



SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE

CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 787 DE 2014

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 A NIVEL NACIONAL, UBICADAS EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA ALTA E INTERMEDIA FASE 2

INFORME ESTUDIO DE SUELOS

**SENA GIRÓN - CENTRO INDUSTRIAL DEL MANTENIMIENTO INTEGRAL
CÓDIGO: 9224 DIRECCIÓN: Km 7 PALENQUE VIA RINCON DE GIRÓN**

**VERSIÓN 1
ORIGINAL**

**BOGOTÁ D.C., MAYO DE 2015
TÉCNICAS COLOMBIANAS DE INGENIERÍA S.A.S.**

| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

HOJA DE CONTROL

| ENTIDAD | RESPONSABLE | EJEMPLARES |
|---------|-------------|------------|
| SENA | | |
| | | |
| | | |

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

| ÍNDICE VERSIÓN | SECCIÓN MODIFICADA | FECHA DE MODIFICACIÓN | OBSERVACIONES |
|----------------|--------------------|-----------------------|---------------|
| 0 | | 17/02/2015 | |
| 1 | | 15/05/2015 | |

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

| | | | | | |
|--|---|---------------------------|---------------|---------------|--|
| TITULO DOCUMENTO: | | INFORME ESTUDIO DE SUELOS | | | |
| DOCUMENTO No: | | No. 1 | | | |
| A P R O B A C I Ó N | NUMERO DE REVISIÓN | | 0 | 1 | |
| | RESPONSABLE POR ELABORACIÓN "Profesional que elabora documento" | Nombre: | Ana Rivera | Ana Rivera | |
| | | Firma: | | | |
| | | Fecha: | 17/02/2015 | 15/05/2015 | |
| | RESPONSABLE REVISIÓN "Director de Estudios" | Nombre: | MIGUEL ROSERO | MIGUEL ROSERO | |
| | | Firma: | | | |
| | | Fecha: | 17/02/2015 | 15/05/2015 | |
| | RESPONSABLE APROBACIÓN "Director de Estudios" | Nombre: | MIGUEL ROSERO | MIGUEL ROSERO | |
| | | Firma: | | | |
| | | Fecha: | 17/02/2015 | 15/05/2015 | |



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|---|-----------|
| <u>1</u> <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1 |
| <u>2</u> <u>GENERALIDADES</u> | 2 |
| 2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL | 2 |
| 2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO | 2 |
| 2.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA | 7 |
| <u>3</u> <u>CONDICIÓN GEOLÓGICA</u> | 8 |
| <u>4</u> <u>CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA</u> | 10 |
| 4.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO | 10 |
| 4.1.1 SONDEOS MECÁNICOS Y APIQUES | 10 |
| 4.1.2 PRUEBAS DE CAMPO | 11 |
| 4.2 ENSAYOS DE LABORATORIO | 11 |
| 4.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECAICA | 12 |
| 4.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS ENCONTRADAS | 12 |
| 4.3.2 PERFIL GEOTÉCNICO PROMEDIO | 18 |
| 4.3.3 CONDICIONES SÍSMICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO | 19 |
| 4.3.4 PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE | 20 |
| <u>5</u> <u>ANÁLISIS GEOTÉCNICOS</u> | 24 |
| 5.1 CONDICIÓN ACTUAL DE LA CIMENTACIÓN | 24 |
| 5.1.1 DIAGNOSTICO GENERAL | 24 |
| 5.1.2 ALTERNATIVAS DE CIMENTACIÓN | 26 |
| 5.2 EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS | 27 |
| 5.3 REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN EXISTENTE DE ACUERDO CON LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS ESTRUCTURALES DEL PROYECTO | 29 |
| 5.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD | 30 |
| 5.4.1 VARIABLES DE ENTRADA | 30 |
| 5.4.2 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD EN CONDICIÓN ACTUAL | 31 |



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

| | | |
|------------|--|------------------|
| 5.5 | EJECUCIÓN DE CORTES Y RELLENOS..... | 34 |
| 6 | <u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u> | <u>35</u> |
| 6.1 | ASPECTOS GEOTÉCNICOS | 35 |
| 6.2 | CONDICIÓN ACTUAL DE LA CIMENTACIÓN | 35 |
| 6.3 | CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS..... | 35 |
| 6.4 | OTRAS RECOMENDACIONES..... | 36 |
| 7 | <u>LIMITACIONES</u> | <u>37</u> |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 2-1 | Resumen de las cargas verticales máximas que serán transmitidas al suelo de fundación, para las edificaciones que componen el área de estudio..... | 7 |
| Tabla 4-1 | Profundidad de las perforaciones..... | 10 |
| Tabla 4-2 | Tipo y cantidad de ensayos de laboratorio realizados..... | 12 |
| Tabla 4-3 | Valores de cohesión y ángulo de fricción obtenidos a partir del ensayo de penetración estándar SPT. | 22 |
| Tabla 4-4 | Parámetros de resistencia definitivos para cada material..... | 23 |
| Tabla 5-1 | Parámetros geotécnicos de diseño utilizados en la evaluación de capacidad portante y asentamientos..... | 28 |
| Tabla 5-2 | Resultados obtenidos en la evaluación de capacidad portante y asentamientos, para las edificaciones que componen el área de estudio. | 29 |
| Tabla 5-3 | Parámetros geotécnicos de diseño utilizados en la realización de los análisis de estabilidad. | 30 |
| Tabla 6-1 | Capacidad portante admisible para las edificaciones que componen el área de estudio..... | 36 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 2-1 | Localización general del estudio..... | 2 |
| Figura 2-2 | Planta Arquitectónica del proyecto..... | 3 |
| Figura 2-3 | Vista general de la fachada – Estructura No. 1 Bloque Automotriz | 4 |
| Figura 2-4 | Vista general de la fachada – Estructura No. 2 Bloque Aulas y Talleres | 4 |
| Figura 2-5 | Planta de cimentación – Estructura No. 1 Bloque Automotriz | 7 |
| Figura 2-6 | Planta de cimentación – Estructura No. 2 Bloque Aulas y Talleres | 8 |
| Figura 3-1 | Geología Regional del Sitio de Estudio..... | 9 |
| Figura 4-1 | Planta general de localización de los sondeos en el área de estudio..... | 11 |
| Figura 4-2 | Carta de Plasticidad de Casagrande para los materiales encontrados en el sitio de estudio..... | 13 |



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

| | |
|---|----|
| Figura 4-3 Variación de la humedad natural y los límites de consistencia en función de la profundidad..... | 14 |
| Figura 4-4 Variación del contenido de gravas, arenas y finos en función de la profundidad. | 15 |
| Figura 4-5 Variación de la resistencia a la penetración estándar en función de la profundidad..... | 17 |
| Figura 4-6 Perfil Geotécnico Promedio del Sitio de Estudio. | 19 |
| Figura 4-7 Graficas de evaluación de c y ϕ a partir de los valores de N obtenidos en el ensayo de penetración estándar SPT. | 22 |
| Figura 5-1 Detalle de la cimentación existente en el edificio de la sede del SENA – Edificación No. 1 Bloque Automotriz. | 24 |
| Figura 5-2 Detalle de la cimentación existente en el edificio de la sede del SENA – Edificación No. 2 Bloque Aulas y Talleres..... | 25 |
| Figura 5-3 Detalle de la cimentación existente en el edificio de la sede del SENA – Edificación No. 3 Tanque..... | 26 |
| Figura 5-4 Sección Geotécnica para Análisis de Estabilidad..... | 31 |
| Figura 5-5 Resultados del análisis de estabilidad actual en condición estática y nivel de agua normal..... | 32 |
| Figura 5-6 Resultados del análisis de estabilidad actual en condición sísmica y nivel de agua normal..... | 33 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|--|---|
| Fotografía 2-1 Vista general del edificio del Bloque Automotriz. Se observa la configuración estructural del edificio. | 5 |
| Fotografía 2-2 Vista general del Bloque de Aulas y Talleres (Estructura 1 y 2). Se observa su configuración estructural. | 6 |
| Fotografía 2-3 Vista general del edificio del Bloque de Aulas y Talleres (Estructura 2). Se observa la configuración estructural del edificio..... | 6 |
| Fotografía 2-4 Vista general de la estructura del tanque. Se observa la condición topográfica del sitio del tanque. | 6 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| |
|--|
| ANEXO A REGISTROS DE PERFORACIÓN |
| ANEXO B TABLA RESUMEN Y REGISTROS DE LABORATORIO |
| ANEXO C MEMORIAS DE CÁLCULO Y RESULTADOS |



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

1 INTRODUCCIÓN

Bajo el contrato No. 787 del 01 de agosto de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2”; 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 ESPECIFICO DE LA CONSULTORIA que hace parte del proceso CM DG 15 de 2014 publicada en la página de contratación.

El presente documento contiene los resultados y análisis geotécnicos correspondientes al estudio geotécnico de las edificaciones donde funciona el Centro Industrial de Diseño y Manufactura del SENA, ubicadas en el municipio de Girón, Santander dentro del desarrollo de los estudios de sismo resistencia y diseños de reforzamiento estructural.

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, 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 recomendaciones y conclusiones de la condición geotécnica del suelo y la condiciones de cimentación existentes, así mismo se presentarán las recomendaciones necesarias que se deben tener en cuenta para el diseño del reforzamiento estructural de la edificación.



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN GENERAL

El área de estudio se localiza en el municipio de Girón, Departamento de Santander, más exactamente en el Centro Industrial de Diseño y Manufactura del SENA, ubicado en el Kilómetro 7 Vía Rincón de Girón. Se encuentra a una altura promedio de 777 msnm, y su temperatura promedio es de 24° C. En la **Figura 2-1** se presenta la localización general del sitio de estudio.

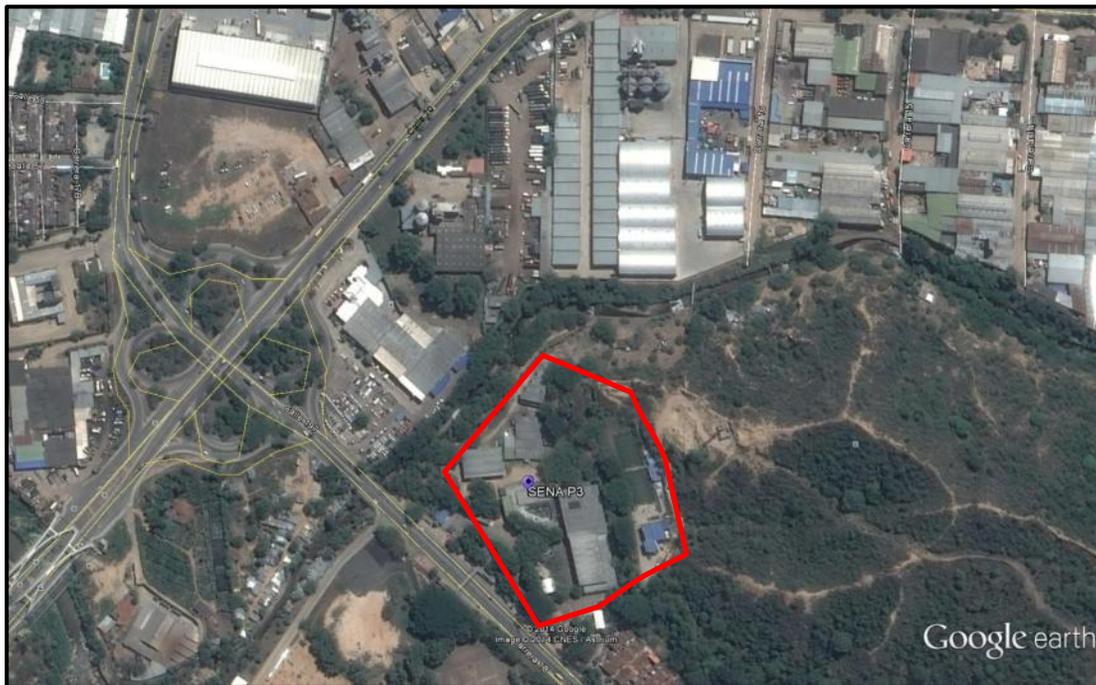


Figura 2-1 Localización general del estudio

Geográficamente, el municipio de Girón limita al norte con los municipios de Sabana de Torres y Lebrija, al oriente con Floridablanca, Piedecuesta y Bucaramanga, al sur con el municipio de Los Santos y Zapatoca, y por el occidente con el municipio de Betulia.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La sede del SENA en el municipio de Girón, denominada “Centro Industrial de Diseño y Manufactura” se localiza en tres (3) edificaciones con un área total construida de 7928 m². Estas edificaciones fueron construidas entre los años 1985 y 1993. El lote presenta una topografía relativamente plana con varios niveles de terraza.



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

- **Edificación No. 1 – Bloque Automotriz:** Esta edificación presenta un sistema estructural integrado por pórticos bidimensionales en concreto y muros en mampostería con una altura total de 9.25 m (distribuida en dos pisos), cimentado sobre un sistema de zapatas aisladas en concreto con pedestal y viga de amarre. El área total construida es de 1200 m².
- **Edificación No. 2 – Bloque Aulas y Talleres:** Esta edificación presenta un sistema estructural integrado por pórticos bidimensionales en concreto y muros en mampostería con una altura total de 13.7 m (distribuida en tres pisos), cimentado sobre un sistema de zapatas aisladas con pedestal y viga de amarre. El área total construida es de 6700 m².
- **Edificación No. 3 – Tanque Elevado:** Esta edificación presenta un sistema estructural integrado por un sistema de cuatro (4) columnas en concreto (de 0.25 m x 0.25 m) y muros perimetrales en mampostería de 4.7 m de altura y con un espesor de 0.2 m, sobre los cuales se ubica un tanque elevado de 2 m de ancho, 7 m de largo y 2.7 m de altura. Se encuentra cimentada sobre un sistema de zapatas aisladas con viga de amarre. El área total construida es de 28 m².

En la **Figura 2-2** a la **Figura 2-4** se presenta la planta arquitectónica del proyecto y unos esquemas generales de las vistas laterales de las fachadas, con la distribución de pisos en cada una de las edificaciones que lo componen.

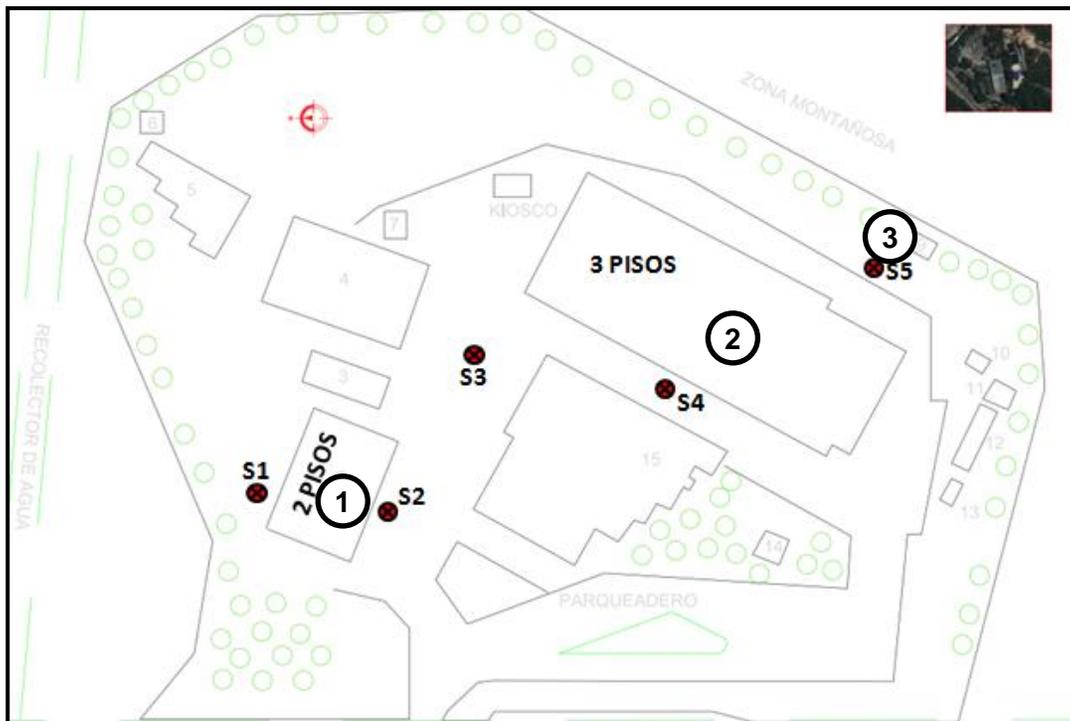


Figura 2-2 Planta Arquitectónica del proyecto

**ESTUDIO DE
SUELOS**



Versión 1: Mayo de 2015

Cto. 787 de 2014

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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.

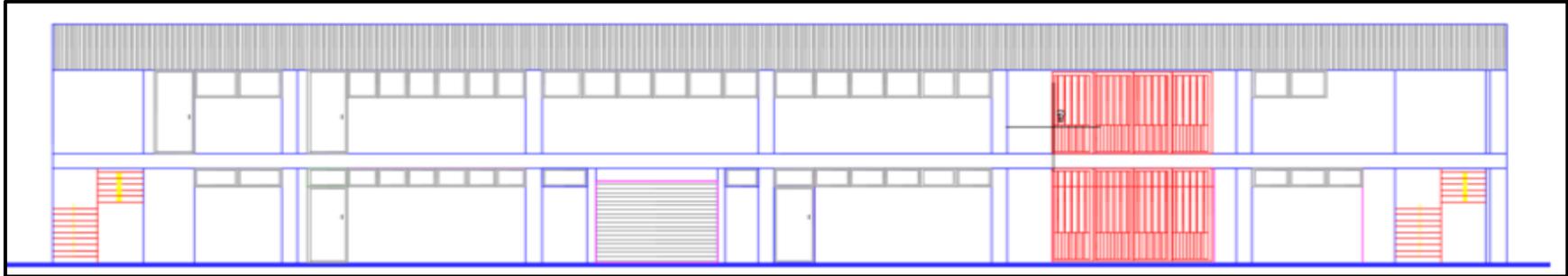


Figura 2-3 Vista general de la fachada – Estructura No. 1 Bloque Automotriz



Figura 2-4 Vista general de la fachada – Estructura No. 2 Bloque Aulas y Talleres

Nota: Estas figuras se presentan a manera de esquema, para cualquier consulta de dimensiones y detalles se puede remitir al informe estructural donde se presentan los respectivos planos a escalas adecuadas.



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

Con respecto al estado actual de la edificación, no hay presencia de fallas en el suelo, ni tampoco de fisuras y/o grietas en la mampostería o en los elementos de concreto, que evidencien fallas de la cimentación. La estructura se encuentra aislada, no hay edificaciones colindantes, y presenta un buen estado.

En la **Fotografía 2-1** a la **Fotografía 2-4** se aprecian algunos aspectos generales del área de estudio.



Fotografía 2-1 Vista general del edificio del Bloque Automotriz. Se observa la configuración estructural del edificio.



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

Fotografía 2-2 Vista general del Bloque de Aulas y Talleres (Estructura 1 y 2). Se observa su configuración estructural.



Fotografía 2-3 Vista general del edificio del Bloque de Aulas y Talleres (Estructura 2). Se observa la configuración estructural del edificio.



Fotografía 2-4 Vista general de la estructura del tanque. Se observa la condición topográfica del sitio del tanque.

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

2.3 DISTRIBUCIÓN DE CARGAS EN LA ESTRUCTURA

De acuerdo con la información suministrada por el Ingeniero Estructural, se tiene prevista la siguiente distribución de cargas verticales para la estructura de las edificaciones existentes en el Centro Industrial de Diseño y Manufactura del SENA, las cuales serán transmitidas posteriormente al suelo de fundación, tal como se aprecia en la **Tabla 2-1** y la **Figura 2-5** a la **Figura 2-6**.

Tabla 2-1 Resumen de las cargas verticales máximas que serán transmitidas al suelo de fundación, para las edificaciones que componen el área de estudio

| Edificación | Tipo | Dimensiones (m ²) | Cargas Máximas (kN) | |
|-------------|------|-------------------------------|---------------------|---------|
| | | | CM+CV | CM+CV+E |
| 1 | T1 | 1.50 x 1.50 | 487 | 1000 |
| 2 | T1 | 1.00 x 1.00 | 226 | 255 |
| | T2 | 1.70 x 1.70 | 464 | 1072 |
| 3 | T1 | 1.00 x 1.00 | 100 | 200 |

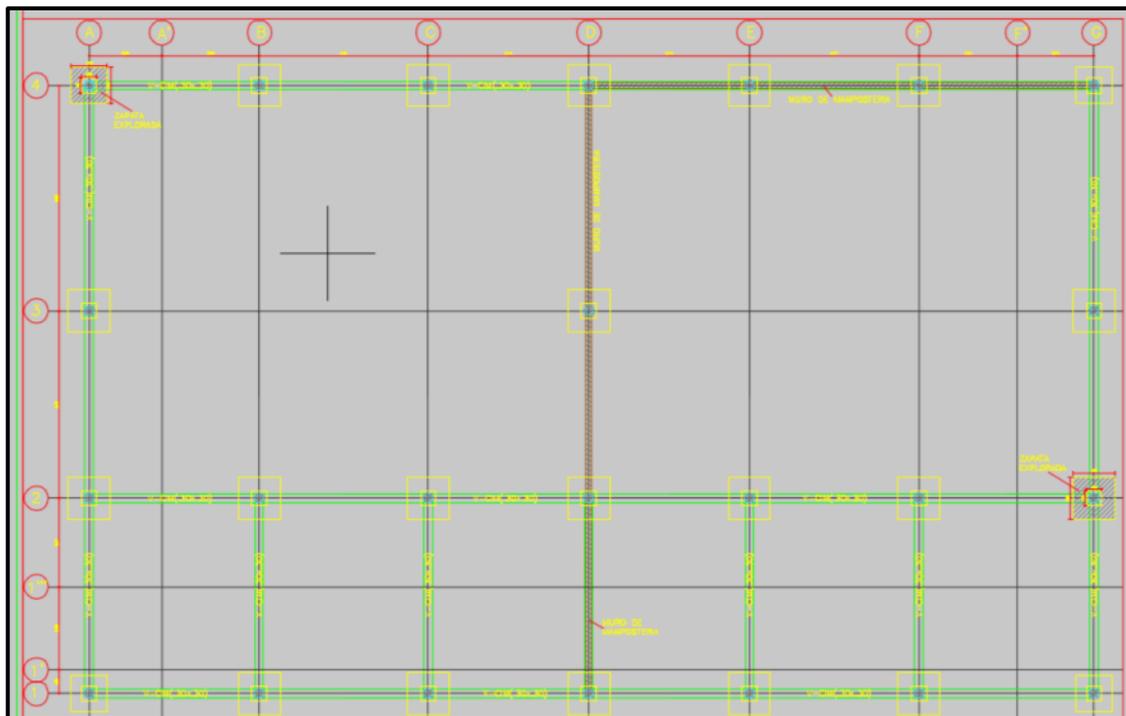


Figura 2-5 Planta de cimentación – Estructura No. 1 Bloque Automotriz

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

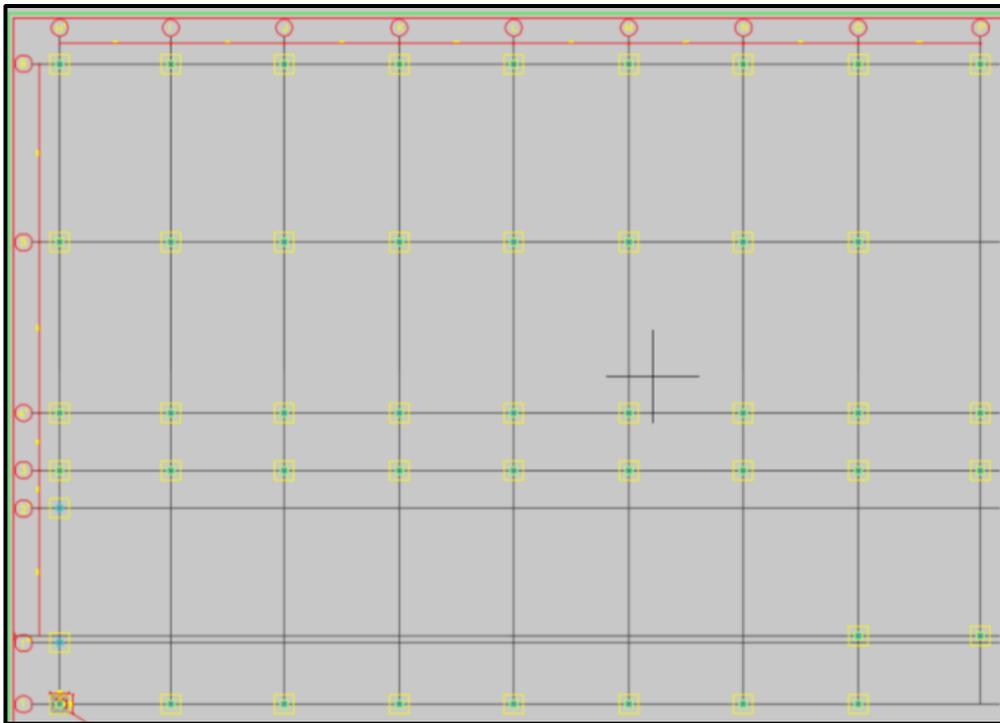


Figura 2-6 Planta de cimentación – Estructura No. 2 Bloque Aulas y Talleres

3 CONDICIÓN GEOLÓGICA

La zona de estudio se encuentra ubicada en el valle del río de Oro, en el área de influencia del sistema de fallas de Suarez y Bucaramanga, sobre depósitos cuaternarios de origen aluvial, definido como abanicos aluviales, los cuales pertenecen a la formación Bucaramanga y son representados localmente por el miembro Organos (**Qbo**). De acuerdo con la granulometría, morfología, agentes de transporte y fuentes de los materiales, estos depósitos se acumularon en un ambiente típicamente fluvial, y se pueden dividir en dos niveles:

- **Nivel Inferior:** Está constituido por niveles arcillosos, arcillo-arenosos y limos arcillosos de color amarillento y verdosos, compactos, de consistencia firme con algunos interposiciones de lentes conglomeraticos.
- **Nivel Superior:** Esta constituido principalmente por niveles conglomeraticos de areniscas y lodolitas en matriz limo-arcillosa con interposiciones de lentes arcillosos, rojizos y anaranjados. Presenta feldespatos alterados, las gravas predominantes son de areniscas blancas silíceas, fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, areniscas violeta, cuarzo y chert.

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 Cto. 787 de 2014 |
| | | 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

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

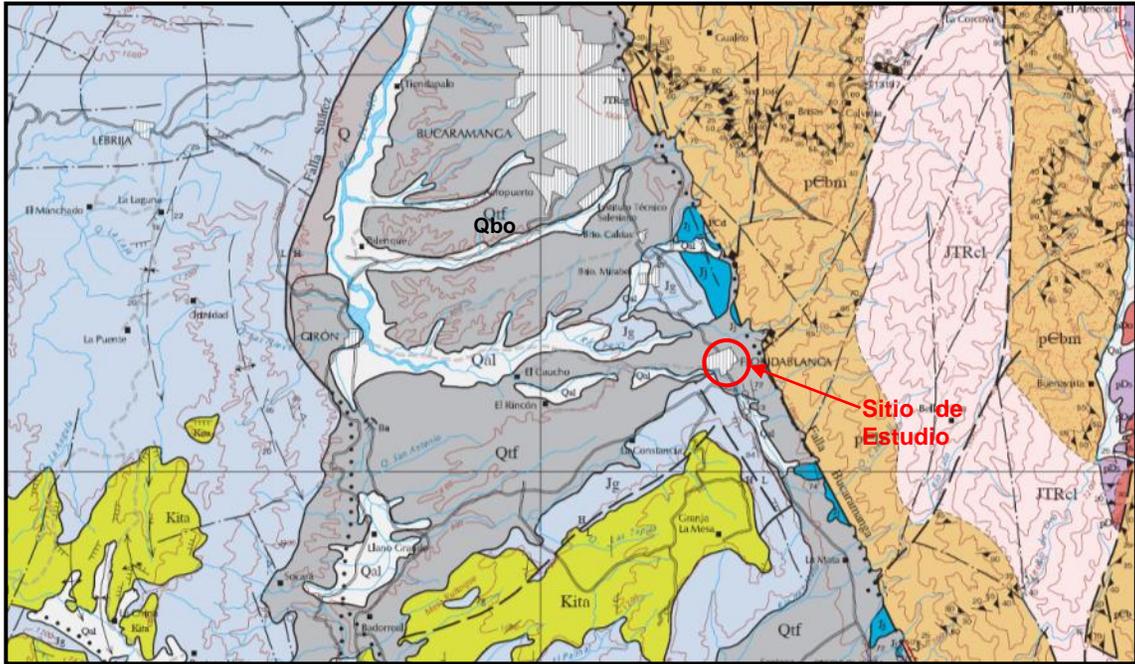


Figura 3-1 Geología Regional del Sitio de Estudio

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

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 mecánico y apiques, y 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 (por consolidación).

4.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Teniendo en cuenta las características geológicas del sitio, se proyectó la ejecución de sondeos mecánicos y apiques, 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 ensayos de campo como el ensayo de penetración estándar (SPT), y pruebas de laboratorio para clasificación y obtener parámetros de resistencia que permitan conocer el comportamiento de estos materiales.

4.1.1 Sondeos Mecánicos y Apiques

En total se realizaron 5 sondeos mecánicos entre los 3.5 y 6 m de profundidad, tal como se muestra en la **Tabla 4-1**. En cada punto se realizaron ensayos 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.

Tabla 4-1 Profundidad de las perforaciones

| Sondeo | Profundidad |
|---------------|--------------------|
| S-1 | 3.40 |
| S-2 | 3.50 |
| S-3 | 5.70 |
| S-4 | 5.90 |
| S-5 | 4.10 |



| | | |
|----------------------------------|--|---|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 Cto. 787 de 2014 |
| | | 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

Con el fin de establecer la condición actual de la cimentación existente en las edificaciones de la sede del SENA en Girón, se realizaron 8 apiques con una profundidad entre los 1.5 y 3.0 m (AP-1 a AP-8).

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

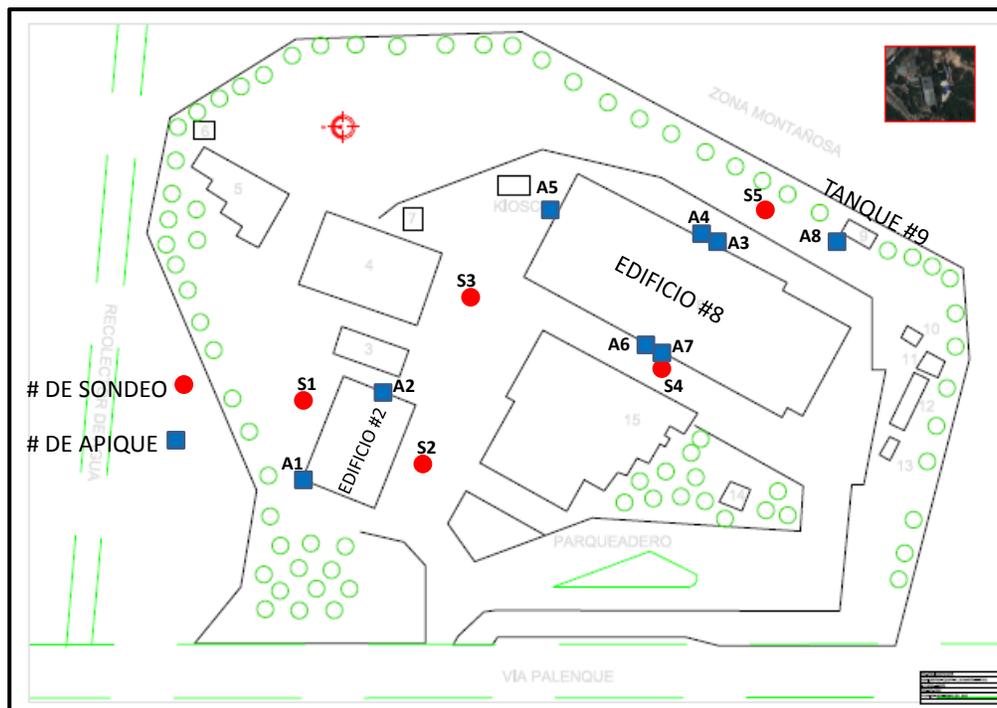


Figura 4-1 Planta general de localización de los sondeos en el área de estudio.

4.1.2 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, y peso unitario. No fue posible realizar ensayos de resistencia y deformabilidad, dado que no se recuperaron muestras inalteradas. En la **Tabla 4-2** se relaciona la cantidad de ensayos ejecutados.

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

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

| TIPO DE ENSAYO | TOTAL |
|-------------------------|-------|
| Humedad Natural | 12 |
| Límites de Consistencia | 14 |
| Granulometría | 14 |

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

4.3 CARACTERIZACIÓN GEOMECANICA

En el sitio de estudio, a nivel superficial se encuentra una capa de arcilla arenosa de color café de consistencia media a firme y plasticidad baja. Bajo este nivel, se encuentra una capa de arena arcillosa – gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad. Finalmente, se encuentra un depósito de gravas y fragmentos de bloques de arenisca en una matriz arcillosa-arenosa de color café y gris. En los sondeos realizados no se encontró el nivel freático.

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: Para los materiales finos, el contenido de humedad se encuentra entre el 11% y el 16% con un promedio de 13.2%. El límite líquido varía entre el 23% y 28% con un promedio de 26.0%, y el límite plástico varía entre el 12% 15% con un promedio de 13.8%. De acuerdo con la carta de plasticidad de Casagrande, todos los ensayos muestran que estos materiales se clasifican como arcillas de baja plasticidad (CL).

Para los materiales granulares, el contenido de humedad se encuentra entre el 1% y 11% con un promedio de 4.7%. El límite líquido varía entre el NL y 26%, y el límite plástico varía entre el NP y 16%. De acuerdo con la carta de plasticidad de Casagrande, todos los ensayos muestran que los finos de estos materiales se clasifican arcillas de baja plasticidad (CL) y limos no plásticos (NL y NP).

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 graficas de variación del contenido de humedad, límite líquido y límite plástico en función de la profundidad, para los sondeos realizados.

En general, se puede apreciar que el contenido de humedad disminuye con la profundidad, en un rango de 1% a 16%. En cuanto a los límites de consistencia, se puede



apreciar que el límite líquido varía entre NL y el 28%, y el límite plástico varía entre NP y el 16%, pero siendo más notorio en los materiales granulares.

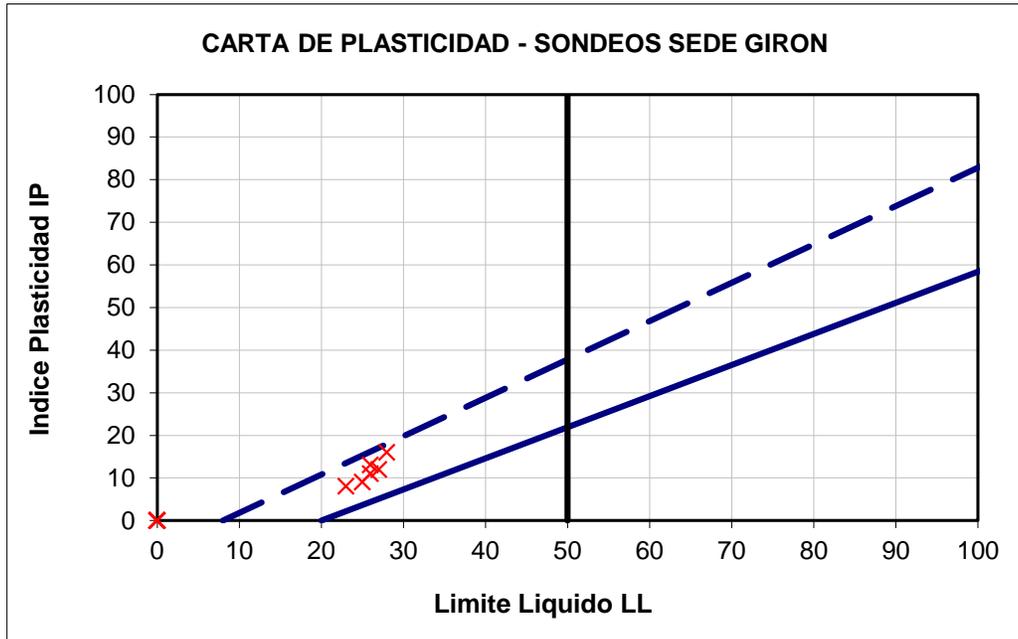
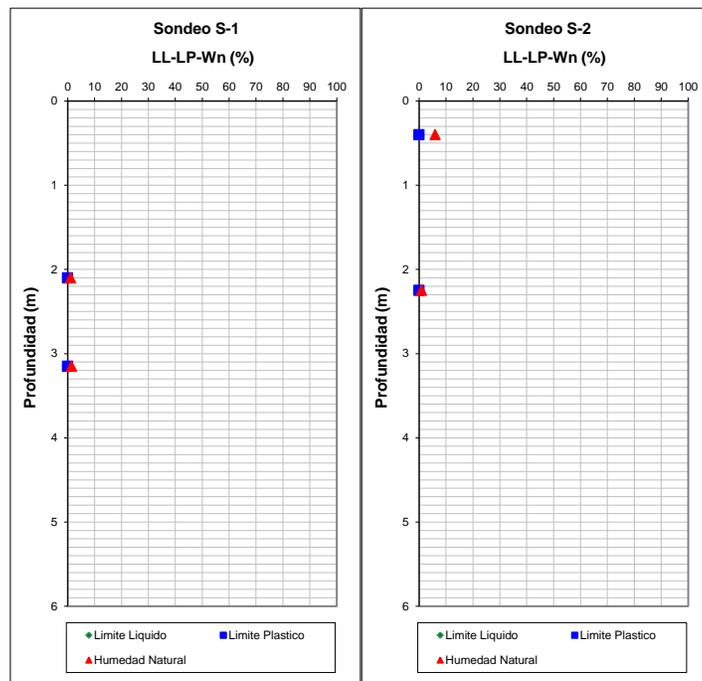


Figura 4-2 Carta de Plasticidad de Casagrande para los materiales encontrados en el sitio de estudio.



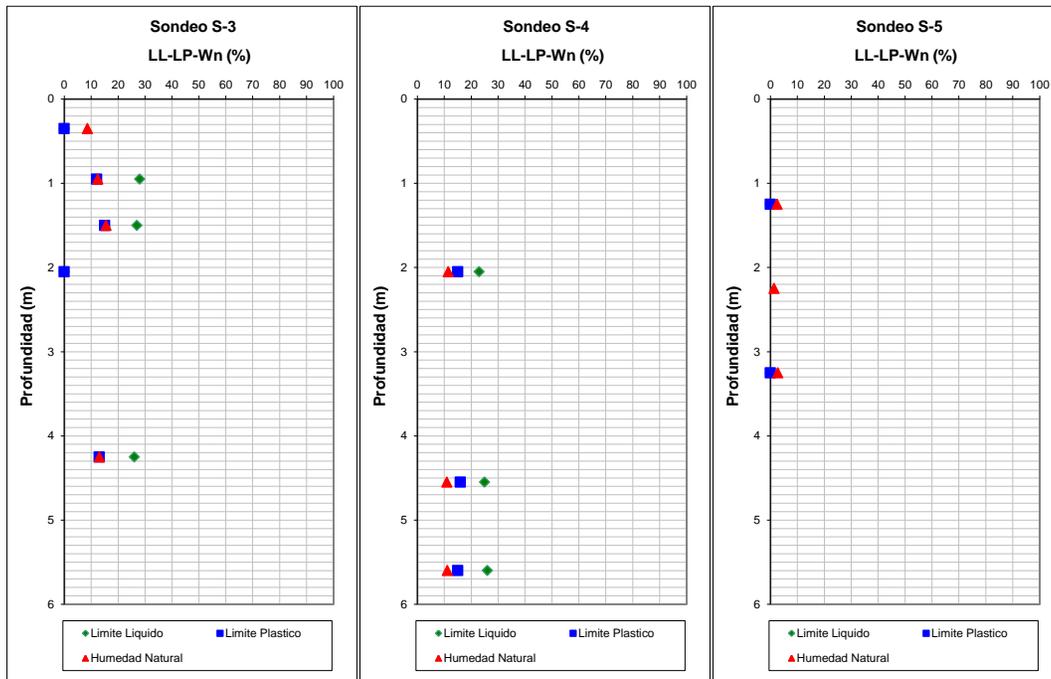


Figura 4-3 Variación de la humedad natural y los límites de consistencia en función de la profundidad.

Características Granulométricas: Básicamente se hace énfasis en el contenido de gravas, arenas y finos. Para los materiales finos, el contenido de gravas se encuentra entre el 6% y 10% con un promedio de 7.8%, el contenido de arenas se encuentra entre el 37% y 57% con un promedio de 42.6%, y el contenido de finos se encuentra entre el 36% y 57% con un promedio de 49.6%.

Para los materiales granulares, el contenido de gravas se encuentra entre el 11% y 57% con un promedio de 28.9%, el contenido de arenas se encuentra entre el 38% y 65% con un promedio de 47.4%, y el contenido de finos se encuentra entre el 15% y 31% con un promedio de 23.7%.

En la **Figura 4-4** se aprecia la variación del contenido de gravas, arenas y finos en función de la profundidad, para los sondeos realizados.

Dado que el sitio de estudio se ubica en varios niveles de terraza, la descripción de sus características granulométricas se realizara con base en estos niveles. En general, se puede apreciar que en el primer nivel, el contenido de finos es mayor al 50% y el contenido de gravas es menor al 20%. Corresponde a un nivel de arcillas arenosas de color café Para el segundo y tercer nivel, el contenido de arenas es mayor al 40%, el contenido de finos es menor al 30% y el contenido de gravas es mayor al 10%. Corresponde a niveles de arenas arcillosas - gravosas de color café y depósitos de gravas y fragmentos de bloques de arenisca en matriz arenosa – arcillosa de color café y gris.

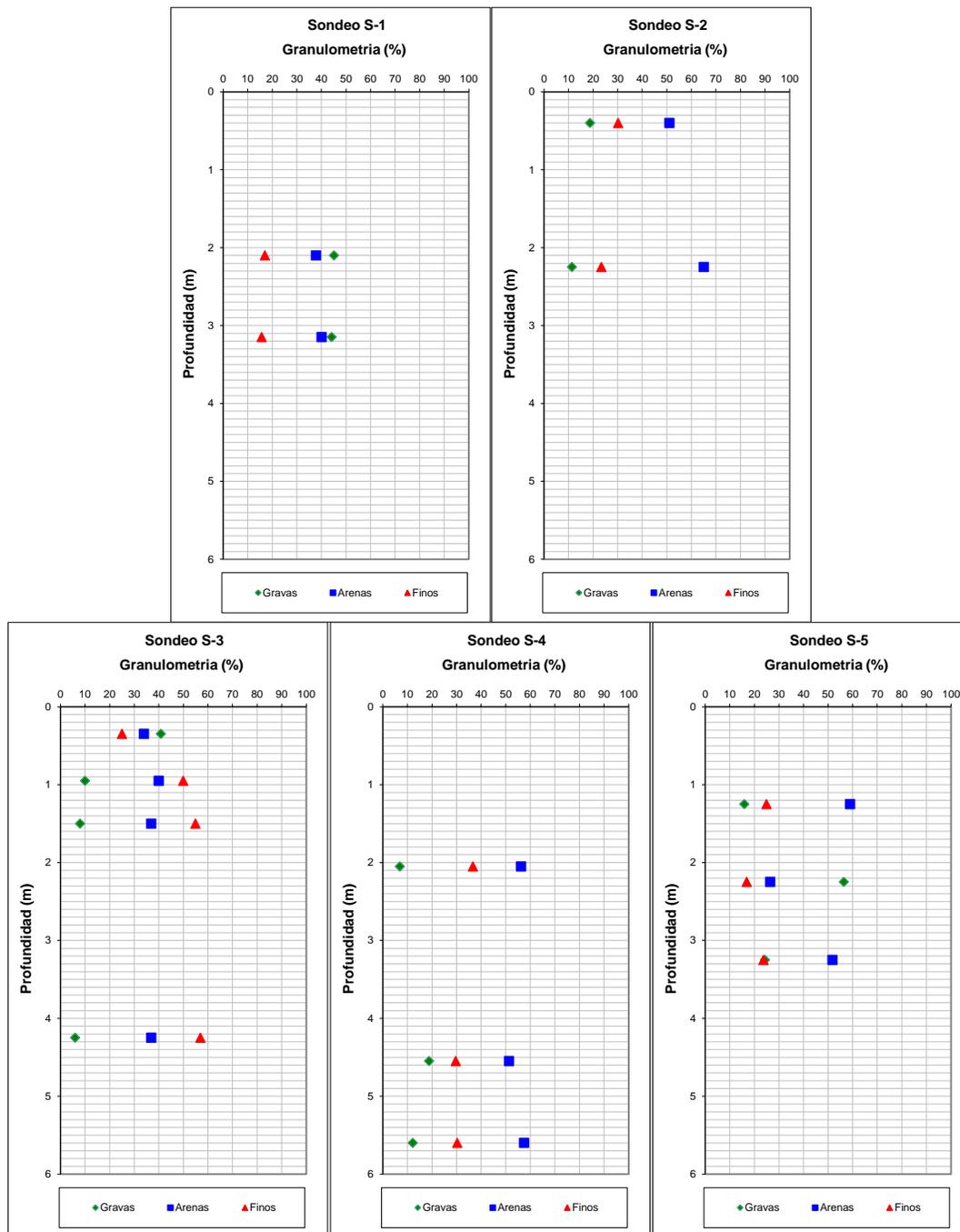


Figura 4-4 Variación del contenido de gravas, arenas y finos en función de la profundidad.

Peso Unitario: Para los materiales finos, no fue posible obtener el peso unitario total, pero correlacionando con materiales de composición similar, se encuentra entre 1.8 y 2.0 T/m³. Para los materiales granulares, dada su composición granulométrica de carácter

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

heterogéneo y su distribución mal gradada, no fue posible el peso unitario total, pero correlacionando con materiales de composición similar, se encuentra entre 1.8 y 2.2 T/m³. **Resistencia a la penetración estándar:** Se tomó como referencia el número de penetración estándar N obtenido en campo.

Para los materiales finos, los valores de N se encuentran entre 7 y 20 golpes/pie con un promedio de 12 golpes/pie. De acuerdo con lo anterior, se puede decir que la consistencia de estos materiales varía de media a firme.

Para los materiales granulares, los valores de N se encuentran entre 12 y 50 golpes/pie con un promedio de 31 golpes/pie. De acuerdo con lo anterior, la compacidad de estos materiales varía de media a muy densa. Además, se registraron valores de N mayores a 50 golpes/pie, lo cual es indicativo de rechazo, dada la proporción de gravas en el nivel inferior de 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 los sondeos realizados.

En general, se puede apreciar un aumento de los valores de N con la profundidad, en un rango de 7 a 50 golpes/pie, lo cual indica la presencia de un material que se va densificando con la profundidad. Corresponde a niveles de arcillas arenosas de consistencia media a firme, arenas gravosas de compacidad media a muy densa y, depósitos de gravas y fragmentos de bloques de arenisca en matriz arenosa - arcillosa, que registran valores de N mayores a 50 golpes/pie en el contacto de estos últimos niveles.

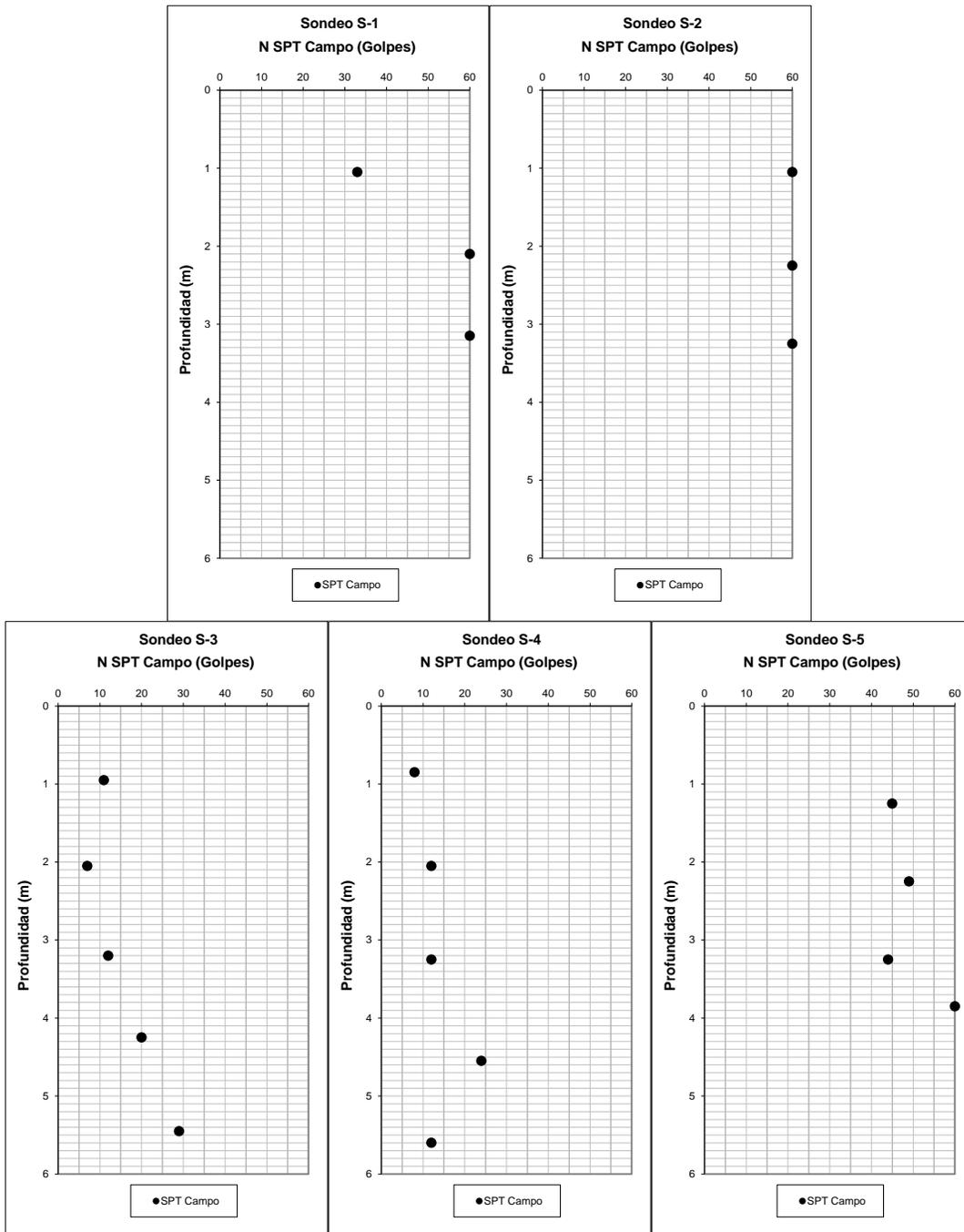


Figura 4-5 Variación de la resistencia a la penetración estándar en función de la profundidad.

Resistencia a la compresión: Dado que no fue posible obtener muestras inalteradas para realizar el ensayo de compresión inconfiada en los materiales finos, se tomó como referencia el número de penetración estándar N obtenido en campo. Para este caso, se

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

utilizó la correlación propuesta por Stroud (1974) $3.5N_{Campo} < c_u < 6.5.N_{Campo} (kN/m^2)$, en donde se establece que la resistencia a la compresión (q_u) es el doble del valor de la cohesión no drenada (c_u).

Para los materiales finos, la resistencia a la compresión inconfiada (q_u) se encuentra entre 6 y 18 t/m², con un promedio de 10.3 t/m². El módulo de elasticidad no confinado (Eu) se encuentra entre 1500 y 5100 t/m², con un promedio de 2763.2 t/m².

4.3.2 Perfil Geotécnico Promedio

De acuerdo a los resultados obtenidos en la exploración del subsuelo, los ensayos de laboratorio y las observaciones de campo, se identifican 3 materiales en el sitio de estudio:

Material 1. Arcilla Arenosa de Color Café: Corresponde a una arcilla arenosa de color café, de consistencia media a firme y plasticidad baja, con presencia de gravas y un espesor variable entre 3 y 5 m, de acuerdo a los sondeos realizados (S-1 a S-5). Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 11.0% - 16.0%. Promedio: 13.2%.
- Limite Líquido (LL): 23.0% - 28.0%. Promedio: 26.0%.
- Limite Plástico (LP): 12.0% - 15.0%. Promedio: 13.8%.
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 6.0% - 10.0%. Promedio: 7.8%.
 - Arenas: 37.0% - 56.0%. Promedio: 42.6%.
 - Finos: 36.0% - 57.0%. Promedio: 49.6%.
- Peso unitario total (γ_t): 1.90 t/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 1.70 t/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 7 – 20 golpes/pie. Promedio: 12 golpes/pie.
- Resistencia a la compresión inconfiada (q_u): 6 – 11 t/m². Promedio: 10.27 t/m².
- Módulo elástico no confinado (E_{50}): 1500 – 5100 t/m². Promedio: 2763.2 t/m².

Material 2. Arena Arcillosa - Gravosa de Color Café: Corresponde a una arena arcillosa - gravosa de color café, de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos, y un espesor variable entre 2 y 4m, de acuerdo a los sondeos realizados (S-1 a S-5). Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 1.0% - 12.0%. Promedio: 5.8%.
- Limite Líquido (LL): NL – 26.0%.
- Limite Plástico (LP): NP - 16.0%.
- Composición granulométrica:
 - Gravas: 12.0% - 57.0%. Promedio: 24.5%.
 - Arenas: 26.0% - 59.0%. Promedio: 49.5%.



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

Finos: 16.0% - 31.0%. Promedio: 26.0%.

- Peso unitario total (γ_t): 2.00 t/m³.
- Peso unitario seco (γ_d): 1.80 t/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: 12 – 50 golpes/pie. Promedio: 31 golpes/pie.
- Módulo elástico no confinado (E_{50}): 900 – 5000 t/m². Promedio: 3055.80 t/m².

Material 3. Depósito Aluvial: Corresponde a un depósito de gravas y fragmentos de bloques de arenisca, en una matriz arcillosa – arenosa de color café y gris, con finos no plásticos. Las propiedades físicas y mecánicas de este material son:

- Humedad natural (w_n): 1.0% - 9.0%. Promedio: 3.0%.
- Limite Líquido (LL): NL.
- Limite Plástico (LP): NP.
- Composición granulométrica (matriz):
 - Gravas: 11.0% - 46.0%. Promedio: 35.4%.
 - Arenas: 34.0% - 66.0%. Promedio: 44.2%.
 - Finos: 15.0% - 26.0%. Promedio: 20.4%.
- Peso unitario total (γ_t): 2.20 T/m³.
- Resistencia a la penetración estándar N: Mayor a 50 golpes/pie.
- Módulo elástico no confinado (E_{50}): 3500 – 7500 t/m². Promedio: 5500 t/m².

En la **Figura 4-6** se presenta el perfil geotécnico representativo del sitio de estudio, con la distribución lateral y en profundidad de estos materiales.

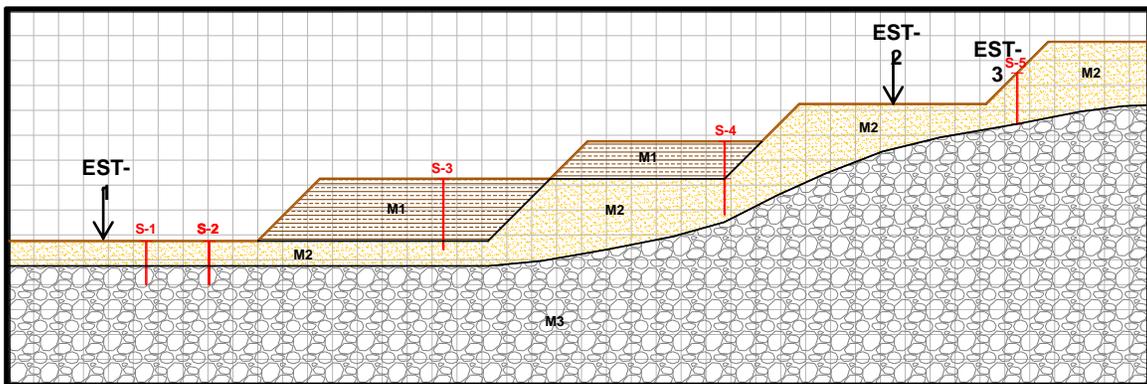


Figura 4-6 Perfil Geotécnico Promedio del Sitio de Estudio.

En cuanto a la condición del agua subsuperficial en el sitio de estudio, no se encontró el nivel freático. De acuerdo con el Título A de la NSR-10, el tipo de perfil de suelo existente en el terreno es D.

4.3.3 Condiciones Sísmicas del Área de Estudio

De acuerdo con la localización y los tipos de materiales presentes en el área de estudio, se tienen las siguientes condiciones sísmicas, según el Título A de la NSR-10:

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

- Zona de amenaza sísmica alta: Girón ($A_a=0.20g$ y $A_v=0.25g$).
- Perfil de suelo: D.
- Coeficiente de importancia I: 1.25 (Grupo III).
- Espectro de diseño: F_a : 1.4 (Periodos Cortos)
 F_v : 1.9 (Periodos Intermedios)

Con base en lo anterior, el valor de aceleración máxima horizontal a nivel de suelo (A_{sh}) para el área de estudio, es igual a 0.35 g. Dentro del proceso de análisis y diseños en geotecnia, para la ejecución de análisis pseudoestáticos en materiales térreos, es recomendable tomar alrededor de los 2/3 de la aceleración máxima horizontal (A_{sh}), la cual corresponde a 0.23.

4.3.4 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 (S-1 a S-5).

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 para un esfuerzo de confinamiento de 1 Kg/cm² y un determinado nivel de transmisión de energía

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

$$C_N = 1 - 1.41 \log \left(\frac{\sigma'_v}{10} \right) \quad \text{Para } \sigma'_v < 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_N = 1 - 0.92 \log \left(\frac{\sigma'_v}{10} \right) \quad \text{Para } \sigma'_v > 1 \text{ Ton/m}^2$$

$$C_N \leq 2$$

η_1 : Factor de corrección por eficiencia de energía transmitida del martillo al varillaje y el muestreador. Se obtiene como la relación entre las eficiencias medias de 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 4.0 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 1: Mayo de 2015 Cto. 787 de 2014 |
| | | 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

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

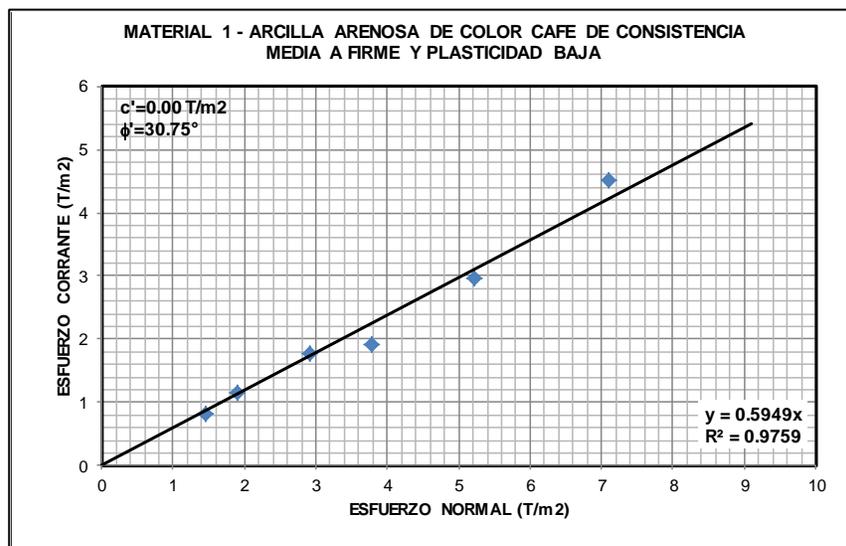
Para estimar los valores de ángulo de fricción equivalente (ϕ_{equiv}), se utilizó la siguiente expresión:

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

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) 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 B** se presenta la tabla resumen de corrección de N del ensayo de penetración estándar y en la **Figura 4-7** se muestran curvas de variación τ vs σ'_v para los diferentes materiales encontrados en cada sondeo.



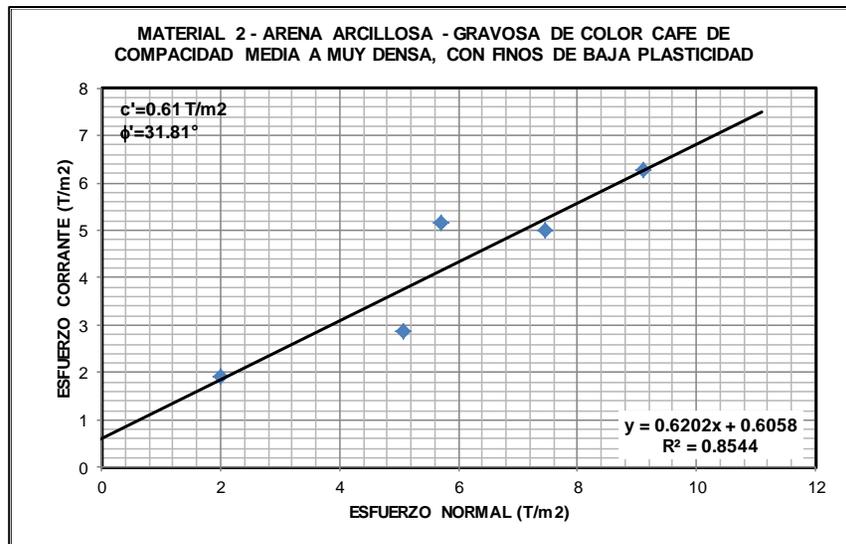


Figura 4-7 Graficas de evaluación de c y ϕ a partir de los valores de N obtenidos en el ensayo de penetración estándar SPT.

Además, a partir de algunas correlaciones establecidas con el valor de N de campo, es posible determinar la cohesión no drenada C_u de los materiales finos. Para el caso del ensayo SPT, se utilizó la correlación propuesta por Stroud (1974), $3.5N_{Campo} < c_u < 6.5.N_{Campo} (kN/m^2)$.

Por otra parte, con el fin de estimar el aporte por cohesión de los materiales con matriz arcillosa, se tomó como referencia el valor de cohesión no drenada (C_u). Teniendo en cuenta que el porcentaje de finos es considerable y puede incidir en su comportamiento mecánico, se tomara el 20% del valor de cohesión no drenada correspondiente a su proporción en la estructura del material, como aporte por cohesión.

En la **Tabla 4-3** se presentan los valores promedio de c' y ϕ' obtenidos para cada material, mediante el ensayo de penetración estándar SPT.

Tabla 4-3 Valores de cohesión y ángulo de fricción obtenidos a partir del ensayo de penetración estándar SPT.

| Material | c (t/m^2) | ϕ ($^\circ$) | C_u (t/m^2) | Tipo de Ensayo |
|--|--------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| Material 1. Arcilla arenosa de color café, de consistencia media a firme. | 0.00 | 30.75 | ----- | SPT |
| | ----- | ----- | 5.10 | SPT |
| | 1.00 | 32.00 | ----- | Ref. |
| Material 2. Arena arcillosa - gravosa de color café, de compactidad media a muy densa. | 0.61 | 31.81 | ----- | SPT |
| | 0.00 | 33.80 | ----- | SPT |
| | 0.50 | 35.00 | ----- | Ref. |
| Material 3. Depósito de gravas y fragmentos de bloques en una matriz arcillosa – arenosa de color café y gris. | 0.50 | 35.00 | ----- | Ref. |

| | | |
|----------------------------------|--|---|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | <p style="text-align: center;">Cto. 787 de 2014</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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.</p> |

Para efectos de diseño, se adoptaran los siguientes valores de c' y ϕ' para cada material (Ver **Tabla 4-4**).

Tabla 4-4 Parámetros de resistencia definitivos para cada material.

| Material | c (t/m ²) | ϕ (°) | Cu (t/m ²) |
|--|----------------------------|---------------|---------------------------|
| Material 1. Arcilla arenosa de color café, de consistencia media a firme. | 1.00 | 31.50 | 5.00 |
| Material 2. Arena arcillosa - gravosa de color café, de compactación media a muy densa. | 0.60 | 33.00 | ----- |
| Material 3. Depósito de gravas y fragmentos de bloques en una matriz arcillosa – arenosa de color café y gris. | 0.50 | 35.00 | ----- |

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

5 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS

5.1 CONDICIÓN ACTUAL DE LA CIMENTACIÓN

5.1.1 Diagnostico General

Teniendo en cuenta el tipo de estructura existente en las edificaciones presentes en la sede del SENA denominada “Centro Industrial de Diseño y Manufactura”, y el perfil de suelo establecido en la exploración geotécnica para el área de estudio, se revisó la condición actual de la cimentación. Para esto, se realizaron ocho (8) apiques con una profundidad entre los 1.5 y 3.0 m, distribuidos en diferentes puntos de cada edificación.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en este diagnóstico, para cada una de las edificaciones que componen el área de estudio.

- **Edificación No. 1 – Bloque Automotriz:** La estructura de este edificio se encuentra cimentada a una profundidad promedio de 1.0 m, sobre un estrato de arena arcillosa y gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos. En cuanto a su configuración estructural, se puede apreciar que estos cimientos se componen principalmente por un sistema de zapatas aisladas en concreto con pedestal y viga de amarre (de 1.5 m x 1.5 m), con un espesor uniforme de 0.40 m, tal como se aprecia en la **Figura 5-1**.

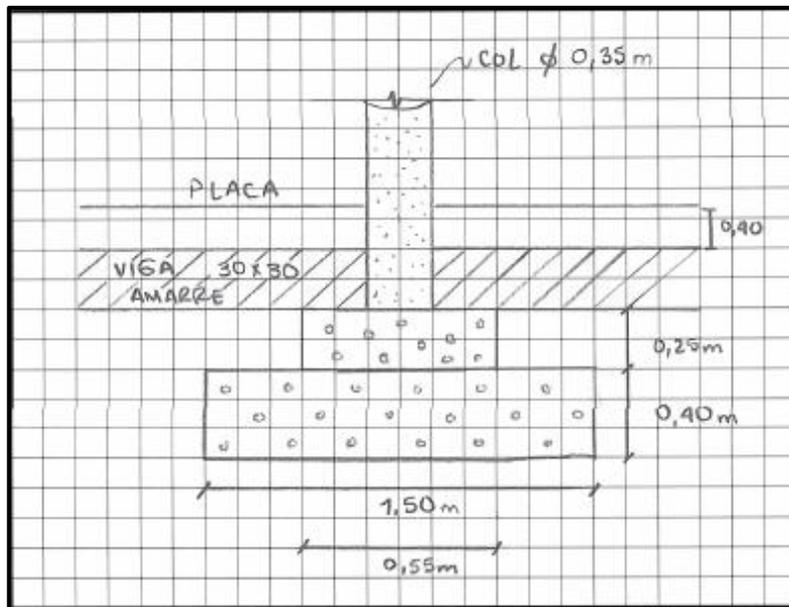


Figura 5-1 Detalle de la cimentación existente en el edificio de la sede del SENA – Edificación No. 1 Bloque Automotriz.

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

Desde el punto de vista geotécnico, es claro que este tipo de cimentación es adecuada para transmitir las cargas de la estructura existente al suelo de fundación.

- **Edificación No. 2 – Bloque Aulas y Talleres:** La estructura de este edificio se encuentra cimentada a una profundidad promedio de 2.0 m, sobre un estrato de arena arcillosa y gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos. En cuanto a su configuración estructural, se puede apreciar que estos cimientos se componen principalmente por un sistema de zapatas aisladas en concreto con pedestal y viga de amarre (T1: 1.0 m x 1.0 m y T2: 1.7 m x 1.7 m), con un espesor uniforme de 0.60 m, tal como se aprecia en la **Figura 5-2**.

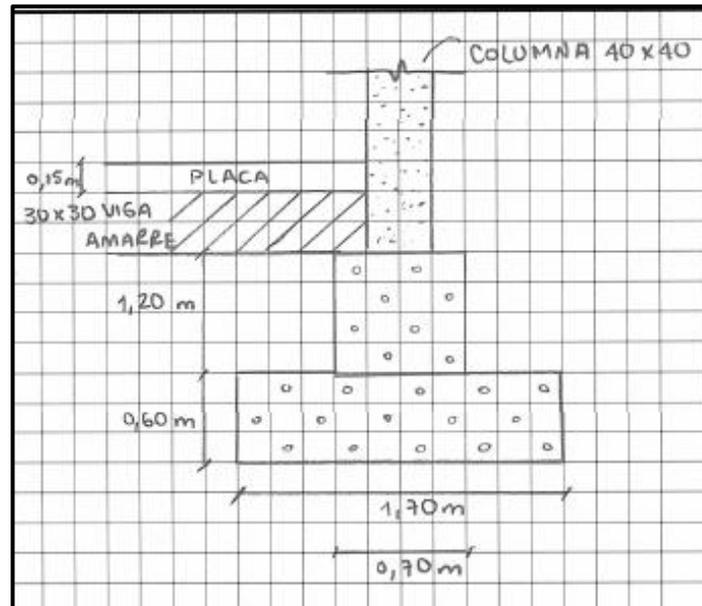


Figura 5-2 Detalle de la cimentación existente en el edificio de la sede del SENA – Edificación No. 2 Bloque Aulas y Talleres.

Desde el punto de vista geotécnico, es claro que este tipo de cimentación es adecuada para transmitir las cargas de la estructura existente al suelo de fundación.

- **Edificación No. 3 – Tanque:** La estructura de este edificio se encuentra cimentada a una profundidad promedio de 1.0 m, sobre un estrato de arena arcillosa y gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos. En cuanto a su configuración estructural, se puede apreciar que estos cimientos se componen principalmente por un sistema de zapatas aisladas en concreto y viga de amarre (de 1.0 m x 1.0 m), con un espesor uniforme de 0.40 m, tal como se aprecia en la **Figura 5-3**.

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

Desde el punto de vista geotécnico, es claro que este tipo de cimentación es adecuada para transmitir las cargas de la estructura existente al suelo de fundación.

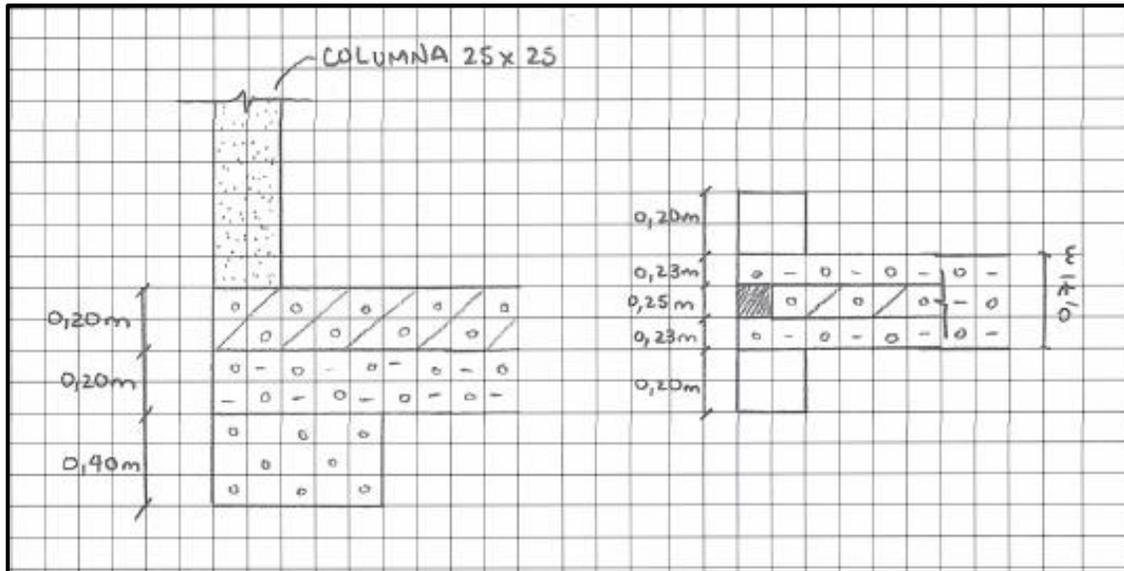


Figura 5-3 Detalle de la cimentación existente en el edificio de la sede del SENA – Edificación No. 3 Tanque.

5.1.2 Alternativas de Cimentación

Con el fin de realizar el chequeo de capacidad portante y asentamientos en las diferentes edificaciones que componen la sede del SENA de Girón, se plantearon las siguientes alternativas de cimentación.

- **Cimentación Edificación No. 1 – Bloque Automotriz:** Consiste en un sistema de cimentación superficial, compuesto por una zapata aislada en concreto, con pedestal y viga de amarre, de forma cuadrada (1.5 m x 1.5 m) y un espesor de 0.4 m, el cual esta cimentado a una profundidad de 1.0 m con respecto al nivel actual del terreno. El nivel de fundación corresponde a una arena arcillosa y gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos.
- **Cimentación Edificación No. 2 – Bloque Aulas y Talleres:** Consiste en un sistema de cimentación superficial, compuesto por una zapata aislada en concreto, con pedestal y viga de amarre, de forma cuadrada (T1: 1.0 m x 1.0 m y T2: 1.7 m x 1.7 m) y un espesor de 0.6 m, el cual esta cimentado a una profundidad de 2.0 m con respecto al nivel actual del terreno. El nivel de fundación corresponde a una arena arcillosa y gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos.

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

- **Cimentación Edificación No. 3 – Tanque:** Consiste en un sistema de cimentación superficial, compuesto por una zapata aislada en concreto y viga de amarre, de forma cuadrada (1.0 m x 1.0 m) y un espesor de 0.4 m, el cual esta cimentado a una profundidad de 1.0 m con respecto al nivel actual del terreno. El nivel de fundación corresponde a una arena arcillosa y gravosa de color café de compactidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos.

5.2 EVALUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS

La evaluación de la capacidad portante se realizó para el nivel de fundación de la cimentación, a partir de las propiedades geotécnicas encontradas para este nivel. Dado que el tipo de cimentación a evaluar es 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.

Las expresiones utilizadas para el cálculo de capacidad portante de cimentaciones superficiales por el método de Terzaghi y Meyerhof, se presentan a continuación:

Método de Terzaghi

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

$$Qu = 1.3.C.N_c + q.N_q + 0.3.\gamma.B.N_\gamma \quad (\text{Cimiento rectangular})$$

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

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)
- F_{is} : Factores de corrección por forma ($F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$)
- F_{id} : Factores de corrección por profundidad ($F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$)

En el caso de los asentamientos inmediatos y por consolidación generados por la aplicación de las cargas estructurales al nivel de fundación, se empleó la metodología



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

propuesta por Harr (1966) para cimentaciones superficiales y la teoría de la consolidación unidimensional.

Para efecto de estos análisis, se consideró un factor de seguridad de 3.0, de acuerdo con lo establecido en el Título H de la NSR-10.

En la **Tabla 5-1** se presentan los parámetros geotécnicos utilizados para la evaluación de capacidad portante y asentamientos.

Tabla 5-1 Parámetros geotécnicos de diseño utilizados en la evaluación de capacidad portante y asentamientos.

| Material | γ_t (t/m ³) | c (t/m ²) | ϕ (°) | Cu (t/m ²) | Es (t/m ²) | μ_s |
|----------|-----------------------------------|--------------------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------|
| 1 | 1.90 | 1.00 | 31.50 | 5.00 | 2750 | 0.35 |
| 2 | 2.00 | 0.60 | 33.00 | ----- | 3060 | 0.30 |
| 3 | 2.20 | 0.50 | 35.00 | ----- | 5500 | 0.30 |

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de capacidad portante y asentamientos para cada alternativa de cimentación, y en el **ANEXO C** se presentan las respectivas memorias de cálculo de estos análisis.

- **Cimentación Edificación No. 1 – Bloque Automotriz:** La capacidad portante admisible para este tipo de cimentación (L/B=1.0), varía entre 468.0 kPa (46.8 t/m²) y 580.0 kPa (58.0 t/m²), para un ancho (B) comprendido entre los 0.5 y 5.0 m. Con el fin de obtener asentamientos permisibles en la cimentación (un máximo de 5 cm en el centro y 2.5 cm diferencial), se debe trabajar con una capacidad admisible de 425 kPa (42.5 t/m²), para un ancho (B) de hasta 3 m.
- **Cimentación Edificación No. 2 – Bloque Aulas y Talleres:** La capacidad portante admisible para este tipo de cimentación (L/B=1.0), varía entre 852.0 kPa (85.2 t/m²) y 816.0 kPa (81.6 t/m²), para un ancho (B) comprendido entre los 0.5 y 5.0 m. Con el fin de obtener asentamientos permisibles en la cimentación (un máximo de 5 cm en el centro y 2.5 cm diferencial), se debe trabajar con una capacidad admisible de 360 kPa (36.0 t/m²), para un ancho (B) de hasta 3 m.
- **Cimentación Edificación No. 3 – Tanque:** La capacidad portante admisible para este tipo de cimentación (L/B=1.0), varía entre 468.0 kPa (46.8 t/m²) y 580.0 kPa (58.0 t/m²), para un ancho (B) comprendido entre los 0.5 y 5.0 m. Con el fin de obtener asentamientos permisibles en la cimentación (un máximo de 5 cm en el centro y 2.5 cm diferencial), se debe trabajar con una capacidad admisible de 300 kPa (30.0 t/m²), para un ancho (B) de hasta 3 m.

Se debe aclarar que la evaluación de capacidad portante y asentamientos se realizó para cargas verticales, por lo que en el caso de que se tengan cargas excéntricas o inclinadas se deben aplicar los correspondientes factores de corrección para diseñar adecuadamente la cimentación.



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

En la **Tabla 5-2** se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la evaluación de capacidad portante y asentamientos para las diferentes edificaciones que componen el área de estudio.

Tabla 5-2 Resultados obtenidos en la evaluación de capacidad portante y asentamientos, para las edificaciones que componen el área de estudio.

| Edificación | Tipo | Df (m) | Dimensiones (m ²) | Qadm (kN/m ²) |
|-------------|------|--------|-------------------------------|---------------------------|
| 1 | T1 | 1.00 | 1.50 x 1.50 | 425 |
| 2 | T1 | 2.00 | 1.00 x 1.00 | 360 |
| | T2 | 2.00 | 1.70 x 1.70 | 360 |
| 3 | T1 | 1.00 | 1.00 x 1.00 | 300 |

5.3 REVISIÓN DE LA CIMENTACIÓN EXISTENTE DE ACUERDO CON LA DISTRIBUCIÓN DE CARGAS ESTRUCTURALES DEL PROYECTO.

- **Cimentación Edificación No. 1 – Bloque Automotriz (T1):** De acuerdo al planteamiento estructural de la cimentación, se contempló un sistema de zapatas aisladas con pedestal y viga de amarre (de 1.5 m x 1.5 m), con una capacidad portante admisible de 425 kPa (42.5 t/m²). Si se compara con la distribución de cargas estructurales de la edificación, se observa que este tipo de cimentación es adecuado para soportar estas solicitaciones de carga.
- **Cimentación Edificación No. 2 – Bloque Aulas y Talleres (T1):** De acuerdo al planteamiento estructural de la cimentación, se contempló un sistema de zapatas aisladas con pedestal y viga de amarre (de 1.0 m x 1.0 m), con una capacidad portante admisible de 360 kPa (36.0 t/m²). Si se compara con la distribución de cargas estructurales de la edificación, se observa que este tipo de cimentación es adecuado para soportar estas solicitaciones de carga.
- **Cimentación Edificación No. 2 – Bloque Aulas y Talleres (T2):** De acuerdo al planteamiento estructural de la cimentación, se contempló un sistema de zapatas aisladas con pedestal y viga de amarre (de 1.7 m x 1.7 m), con una capacidad portante admisible de 360 kPa (36.0 t/m²). Si se compara con la distribución de cargas estructurales de la edificación, se observa que este tipo de cimentación es adecuado para soportar estas solicitaciones de carga.
- **Cimentación Edificación No. 3 – Tanque (T1):** De acuerdo al planteamiento estructural de la cimentación, se contempló un sistema de zapatas aisladas y viga de amarre (de 1.0 m x 1.0 m), con una capacidad portante admisible de 300 kPa (30 t/m²). Si se compara con la distribución de cargas estructurales de la edificación, se observa que este tipo de cimentación es adecuado para soportar estas solicitaciones de carga.



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

5.4 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

A continuación se presentan los análisis de estabilidad de taludes en el área de estudio, los cuales se enfocaron principalmente en establecer las condiciones de estabilidad del área en condición actual, y partir de los resultados obtenidos en este análisis inicial, definir las respectivas obras de estabilización geotécnica, en el caso de requerirse, que garanticen buenas condiciones de estabilidad en el área (estática y con sismo), en el corto y mediano plazo.

5.4.1 Variables de Entrada

Entre las variables de entrada requeridas para la realización de los análisis de estabilidad en el área de estudio, se encuentran las siguientes:

5.4.1.1 Parámetros geotécnicos de diseño y secciones de análisis

La estimación de los parámetros geotécnicos de diseño para los materiales presentes en el sitio del proyecto, se realizó con base en los resultados obtenidos en las pruebas de campo, específicamente, el ensayo de penetración estándar SPT.

En el área de estudio, se generó una sección geotécnica de análisis, que se extiende por varios niveles de terraza aluvial, sobre los cuales se localizan las estructuras que componen la sede del SENA (EST-1: Bloque Automotriz, EST-2: Bloque Aulas y Talleres y EST-3: Tanque).

En la **Tabla 5-3** se presenta una relación de los parámetros geotécnicos de diseño para los materiales presentes en el área de estudio, y en la **Figura 5-4** se muestra la sección geotécnica de análisis con la distribución lateral y en profundidad de estos materiales.

Tabla 5-3 Parámetros geotécnicos de diseño utilizados en la realización de los análisis de estabilidad.

| Material | γ_t (t/m ³) | c (t/m ²) | ϕ (°) | Litología |
|----------|-----------------------------------|--------------------------|---------------|-----------|
| 1 | 1.90 | 1.00 | 31.50 | |
| 2 | 2.00 | 0.60 | 33.00 | |
| 3 | 2.20 | 0.50 | 35.00 | |



| | | |
|----------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

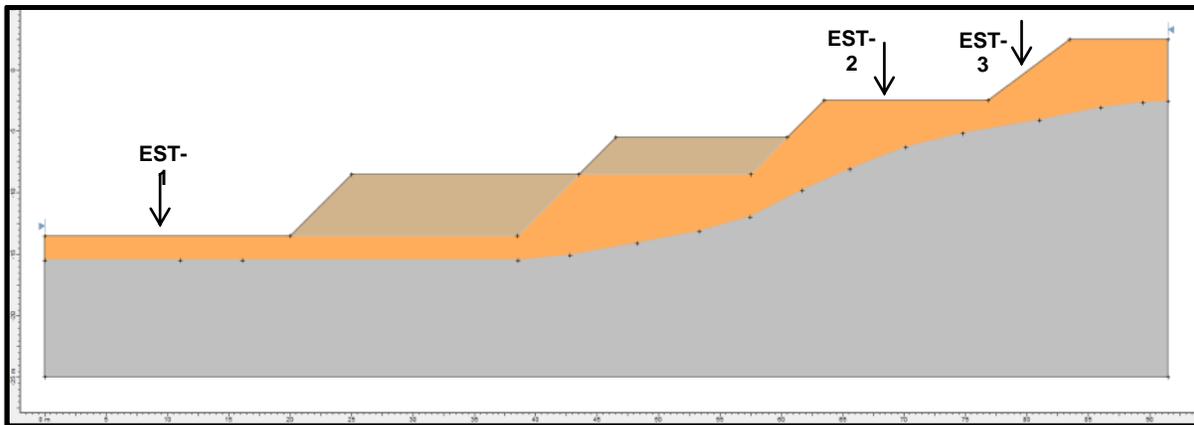


Figura 5-4 Sección Geotécnica para Análisis de Estabilidad.

5.4.1.2 Nivel del Agua Freática

La condición del agua freática para los análisis de estabilidad se evaluó para la condición actual del nivel de agua medido en cada sondeo durante la etapa de exploración geotécnica. En el área de estudio, no se encontró el nivel freático.

5.4.1.3 Sismo

De acuerdo con el Título A de la NSR-10, el municipio de Girón se encuentra en una zona de amenaza alta, con un valor de aceleración máxima horizontal a nivel de suelo (Ash), de 0.35 g. Dentro del proceso de análisis y diseños en geotecnia, para la ejecución de análisis pseudoestáticos en materiales térreos, es recomendable tomar alrededor de los 2/3 de la aceleración máxima horizontal (Ash), la cual corresponde a 0.23.

5.4.2 Análisis de Estabilidad en Condición Actual

Para la ejecución de los análisis de estabilidad en condición actual, se utilizó el programa Slide v5.0, que utiliza el método del equilibrio límite y permite incluir el efecto del agua y el sismo, al igual que algunos elementos de soporte como anclajes activos y pasivos, pilotes, soil nails, estructuras de tierra armada entre otros.

Los factores de seguridad adecuados en condición estática y sísmica (pseudo-estática), corresponden a los mínimos establecidos en el numeral H.2.4.3 de la NSR-10, la cual establece que para un análisis de estabilidad de taludes, se debe garantizar un factor de seguridad mínimo de 1.5 en condición estática y 1.05 con efecto de sismo, y un nivel de agua normal.

En la **Figura 5-5** y la **Figura 5-6** se presentan los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad en condición actual para el área de estudio.

ESTUDIO DE SUELOS



Versión 1: Mayo de 2015

Cto. 787 de 2014

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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.

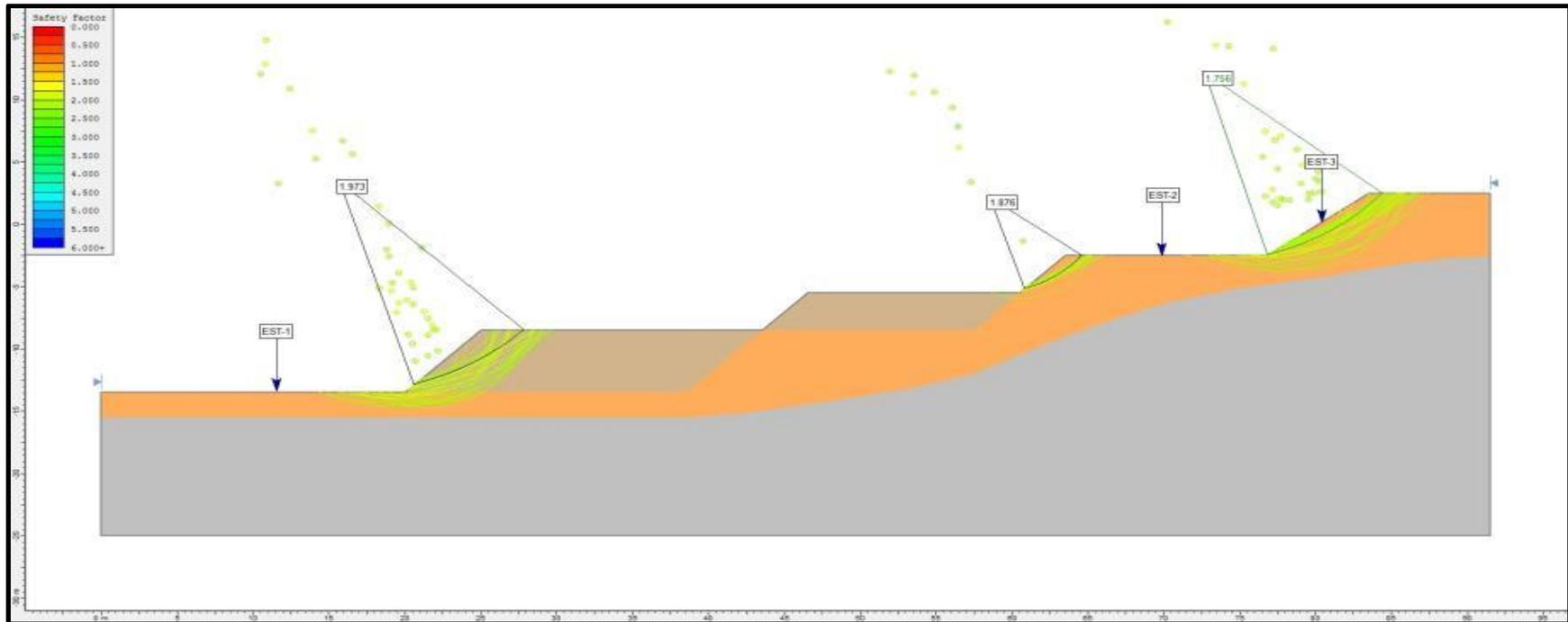


Figura 5-5 Resultados del análisis de estabilidad actual en condición estática y nivel de agua normal



ESTUDIO DE SUELOS



Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.

Versión 1: Mayo de 2015

Cto. 787 de 2014

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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.

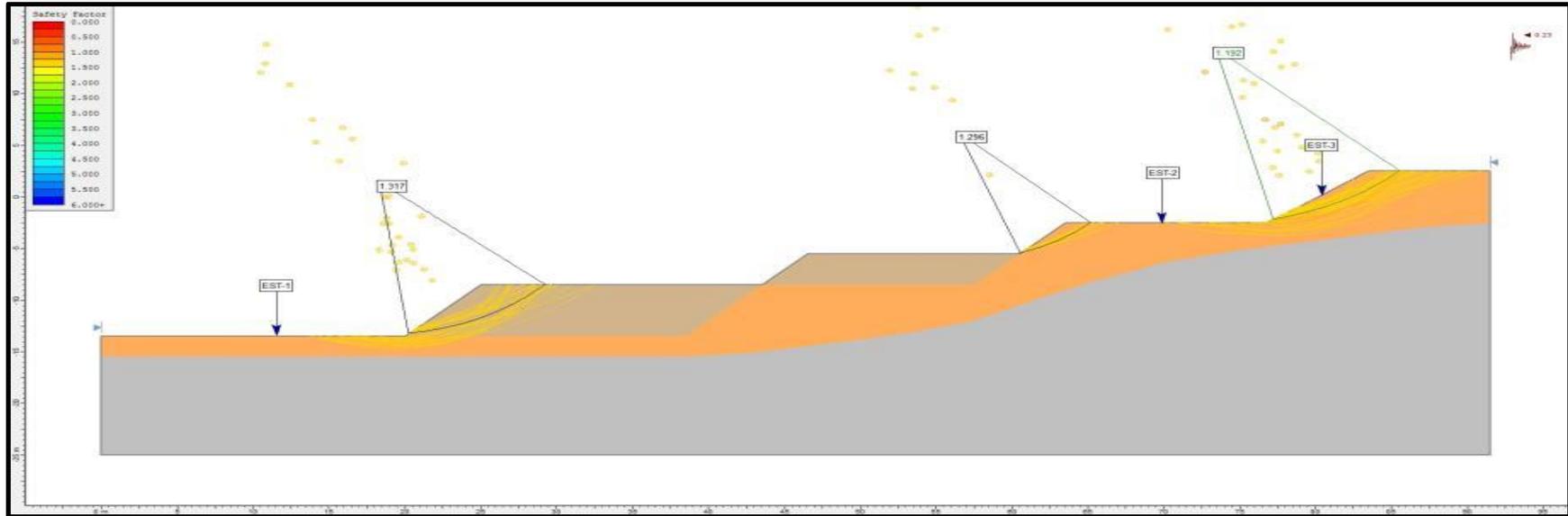


Figura 5-6 Resultados del análisis de estabilidad actual en condición sísmica y nivel de agua normal



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

En general, se puede apreciar que el área de estudio presenta buenas condiciones de estabilidad en el corto y mediano plazo, dado que el factor de seguridad mínimo en condición estática y sísmica, es de 1.75 y 1.19, respectivamente. No es necesario implementar obras de estabilización geotécnica en el área.

5.5 EJECUCIÓN DE CORTES Y RELLENOS

Teniendo en cuenta la topografía del área de estudio y el nivel de cimentación, no se espera que los cortes para las excavaciones proyectadas en las obras de reforzamiento estructural, en el caso de requerirse, sean mayores a 2.0 m de altura, y éstos pueden hacerse verticales con el uso de entibados temporales en madera o metálicos, 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 materiales tipo recebo compactado al 90% mínimo de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado. Además, deben cumplir con lo estipulado en el Artículo 610-13 “Rellenos para Estructuras”, de las especificaciones técnicas de carreteras del INVIAS. Para la colocación de estos materiales se recomienda realizar un descapote de mínimo 0.60 m, de manera que se pueda retirar el nivel con mayor contenido de material orgánico.

| | | |
|--------------------------|--|---|
| ESTUDIO DE SUELOS |  <p>Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S.</p> | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | <p>Cto. 787 de 2014</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 sismo resistente NSR-10 de edificaciones del Sena a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.</p> |

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de las observaciones de campo, exploración y análisis geotécnicos realizados para los estudios de vulnerabilidad sísmica y obras de reforzamiento estructural de las edificaciones existentes en el Centro Industrial de Diseño y Manufactura del SENA, ubicadas en el municipio de Girón, Santander.

6.1 ASPECTOS GEOTÉCNICOS

En la exploración geotécnica realizada, a nivel superficial se encuentra una capa de arcilla arenosa de color café de consistencia media a firme y plasticidad baja. Bajo este nivel, se encuentra una capa de arena arcillosa – gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad. Finalmente, se encuentra un depósito de gravas y fragmentos de bloques de arenisca en una matriz arcillosa-arenosa de color café y gris. En los sondeos realizados no se encontró el nivel freático.

6.2 CONDICIÓN ACTUAL DE LA CIMENTACIÓN

Al revisar la condición actual de la cimentación existente en las edificaciones presentes en esta sede del SENA, se encontró que en general, estas estructuras están cimentadas a una profundidad variable entre los 1.0 m y 2.0 m de profundidad, sobre un estrato de arena arcillosa y gravosa de color café de compacidad media a muy densa, con presencia de finos de baja plasticidad y limos no plásticos. En cuanto a su configuración estructural, se puede apreciar que estos cimientos se componen principalmente por un sistema de zapatas aisladas en concreto con pedestal y viga de amarre.

Desde el punto de vista geotécnico, es claro que este tipo de cimentación es adecuada para transmitir las cargas de cada estructura al suelo de fundación.

6.3 CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS

En la evaluación de capacidad portante y asentamientos, se consideró un factor de seguridad de 3.0 en condición estática y de 1.5 en condición sísmica, de acuerdo con lo establecido en el Título H de la NSR-10. Los valores de capacidad portante admisible obtenidos para cada edificación, se calcularon para un asentamiento máximo permisible de 5 cm en el centro y 2.5 cm diferencial.

Es importante aclarar que esta evaluación se realizó para cargas verticales, por lo tanto en caso de que se tengan cargas excéntricas o inclinadas, se debe reevaluar el valor de



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

capacidad portante, incluyendo los factores de corrección necesarios para diseñar adecuadamente la cimentación.

En la **Tabla 6-1** se presenta un resumen de los valores de capacidad portante admisible obtenidos para las diferentes edificaciones que componen el área de estudio.

Tabla 6-1 Capacidad portante admisible para las edificaciones que componen el área de estudio.

| Edificación | Tipo | Df (m) | Dimensiones (m2) | Qadm (kN/m2) |
|-------------|------|--------|------------------|--------------|
| 1 | T1 | 1.00 | 1.50 x 1.50 | 425 |
| 3 | T1 | 2.00 | 1.00 x 1.00 | 360 |
| | T2 | 2.00 | 1.70 x 1.70 | 360 |
| 4 | T1 | 1.00 | 1.00 x 1.00 | 300 |

Al comparar la distribución de cargas estructurales del proyecto con los resultados obtenidos en la evaluación de capacidad portante y asentamientos, se puede apreciar que el tipo de cimentación existente en cada edificación es adecuado para soportar estas solicitaciones de carga.

6.4 OTRAS RECOMENDACIONES

Para el nuevo sistema de cimentación, en el caso de requerirse, se debe garantizar que el suelo de fundación tenga características adecuadas, y que sean mejores o similares a los resultados obtenidos en los sondeos realizados; de no ser así se debe profundizar la cimentación de forma que alcance un nivel de suelo más competente.

Los elementos de esta cimentación deben amarrarse por medio de vigas ortogonales de sección transversal mínima de 0.20 m de ancho por 0.30 m de altura. El dimensionamiento propuesto para las vigas de amarre debe ser revisado de acuerdo con las solicitaciones estructurales del proyecto por parte del responsable del respectivo diseño.

Teniendo en cuenta la topografía del área de estudio y el nivel de cimentación, no se espera que los cortes para las excavaciones proyectadas en las obras de reforzamiento estructural, en el caso de requerirse, sean mayores a 2.0 m de altura, y éstos pueden hacerse verticales con el uso de entibados temporales en madera o metálicos, 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 materiales tipo recebo compactado al 90% mínimo de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor Modificado. Además, deben cumplir con lo estipulado en el Artículo 610-13 “Rellenos para Estructuras”, de las especificaciones técnicas de carreteras del INVIAS. Para la colocación de estos materiales se recomienda realizar un descapote de mínimo 0.60 m, de manera que se pueda retirar el nivel con mayor contenido de material orgánico.



| | | |
|--------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

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.



| | | |
|------------------------------|--|---|
| ESTUDIO DE SUELOS |  | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | <p style="text-align: center;">Cto. 787 de 2014</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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.</p> |

ANEXO A REGISTROS DE PERFORACIÓN



| | | |
|------------------------------|--|---|
| ESTUDIO DE SUELOS |  | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | <p style="text-align: center;">Cto. 787 de 2014</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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2.</p> |

ANEXO B TABLA RESUMEN Y REGISTROS DE LABORATORIO



| | | |
|------------------------------|--|--|
| ESTUDIO DE SUELOS |  Técnicas Colombianas de Ingeniería S.A.S. | Versión 1: Mayo de 2015 |
| | | Cto. 787 de 2014 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 a nivel nacional, ubicadas en zona de amenaza sísmica alta e intermedia fase 2. |

ANEXO C MEMORIAS DE CÁLCULO Y RESULTADOS

