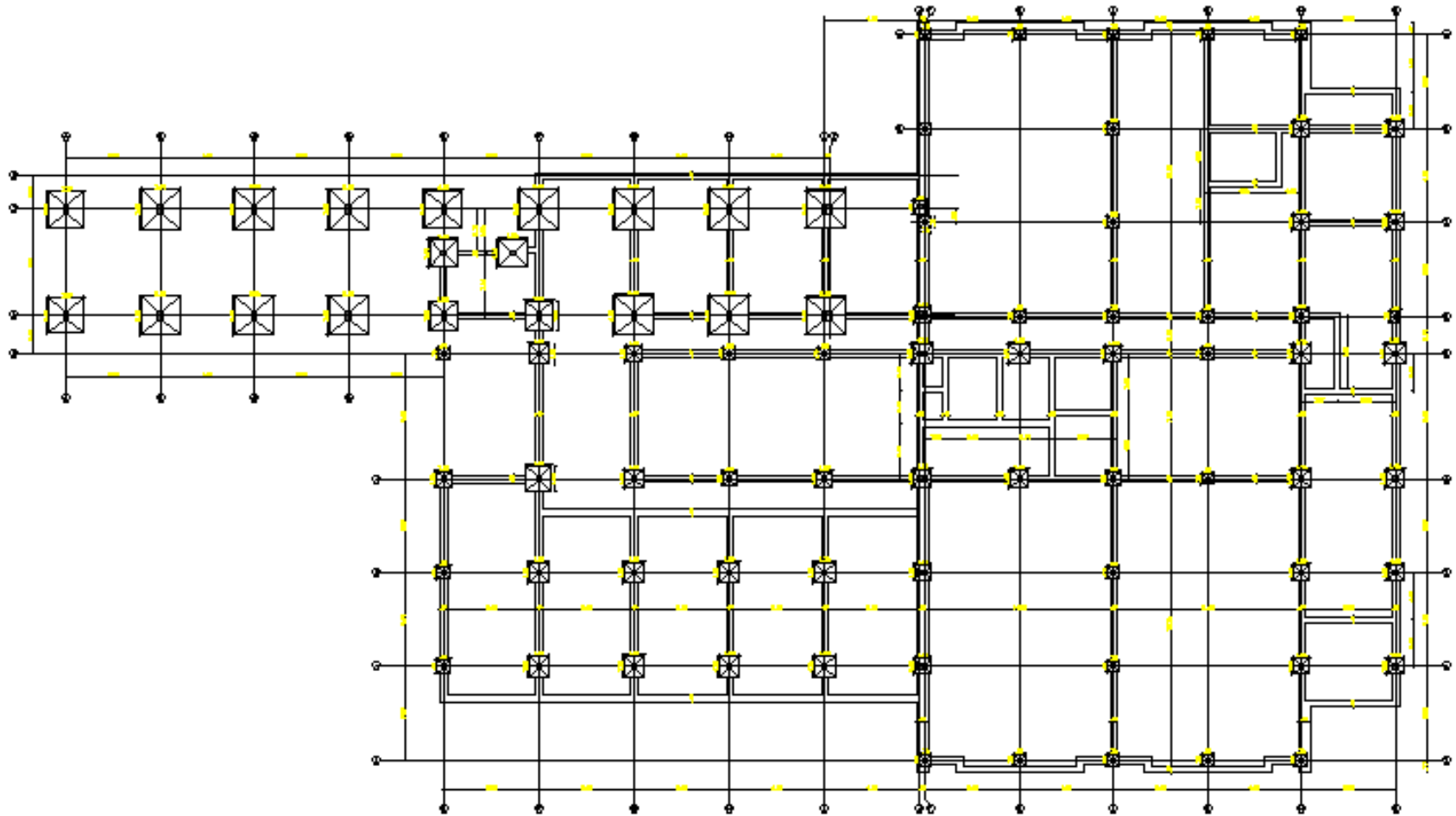


Figura 2-4 Cimentación de la Torre Oriente y de Estructuras 4.1 4.2 y 4.3

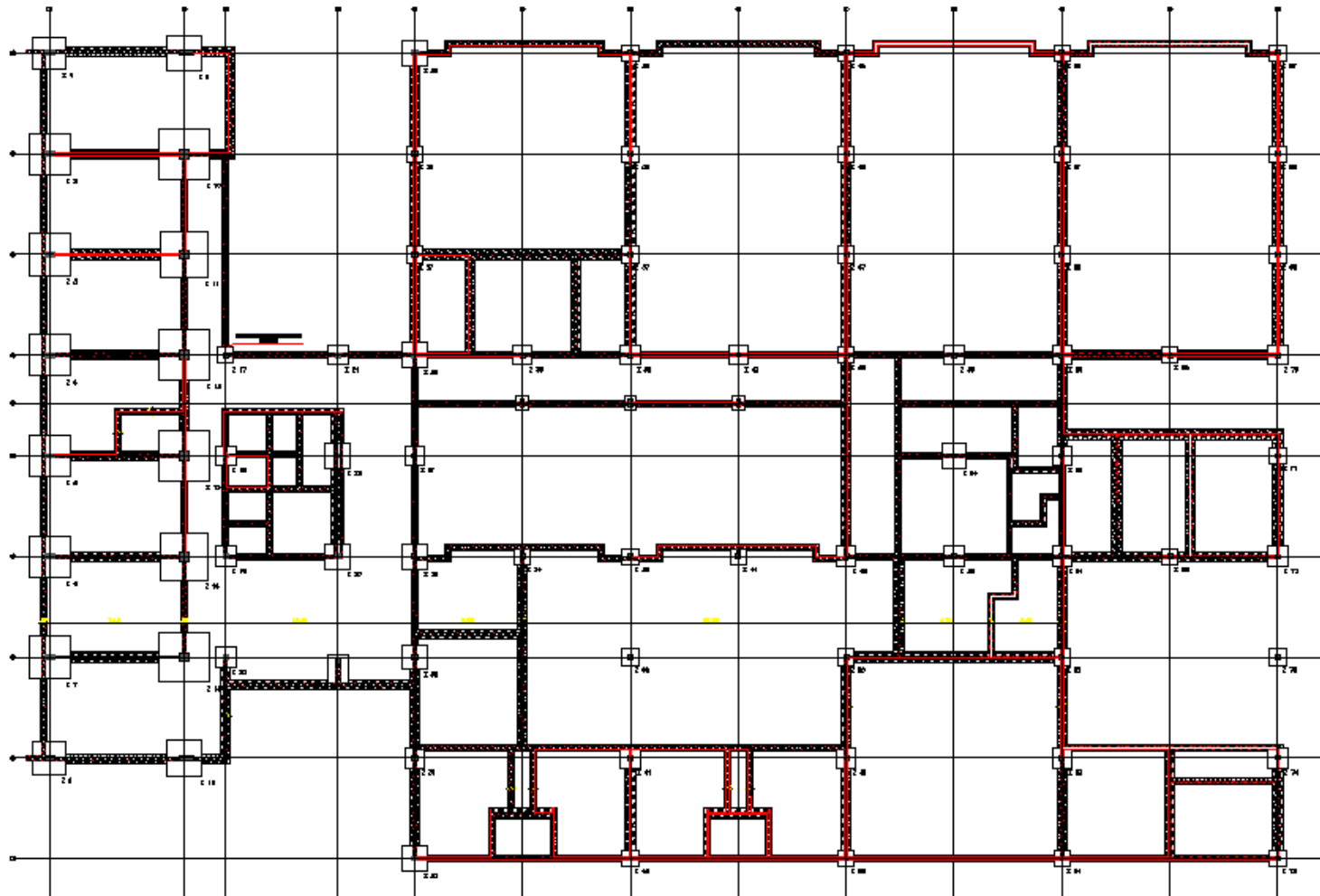



Figura 2-5 Cimentación Cenigraf, Estructuras 1 y 2

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

2.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA

De acuerdo con la información suministrada por el Ingeniero Estructural, se tiene la siguiente distribución de cargas verticales en las estructuras que conforman el Complejo Paloquemao del SENA, las cuales son transmitidas al suelo de fundación.

En la **Tabla 2-2** se presenta un resumen de las cargas actuales en las estructuras del SENA Complejo de Paloquemao, se resaltan los elementos con las cargas más altas.

Tabla 2-2 Resumen de Cargas en las Estructuras

ESTRUCTURA	UBICACIÓN (EJE)	CM (Ton)	CV (Ton)	CM+CV (Ton)	CM+CV+E (Ton)	AREA ZAPATA (m ²)
1 Cenigraf	B-2	133.06	29.14	162.20	227.21	10.24
2.1 Cenigraf	C2-8	32.38	9.61	41.99	44.21	1.21
2.2 Cenigraf	4-G	18.00	5.63	23.63	25.66	1.96
4.1 Torre oriental	5-C	150.35	33.63	183.99	254.63	5.76
4.2 Torre oriental	F-4	31.56	10.15	41.71	42.24	2.56
4.3 Torre oriental	O-4	32.69	8.37	41.06	43.57	1.32
5.1 Hotel	Losa	4883.46	1274.50	6157.97	16385.43	1028.29

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

Donde:

CM	Carga Muerta
CV	Carga Viva
CM+CV	Carga Muerta + Carga Viva
CM+CV+E	Carga Muerta + Carga Viva + Sismo

El detalle y esquemas de cargas de las demás estructuras son presentadas en el informe estructural del proyecto.


3 CONDICIÓN GEOLÓGICA Y ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

En los numerales siguientes se presenta una breve descripción de la condición geológica y la zonificación geotécnica, tomando como referencia la información disponible en la Microzonificación Sísmica de Bogotá (2010).

3.1 CONDICIÓN GEOLÓGICA

De acuerdo con el mapa geológico de la ciudad de Bogotá, la zona de estudio se encuentra sobre depósitos que corresponden a los complejos de Conos o Abanicos (Qcc). Estos depósitos están constituidos en su mayor parte por capas, de arcilla plástica gris y verde, con intercalaciones de lentes de arena y grava.



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

En la **Figura 3-1** se presentan algunos aspectos generales de la geología regional del sitio de estudio.

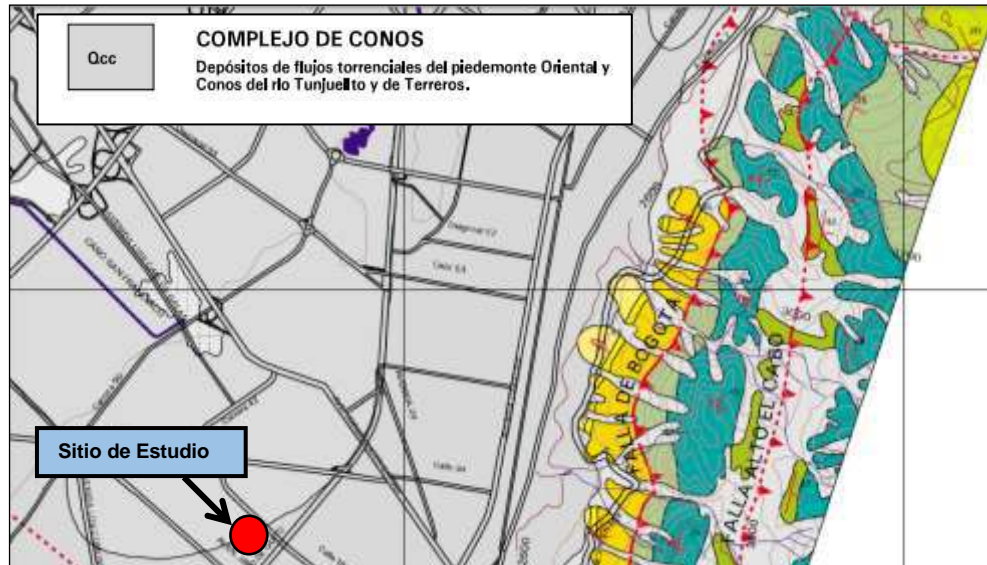


Figura 3-1 Geología Regional del Sitio de Estudio
Fuente: Microzonificación Sísmica de Bogotá, 2010


3.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

De acuerdo con el Decreto 523 de 2010 el sitio de estudio se ubica en la zona geotécnica denominada Aluvial. En la **Figura 3-2** se presenta sobre el plano general de zonas geotécnicas el sitio de estudio.

La geología asociada a esta zona geotécnica corresponde a terraza baja aluvial y complejo de conos aluviales, cuya geomorfología asociada corresponde a planicie

En la Microzonificación Sísmica de Bogotá se menciona que los materiales corresponden a arenas arcillosas sueltas a compactas. El comportamiento geotécnico general es el de suelos de mediana capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a cielo abierto.

En la Tabla 2 del Decreto 523 de 2010 se describen las zonas de respuesta sísmica de la ciudad de Bogotá, ubicando este sector en una franja de transición comprendida entre las zonas Aluvial 100 y Aluvial 200. Para esta zona, se presenta una descripción geotécnica general haciendo referencia a suelo aluvial duro; arcillas limosas o arenas arcillosas o limos arenosos, con sectores de arenas limpias, con espesor entre 50 m y 100 m, se estima una velocidad de onda (V_s) para esta zona entre 175 y 300 m/s, con efectos de sitio relacionados de amplificación y licuación.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

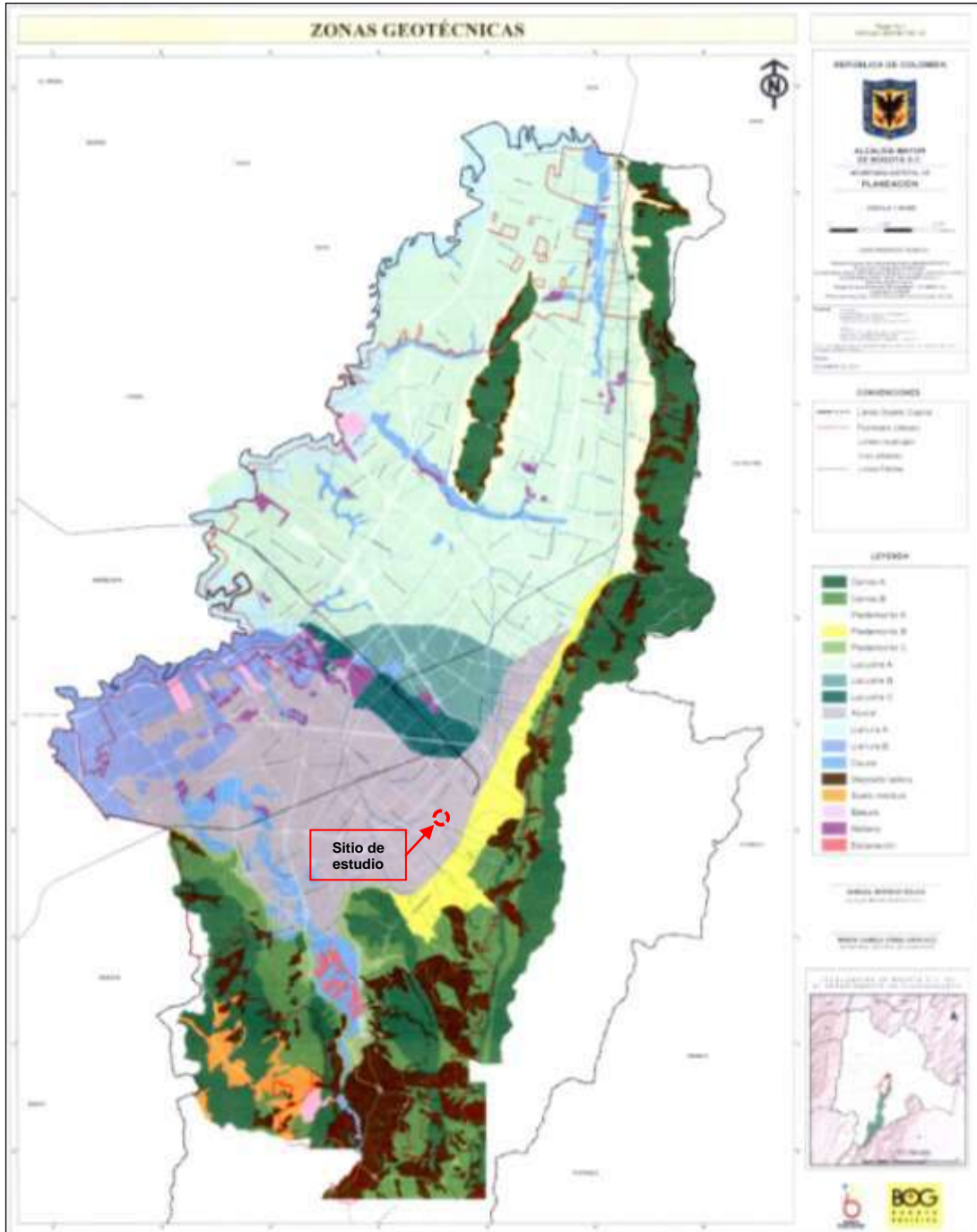



Figura 3-2 Zonas geotécnicas – Plano 1
Fuente: Microzonificación Sísmica de Bogotá, 2010



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

3.3 IDENTIFICACIÓN EN CAMPO DE ZONAS ASOCIADAS A PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

En las visitas de campo realizadas a las instalaciones de la Sede Complejo Paloquemao durante el primer semestre de 2016, no se identificó la presencia de problemas geotécnicos como asentamientos diferenciales excesivos, suelos expansivos, licuables, ni fallas por capacidad portante.

4 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Para determinar las características y propiedades mecánicas del suelo en el sitio del proyecto, se realizaron actividades de exploración del subsuelo que consistieron principalmente en la ejecución de sondeos con equipo manual y mecánico, la recuperación de muestras alteradas e inalteradas, así como ensayos de campo y laboratorio.

En este capítulo se presenta el tipo de exploración del subsuelo realizada, el tipo de ensayos de campo y laboratorio, y el análisis de la información obtenida. Se presenta una descripción del comportamiento de las propiedades principales de los diferentes suelos encontrados en cada punto de exploración, y con base en esto, se define el perfil geotécnico representativo del sitio de estudio, así como las condiciones y parámetros geomecánicos que serán utilizados para verificar las condiciones de la cimentación existente, a partir de la evaluación de capacidad portante y de asentamientos inmediatos y a largo plazo.

4.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO


Teniendo en cuenta las características geológicas del sitio, se proyectó la ejecución de sondeos manuales y mecánicos distribuidos convenientemente en el área de estudio. Lo anterior con el objeto de obtener la información geotécnica necesaria para conocer la distribución lateral y en profundidad de los diferentes tipos de materiales que componen los depósitos existentes, y recuperar muestras inalteradas y alteradas para realizar los ensayos de laboratorio. Además, se realizaron pruebas de campo como el ensayo de penetración estándar (SPT), y ensayos de laboratorio para clasificación y obtener parámetros de resistencia que permitan conocer el comportamiento de estos materiales.

4.1.1 Sondeos

De acuerdo con el Título H de la NSR-10, en el Capítulo H.10 “*Rehabilitación sísmica de edificios: amenazas de origen sísmo geotécnico y reforzamiento de cimentaciones*” se presentan algunos lineamientos generales para la caracterización del sitio de estudio. Sin embargo, no se especifica la cantidad de sondeos para la exploración geotécnica.

En total se realizaron 11 sondeos con una profundidad entre 6.80 y 20.05 m, tal como se muestra en la **Tabla 4-1**. Para la totalidad de los sondeos se tuvo recuperación de muestras.



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

En cada sondeo se realizaron pruebas de penetración estándar (SPT) y se tomaron muestras alteradas en bolsa y en el tubo partido, las cuales fueron utilizadas para hacer descripción visual y ensayos de clasificación. Además, en donde fue posible, se recuperaron muestras inalteradas en tubos de pared delgada, las cuales se utilizaron para ensayos de resistencia y deformabilidad.


Tabla 4-1 Profundidad de los Apiques Ejecutados

SONDEO	TIPO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
S-1	MANUAL	6.8	+0.00	n.e
S-2	MANUAL	6.7	+0.00	1.4
S-3	MANUAL	7.3	+0.00	n.e
S-4	MÉCANICO	14.65	+0.00	3.2
S-5	MÉCANICO	14.7	+0.00	2.12
S-6	MÉCANICO	20.05	+0.00	3.0
S-7	MÉCANICO	14.9	+0.00	4.0
S-8	MANUAL	7.0	+0.00	n.e
S-9	MANUAL	7.7	+0.00	n.e
S-10	MECÁNICO	14.8	+0.00	4.0
S-11	MECÁNICO	19.8	+0.00	n.e

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

El muestreo en cada sondeo se hizo de acuerdo con las recomendaciones de la norma NSR-10 en la que indica que se debe hacer cada metro en los primeros 5.0 m y a partir de esta profundidad cada cambio de nivel o cada 1.5 m.

Con el fin de establecer la condición actual de las cimentaciones existentes en las edificaciones del Complejo de Paloquemao del SENA se realizaron 11 apiques con una profundidad entre 0.25 m y 2.10 m, en la cual se encontró el nivel de cimentación de las estructuras. En las fotografías que se presentan a continuación se pueden apreciar las actividades de exploración geotécnica, auscultación de la cimentación y la recuperación de muestras para la realización de ensayos de laboratorio.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Fotografía 4-1 Ejecución del Sondeo S-1
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-2 Muestra No 6 del Sondeo S-1
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-3 Ejecución del Sondeo S-2
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016




Fotografía 4-4 Muestra No 7 del Sondeo S-2
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-5 Ejecución del Sondeo S-3
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-6 Muestra No 3 del Sondeo S-3
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Fotografía 4-7 Ejecución del Sondeo S-4
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-8 Muestra No 8 del Sondeo S-4
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-9 Ejecución del Sondeo S-5
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016




Fotografía 4-10 Muestra No 11 del Sondeo S-5
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-11 Ejecución del Sondeo S-6
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-12 Muestra No 7 del Sondeo S-6
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Fotografía 4-13 Ejecución del Sondeo S-7
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-14 Muestra No 5 del Sondeo S-7
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-15 Ejecución del Sondeo S-8
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016




Fotografía 4-16 Muestra No 3 del Sondeo S-8
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-17 Ejecución del Sondeo S-9
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-18 Muestra No 5 del Sondeo S-9
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Fotografía 4-19 Ejecución del Sondeo S-10
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-20 Muestra No 5 del Sondeo S-10
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016




Fotografía 4-21 Ejecución del Sondeo S-11
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



Fotografía 4-22 Muestra No del Sondeo S-11
Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

En el **ANEXO A** se presenta el resumen de las propiedades geotécnicas y la estratigrafía encontrada. La localización general de los sondeos realizados en el área de estudio se presenta en la **Figura 4-1**.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

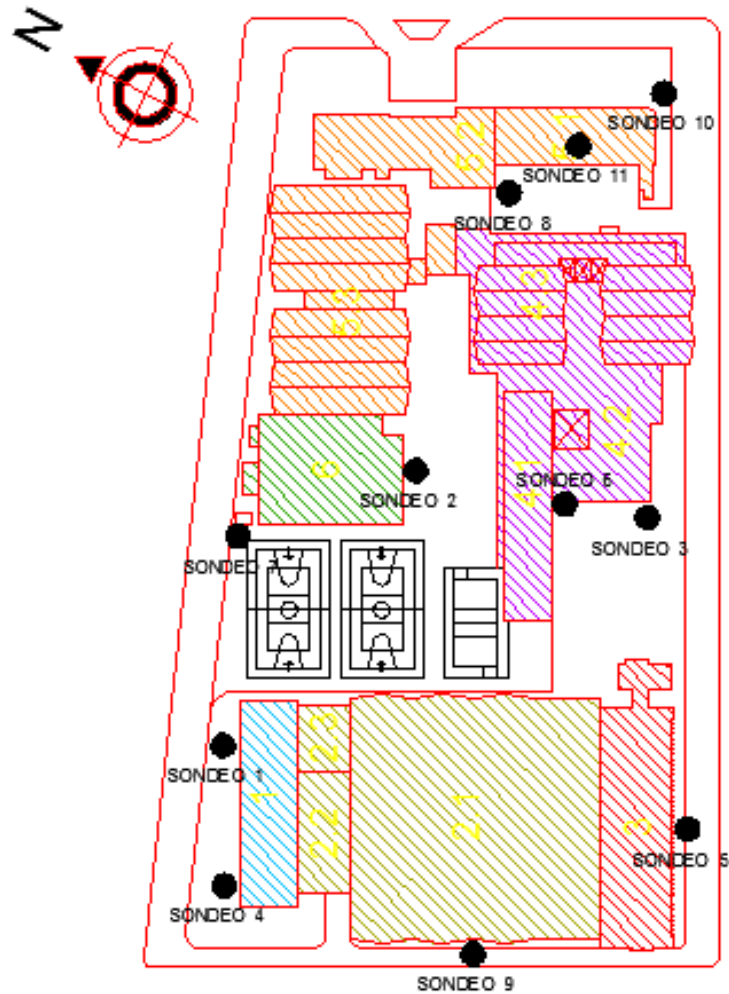


Figura 4-1 Localización de la Exploración Geotécnica


Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

4.1.2 Nivel Freático

La profundidad a la cual se reportó el nivel freático en cada una de las perforaciones se presentó en la **Tabla 4-1**.

De acuerdo con la exploración realizada, se registra el nivel freático a una profundidad entre 1.4 y 4.0 m, en algunos sondeos no se reporta la presencia de lámina de agua. En el sondeo S-1, S-3, S-8, S-9 y S-11 no se identifica la presencia tabla de agua, estas son algunas posibles razones para no identificar el nivel freático en las perforaciones enunciadas anteriormente:



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

- El nivel freático se encontraba a una profundidad superior a la profundidad de exploración.
- Presencia de lentes o capas de arenas que abaten localmente la tabla de agua.
- Condiciones particulares en cada punto de perforación que pueden generar abatimiento de la tabla de agua.
- Temperatura y pluviosidad en el momento de ejecución de los sondeos que pueden generar variaciones en la tabla de agua.

Para los análisis de licuación se utilizará el nivel freático reportado en cada sondeo durante la fase de exploración.

4.1.3 Pruebas de Campo

Durante la ejecución de los sondeos se realizaron ensayos in situ de penetración estándar (SPT) para establecer de forma aproximada la variación de resistencia del suelo y recuperar muestras alteradas de los diferentes materiales encontrados para definir cambios estratigráficos.


4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para determinar las propiedades de los materiales encontrados, se realizaron ensayos de caracterización física como humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, lavado sobre tamiz No. 200, contenido de materia orgánica y peso unitario, y ensayos de resistencia y deformabilidad como compresión inconfínada, consolidación unidimensional y corte directo en los materiales cohesivos. En la **Tabla 4-2** se relaciona la cantidad de ensayos ejecutados.

Tabla 4-2 Tipo y cantidad de ensayos de laboratorio realizados

TIPO DE ENSAYO	CANTIDAD
Humedad Natural	107
Límites de Consistencia	53
Lavado Tamiz No. 200	57
Peso Unitario	24
Compresión Inconfínada	11
Contenido de materia orgánica	4
Corte Directo Suelo Cohesivo	1
Expansión Unidimensional	1
Consolidación Unidimensional	5

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

De acuerdo con la norma NSR-10 el tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos, como ya se mencionó anteriormente se hicieron ensayos de caracterización física, de resistencia, esfuerzo-deformación y de compresibilidad. La cantidad de ensayos realizada es suficiente para una adecuada caracterización.

En el **ANEXO B** se presenta la tabla resumen y los ensayos de laboratorio ejecutados para el sitio de estudio.


4.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA

4.3.1 Descripción de las propiedades geotécnicas encontradas

A continuación se presenta una descripción detallada de las propiedades geotécnicas encontradas en la exploración del subsuelo, para los materiales existentes en el área de estudio.

Humedad natural y límites de consistencia: En el sitio de estudio predominan materiales finos de composición arcillosa con intercalaciones de arenas arcillosas y/o limosas. Para estos materiales, el contenido de humedad se encuentra entre el 11.1% y 103.3% con un promedio de 30.4%. El límite líquido varía entre el 28% y 87% con un promedio de 48.5%, y el límite plástico varía entre 17% y 38% con un promedio de 24.2%. De acuerdo con la carta de plasticidad de Casagrande, los ensayos muestran que estos materiales se clasifican como arcillas de baja y alta plasticidad (CL y CH) predominantemente y algunos limos de alta plasticidad (MH).

En la **Figura 4-2** se presenta la Carta de Plasticidad de Casagrande con los resultados de los ensayos de límites de consistencia. En la **Figura 4-3** se aprecian gráficas de variación del contenido de humedad, límite líquido y límite plástico en función de la profundidad, para algunos de los sondeos realizados. En el **ANEXO A** se presentan las demás figuras de variación de las propiedades índice con la profundidad. Con respecto al contenido de humedad, se aprecia como tendencia general un incremento de esta con la profundidad en los primeros 6 metros y luego esta decrece, sin embargo en algunos sondeos es posible que no se presente una tendencia muy clara y a diferentes profundidades se encuentren diversos valores de contenido de humedad de acuerdo con el tipo de material. En cuanto al límite líquido y al plástico, se aprecia como tendencia general que estos tienden a disminuir con la profundidad, sin embargo también es posible observar algunos valores que no corresponden exactamente con esta tendencia. El comportamiento de estos materiales es predominantemente plástico, y corresponde a arcillas de baja plasticidad (CL), con la presencia de algunas arcillas de alta plasticidad (CH) y algunas intercalaciones de arenas.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

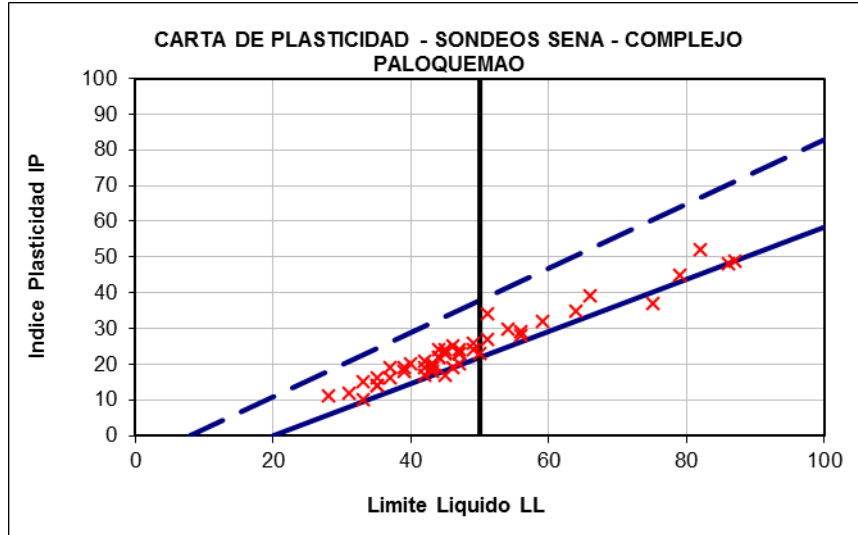


Figura 4-2 Carta de Plasticidad de Casagrande para los materiales encontrados en el sitio de estudio

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

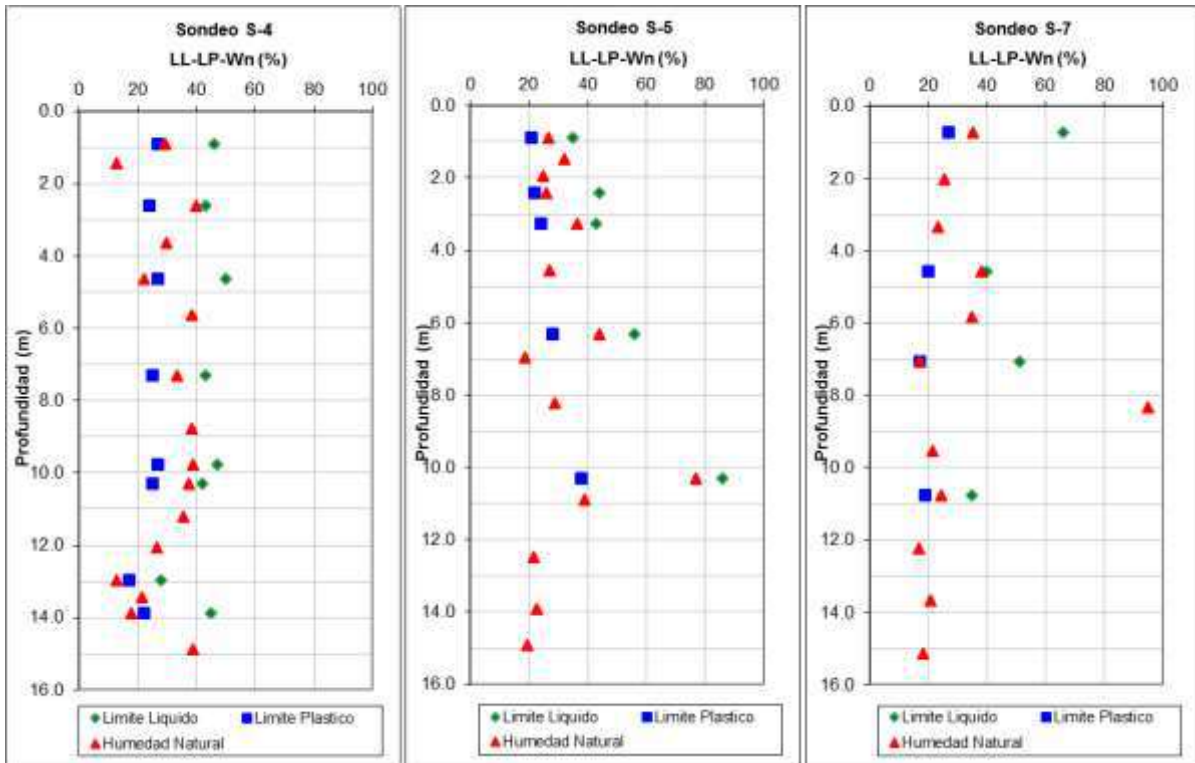



Figura 4-3 Variación de la humedad natural y límites de consistencia con la profundidad

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Características Granulométricas: Básicamente se hace énfasis en el contenido de gravas, arenas y finos.

En la **Figura 4-4** se aprecia la variación del contenido de gravas, arenas y finos en función de la profundidad, para una muestra de los sondeos realizados. En esta figura se puede observar el predominio de materiales de tamaño fino con alguna fracción de material de tamaño arenas, los finos tienden a disminuir con la profundidad y se incrementa el porcentaje de arenas. En los diferentes sondeos es posible observar las distintas combinaciones de tamaños de material. Las demás figuras de variación de gravas, arenas y finos se presentan en el **ANEXO A**.

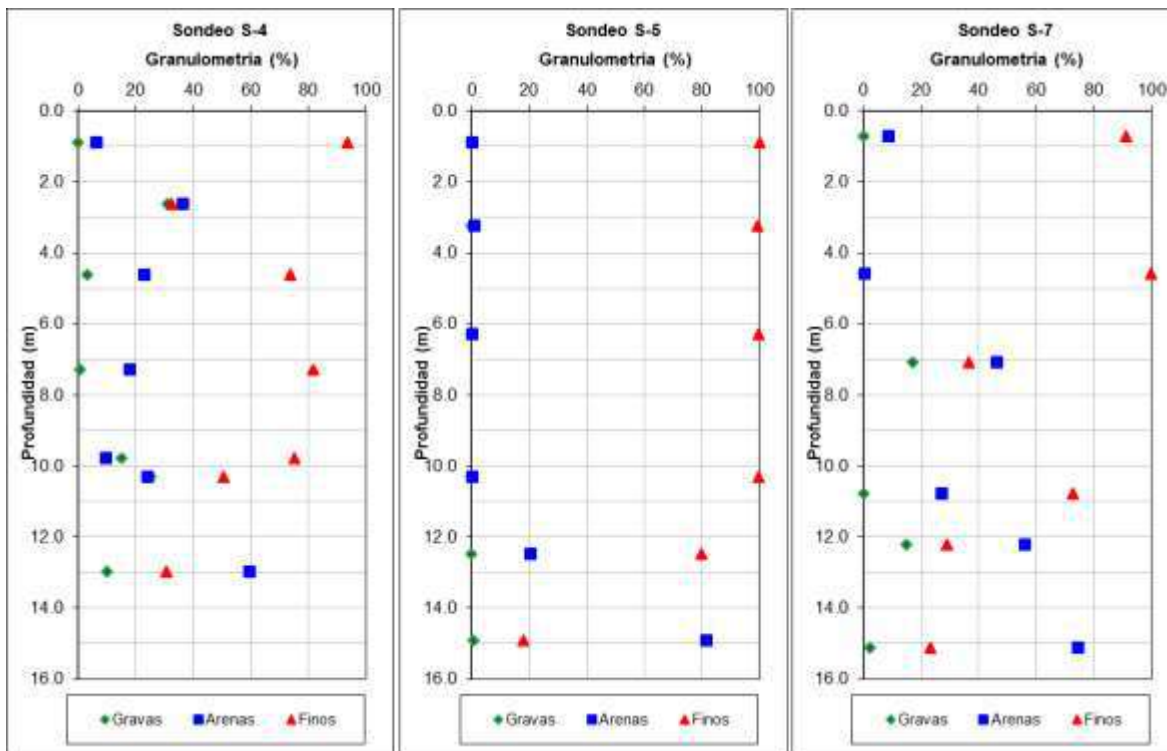


Figura 4-4 Variación del contenido de gravas, arenas y finos en función de la profundidad


Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

En general, se puede apreciar que predominan los materiales finos tipo arcilla con presencia de algunos niveles de arenas los cuales generalmente no presentan continuidad en el perfil de suelo.

Peso Unitario: Para los materiales identificados, el peso unitario total se encuentra entre 13.99 y 20.94 kN/m³, con un promedio de 18.55 kN/m³. El peso unitario seco se encuentra entre 6.88 y 17.13 kN/m³ con un promedio de 13.99 kN/m³.

Resistencia a la penetración estándar: Se tomó como referencia el número de penetración estándar N obtenido en campo. Los materiales registran valores de N entre 4



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

y 47 golpes/pie. Los valores relativamente bajos se presentan en los materiales arcillosos, mientras que los valores más altos se registran en los materiales granulares tipo arenas.

En la **Figura 4-5** se observa el comportamiento del número de golpes registrados en el ensayo de penetración estándar SPT en función de la profundidad, para una muestra de sondeos realizados a 16.0 m de profundidad. Las demás figuras de variación de resistencia a la penetración se presentan en el **ANEXO A**.

En general, se puede apreciar que los valores de resistencia a la penetración estándar son menores a los 20 golpes/pie, se aprecian algunos pocos valores mayores hacia los 12 m de profundidad que corresponden normalmente con materiales arenosos. Sin embargo, lo que se puede ver de forma general es una alta dispersión de los datos sin una tendencia muy clara.

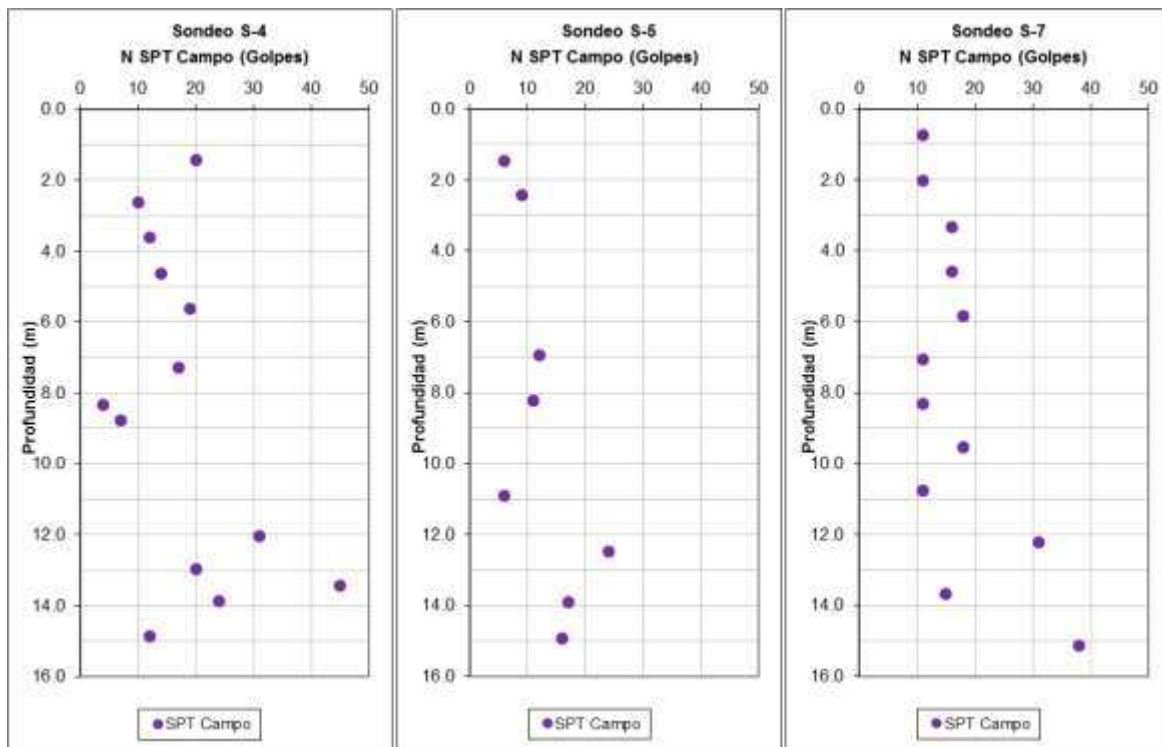



Figura 4-5 Variación de la resistencia a la penetración estándar en función de la profundidad

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

Resistencia a la compresión: En el sitio de estudio se realizaron ensayos de compresión confinada en los materiales finos. Además, donde no fue posible obtener muestras inalteradas para realizar este ensayo, se determinó a partir de la correlación con el número de penetración estándar N obtenido en campo. Para este caso, se utilizó la correlación propuesta por Stroud (1974):

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

$$3.5N_{Campo} < c_u < 6.5.N_{Campo} (kN/m^2)^1.$$

Para los materiales finos, la resistencia al corte no drenada (C_u), de acuerdo con los resultados de laboratorio tuvieron valores entre 4.6 y 109 kPa. Sin embargo, es importante aclarar que las muestras ensayadas seguramente fueron las de consistencia más blanda y que se pudo muestrear. En la **Figura 4-6** se aprecian los valores de resistencia al corte no drenado obtenidos en los ensayos de compresión inconfiada. Los valores obtenidos por correlación se muestran en la **Figura 4-7**, se puede ver que estos son comparables con los obtenidos en los ensayos de laboratorio. Se adopta un valor de 67.7 kPa.

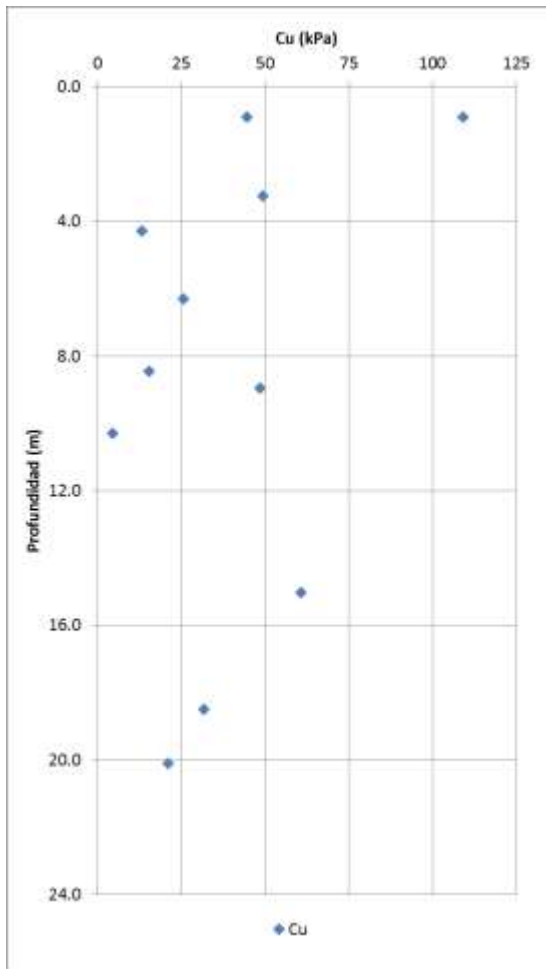


Figura 4-6 Resistencia al corte no drenada - ensayos de laboratorio

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

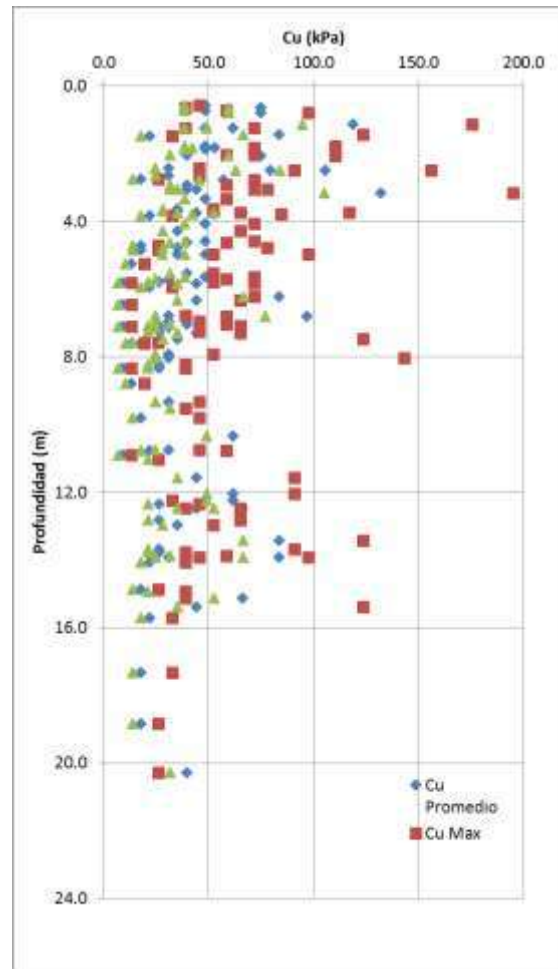



Figura 4-7 Resistencia al corte no drenada a partir de correlación con N

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

¹ Referenciado en: "Variabilidad espacial del ensayo de penetración estándar en los sedimentos volcánicos del subsuelo del centro-norte de la ciudad de Quito". Luis Patricio Ludeña Encalada. Barcelona. 2007.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

4.3.2 Perfil Geotécnico promedio

De acuerdo con los resultados obtenidos en la exploración del subsuelo, los ensayos de laboratorio y las observaciones de campo, se identifican 7 materiales en el sitio de estudio:


Material 1. Arcilla algo arenosa de color gris: Corresponde con arcilla algo arenosa de color gris, de consistencia blanda a firme y plasticidad baja. De acuerdo con el sistema de clasificación USCS, el material clasifica como CL. Se identificó en todas las perforaciones del área de estudio y es el material predominante en la profundidad explorada. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 12.8% - 56.8%.
- Límite Líquido (LL): 31.0% - 49.0%.
- Límite Plástico (LP): 18.0% - 27.0%.
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 0.0% - 25.2%
 - Arenas: 0.0% - 43.6%.
 - Finos: 50.5% - 100%.
- Peso unitario total (γ_t): 15.68 – 20.94 kN/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 10.46 – 17.13 kN/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 4 – 31 golpes/pie.
- Resistencia a la compresión inconfiada (q_u): 26.5 – 218.1 kPa.

Material 2. Arcilla de color gris alta plasticidad: Corresponde con arcilla de color gris, de consistencia blanda a firme y plasticidad alta. De acuerdo con el sistema de clasificación USCS, el material clasifica como CH. Se identificó en 8 de las 11 perforaciones del área de estudio, aparece en espesores no mayores a 0.7 m. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 22.1% - 74.1%.
- Límite Líquido (LL): 50.0% - 87.0%.
- Límite Plástico (LP): 24.0% - 38.0%.
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 0.0% - 9.7%
 - Arenas: 0.0% - 24.6%.
 - Finos: 65.8% - 100%.
- Peso unitario total (γ_t): 17.07 – 18.95 kN/m³.



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

- Peso unitario seco (γ_d): 11.37 – 13.93 kN/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 6 – 23 golpes/pie.
- Resistencia a la compresión inconfina (q_u): 51.3 kPa.


Material 3. Limo arenoso de color gris: Corresponde a limo arenoso de color gris, con bajo contenido de humedad, de consistencia media a firme y baja plasticidad. De acuerdo con el sistema de clasificación USCS, el material clasifica como ML. Se identificó en las perforaciones S-3, S-5 y S-6 hacia los 12 y 14 m de profundidad, no presenta continuidad en el área de estudio. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 16.6% - 26.5%.
- Límite Líquido (LL): 45%
- Límite Plástico (LP): 28%
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 0.0% - 6.0%
 - Arenas: 20.4% - 46.9%.
 - Finos: 53.1% - 79.6%.
- Peso unitario total (γ_t): 18.89 kN/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 15.53 kN/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 13 - 41 golpes/pie.

Material 4. Arena arcillosa de color gris: Corresponde a arena arcillosa de color gris de grano fino, compacidad suelta a media, la fracción fina del material es de baja plasticidad. De acuerdo con el sistema de clasificación USCS, el material clasifica como SC. Se identificó en las perforaciones S-4, S6, S-7, S-10 y S-11 generalmente después de los 10 m de profundidad. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 11.1% - 40.0%.
- Límite Líquido (LL): 28.0% y 51.0%.
- Límite Plástico (LP): 17.0% y 24.0%
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 5.6% - 36.8%
 - Arenas: 36.5% - 59.6%.
 - Finos: 25.2% - 36.5%.
- Resistencia a la penetración estándar N: entre 10 y 47 golpes/pie.

Material 5. Arcilla de color gris: Corresponde a arcilla de color gris oscuro con presencia de materia orgánica, alto contenido de humedad, de consistencia media. Se identificó en

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

las perforaciones S-6, S-7 y S-10 entre 8 y 13 m de profundidad con espesor de hasta 0.8 m. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:


- Humedad natural (w_n): 69.8% - 103.3%.
- Peso unitario total (γ_t): 13.99 – 16.12 kN/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 6.88 – 9.86 kN/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 11 – 15 golpes/pie.

Material 6. Limo de color gris de alta plasticidad: Corresponde con un limo de color gris, con contenido medio alto de humedad, consistencia media y alta plasticidad. De acuerdo con el sistema de clasificación USCS, el material clasifica como MH. Se identificó únicamente en las perforaciones S-5 y S-10 hacia los 10 m de profundidad con un espesor menor de 1.0 m. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 31.7% - 76.7%.
- Límite Líquido (LL): 75.0% y 86.0%
- Límite Plástico (LP): 38.0%
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 0.0%
 - Arenas: 0.3% - 0.7%.
 - Finos: 99.3% - 99.7%.
- Peso unitario total (γ_t): 15.25 kN/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 8.63 kN/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 15 golpes/pie.
- Resistencia a la compresión inconfinaada (q_u): 9.2 kPa.

Material 7. Arena limosa de grano fino de color gris: Corresponde a arena limosa de grano fino de color gris y marrón de compacidad suelta a media, la fracción fina del material es no plástica. De acuerdo con el sistema de clasificación USCS, el material clasifica como SM. Se identificó solamente en las perforaciones S-5, S-6, S-7 y S-11 a partir de los 12 m de profundidad. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 16.8% - 28.0%.
- Límite Líquido (LL): No líquido (NL).
- Límite Plástico (LP): No plástico (NP).
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 0.0% - 14.9%

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Arenas: 56.1% - 81.5%.

Finos: 18.1% - 40.9%.

- Peso unitario total (γ_t): 19.96 kN/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 16.15 kN/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 15 – 38 golpes/pie.

4.3.3 Parámetros de Resistencia al Corte

La determinación de los parámetros de resistencia al corte (cohesión c' y ángulo de fricción ϕ') se realizó a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de penetración estándar SPT, para los diferentes materiales encontrados en cada sondeo.

Los resultados del ensayo SPT fueron corregidos para tener en cuenta el confinamiento y la energía promedio aplicada, de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$N'_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

En donde:

N'_i : Número de golpes corregido, estandarizado para un esfuerzo de confinamiento = 1 Kg/cm² \approx 1 atmósfera = p_a , como función del parámetro R_s , definido para un determinado nivel de transmisión de energía como $R_s = \sigma'_v/p_a$

C_N : Factor de ajuste para tener en cuenta el nivel de confinamiento. Se evaluó de la siguiente manera:

$$C_N = 1 - 1.41 \log\left(\frac{R_s}{10}\right) \quad \text{Para } R_s < 1$$


$$C_N = 1 - 0.92 \log\left(\frac{R_s}{10}\right) \quad \text{Para } R_s > 1$$

$$C_N \leq 2$$

η_1 : Factor de corrección por caída del martillo. Se obtiene como la relación entre la energía impartida por el martillo a la parte superior del sistema de varillas y la energía teórica en caída libre. Las eficiencias medias son diferentes en cada país así, para Japón la eficiencia es del 72%, para USA del 60% y para Colombia del orden de 45%.

η_2 : Factor de corrección por longitud del sistema de varillas. Como las longitudes de varillaje fueron inferiores a 4.00 m, el factor de corrección es 1.0.

η_3 : Factor de corrección por presencia de revestimiento interno. Debido a que no se utilizó revestimiento, el factor de corrección es 1.0.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

η_4 : Factor de corrección por diámetro de la perforación. Los diámetros de las perforaciones fueron inferiores a 12 cm, por lo cual el factor de corrección es 1.0

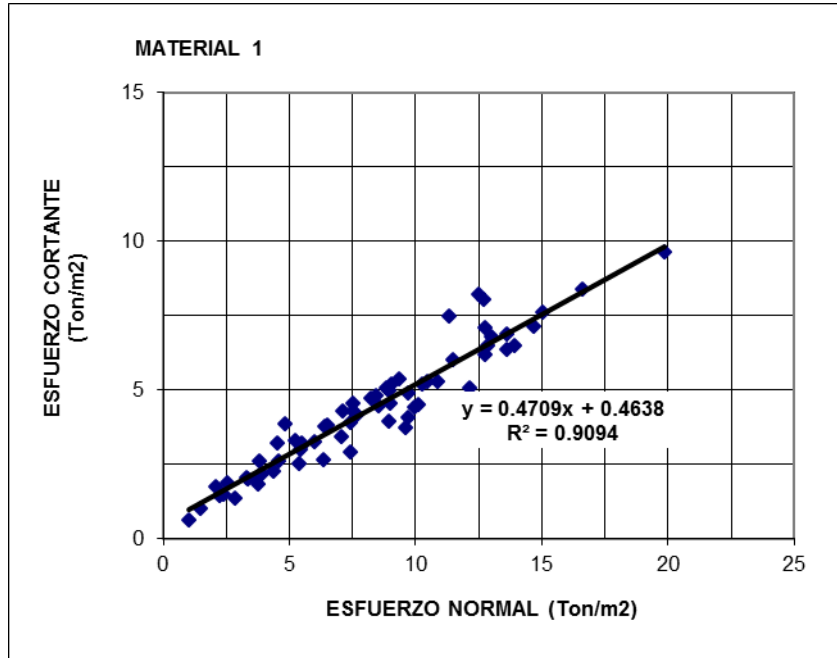
Para estimar los valores de ángulo de fricción equivalente (ϕ_{equiv}), se utilizó la siguiente expresión:

$$\phi_{equiv} = 15 + \sqrt{20.N'_i} \quad (\text{Kishida})$$


Con el valor de ϕ_{equiv} se calcularon los parámetros de c' y ϕ' para cada material, siguiendo la metodología propuesta por González A. J. (1999)² que consiste en graficar puntos (σ'_v , τ) en planos Mohr-Coulomb, donde los coeficientes obtenidos en una regresión lineal, corresponden a los parámetros geomecánicos efectivos buscados.

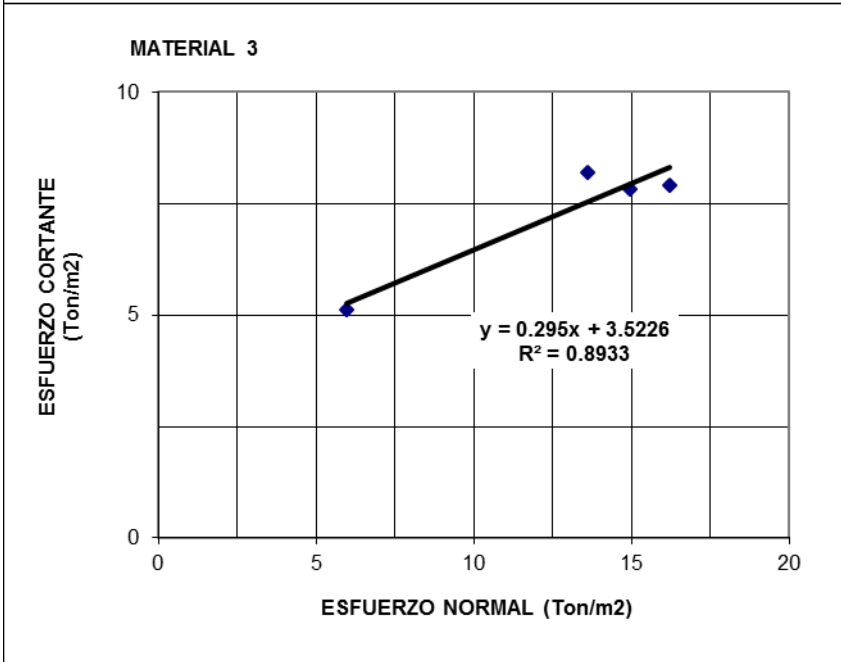
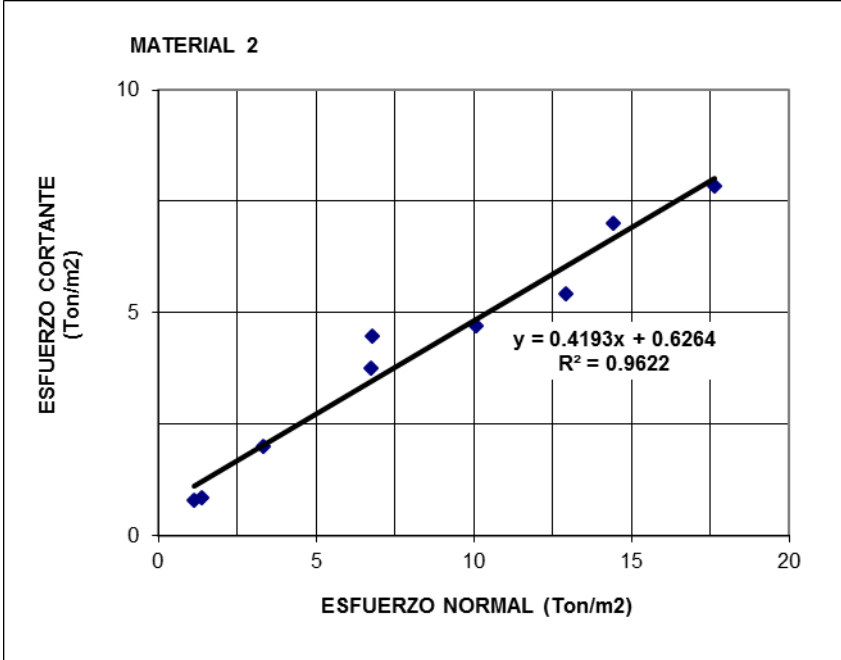
El esfuerzo efectivo vertical σ'_v , se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros, y el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, τ , se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente ϕ_{equiv} .

En el **ANEXO C** se presenta la tabla resumen de corrección de N del ensayo de penetración estándar y en la **Figura 4-8** se muestran curvas de variación τ vs σ'_v para los diferentes materiales encontrados en cada sondeo.



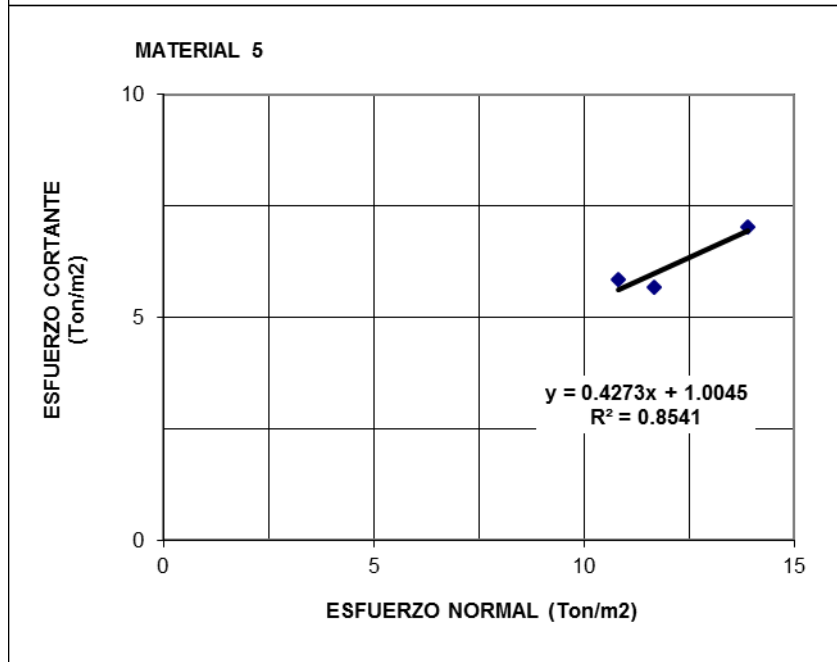
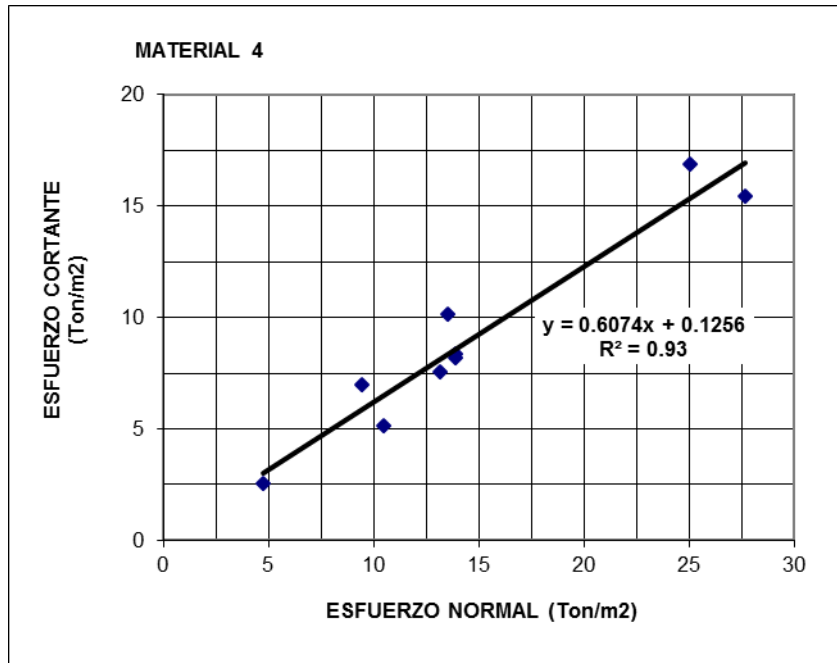
² Estimativo de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana – SCI – SCG.


ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4





Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

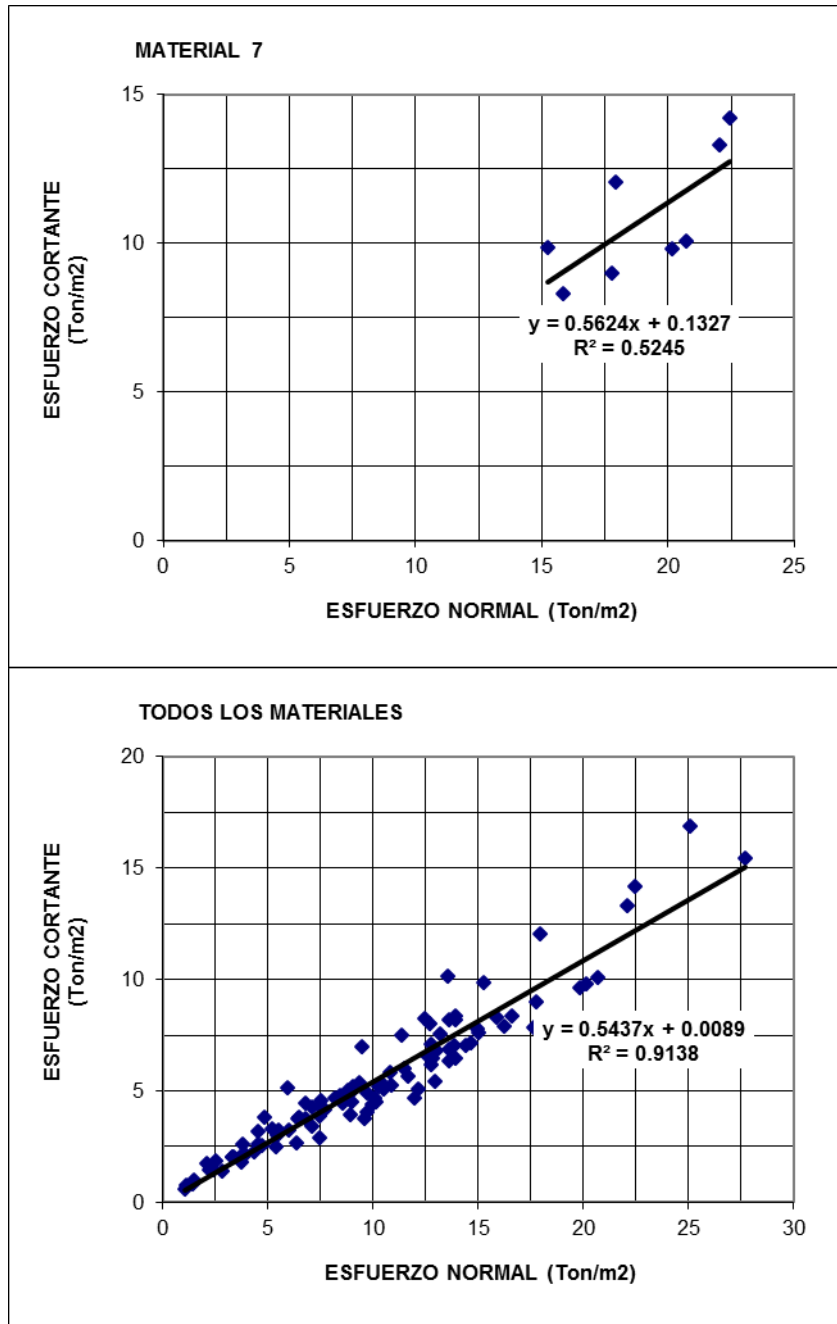



Figura 4-8 Evaluación de c y ϕ a partir de los valores de N del ensayo de SPT

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

En las curvas realizadas para cada material se aprecia un buen grado de correlación de la tendencia lineal, con un coeficiente de correlación superior al 90%.



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

En la **Tabla 4-3** se presentan los valores promedio de c' , ϕ' y C_u obtenidos para cada material, a partir de correlaciones del N de la prueba de penetración estándar y compresión inconfínada.

Tabla 4-3 Valores de cohesión y ángulo de fricción a partir de SPT³ y compresión inconfínada

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	C_u (kPa)	Tipo de Ensayo
Material 1	-	4.6	25.2	39.9	SPT
	17.3	13.0	20.0	67.7	Corte directo / Compresión inconfínada
Material 2	17.9	6.3	22.8	40.1	SPT
	18.0	-	-	25.7	Compresión inconfínada
Material 3	18.9	35.2	16.4	57.2	SPT
Material 4	-	1.3	31.3	-	SPT
Material 5	15.1	10.0	23.1	26.0	SPT
Material 6	-	-	27.7	31.0	SPT
	15.3	-	-	4.6	Compresión inconfínada
Material 7	19.9	1.3	29.4	-	SPT

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016


Para efectos de diseño se adoptan los parámetros que se listan en la **Tabla 4-4**.

Tabla 4-4 Parámetros de diseño

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	C_u ⁴ (kPa)	E (kPa)
Material 1	17.3	13.0	20.0	67.7	16900
Material 2	18.0	6.3	22.8	32.9	10300
Material 3	18.9	35.2	16.4	57.2	14000
Material 4	-	1.3	31.3	-	22000
Material 5	15.1	10.0	23.1	26.0	9000
Material 6	15.3	-	27.7	31.0	10000

³ Los valores de SPT reportados corresponden con un promedio de los valores de C_u calculados a partir de correlaciones.

⁴ Promedio entre valor determinado a partir de SPT y ensayo de compresión inconfínada.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Material	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	Cu^4 (kPa)	E (kPa)
Material 7	19.9	1.3	29.4	-	20000

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

4.4 CONDICIONES GEOTECNICAS ESPECIALES

4.4.1 Evaluación de expansión

De acuerdo con la NSR-10 todas las arcillas tienen de una forma u otra la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan nuevamente, según condiciones ambientales.

“Los daños que se registran en las edificaciones cimentadas superficialmente en suelos expansivos se manifiestan mediante fisuramientos, agrietamientos y giro de conjunto de los muros y elementos estructurales a causa de movimientos desiguales de sus cimientos”⁵

Para el presente estudio de suelos se hizo la identificación de la posible presencia de suelos con potencial de expansión siguiendo los criterios de laboratorio aceptados para el reconocimiento de suelos expansivos basados en altos valores de límite líquido, índice de plasticidad y bajos valores de límite de contracción.

Estos criterios se presentan en la **Tabla 4-5**.

Tabla 4-5 Clasificación de suelos expansivos


Potencial de expansión	Límite Líquido (%)	Límite de Contracción (%)	Índice de plasticidad (%)
Muy alto	>63	<10	>32
Alto	50-63	6-12	23-45
Medio	39-50	8-18	12-34
Bajo	<39	>13	<20

Fuente: Título H de la NSR-10

De la totalidad de los ensayos de límites de consistencia realizados para la caracterización de los materiales, se utilizó un total de 53 datos que resulta estadísticamente una muestra representativa para la evaluación del potencial de expansión de los materiales.

Inicialmente se hizo la calificación del potencial de expansión a partir del límite líquido y luego del índice de plasticidad, entre estas dos se escogió la que arrojó la mayor

⁵ Tomado del numeral H.9.1 de la NSR-10

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

calificación de potencial de expansión. Los resultados obtenidos fueron: en el rango muy alto estuvieron 7 datos que corresponde a un 13%, en el rango alto hubo 6 datos que representan un 12%, en el rango medio hubo 24 datos para un 45% y en el rango bajo hubo 16 datos para un 30%. En la **Figura 4-9** se presenta el resumen de la calificación de potencial de expansión.

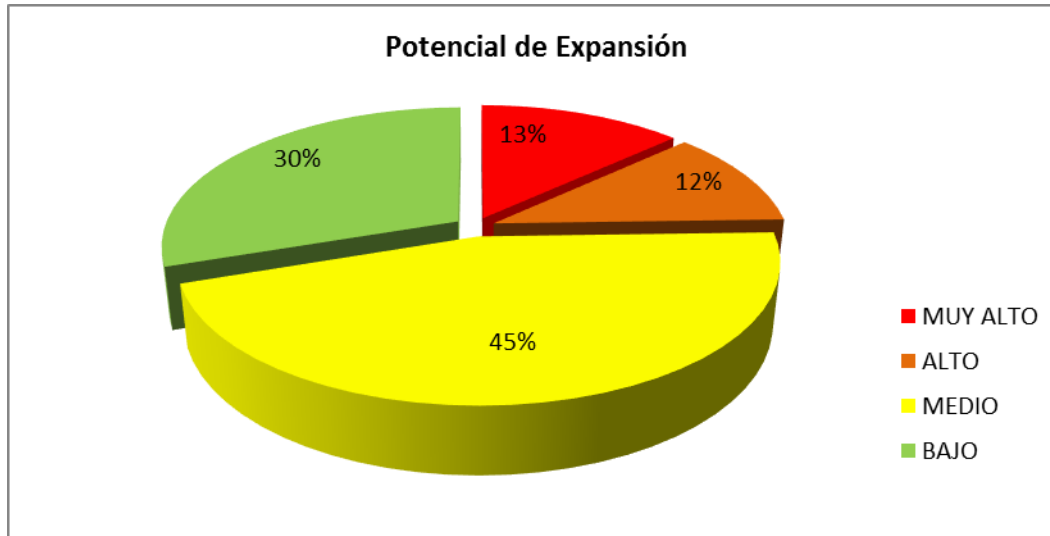


Figura 4-9 Resumen calificación potencial de expansión

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

Posteriormente, se realizó un ensayo de expansión libre sobre la muestra M1 del sondeo S4, la cual de forma cualitativa registraba un potencial de expansión medio. El resultado de la expansión libre fue de 2.72%, lo cual indica que los materiales tienen un potencial de expansión bajo.


En este sector de la ciudad no se tienen reportes de daños, ni la presencia de suelos expansivos que puedan afectar las cimentaciones de las estructuras del proyecto.

4.4.2 Evaluación de licuación

La licuación es un proceso que generalmente ocurre en suelos granulares saturados o cercanos al estado de saturación que tienden a densificarse cuando son sometidas a cargas cíclicas o monotónicas. Robertson & Fear (1995) resumen este comportamiento de falla como movilidad cíclica y flujo por licuación respectivamente.

De acuerdo con la NSR-10 existen varias características que permiten inferir si es posible que ocurra licuación en un depósito de suelo. A continuación se citan algunos apartes tomados de la NSR-10 indicativos de suelos susceptibles a licuación:


- a) El depósito de suelo debe estar saturado, o cerca de la saturación, para que ocurra la licuación.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

- b) Depósitos fluviales, coluviales, granulares, eólicos, cuando saturados, son susceptibles de licuación.
- c) Asimismo pueden clasificarse como licuables los depósitos de abanicos aluviales, planicies aluviales, playas, terrazas y estuarios.
- d) Son muy susceptibles a la licuación las arenas finas y arenas limosas, relativamente uniformes, con densidad suelta y media. Generalmente se producen grandes deformaciones del terreno y de las estructuras apoyadas, y pueden formar volcanes de arena en superficie con los correspondientes cambios volumétricos severos.
- e) Los limos, limos arcillosos y arcillas limosas, de baja plasticidad y con la humedad natural cercana al límite líquido, también son susceptibles de presentar licuación o falla cíclica. Generalmente se produce la degradación progresiva de la resistencia dinámica de los suelos finos con el número de ciclos de carga equivalente, llevándolos a la falla o generando grandes asentamientos del terreno y de las estructuras apoyadas en él.
- f) Cuando el depósito está en condición seca o con bajo grado de saturación, se genera un proceso de densificación con las consecuentes deformaciones permanentes del terreno y estructuras apoyadas en él.”

Se hizo la evaluación del potencial de licuación de suelos en los sondeos S-4 y S-6, aplicando del método de análisis de Idriss & Bolanger (2008).

En el **ANEXO D** se presentan las memorias de cálculo de la evaluación del potencial de licuación. De acuerdo con los resultados se concluye que los materiales no tienen potencial de licuación.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

5 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

5.1 CONDICIÓN ACTUAL DE LA CIMENTACIÓN

Teniendo en cuenta el tipo de estructuras existentes en la sede del Complejo Paloquehao del SENA y el perfil de suelo establecido en la exploración geotécnica para el sitio de estudio, se revisó la condición actual de la cimentación.

De acuerdo con los planos de diseño y los apiques realizados para la auscultación de las cimentaciones, se estableció que las estructuras se encuentran cimentadas de forma superficial mediante zapatas cuadradas y cimientos continuos. Las estructuras más importantes se cimentan a una profundidad de 1.10 m.

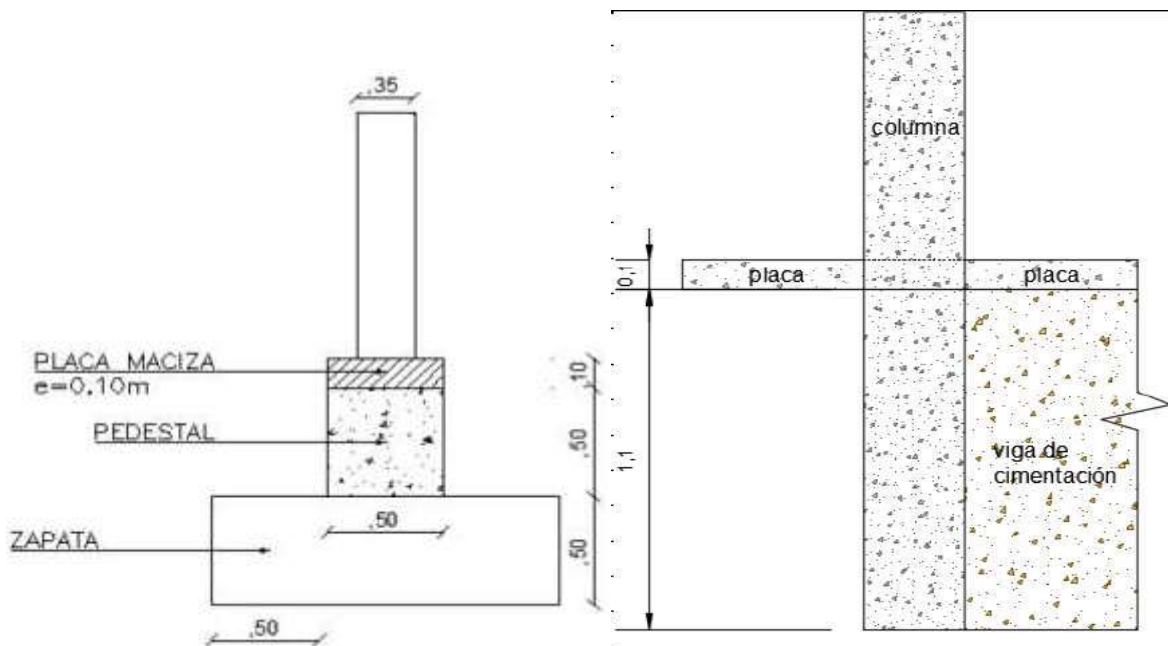



Figura 5-1 Esquema de la cimentación de las estructuras

5.2 EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE

Teniendo en cuenta las características de los materiales encontrados y la distribución de las cargas transmitidas por las estructuras existentes al suelo de fundación, se evalúa el sistema de cimentación superficial mediante zapatas cuadradas y cimientos continuos.

La evaluación de la capacidad portante se realizó para el nivel de cimentación actual, a partir de las propiedades geotécnicas encontradas para el material. Dado que el tipo de cimentación empleada es de tipo superficial, es adecuado utilizar el método propuesto por Terzaghi, el cual ofrece buenos resultados en este tipo de cimientos. También se utilizó el método de Meyerhof, el cual incluye factores de corrección por forma y profundidad de la cimentación.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

La expresión utilizada para el cálculo de capacidad portante de cimentaciones superficiales por el método de Meyerhof, se presenta a continuación:

Método de Terzaghi

$$Qu = 1.3.C.N_c + q.N_q + 0.4.\gamma.B.N_\gamma \text{ (cimiento cuadrado)}$$

$$Qu = C.N_c + q.N_q + 0.5.\gamma.B.N_\gamma \text{ (cimiento continuo)}$$

Método de Meyerhof

$$Qu = C.N_c.F_{cs}.F_{cd} + q.N_q.F_{qs}.F_{qd} + 0.5.\gamma.B.N_\gamma.F_{\gamma s}.F_{\gamma d}$$

Dónde:

- C : Cohesión del suelo
- γ : Peso unitario del suelo
- B : Ancho de la cimentación
- q : Sobrecarga del suelo sobre el nivel de cimentación ($\gamma.D_f$)
- N_i : Factores de capacidad de carga en función de ϕ (N_c, N_q, N_γ)
- ϕ : Angulo de fricción interno del suelo
- F_{is} : Factores de corrección por forma ($F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$)
- F_{id} : Factores de corrección por profundidad ($F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$)

Para la evaluación de capacidad portante, se utilizó una hoja de cálculo con el fin de obtener resultados con parámetros variables como el ancho de la cimentación, y generar ábacos de los cimientos en función de la magnitud de las cargas esperadas. Para la determinación de la capacidad portante admisible del suelo se empleó un factor de seguridad de 3.0.

Los parámetros geotécnicos utilizados para la evaluación de capacidad portante son:


- Resistencia al corte no drenada: 6.77 Ton/m² (67.7 kPa Material 1)
- Peso Unitario: 1.73 Ton/m³ (17.3 kN/m³ Material 1)

Parámetros de la Cimentación

- Nivel de Cimentación (Df): 1.1 m para zapatas cuadradas y 1.2 m para cimientos continuos.
- Ancho de cimentación (B): Variable.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de capacidad portante para una cimentación cuadrada y continua, utilizando el método de Terzaghi y Meyerhof.



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

5.2.1 Zapatas o cimientos cuadrados

Método de Terzaghi: La capacidad portante admisible para cimientos cuadrados es de 157.1 kPa (15.71 t/m²), para un ancho de cimentación comprendido entre 0.5 y 3.0 m, tal como se muestra en la **Tabla 5-1**.

Método de Meyerhof: La capacidad portante admisible se encuentra entre 166.2 kPa y 208.3 kPa, con un promedio de 183.9 kPa (18.39 t/m²), para un ancho de cimentación comprendido entre los 0.5 y 3.0 m, tal como se muestra en la **Tabla 5-2**.


Tabla 5-1 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos cuadrados por el método de Terzaghi

Cu (kPa)	ϕ (°)	B (m)	Df (m)	γ_1 (kN/m ³)	γ_2 (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	Qu (kPa)	Qadm (kPa)	Padm (kN)
67.7	0.0	0.50	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	39.3
67.7	0.0	0.75	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	88.4
67.7	0.0	1.00	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	157.1
67.7	0.0	1.25	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	245.5
67.7	0.0	1.50	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	353.6
67.7	0.0	1.75	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	481.2
67.7	0.0	2.00	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	628.5
67.7	0.0	2.25	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	795.5
67.7	0.0	2.50	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	982.1
67.7	0.0	3.00	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	471.4	157.1	1414.2

Tabla 5-2 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos cuadrados por el método de Meyerhof

Cu (kPa)	ϕ (°)	B (m)	Df (m)	γ_1 (kN/m ³)	γ_2 (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	Qu (kPa)	Qadm (kPa)	Padm (kN)
67.7	0.0	0.50	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	625.0	208.3	52.1
67.7	0.0	0.75	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	596.4	198.8	111.8
67.7	0.0	1.00	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	573.2	191.1	191.1
67.7	0.0	1.25	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	581.0	193.7	302.6
67.7	0.0	1.50	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	556.6	185.5	417.5
67.7	0.0	1.75	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	539.2	179.7	550.5
67.7	0.0	2.00	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	526.2	175.4	701.5
67.7	0.0	2.25	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	516.0	172.0	870.7
67.7	0.0	2.50	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	507.9	169.3	1058.1
67.7	0.0	3.00	1.10	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	495.7	165.2	1487.0

Para efectos de diseño se puede tomar un valor de capacidad portante admisible de 180 kPa (18.0 t/m²). En la **Figura 5-2** se muestra la variación de la capacidad portante para diferentes valores del ancho de la cimentación.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

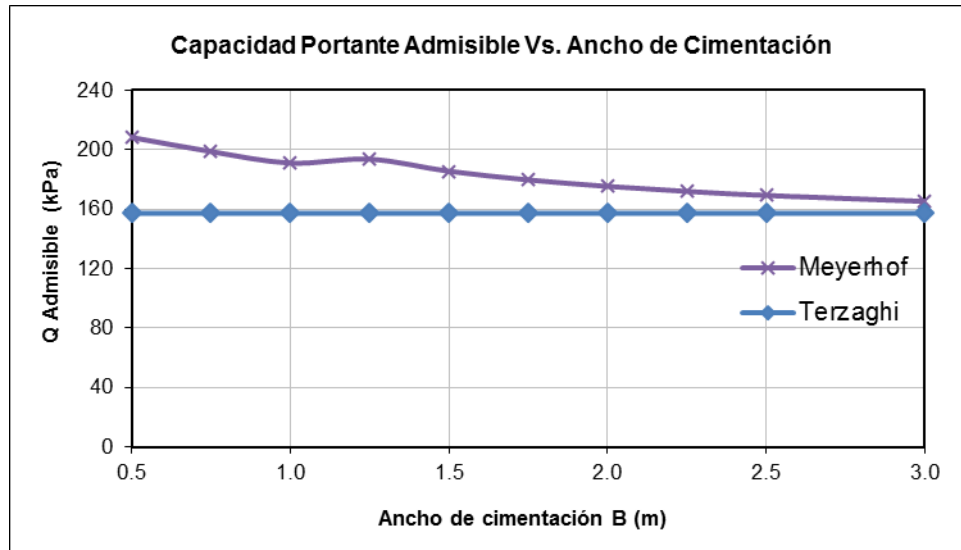


Figura 5-2 Variación de la Capacidad Portante con el ancho B – cimientos cuadrados

5.2.2 Cimientos Continuos

Método de Terzaghi: La capacidad portante admisible para cimientos continuos es de 122.9 kPa (12.29 t/m²), para un ancho de cimentación comprendido entre 0.5 y 3.0 m, tal como se muestra en la **Tabla 5-3**.

Método de Meyerhof: La capacidad portante admisible se encuentra entre 144.1 kPa y 178.0 kPa, con un promedio de 159.4 kPa (15.94 t/m²), para un ancho de cimentación comprendido entre los 0.5 y 3.0 m, tal como se muestra en la **Tabla 5-4**.

Tabla 5-3 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos continuos por el método de Terzaghi

Cu (kPa)	ϕ (°)	B (m)	Df (m)	γ_1 (kN/m ³)	γ_2 (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	Qu (kPa)	Qadm (kPa)	Padm (kN/m)
67.70	0.00	0.50	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	61.5
67.70	0.00	0.75	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	92.2
67.70	0.00	1.00	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	122.9
67.70	0.00	1.25	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	153.6
67.70	0.00	1.50	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	184.4
67.70	0.00	1.75	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	215.1
67.70	0.00	2.00	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	245.8
67.70	0.00	2.25	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	276.6
67.70	0.00	2.50	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	307.3
67.70	0.00	3.00	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	368.7	122.9	368.7


ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Tabla 5-4 Resultados de la evaluación de capacidad portante para cimientos continuos por el método de Meyerhof

Cu (kPa)	ϕ (°)	B (m)	Df (m)	γ_1 (kN/m ³)	γ_2 (kN/m ³)	Nc	Nq	N γ	Qu (kPa)	Qadm (kPa)	Padm (kN/m)
67.70	0.00	0.50	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	534.1	178.0	89.0
67.70	0.00	0.75	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	512.0	170.7	128.0
67.70	0.00	1.00	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	493.7	164.6	164.6
67.70	0.00	1.25	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	506.3	168.8	210.9
67.70	0.00	1.50	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	484.6	161.5	242.3
67.70	0.00	1.75	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	469.2	156.4	273.7
67.70	0.00	2.00	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	457.8	152.6	305.2
67.70	0.00	2.25	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	449.1	149.7	336.9
67.70	0.00	2.50	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	442.3	147.4	368.6
67.70	0.00	3.00	1.20	17.30	17.30	5.14	1.00	0.00	432.3	144.1	432.3

Para efectos de diseño se puede tomar un valor de capacidad portante admisible de 160 kPa (16.0 t/m²). En la Figura 5-3 se muestra la variación de la capacidad portante para diferentes valores del ancho de la cimentación.

Se aclara que la evaluación de capacidad portante se hizo para cargas verticales transmitidas por la estructura existente al suelo de fundación. En el caso de que se tengan cargas excéntricas o inclinadas en la estructura, se deben aplicar los correspondientes factores de corrección para diseñar adecuadamente la cimentación.

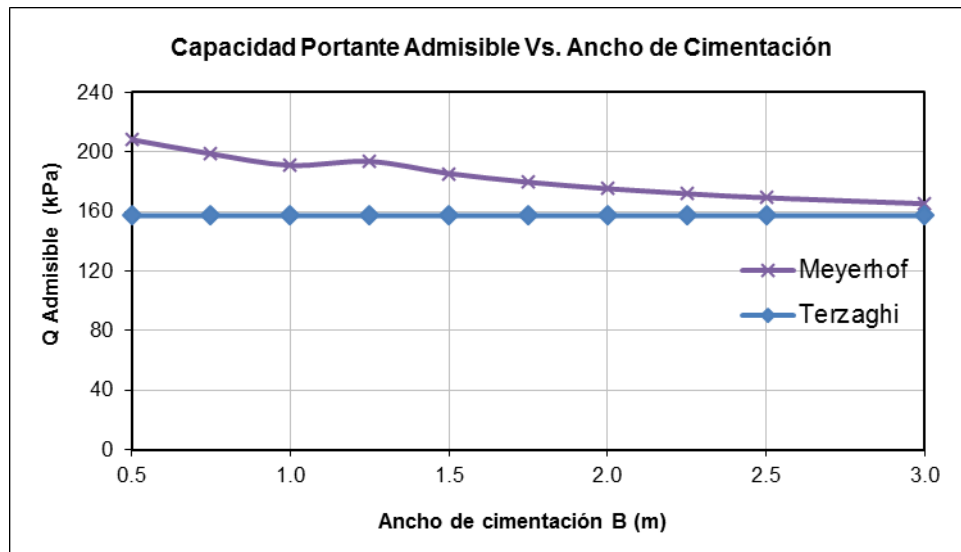



Figura 5-3 Variación de la Capacidad Portante con el ancho B – cimientos cuadrados

5.3 CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Solo se evaluarán los asentamientos inmediatos bajo el nivel de cimentación. De acuerdo con las condiciones observadas en campo, no se espera la generación de asentamientos por consolidación debido a que las estructuras fueron construidas entre los años 1965 y 1971, aproximadamente 50 años, tiempo en el cual ya ocurrieron estos asentamientos.



ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Para este caso, se empleó la metodología propuesta por Harr para el cálculo de asentamientos inmediatos en cimentaciones superficiales rígidas, los cuales se hallan por medio de la siguiente expresión:

$$S_e = \frac{B \cdot q_o}{E_s} \cdot (1 - \mu_s^2) \cdot \alpha_r \quad (\text{centro de la cimentación})$$

Dónde:

- B : Ancho de la cimentación
- q : Esfuerzo de sobrecarga (Capacidad portante recomendada)
- μ_s : Relación de Poisson
- E_s : Módulo de elasticidad en condición confinada
- α_r : Factor de influencia para cimentación rígida

Los parámetros de deformación utilizados para la evaluación de los asentamientos inmediatos son:


- Módulo de Elasticidad (E_s): 16900 kPa para los materiales bajo la cimentación.
- Relación de Poisson (μ_s): 0.35 (asumida)
- Esfuerzo de sobrecarga (q_o): 180 kPa (zapatas cuadradas) y 160 kPa (cimientos continuos).
- Ancho de cimentación: Variable.

5.1.4 Cimentación Cuadrada

Para una cimentación cuadrada rígida, los asentamientos inmediatos varían entre 4.6 mm y 27.7 mm, en un ancho de cimentación comprendido entre los 0.5 m y 3.0 m. Ver **Tabla 5-5**.

Tabla 5-5 Evaluación de asentamientos inmediatos para una cimentación cuadrada

B (m)	Qapl. (kPa)	Es (kPa)	μ_s	L/B	α_r	Se (mm)
0.50	180	16900	0.35	1.00	0.988	4.6
0.75	180	16900	0.35	1.00	0.988	6.9
1.00	180	16900	0.35	1.00	0.988	9.2
1.25	180	16900	0.35	1.00	0.988	11.5
1.50	180	16900	0.35	1.00	0.988	13.8
1.75	180	16900	0.35	1.00	0.988	16.2
2.00	180	16900	0.35	1.00	0.988	18.5
2.25	180	16900	0.35	1.00	0.988	20.8
2.50	180	16900	0.35	1.00	0.988	23.1
3.00	180	16900	0.35	1.00	0.988	27.7

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera que los valores de capacidad portante calculados en el numeral anterior son adecuados y el dimensionamiento de esta cimentación se puede realizar con estos valores para un ancho de hasta 3.0 m. Para la distribución de cargas estructurales del proyecto, los asentamientos inmediatos esperados estarán del orden de los 11.5 mm.

En la **Figura 5-4** se muestra la variación de los asentamientos inmediatos para diferentes valores del ancho de la cimentación.

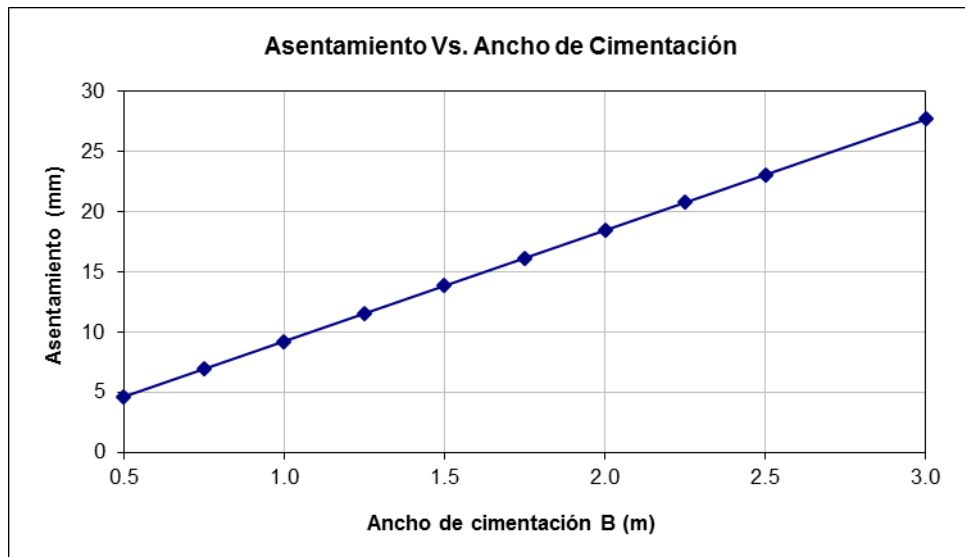



Figura 5-4 Variación de los asentamientos inmediatos con el ancho B - cimientos cuadrados

5.1.5 Cimientos Continuos

Para una cimentación continua rígida, los asentamientos inmediatos varían entre 12.5 mm y 50.2 mm, en un ancho de cimentación comprendido entre 0.5 y 3.0 m. Ver **Tabla 5-6**.

Tabla 5-6 Evaluación de asentamientos inmediatos para una cimentación continua

B (m)	Qadm (kPa)	Es (kPa)	μ_s	L/B	α_r	Se (mm)
0.50	160	16900	0.35	40.00	3.015	12.5
0.75	160	16900	0.35	26.67	2.788	17.4
1.00	160	16900	0.35	20.00	2.627	21.8
1.25	160	16900	0.35	16.00	2.502	26.0
1.50	160	16900	0.35	13.33	2.400	29.9
1.75	160	16900	0.35	11.43	2.314	33.6
2.00	160	16900	0.35	10.00	2.239	37.2
2.25	160	16900	0.35	8.89	2.173	40.6
2.50	160	16900	0.35	8.00	2.114	43.9
3.00	160	16900	0.35	6.67	2.012	50.2

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

De acuerdo con los resultados obtenidos, se considera que los valores de capacidad portante calculados son adecuados y el dimensionamiento de esta cimentación se puede realizar con estos valores para un ancho de hasta 1.0 m. Para efectos de diseño, se debe tomar un valor de capacidad portante de 160 kPa (16.0 t/m²), con lo cual se obtienen asentamientos inmediatos del orden de 15 mm para el cimiento tipo más cargado de la edificación.

En la **Figura 5-5** se muestra la variación de los asentamientos inmediatos para diferentes valores del ancho de la cimentación.

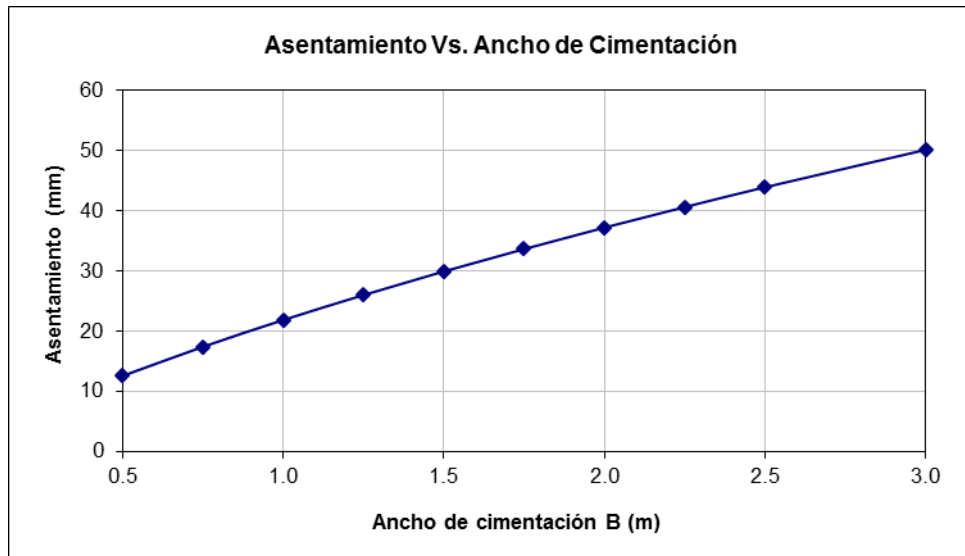



Figura 5-5 Variación de los asentamientos inmediatos con el ancho B - cimientos continuos

5.4 EJECUCIÓN DE CORTES Y RELLENOS

Teniendo en cuenta la topografía del sitio de estudio y el nivel de cimentación, no se espera la generación de taludes de corte permanentes. Para algunas intervenciones que eventualmente se puedan requerir se plantea el recalce de algunos cimientos por lo tanto es posible que se requiere la ejecución de excavaciones temporales no mayores a 1.5 m de altura y éstos pueden hacerse verticales, aunque de cualquier manera es importante que el tiempo de exposición al medio ambiente sea mínimo.

En cuanto a los rellenos, se deben realizar con material tipo recebo cumpliendo con los requisitos estipulados en el Artículo 300 de las Especificaciones Generales de Construcción del Invias, compactado al 95% mínimo de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado. Para la colocación de estos materiales se recomienda previamente realizar el retiro del material orgánico.

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

5.5 MEDIDAS DE PROTECCIÓN PARA CONSTRUCCIONES VECINAS

La intervención en las estructuras actuales posiblemente esté orientada a la ampliación de algunas secciones de columnas, la cual será definida en el informe estructural del estudio de reforzamiento. Teniendo en cuenta que las diferentes construcciones que conforman el Complejo Paloquemao se encuentran en predios del SENA no requiere la implementación de medidas de protección para construcciones vecinas.

Otras estructuras serán reforzadas pero se encuentran suficientemente alejadas de sus vecinas, por lo tanto no requieren de medidas de protección para edificaciones vecinas.

5.6 ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN

De acuerdo con las características del proyecto no se tiene prevista la construcción de estructuras de contención. Sin embargo, en el evento de requerirse la construcción de una estructura enterrada como por ejemplo un tanque, se recomienda la utilización de los siguientes parámetros de presiones de tierras, los cuales se determinan mediante las ecuaciones que se muestran a continuación:

Ecuación de Jaki para coeficiente de Presión en Reposo

$$K_o = 1 - \text{sen}\phi$$

Donde, ϕ = Ángulo de fricción interna del suelo (25.2°)

El valor obtenido a partir de Coeficiente de presión de tierra en reposo (K_o): **0.57**

Ecuación de Rankine para coeficiente de Presión activa (para un ángulo de inclinación del talud $\beta=0^\circ$)

$$K_a = \tan^2(45 - (\phi/2))$$


El valor obtenido de Coeficiente de presión activa de Rankine (K_a): **0.40**

Ecuación de Rankine para coeficiente de Presión pasiva (para un ángulo de inclinación del talud $\beta=0^\circ$)

$$K_p = \tan^2(45 + (\phi/2))$$

El valor obtenido de Coeficiente de presión pasiva de Rankine (K_p): **2.48**

Para los valores de coeficientes en condiciones seudoestáticas se utilizan las siguientes formulas:

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

<i>Müller-Breslau</i> Estático $\psi = 0$	$K_A = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi')}{D_A \text{sen}^2 \alpha \text{sen}(\alpha - \delta')}$ $D_A = \left[1 + \frac{\text{sen}(\phi' + \delta') \text{sen}(\phi' - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta') \text{sen}(\alpha + \beta)} \right]^2$	$K_P = \frac{\text{sen}^2(\alpha - \phi')}{D_P \text{sen}^2 \alpha \text{sen}(\alpha + \delta')}$ $D_P = \left[1 - \frac{\text{sen}(\phi' + \delta') \text{sen}(\phi' + \beta)}{\text{sen}(\alpha + \delta') \text{sen}(\alpha + \beta)} \right]^2$
<i>Mononobe-Okabe</i> Análisis pseudo-estático $c' = 0$	$K_A = \frac{(1 - a_v) \text{sen}^2(\alpha + \phi' - \psi)}{D_A \cos \psi \text{sen}^2 \alpha \text{sen}(\alpha - \delta' - \psi)}$ $D_A = \left[1 + \frac{\text{sen}(\phi' + \delta') \text{sen}(\phi' - \beta - \psi)}{\text{sen}(\alpha - \delta' - \psi) \text{sen}(\alpha + \beta)} \right]^2$	Usese K_P según Müller-Breslau
<i>Empuje total</i> $c' = 0$	$P_A = K_A \frac{\gamma H^2}{2} - 2 c' H \sqrt{K_A}$	$P_P = K_P \frac{\gamma H^2}{2} + 2 c' H \sqrt{K_P}$

Donde:

$$\beta < (\phi' - \psi)$$

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{a_h}{1 - a_v} \right)$$

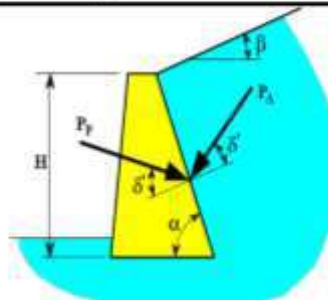
β = ángulo del terreno con la horizontal

α = ángulo de la cara del muro con la horizontal

δ' = ángulo de las fuerzas con la normal a la cara del muro

a_h = aceleración horizontal del terreno, debida al sismo

a_v = aceleración vertical del terreno, debida al sismo



Coefficiente de presión activa seudoestática de Rankine (K_{ae}): 0.49

Coefficiente de presión pasiva seudoestática de Rankine (K_{pe}): 4.03

5.7 CONDICIONES SÍSMICAS

De acuerdo con el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (2010), el sitio de estudio se encuentra en la zona de respuesta sísmica de transición entre Aluvial 100 y Aluvial 200, con un A_a (coeficiente de aceleración pico efectiva) de 0.15 g, que corresponde a un periodo de retorno de 100 años, según el Decreto 523 de 2010.

En la **Figura 5-6** se presenta la consulta realizada a la página Web del SIRE, para la definición de información espectral.

Los efectos de sitio relacionados con la zona identificada como Aluvial 100 y Aluvial 200 son amplificación y licuación.


ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4



Figura 5-6 Información espectral

Fuente: www.sire.gov.co

5.7.1 Espectro de Microzonificación Sísmica

De acuerdo con el informe de vulnerabilidad, en la **Tabla 5-7** y en la **Tabla 5-8** se presentan los coeficientes espectrales de diseño para la zona de transición entre Aluvial 100 y Aluvial 200 y en la **Figura 5-7** se presenta la gráfica de aceleración espectral vs período estructural que corresponde al espectro promedio de diseño.

Tabla 5-7 Espectros sísmicos de diseño Aluvial 100

PARA-METRO	VALOR	DESCRIPCION (ALUVIAL 100)
Aa=	0.15 g	Aceleración horizontal pico efectiva de diseño
Av=	0.20 g	Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño
Ao=	0.18 g	Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie
Fa=	1.20	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos
Fv=	2.10	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios
I=	1.00	Coefficiente de importancia (Deriva)
I=	1.25	Coefficiente de importancia (Diseño)
Tc=	1.12 s	Periodo corto
Tl=	3.50 s	Periodo largo
Sa=	0.563	Aceleración espectral (g)
T=	2.86	Periodo de vibración (s) NSR-10

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016


ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

Tabla 5-8 Espectros sísmicos de diseño Aluvial 200

PARA-METRO	VALOR	DESCRIPCION (ALUVIAL 200)
Aa=	0.15 g	Aceleración horizontal pico efectiva de diseño
Av=	0.20 g	Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño
Ao=	0.16 g	Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie
Fa=	1.05	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos
Fv=	2.10	Coefficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios
I=	1.00	Coefficiente de importancia (Deriva)
I=	1.25	Coefficiente de importancia (Diseño)
Tc=	1.28 s	Periodo corto
Tl=	3.50 s	Periodo largo
Sa=	0.492	Aceleración espectral (g)
T=	2.86	Periodo de vibración (s) NSR-10

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

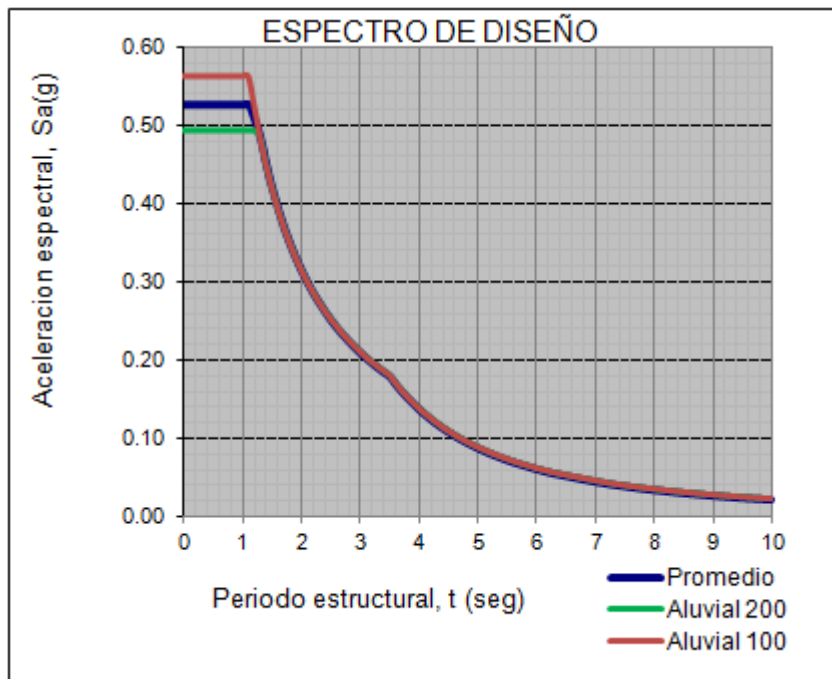



Figura 5-7 Aceleración espectral vs Período estructural

Fuente: Técnicas Colombianas de Ingeniería, 2016

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de las observaciones de campo, exploración y análisis geotécnicos realizados para el estudio de vulnerabilidad sísmica, estructural de las edificaciones del Complejo Paloquemao del SENA, ubicadas en la Avenida Carrera 30 # 15-53, localidad 16 de Puente Aranda en la ciudad de Bogotá.

De acuerdo con el mapa geológico de la ciudad, la zona de estudio se encuentra sobre depósitos que corresponden a los complejos de conos o abanicos (Qcc). Estos depósitos están constituidos por capas de arcilla plástica gris y verde, con intercalaciones de lentes de arena y gravas.


A partir del Decreto 523 de 2010 el sitio de estudio se ubica en la zona geotécnica Aluvial. La geología asociada a esta zona geotécnica corresponde a a terraza baja aluvial y complejo de conos aluviales, la geomorfología asociada corresponde a planicie. Los efectos de sitio relacionados a esta zona son de amplificación y licuación.

En la tabla mostrada a continuación se presenta, el resumen del tipo de sondeos, la profundidad explorada y profundidad a la cual se reportó el nivel freático en el momento de ejecución de la exploración geotécnica.

SONDEO	TIPO	PROFUNDIDAD (m)	NIVEL (m)	NIVEL FREÁTICO (m)
S-1	MANUAL	6.8	+0.00	n.e
S-2	MANUAL	6.7	+0.00	1.4
S-3	MANUAL	7.3	+0.00	n.e
S-4	MÉCANICO	14.65	+0.00	3.2
S-5	MÉCANICO	14.7	+0.00	2.12
S-6	MÉCANICO	20.05	+0.00	3.0
S-7	MÉCANICO	14.9	+0.00	4.0
S-8	MANUAL	7.0	+0.00	n.e
S-9	MANUAL	7.7	+0.00	n.e
S-10	MECÁNICO	14.8	+0.00	4.0
S-11	MECÁNICO	19.8	+0.00	n.e

Para los análisis de licuación se utilizó el nivel freático reportado en los sondeos durante la fase de exploración.

Al revisar la condición actual de la cimentación en las edificaciones del Complejo Paloquemao del SENA, se encontró que las estructuras están cimentadas a una profundidad entre 1.1 y 1.2 m, sobre arcilla algo arenosa de color gris de consistencia

ESTUDIO DE SUELOS	 Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.	Versión 2: Mayo de 2016
		Cto. 937 de 2015 Estudios de vulnerabilidad sísmica y los diseños de reforzamiento estructural de los elementos estructurales y no estructurales con fundamento en el reglamento colombiano de diseño y construcción sísmo resistente NSR-10 de edificaciones del SENA Fase 3, localizadas en la ciudad de Bogotá D.C., ubicada en zona de amenaza sísmica intermedia, en los grupos 1,2,3 y 4

blanda a firme y plasticidad baja. En cuanto a su configuración estructural, se puede apreciar que estos cimientos se componen principalmente de un sistema de zapatas aisladas en concreto de ancho 1.5 m.

Desde el punto de vista geotécnico, se puede decir que este tipo de cimentación es adecuada para transmitir las cargas de servicio de las estructuras existentes al suelo de fundación.

La capacidad portante admisible (Q_{adm}) obtenida en zapatas aisladas (cuadradas) en concreto de 0.5 a 3 m de ancho, es de 180 kPa y de 160 kPa para cimientos corridos.

El asentamiento calculado es de 11.5 mm, el cual ya seguramente se ha presentado durante la vida útil de las estructuras. En el evento de un reforzamiento los asentamientos que pueden llegar a presentarse serán mínimos.

Se realizaron análisis de licuación donde se pudo concluir que el suelo no es susceptible a este fenómeno.

7 LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones del presente informe están basadas en los resultados obtenidos a partir de la información recopilada, investigación del subsuelo y ensayos de laboratorio ejecutados.

La información de exploración y laboratorio corresponde a sitios puntuales, por lo tanto, los perfiles geotécnicos obtenidos son aproximados y establecidos de acuerdo a los perfiles de cada sondeo.

En caso de encontrarse alguna situación particular que no se haya tenido en cuenta en el presente informe, se debe informar inmediatamente a TÉCNICAS COLOMBIANAS DE INGENIERÍA - TCI, para realizar las aclaraciones y/o modificaciones oportunas para el buen desarrollo del proyecto.