



ESTUDIO DE SUELOS

INSTITUTO TÉCNICO SUPERIOR DÁMASO ZAPATA

MUNICIPIO DE BUCARAMANGA

Abril 16 de 2021



TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE ANEXOS.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. ALCANCE	7
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN	8
4. SECTORIZACIÓN GEOLÓGICA	10
5. GEOMORFOLOGÍA.....	13
5.1 ORIGEN DENUDACIONAL	14
5.1.1 Escarpe de erosión menor (Deeme).....	14
5.1.2 Ladera erosiva (Dle)	14
5.1.3 Mesa de abanico (Dmab).....	15
5.1.4 Sierra denudada (Dsd)	15
5.2 ORIGEN ESTRUCTURAL.....	15
5.2.1 Espolón faceteado (Sefc)	15
5.2.2 Espolón faceteado (Sefc)	15
5.2.3 Espolón (Ses).....	16
5.2.4 Gancho de flexión (Sgf)	16
5.3 ORIGEN FLUVIAL	16
5.3.1 Planicie o llanura de inundación (Fpi)	16
6. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	17
6.1 NÚMERO, TIPO Y PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS.....	17
6.2 ENSAYOS DE CAMPO.....	20
6.3 ENSAYOS DE LABORATORIO	23
6.3.1 Tipo y Cantidades de Ensayos.....	23
6.3.2 Resultados Ensayos de Laboratorio	24
6.4 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA INDIRECTA.....	26
6.4.1 Refracción sísmica.....	26
6.4.2 Ensayo MASW	27
6.4.3 Análisis e Interpretación de los resultados.....	28
7. ANÁLISIS GEOTÉCNICO.....	30
7.1 PERFIL PROMEDIO DE ANÁLISIS	30
7.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	31
7.3 EVALUACIÓN DE CARGAS.....	32
7.4 ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE	32
7.5 EVALUACIÓN DE ASENTAMIENTOS Y DEFORMABILIDAD.....	34
7.6 ANÁLISIS POTENCIAL DE LICUACIÓN	35
7.7 ANÁLISIS SUELOS COLAPSABLES	35
7.8 EVALUACIÓN DE EXPANSIVIDAD	36
7.9 ESTABILIDAD DE EXCAVACIONES	36
7.10 COEFICIENTES DE PRESIÓN DE TIERRAS	37
7.11 ASPECTOS SÍSMICOS.....	38



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	39
9. LIMITACIONES.....	43



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número mínimo de sondeos y profundidad para cada unidad de construcción.....	17
Tabla 2. Número mínimo de sondeos y profundidad para cada unidad de construcción.....	17
Tabla 3. Cargas máximas de servicio edificaciones I.E. Tecnológico Dámaso Zapata	19
Tabla 4. Coordenadas y profundidad de la exploración geotécnica	19
Tabla 5. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P1	21
Tabla 6. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P2	21
Tabla 7. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P3	22
Tabla 8. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P4	22
Tabla 9. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P5	23
Tabla 10. Coordenadas y profundidad de la exploración geotécnica	24
Tabla 11. Resumen Resultados Ensayos de Laboratorio.....	25
Tabla 12. Perfil Estratigráfico	30
Tabla 13. Parámetros geotécnicos	32
Tabla 14. Resultados análisis de capacidad portante Edificación 1	33
Tabla 15. Resultados análisis de capacidad portante Edificación 2 y 3	33
Tabla 16. Resultados análisis de capacidad portante Porterías.....	34
Tabla 17. Resultados análisis de asentamientos.....	35
Tabla 18. Clasificación de suelos expansivos, Tabla H.9.1-1 NSR-10.....	36
Tabla 19. Coeficientes de presión de tierras.....	38



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización sitio de estudio	8
Figura 2 Referenciación Geológica Regional.....	11
Figura 3 Referenciación Geológica Regional.....	12
Figura 4 Geomorfología del área de estudio.....	14
Figura 5 Cargas de servicio edificaciones I.E. Tecnológico Dámaso Zapata.....	18
Figura 6 Localización exploración geotécnica	20
Figura 7 Tomografía LR-1	26
Figura 8 Resultados del ensayo MASW - 1	27
Figura 9 Resultados de módulos E, G, n para MASW - 1	28
Figura 10 Resultados análisis de estabilidad condición estática y pseudo estática.....	37

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 INFORME DE EXPLORACIONES.....	45
Anexo 2 RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO	46
Anexo 3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	47
Anexo 4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS – CÁLCULOS CAPACIDAD PORTANTE Y ASENTAMIENTOS	48



1. INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene el Estudio de Suelos con la descripción de cada una de las labores de campo, exploración del subsuelo, ensayos de campo y laboratorio, cálculos de capacidad portante y asentamientos para los diseños de la cimentación, tipo de cimentación y pre-dimensionamiento de la estructura de cimentación, conclusiones y recomendaciones constructivas para la cimentación propuesta, para garantizar la estabilidad general de las estructuras a construir en el Instituto Técnico Superior Dámaso Zapata.

Este Estudio de Suelos se realiza de acuerdo a las especificaciones del proyecto y la norma de diseño sismo resistente NSR-10.



2. ALCANCE

El presente informe tiene como alcance realizar el estudio de suelos y las recomendaciones desde un punto de vista técnico y económico, las recomendaciones constructivas correspondientes a las obras de infraestructura a realizar en la construcción tres edificaciones de hasta 4 niveles en el Instituto Técnico Superior Dámaso Zapata, ubicado en la Calle 10 No. 28 – 77, Barrio San Francisco, Bucaramanga, Santander.

En este estudio se consideran los parámetros necesarios para el cálculo de la cimentación como son capacidad portante, asentamientos, esfuerzos horizontales y determinar el tipo de excavación y protección a implementar.

Los alcances específicos del proyecto son:

- Perforaciones manuales y recuperación de muestras para ensayo en el laboratorio de suelos.
- Determinación del perfil estratigráfico promedio.
- Determinación de las características física y geomecánica de los estratos de suelos que se reportan en los perfiles.
- Cálculos de capacidad portante.
- Cálculos de asentamientos.
- Conclusiones y recomendaciones constructivas para garantizar un buen desarrollo de la obra.



3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y LOCALIZACIÓN

Se realizarán los diseños para la construcción de la cimentación correspondiente a tres edificaciones de hasta de cuatro (4) niveles en el Instituto Técnico Superior Dámaso Zapata. El proyecto se encuentra localizado en el casco urbano del Municipio de Bucaramanga, en la Calle 10 No. 28 – 77, Barrio San Francisco, Comuna 3.



Figura 1 Localización sitio de estudio
Fuente: Google Earth

Las edificaciones a construir se describen a continuación:

- Edificio 1 - Auditorio y salones: conformado por un primer piso de área de 675 m², segundo piso de 692 m², tercer piso de 692 m², y un cuarto piso de área proyectada de 342 m². El aforo proyectado para auditorio es de 500 estudiantes, y para salones es de 294 estudiantes.
- Edificio 2 - Talleres: conformado por un primer piso con área de 1606 m², segundo piso con área de 1606 m² y un tercer piso de área de 1606 m². Espacio proyectado para 1400 estudiantes.



- Edificio 3 Cafetería y salones: constituido por un primer piso de área proyectada de 8024 m², segundo piso de 1086 m², tercer piso de 1086 m², y un cuarto piso de área proyectada de 806 m². El aforo proyectado para cafetería es de 500 estudiantes, y para salones es de 615 estudiantes.



4. SECTORIZACIÓN GEOLÓGICA

¹El nororiente Colombiano se encuentra enmarcado por la interacción de las placas tectónicas Nazca, Suramericana y Caribe, de ahí que sea geológicamente complejo y tectónicamente dinámico. El departamento de Santander representa a una zona de influencia entre los límites de las placas Suramericana y Caribe (Royero & Clavijo, 2001). Se caracteriza por tener rocas de diversas litologías y de edades comprendidas entre el Precámbrico hasta el Cuaternario. De acuerdo con el esquema tectónico realizado por Clavijo et al. (1993), el territorio de Santander se subdivide en tres provincias: Macizo de Santander, Cordillera Oriental y Valle Medio del Magdalena (Royero & Clavijo, 2001).

El área de estudio se encuentra en la provincia tectónica de la Cordillera Oriental, la cual presenta rasgos estructurales de pliegues amplios, los cuales se encuentran limitados por fallas inversas y de cabalgamiento con dirección NE y NW e inclinación predominante al este. Litológicamente, está conformada por rocas Jurásicas a Cretácicas, limitadas por las Fallas Riachuelo y Bucaramanga – Santa Marta al este y la Falla La Salina al oeste (Royero & Clavijo, 2001).

Regionalmente, la zona se encuentra en la depresión tectónica de Bucaramanga, área con influencia del Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y del Sistema de Fallas del Suarez. Al este del Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta se presentan rocas metamórficas de edades del Precámbrico correspondientes al Neis de Bucaramanga, unidad que hace parte de la Provincia del Macizo de Santander, al oeste de este sistema de fallas se encuentra conformada por rocas de diversas litologías y de edades comprendidas entre el Carbonífero al Cuaternario (Figura 5). Aflora al noroeste la Formación Diamante constituida por caliza de color gris, lutita gris a parda rojiza, la Formación Tiburón conformada por conglomerados con guijarros de calizas gris, y la Formación Bocas compuesta por areniscas y lutitas de color gris a gris parduzca; se incluye los depósitos de terraza y cono de deyección sobre el cual se encuentra el casco urbano

¹ Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería



del municipio de Bucaramanga, y depósitos aluviales asociados a la dinámica propia de los drenajes de la zona (Figura 2).

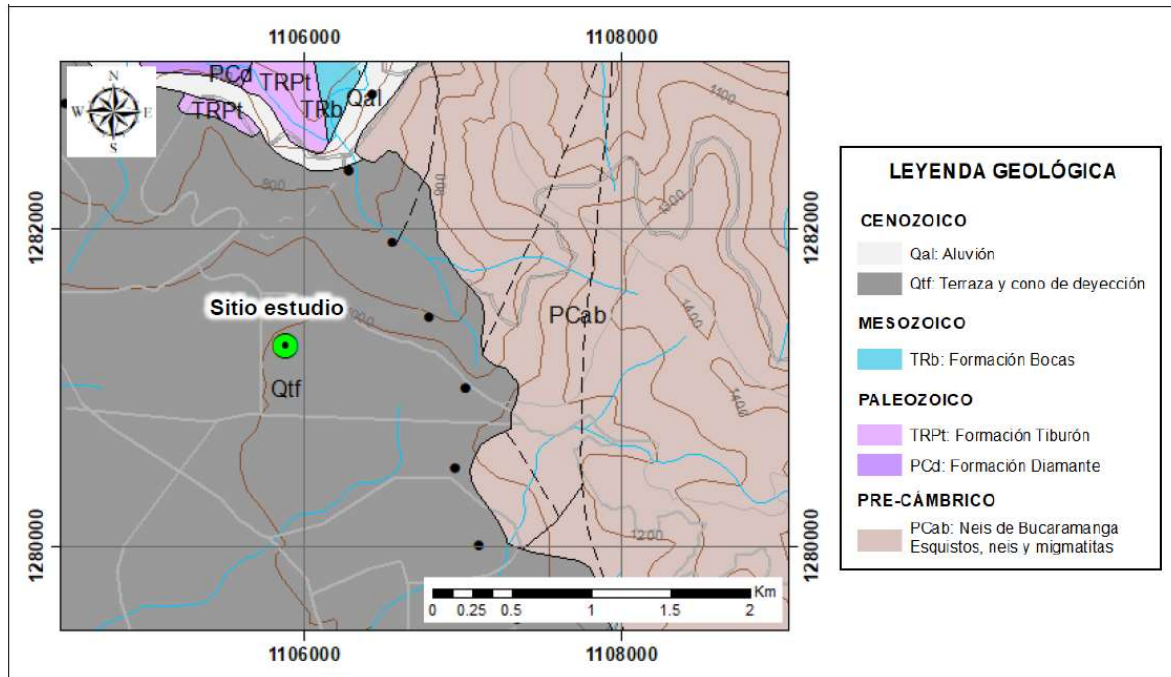


Figura 2 Referenciación Geológica Regional

Fuente: Ward et al., en SGC, 2013.

De acuerdo con el Mapa geológico de la Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga realizado por Carrillo et al. (2001), el sitio de estudio se localiza en el Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Figura 3), correspondiente a arenas arcillosas gravosas y limos de color rojizo, amarillento y naranja, con presencia ocasional de bloques angulares de areniscas asociados superficialmente a este miembro. Se encuentran meteorizados (Ingeominas, 2001).

¹ Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería

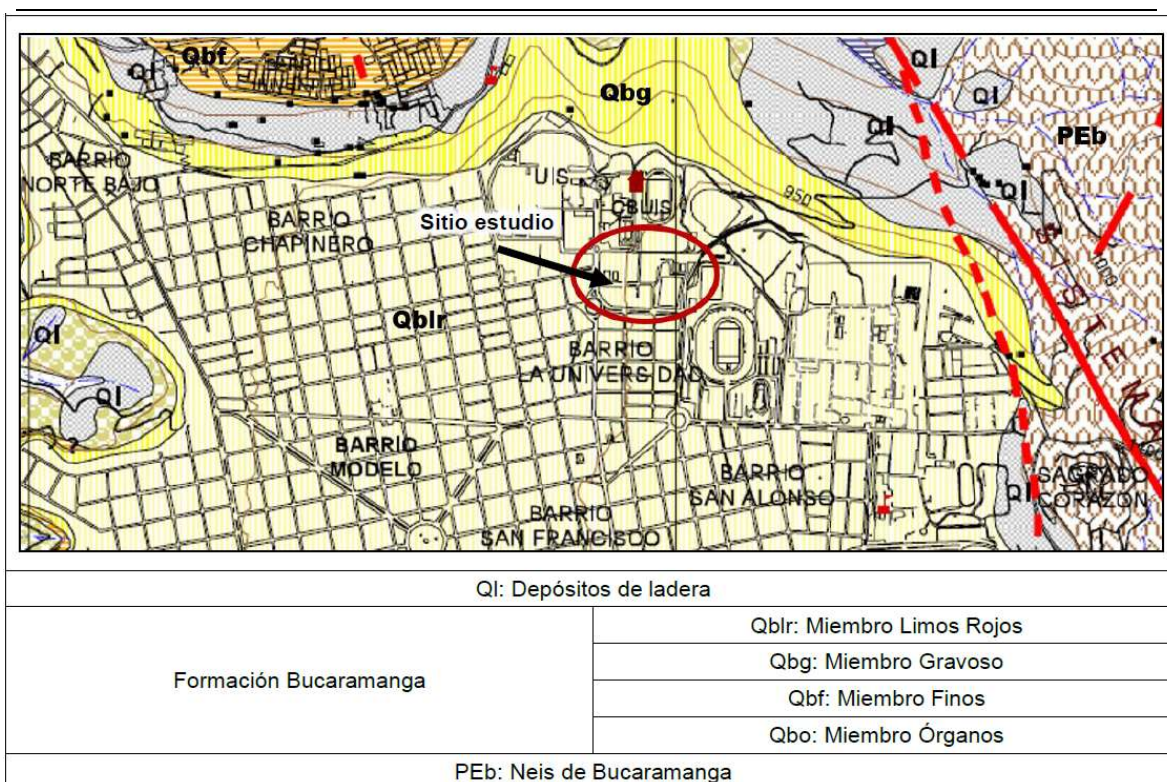


Figura 3 Referenciación Geológica Regional

Fuente: Carrillo et al., 2001.

¹ Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería



5. GEOMORFOLOGÍA

²La geomorfología es el factor de mayor importancia para el análisis de la evolución del terreno y su relación con la ocurrencia de procesos con características definidas (SGC, 2017), a partir de su cartografía se define y se identifica las formas del terreno, materiales que la conforman y los procesos superficiales que los afectan (Carvajal en SGC, 2017).

Los procesos geomorfológicos son dinámicos y representan los cambios que ha sufrido el terreno producto de procesos endógenos y exógenos que dan como resultado el modelado del relieve. Estos procesos ocurren con diferente intensidad y durante intervalos de tiempos geológicos (Carvajal en Rivera & Jácome, 2016).

En la identificación de las unidades se considera la forma del relieve, las pendientes y su génesis, ya que cada unidad representa zonas homogéneas cuyo comportamiento mecánico es diferente, respecto a los agentes degradacionales que modelan y modifican el paisaje.

En general, en el área de estudio se tienen geoformas principalmente de origen denudacional, estructural y fluvial, esto de acuerdo al Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa Plancha 109 Rionegro realizado por SGC & UIS (2014) y Plancha 120 Bucaramanga por SGC & UIS (2014), las cuales se presentan en la Figura 4.

² Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería

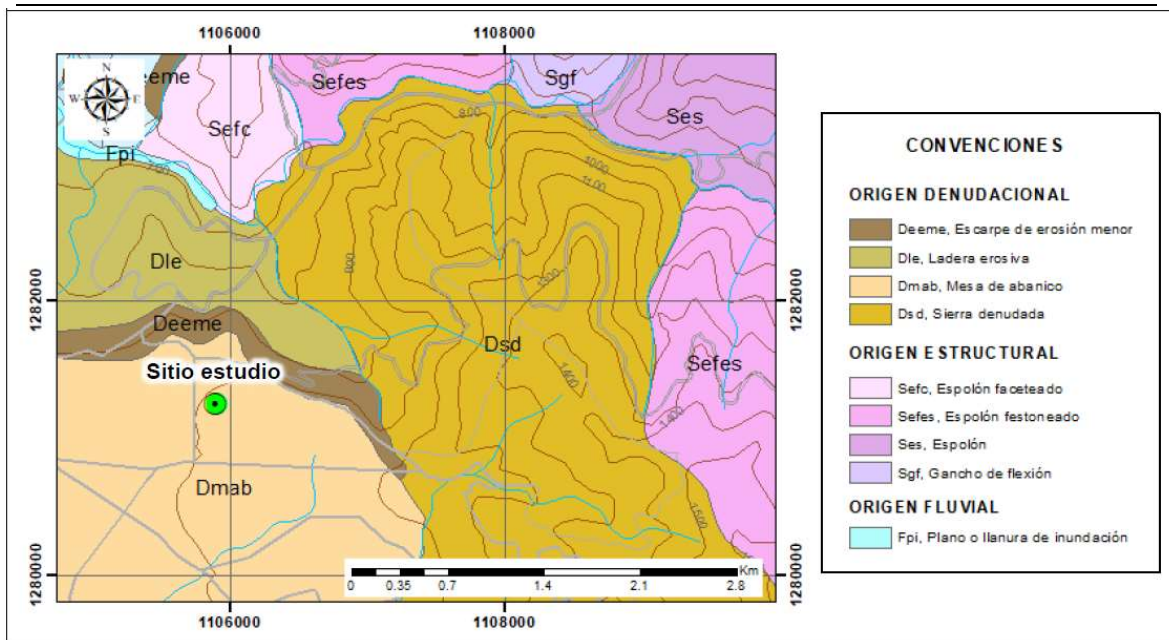


Figura 4 Geomorfología del área de estudio

Fuente: SGC & UIS, 2014.

5.1 ORIGEN DENUDACIONAL

Corresponde a geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos (SGC & UIS, 2014).

5.1.1 Escarpe de erosión menor (Deeme)

Ladera a desplome con pendiente escarpada a muy escarpada y de longitud corta, ocasionalmente recta, originada por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un cauce (SGC & UIS, 2014).

5.1.2 Ladera erosiva (Die)

Superficie de longitud moderada a larga, de pendiente muy inclinada, forma irregular a cóncava y patrón de drenaje sub-dendrítico a sub-paralelo con alto grado de disección, las cuales han sido afectadas por intensos procesos de erosión, generando cárcavas y surcos

² Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería



sobre depósitos fluviotorrenciales del abanico distal de la terraza de Bucaramanga (SGC & UIS, 2014).

5.1.3 Mesa de abanico (Dmab)

Geoforma como resultado de procesos denudativos que afectan a un abanico fluviotorrencial, dejando como producto una superficie aterrazada de pendiente ligeramente inclinada, limitada por laderas irregulares cortas con altas pendientes. En esta unidad se encuentra el casco urbano del municipio de Bucaramanga (SGC & UIS, 2014).

5.1.4 Sierra denudada (Dsd)

Prominencia topográfica de morfología montañosa, limitada por laderas largas de pendiente inclinada y forma convexa. Se asocia a material rocoso homogéneo ígneo con movimientos en masa y movimientos en masa (SGC & UIS, 2014).

5.2 ORIGEN ESTRUCTURAL

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades (SGC & UIS, 2014).

5.2.1 Espolón faceteado (Sefc)

Prominencia topográfica dispuesta perpendicular a la tendencia de las estructuras (fallas, lineamientos) de la región, con truncamientos a manera de facetas triangulares. Su morfología es alomada, la cual se encuentra limitada por laderas de pendiente abrupta con patrón de drenaje sub-paralelo, con evidencias de movimientos en masa de tipo flujos de tierra, con procesos de erosión en terracetos o patas de vaca (SGC & UIS, 2014).

5.2.2 Espolón faceteado (Sefc)

Sierra de cresta simétricas dispuesta perpendicular a la tendencia de las estructuras, de morfología alomada y cima aguda. Las laderas presentan una intensa disección por corrientes superficiales, con algunos procesos de erosión laminar y movimientos en masa de tipo flujos de detritos (SGC & UIS, 2014).

² Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería



5.2.3 Espolón (Ses)

Caracterizada por presentar una morfología alomada, elongada con forma de sierra dispuesta perpendicular al rumbo de una estructura regional. Se encuentra limitada por laderas convexas de longitudes cortas con pendiente abrupta y patrón de drenaje sub-paralelo, se observa eventualmente movimientos en masa de tipo flujos de tierra y deslizamientos rotacionales y procesos de erosión en terracetas y surcos (SGC & UIS, 2014).

5.2.4 Gancho de flexión (Sgf)

Saliente estructural de morfología alomada y elongada, cuyo origen se da por la combinación del desplazamiento lateral de una falla de rumbo y procesos de incisión erosiva. En planta, presenta forma de gancho, arqueada en dirección del movimiento de la falla, asociada al trazo principal de la Falla de Bucaramanga (SGC & UIS, 2014).

5.3 ORIGEN FLUVIAL

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca (SGC & UIS, 2014).

5.3.1 Planicie o llanura de inundación (Fpi)

Área con topografía plana localizada adyacente a cauces aluviales, de morfología baja ondulada, ocasionalmente inundable. En ocasiones, puede presentar colinas debido a procesos de erosión y acumulación de sedimentos finos que se depositaron durante eventos de inundación fluvial de los principales drenajes (SGC & UIS, 2014).

Geomorfológicamente, el sector de estudio se localiza en la geoforma de origen denudacional correspondiente a mesa de abanico.

² Tomado de informe "EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA", Torres Ingeniería



6. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA, ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Con el propósito de caracterizar los materiales presentes en la zona del proyecto, la empresa TORRES INGENIERÍA llevó a cabo el programa de exploración de campo propuesto por el Municipio de Bucaramanga, Secretaría de Infraestructura, mediante el Contrato de Consultoría 17-27/01/2021, con objeto “Estudio de suelos, geología y geotecnia en diferentes puntos del municipio de Bucaramanga”. En el Anexo 1 se presenta el informe “EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA”, elaborado por TORRES INGENIERÍA.

6.1 NÚMERO, TIPO Y PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS

Para realizar el estudio de suelos de las edificaciones se requirió la ejecución de exploración de campo mediante sondeos que cumplan, en número y profundidad, con lo estipulado en la normatividad vigente (NSR-10) de acuerdo a la categoría del proyecto como se muestra en las Tablas H.3.1.1 y H.3.2-1 de la NSR-10.

Tabla 1. Número mínimo de sondeos y profundidad para cada unidad de construcción

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN

Fuente: NSR-10 Tabla H.3.1-1

Tabla 2. Número mínimo de sondeos y profundidad para cada unidad de construcción

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

Fuente: NSR-10 Tabla H.3.2-1

Considerando lo anterior, la categoría de las unidades de construcción del proyecto es Media, por lo que se requieren 4 sondeos de 15 m de profundidad para las edificaciones.



En el numeral H.3.2.6 de la NSR-10 se menciona que “*Los sondeos realizados en la frontera entre unidades adyacentes de construcción de un mismo proyecto, se pueden considerar válidos para las dos unidades siempre y cuando domine la mayor profundidad aplicable*”. Así mismo, en este mismo numeral considera el Efecto por repetición: “*Para proyectos con varias unidades similares, el número total de sondeos se calculará a partir de la segunda unidad de construcción y siguientes como la mitad (50%) del encontrado para la primera unidad aumentando al número entero siguiente al aplicar la reducción*”.

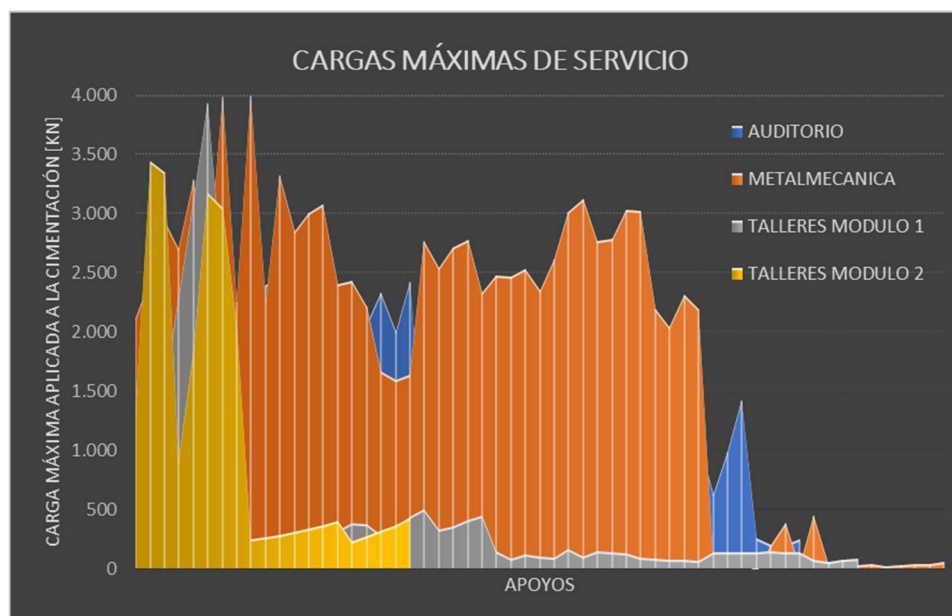


Figura 5 Cargas de servicio edificaciones I.E. Tecnológico Dámaso Zapata
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 5 se presentan las reacciones verticales para la combinación de cargas de servicio en todos los apoyos de cada una de las edificaciones que el proyecto propone para ampliación en altura. Se puede observar que todas las edificaciones presentan una carga máxima de servicio (Carga muerta más viva) menor a 4.000 kN, siendo los valores máximos de cada edificación listados en la Tabla 3.



Tabla 3. Cargas máximas de servicio edificaciones I.E. Tecnológico Dámaso Zapata

EDIFICACIÓN	CARGA MÁXIMA DE SERVICIO
AUDITORIO	2468 KN
METALMECANICA	3997 KN
TALLERES MÓDULO 1	3931 KN
TALLERES MÓDULO 2	3438 KN

La aplicación del criterio de efecto por repetición en la definición del número de sondeos realizados en la fase exploratoria del subsuelo se sustenta en la clasificación de las edificaciones como similares según el rango de las cargas máximas de servicio transmitidas a la masa de suelo, dado que todas las edificaciones se encuentran en el rango de valores entre 801 kN y 4.000 kN que corresponden a una categoría media.

Considerando lo anterior y las necesidades del proyecto, se ejecutaron 5 perforaciones con muestreo de profundidad 15 m, un sondeo dinámico y un apique manual de profundidad 2 m. En la Tabla 4 se presentan las coordenadas de las exploraciones y su ubicación en la Figura 6.

Tabla 4. Coordenadas y profundidad de la exploración geotécnica

No.	SONDEOS	PROFUNDIDAD (m)	COORDENADAS			
			ESTE		NORTE	
1	Apique 1	2,0	1105923		1281232	
2	Perforación 1	15,0	1105899		1281304	
3	Perforación 2	15,0	1105896		1281276	
4	Perforación 3	15,0	1105886		1281254	
5	Perforación 4	15,0	1105837		1281259	
6	Perforación 5	15,0	1105806		1281313	
No.	ENSAYO	LONGITUD (m)	INICIO		FINAL	
			ESTE	NORTE	ESTE	NORTE
1	LR-1	56,0	1105806	1281294	1105837	1281259
2	MASW-1	56,0	1105806	1281294	1105837	1281259

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería



Figura 6 Localización exploración geotécnica

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

6.2 ENSAYOS DE CAMPO

En el área de estudio se definieron los puntos para realizar el muestreo del suelo de tal forma que se diera cumplimiento con la normatividad vigente. Estas perforaciones fueron ejecutadas con equipo manual por el sistema de percusión con profundidad del orden de 15 m, con realización del ensayo SPT y la ubicación del nivel freático.

Las perforaciones se denominaron P1, P2, P3, P4, y P5 cuyos registros de los materiales encontrados se muestran en el Anexo 1. Durante la ejecución de los sondeos se recuperaron muestras alteradas e inalteradas de los materiales típicos que servirán como suelo de cimentación de la estructura y no se evidenció presencia de nivel freático de acuerdo con lo presentado en los registros de perforación.



En las siguientes tablas se presenta para cada perforación el valor de N_{campo} y el valor de $N_{\text{corregido}}$.

Tabla 5. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P1

PROFUNDIDAD (m)	PERFORACIÓN No 1 N EN CAMPO	PERFORACIÓN No 1 N CORREGIDO
0,45	11	6
0,90	26	21
1,35	30	24
1,80	26	20
2,10	50 R	68
3,00	Barrena	Barrena
4,00	Barrena	Barrena
5,00	Barrena	Barrena
5,15	100-R	68
6,00	Barrena	Barrena
7,00	Barrena	Barrena
8,00	Barrena	Barrena
9,00	Barrena	Barrena
10,00	Barrena	Barrena
11,00	Barrena	Barrena
12,00	Barrena	Barrena
12,30	100-R	68
13,00	Barrena	Barrena
14,00	Barrena	Barrena
15,00	Barrena	Barrena

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

Tabla 6. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P2

PROFUNDIDAD (m)	PERFORACIÓN No 2 N EN CAMPO	PERFORACIÓN No 2 N CORREGIDO
0,45	30	15
0,90	14	11
1,35	17	14
1,80	22-R	17
1,95	Barrena	Barrena
3,00	Barrena	Barrena
4,00	Barrena	Barrena
5,00	Barrena	Barrena
6,00	Barrena	Barrena
6,15	92R	65
7,00	Barrena	Barrena
8,00	Barrena	Barrena
9,00	Barrena	Barrena
10,00	Barrena	Barrena
11,00	Barrena	Barrena
12,00	Barrena	Barrena
13,00	Barrena	Barrena
14,00	Barrena	Barrena
15,00	Barrena	Barrena

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

Tabla 7. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P3

PROFUNDIDAD (m)	PERFORACIÓN No 3 N EN CAMPO	PERFORACIÓN No 3 N CORREGIDO
0,60	Barrena	68
1,05	13	10
1,50	24	20
1,95	26	20
2,10	Barrena	Barrena
3,00	Barrena	Barrena
4,00	Barrena	Barrena
5,00	Barrena	Barrena
5,20	95-R	63
6,00	Barrena	Barrena
7,00	Barrena	Barrena
8,00	Barrena	Barrena
9,00	Barrena	Barrena
10,00	Barrena	Barrena
11,00	Barrena	Barrena
12,00	Barrena	Barrena
13,00	Barrena	Barrena
14,00	Barrena	Barrena
14,05	100-R	68
15,00	Barrena	Barrena

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

Tabla 8. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P4

PROFUNDIDAD (m)	PERFORACIÓN No 4 N EN CAMPO	PERFORACIÓN No 4 N CORREGIDO
0,45	20	10
0,90	26	21
1,35	44	26
1,80	91 R	70
2,25	Barrena	Barrena
2,50	Barrena	Barrena
3,00	Barrena	Barrena
4,00	Barrena	Barrena
5,00	Barrena	Barrena
6,00	Barrena	Barrena
6,30	100 R	68
7,00	Barrena	Barrena
8,00	Barrena	Barrena
9,00	Barrena	Barrena
10,00	Barrena	Barrena
11,00	Barrena	Barrena
11,20	100 R	68
12,00	Barrena	Barrena
13,00	Barrena	Barrena
14,00	Barrena	Barrena
15,00	Barrena	Barrena

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

Tabla 9. Valores N_{campo} y $N_{\text{corregido}}$ P5

PROFUNDIDAD (m)	PERFORACIÓN No 5 N EN CAMPO	PERFORACIÓN No 5 N CORREGIDO
0,45	24	12
0,90	29	23
1,35	19	15
1,80	63	48
3,00	Barrena	Barrena
4,00	Barrena	Barrena
5,00	Barrena	Barrena
6,00	Barrena	Barrena
7,00	Barrena	Barrena
7,12	100 R	68
8,00	Barrena	Barrena
9,00	Barrena	Barrena
10,00	Barrena	Barrena
10,18	98 R	67
11,00	Barrena	Barrena
12,00	Barrena	Barrena
13,00	Barrena	Barrena
14,00	Barrena	Barrena
15,00	Barrena	Barrena

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

Las propiedades del subsuelo se presentan en el Anexo 1, las cuales incluyen la descripción de los estratos del suelo y los respectivos ensayos de clasificación.

6.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Al igual que las exploraciones geotécnicas, los ensayos de laboratorio también fueron ejecutados por la empresa TORRES INGENIERÍA.

Se realizaron los ensayos de laboratorio a las muestras alteradas e inalteradas recuperadas, estos ensayos permiten la clasificación de los materiales y la obtención de los parámetros necesarios para el desarrollo de los cálculos para el proyecto.

6.3.1 Tipo y Cantidades de Ensayos

A las muestras remoldeadas y alteradas tomadas en la exploración de campo se realizaron los siguientes ensayos de clasificación:

- Contenido de Humedad natural.



- Granulometría
- Límites de Atterberg
- Peso Unitario

De igual manera, a las muestras inalteradas se le practicaron los siguientes ensayos:

- Compresión Inconfinada
- Consolidación
- Corte Directo

Se determinó adicionalmente el módulo de elasticidad de los diferentes estratos, para realizar los cálculos de asentamientos. En la Tabla 10 se presentan los ensayos realizados con sus respectivas cantidades.

Tabla 10. Coordenadas y profundidad de la exploración geotécnica

ENSAYO	CANTIDAD REALIZADA
Humedad	44
Granulometría	44
Límites de Atterberg	44
Peso unitario	10
Corte directo	2
Compresión inconfinada (suelo)	8
Consolidación	1

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

6.3.2 Resultados Ensayos de Laboratorio

En la Tabla 11 se presenta el resumen de resultados de los ensayos de laboratorio de las perforaciones y el apique y en el Anexo 1 se presentan los registros de estos ensayos.



ESTUDIO DE SUELOS INSTITUTO TÉCNICO SUPERIOR DÁMASO ZAPATA

Tabla 11. Resumen Resultados Ensayos de Laboratorio

EXPLORACIÓN				ENSAYOS DE CAMPO					ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN												RESISTENCIA AL CORTE		
Perforación / Apique	Profundidad (m)			SPT				N.F.	w (%)	Peso unitario seco	Peso unitario total	Granulometría			Límites de Atterberg			Clasificación		Compresión Inconfinada	Corte Directo		
	Inicio	Fin	Zprom	6"	12"	18"	N ₄₅ (CAMPO)			γ _d (kN/m³)	γ _T (kN/m³)	G (%)	A (%)	F (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	USCS	AASHTO				
P1	0,00	0,45	0,23	13	10	1	11,00	Seco	20,55			1,02	79,66	19,32	NL	NP	NI	SM	A-2-4				
P1	0,45	0,90	0,68					Seco															
P1	0,90	1,35	1,13	18	20	10	30,00	Seco	4,99	1,85	1,90	13,57	39,28	47,15	28,36	21,21	7,15	SC	A-4				
P1	1,35	1,80	1,58	11	13	13	26,00	Seco									-						
P1	1,80	2,10	1,95	12	50	R	50,00	Seco		1,84	1,89						-						
P1	2,10	3,00	2,55					Seco	20,28			0,98	65,65	33,38	23,35	20,99	2,36	SM	A-2-4	22	24,99		
P1	3,00	4,00	3,50					Seco	21,25			0,48	62,91	36,61	22,26	20,17	2,08	SM	A-4				
P1	4,00	5,00	4,50					Seco	13,81			21,77	33,17	45,07	25,71	21,81	3,9	SM	A-5	15,28			
P1	5,00	5,15	5,08	50	R		100,00	Seco	13,81			21,77	33,17	45,07	25,71	21,81	3,9	SM	A-5				
P1	7,00	8,00	7,50					Seco	19,88			19,16	34,56	46,27	26,64	16,99	9,66	SC	A-5	16,41			
P1	10,00	11,00	10,50					Seco	13,78			11,89	46,11	41,99	21,92	15,59	6,34	SC	A-1-b				
P1	11,00	12,00	11,50					Seco	3,98			14,48	68,23	17,29	27,13	23,46	3,67	SM	A-1-b				
P1	12,00	12,10	12,05	50	R		100,00	Seco	3,98			14,48	68,23	17,29	27,13	23,46	3,67	SM	A-1-b				
P1	14,00	15,00	14,50					Seco	23,11			0,34	69,12	30,54	23,13	20,66	2,46	SM	A-2-4				
P2	0,00	0,45	0,23	13	20	10	30,00	Seco	14,61			14,48	68,23	17,29	27,13	23,46	3,67	SM	A-1-b				
P2	0,45	0,90	0,68	6	8	6	14,00	Seco	12,6			0,88	56,76	42,36	22,43	21,33	1,1	SM	A-4				
P2	0,90	1,35	1,13	8	7	10	17,00	Seco	14,1			0	43	57	43,15	40,38	2,76	SM	A-5				
P2	1,35	1,80	1,58	10	10	12	22,00	Seco	11,35	1,91	1,97	4,19	70,91	24,9	29	25,08	3,87	SM	A-1-b				
P2	1,80	1,95	1,88	50	R		100,00	Seco	11,45			9,6	45,13	45,28	38,98	35,58	3,4	SM	A-4				
P2	1,95	3,00	2,48					Seco	18,1	1,79	1,90	2,54	68,72	28,74	20,88	18,61	2,27	SM	A-2-4				
P2	3,00	4,00	3,50					Seco	15,5			0,52	45,09	54,39	34,61	31,04	3,57	ML	A-4				
P2	4,00	5,00	4,50					Seco	14,8			4,44	62,73	32,83	26,8	23,73	3,42	SM	A-2-4				
P2	5,00	6,00	5,50					Seco	8,9			23,21	63,11	13,68	26,76	23,74	3,03	SM	A-2-4				
P2	6,00	6,15	6,08	50	R		100,00	Seco												25,47			
P2	7,00	8,00	7,50					Seco															
P2	8,00	15,00	11,50					Seco									-						
P3	0,00	0,60	0,30					Seco															
P3	0,60	1,05	0,83	2	4	9	13,00	Seco															
P3	1,05	1,50	1,28	18	15	9	24,00	Seco	17,3	1,67	1,76	0	59,61	40,39	44,06	35,83	8,23	SC	A-5				
P3	1,50	1,95	1,73	10	12	14	26,00	Seco															
P3	1,95	2,10	2,03	50	R		100,00	Seco	13,8			0	48,64	51,26	40,59	36,97	3,62	ML	A-5				
P3	2,10	3,00	2,55					Seco	18,7			0	51,58	48,42	37,97	31,22	6,75	SC-SM	A-4				
P3	3,00	4,00	3,50					Seco	18,7	1,84	1,97	0	49,61	5,39	40,71	37,98	2,73	ML	A-5				
P3	4,00	5,00	4,50					Seco	28,9			0	36,53	63,47	39,48	36,70	2,78	ML	A-4				
P3	5,00	5,20	5,10	50	R		100,00	Seco	17,5			0	30,82	69,18	NL	NP	NI	ML	A-4				
P3	5,20	6,00	5,60					Seco	17,5			0	30,82	69,18	NL	NP	NI	ML	A-4	18,11			
P3	7,00	8,00	7,50					Seco	14,0			0	70,69	29,31	37,2	22,34	14,9	SC	A-2-6				
P3	8,00	9,00	8,50					Seco	11,5			0,68	66,43	32,9	NL	NP	NI	SM	A-1-b				
P3	10,00	11,00	10,50					Seco	14,7			2	58,58	39,42	18,44	11,47	6,97	SM-SC	A-2-6				
P3	11,00	14,00	12,50					Seco															
P3	14,00	14,05	14,03	50	R		100,00	Seco															
P3	14,05	15,00	14,53					Seco															
P4	0,00	0,45	0,23	7	9	11	20,00	Seco	9,4			6,38	48,21	45,41	32	21,36	10,7	SC	A-4				
P4	0,45	0,90	0,68	10	12	14	26,00	Seco															
P4	0,90	1,35	1,13	13	18	26	44,00	Seco															
P4	1,35	1,80	1,58	31	41	R	41,00	Seco	11,62			19,06	37,32	43,62	46	28,11	17,8	SM	A-5				
P4	1,80	3,00	2,40					Seco	12,7			10,64	27,18	62,18	37,41	36,36	1,05	ML	A-4	22,07			
P4	3,00	4,00	3,50					Seco	14,54	1,80	1,89	4,92	49,43	45,64	39	37,61	1,32	SM	A-5				
P4	4,00	5,00	4,50					Seco	8,55			17,16	39,71	43,13	40	32,36	7,15	SM	A-5				
P4	5,00	6,00	5,50					Seco	9,96			12,41	37,91	49,68	22,07	17,71	4,37	SC-SM	A-4				
P4	6,00	6,30	6,15	50	R		100,00	Seco	17,84			22,44	71,8	5,76	32,09	24,26	7,82	SM	A-4				
P4	6,30	7,00	6,65					Seco	17,84			22,44	71,8	5,76	32,09	24,26	7,82	SM	A-4				
P4	7,00	8,00	7,50					Seco	14,77			8,35	41,77	49,88	32,31	28,25	4,06	SM	A-4				
P4	8,00	11,00	9,50					Seco															
P4	11,00	11,20	11,10	50	R		100,00	Seco															
P4	11,20	15,00	13,10					Seco															
P5	0,00	0,45	0,23	3	10	14	24,00	Seco	13,83			4,94	43,13	51,93	30,09	23,18	6,9	ML	A-4				
P5	0,45	0,90	0,68	5	17	12	29,00	Seco	16,29	1,77	1,86	18,05	24,51	57,43	31,4	29,54	1,86	ML	A-4				
P5	0,90	1,35	1,13	7	8	11	19,00	Seco	22,35			6,02	46,94	47,04	23,94	22,60	1,34	SM	A-4				
P5	1,35	1,80	1,58	11	13	R	13,00	Seco	15,52			13,96	38,03	48,01	22,63	18,32	4,31	SC	A-5				
P5	1,80	2,10	1,95					Seco	5,69	1,89	1,91	3,06	26,91	70,03	33,59	30,85	2,74	ML	A-4				
P5	2,10	3,00	2,55					Seco	13,01			24,2	38,9	36,9	27,89	20,44	7,45	SC	A-4	15,28			
P5	3,00	4,00	3,50					Seco	15,0			2,46	55,43	42,1	26,86	23,06	3,81	SM	A-4				
P5	4,00	5,00	4,50					Seco	7,79			15,24	41,23	43,52	35,53	30,85	4,68	SM	A-4				
P5	5,00	7,00	6,00					Seco															
P5	7,00	7,12	7,06	50	R		100,00	Seco															
P5	8,00	10,00	9,00					Seco															
P5	10,00	10,18	10,09	50	R		100,00	Seco												23,2			
P5	10,18	15,00	12,59					Seco															
AP1	0,00	2,00	1,00					Seco	20,55	1,74	1,81	0	51,73	48,27	33,15	29,73	3,42	SM	A-4		15	25,58	



6.4 EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA INDIRECTA

Con el fin de ampliar la información referente a las capas superficiales del suelo, Torres Ingeniería ejecutó la exploración geofísica, la cual permite obtener estratigrafías en mayores extensiones; para el proyecto en desarrollo se utilizan ensayos geofísicos de refracción sísmica y MASW. En el Anexo 1 se presenta la descripción de estos métodos de exploración, el procedimiento realizado y el análisis de los datos obtenidos en cada uno de ellos. A continuación, se presentan los resultados de la exploración geofísica desarrollada mediante refracción sísmica y MASW.

6.4.1 Refracción sísmica

Los resultados de la exploración sísmica se presentan como secciones 2D de tomografías sísmicas para la onda P. Sobre cada sección de tomografía sísmica se trazan los principales cambios de velocidad y se ajustan con la proyección de sondeos donde las líneas corten por la ubicación de los mismos. Estas secciones con horizontes son el resultado de campo para estratos que varían con la velocidad para cada tomografía por separada. A continuación se muestran los resultados.

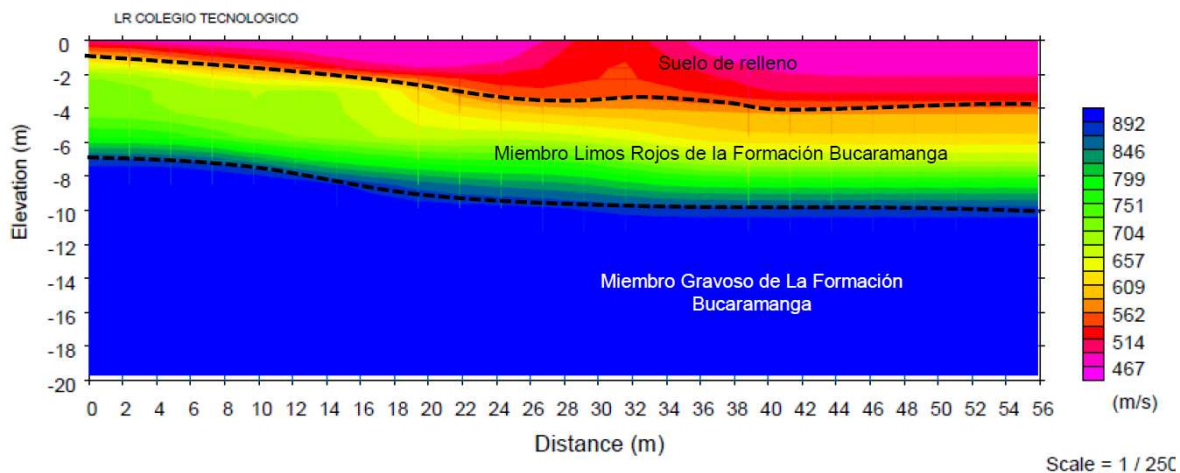


Figura 7 Tomografía LR-1

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería



6.4.2 Ensayo MASW

El ensayo de MASW permite definir la velocidad de onda cortante promedio en una profundidad de 30 metros, este valor determina el perfil de suelo según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR - 10. En la Figura 8 se presenta el resultado del ensayo MASW.

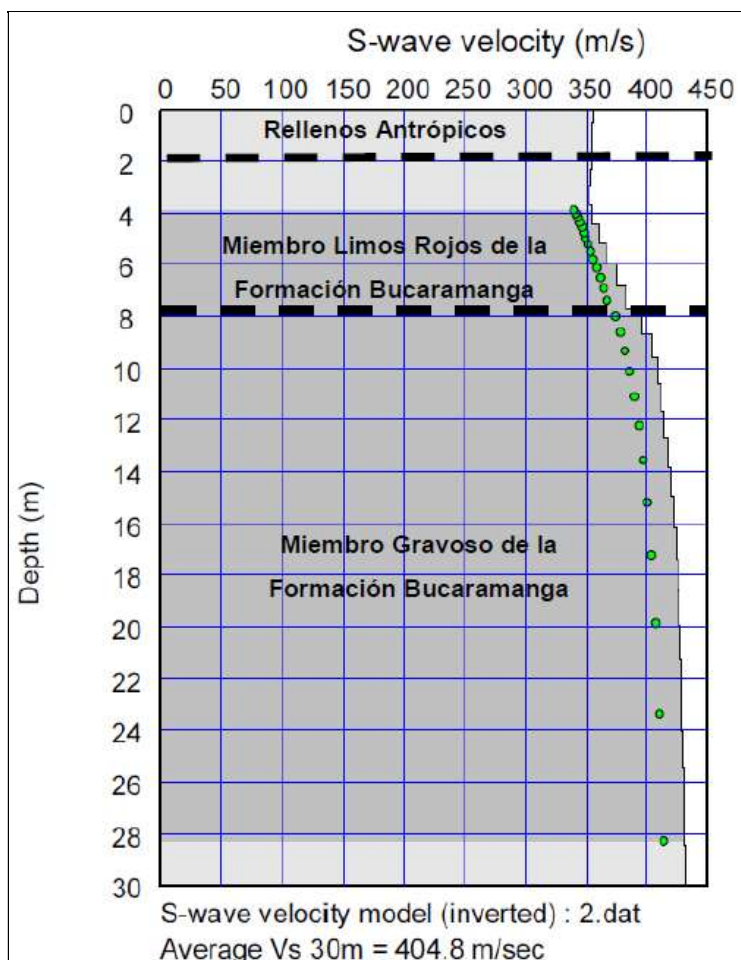


Figura 8 Resultados del ensayo MASW - 1

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

Adicional al análisis de la velocidad de onda P, se establece el análisis y los resultados inferidos mediante la velocidad de onda cortante Vs, con la cual es posible definir los módulos de corte del suelo.

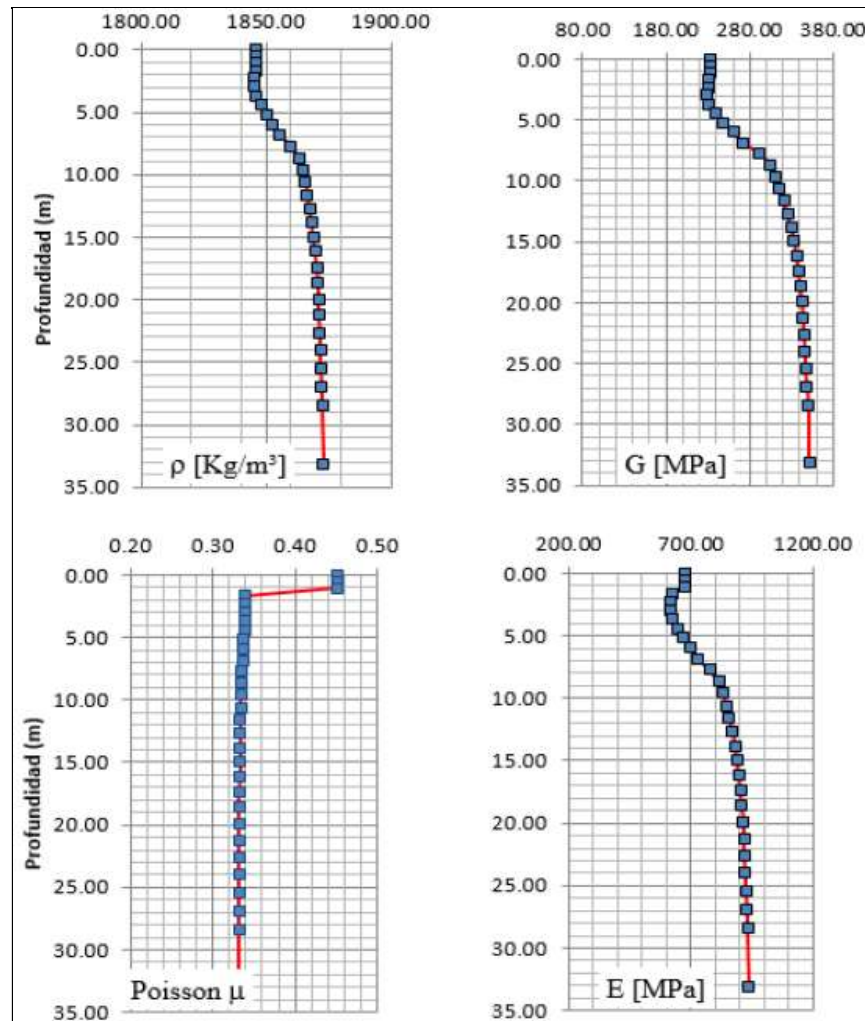


Figura 9 Resultados de módulos E, G, n para MASW - 1

Fuente: EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA I.E TECNOLÓGICO DAMASO ZAPATA - Torres Ingeniería

6.4.3 Análisis e Interpretación de los resultados

Como exploración geofísica se realizó el ensayo de refracción sísmica y MASW, la línea de refracción sísmica tiene una longitud de 56,0 m y una profundidad de prospección igual a 20.0 m, en la refracción sísmica se identificaron tres capas, la primera capa se localiza desde la superficie del terreno con un espesor de máximo 2,0 m, esta capa tiene velocidades máximas de 467 m/s, de acuerdo a la exploración geotécnica directa y las inspecciones visuales de la zona, esta capa se asocia a Rellenos Antrópicos. Bajo esta



capa se identifica una segunda capa con espesor homogéneo, la cual varía hasta una profundidad entre 8,0 m y 10,0 m, con espesores de 8,0 m, esta capa cuenta con velocidad de onda longitudinal V_p máxima de 799 m/s. Finalmente se identifica una capa con velocidad de onda longitudinal igual a 892 m/s, teniendo en cuenta la exploración geotécnica directa la profundidad de contacto esta capa se asocia con el Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga.

En el ensayo MASW, se determina la velocidad de onda cortante V_p en una profundidad de 30,0 m; en el perfil se identifica una capa con velocidad constante entre 350 m/s hasta una profundidad entre 3,0 m y 4,0 m, esta capa presenta un aumento gradual en su magnitud hasta los 8,0 m, a partir de esta profundidad se asocia la presencia de suelos correspondientes al Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga y a partir de los 8,0 m se identifican velocidades de onda cortantes asociadas al Miembro Gravoso de la Formación Bucaramanga.

Considerando la velocidad de onda cortante promedio a 30 metros es posible definir el tipo de suelo de acuerdo con la NSR-10, categorizándolo a través de la tabla A-2-4-1 de la norma, dicha clasificación del perfil de suelo estudiado corresponde a tipo C, perfiles de suelo rígido V_s -30 variable entre 360 m/s y 760 m/s.



7. ANÁLISIS GEOTÉCNICO

Se realiza el análisis geotécnico para el desarrollo del proyecto, considerando los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. A continuación se observan los cálculos de evaluación de cargas, capacidad portante, asentamientos, entre otros.

7.1 PERFIL PROMEDIO DE ANÁLISIS

Teniendo en cuenta los resultados de las exploraciones geotécnicas realizadas en la zona de estudio, el perfil estratigráfico para efectos geotécnicos y en términos generales, se consideró de la siguiente manera:

Tabla 12. Perfil Estratigráfico

CARACTERISTICAS DEL PERFIL DEL SUELO	
PROFUNDIDAD	DESCRIPCION
1). 0.00 a 0.90/2.10 m	Relleno Antrópico
	En este estrato se encuentran arenas arcillosas (SC), arenas limosas (SM) y limos de baja plasticidad (ML). Los materiales tienen humedades entre 9.4 y 22.35%, límite líquido entre 30 y 46 e índice de plasticidad entre 1.34 y 18.00.
2). 0.90/2.10 a 7.00/8.00 m	Formación Bucaramanga – Miembro Limos Rojos
	En este estrato se encuentran arenas limosas (SM) y limos de baja plasticidad (ML). Los materiales tienen humedades entre 4.99 y 28.9%, límite líquido entre 20.88 y 40.71 e índice de plasticidad entre 1.05 y 7.82.
3). 7.00/8.00 a 15.00 m	Formación Bucaramanga – Miembro Gravoso
	En este estrato se encuentran arenas arcillosas (SC), arenas limosas (SM) y arena arcillo limosa (SC-SM). Los materiales tienen humedades entre 3.98 y 23.11%, límite líquido entre 18.44 y 37.20 e índice de plasticidad entre 2.46 y 14.90.



De acuerdo con los resultados encontrados en las exploraciones, no se evidencia nivel freático en el sector.

7.2 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio y campo realizados en las exploraciones geotécnicas ejecutadas, se establecieron los parámetros geotécnicos para los estratos identificados en el perfil estratigráfico.

La resistencia al corte no drenada (S_u) para el estrato donde se encuentra el relleno antrópico con comportamiento cohesivo que aparece hasta los 2,10 m, aproximadamente, se estimó calculando el promedio de los datos de S_u obtenidos en las correlaciones empíricas propuestas por Schmertmann (1975) y Stroud (1974) que se encuentran en función de la plasticidad del suelo y el número de golpes por pie (N) obtenido en el ensayo de penetración estándar (SPT).

Considerando que el estrato de arenas limosas y limos de baja plasticidad, pertenecientes al miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga, presenta comportamiento granular y cohesivo se estiman parámetros drenados y no drenados. Los parámetros de resistencia drenados (c' y ϕ') se obtuvieron tomando el promedio de los valores arrojados por el ensayo de corte directo. La resistencia al corte no drenada (S_u) se obtuvo de los resultados del ensayo de compresión inconfiada.

La resistencia al corte en condición drenada para el suelo granular perteneciente al miembro gravoso de la Formación Bucaramanga encontrado a partir de los 7,00/8,00 m, se estimó con base en las correlaciones de la Metodología Rusa SNiP-II-15-74.

En la Tabla 13 se muestran los parámetros geotécnicos adoptados para los estratos definidos.



Tabla 13. Parámetros geotécnicos

De [m]	Hasta [m]	γ_T [kN/m ³]	S_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ [°]	E [MPa]
0,00	0,90/2,10	18,10	50,8	-	-	12,47
0,90/2,10	7,00/8,00	19,20	-	18,5	25,5	16,12
7,00/8,00	15,00	19,20		2	31	65,00

En el Anexo 3 se presenta la caracterización geotécnica de los suelos encontrados.

7.3 EVALUACIÓN DE CARGAS

Se realiza el cálculo de cargas vivas y muertas a las que estará sometida la estructura a instalar. Se prevé un pre dimensionamiento para el cálculo de asentamientos, pero el ingeniero estructural realizará el ajuste final de las dimensiones de la cimentación.

7.4 ANÁLISIS DE CAPACIDAD PORTANTE

Con los parámetros definidos se realizan los cálculos de capacidad portante para cimentación superficial, se considera la profundidad y el ancho de los cimientos como variables para el cálculo de estas capacidades. Teniendo en cuenta que el estrato entre 2,10 m y 8,00 m tienen comportamiento cohesivo y granular, se realiza el análisis de capacidad portante en condición drenada y no drenada y se escoge la condición más crítica, que para este caso fue la condición drenada, con el fin de plantear un escenario conservador en el diseño. En el Anexo 4 se presenta el cálculo de capacidad portante y en el Anexo 6 se presenta la metodología con la cual se realizó la evaluación de la capacidad portante.

Como cimentación para la Edificación 1, en la zona del Auditorio, se recomiendan zapatas aisladas con una sección mínima de 1.00 x 1.00 m y una profundidad de desplante de 1,80 m a partir de la superficie actual del terreno, de tal manera que se sobrepase el relleno antrópico existente. La capacidad portante para esta condición es de 416 kPa (42,5 ton/m²), para carga vertical concéntrica. Para esta misma edificación en la zona de la Subestación, se recomiendan zapatas aisladas con una sección mínima de 1.00 x 1.00 m y una profundidad de desplante de 2,00 m a partir de la superficie actual del terreno, de tal manera



que se sobrepase el relleno antrópico existente. La capacidad portante para esta condición es de 435 kPa (44,3 ton/m²), para carga vertical concéntrica. Sin embargo, una vez se tenga el diseño definitivo de esta cimentación por parte del ingeniero estructural y las cargas a las que será sometida la cimentación, se deberá revisar la capacidad portante, y en caso de no cumplir se deberá implementar otra alternativa de cimentación superficial o cimentación profunda.

Tabla 14. Resultados análisis de capacidad portante Edificación 1

Zona	D_f [m]	B [m]	L [m]	q_{adm} [kPa]
Auditorio	1,80	1,00	1,00	416
		1,50	1,50	401
		2,00	2,00	409
Subestación	2,00	1,00	1,00	435
		1,50	1,50	420
		2,00	2,00	433

Como cimentación para las edificaciones 2 y 3, Talleres y Cafetería respectivamente, se recomiendan zapatas aisladas con una sección mínima de 1.00 x 1.00 m y una profundidad de desplante de 3,00 m a partir de la superficie actual del terreno, de tal manera que se sobrepase el relleno antrópico existente en este sector. La capacidad portante para esta condición es de 520 kPa (53 ton/m²), para carga vertical concéntrica. Sin embargo, una vez se tenga el diseño definitivo de esta cimentación por parte del ingeniero estructural y las cargas a las que será sometida la cimentación, se deberá revisar la capacidad portante, y en caso de no cumplir se deberá implementar otra alternativa de cimentación superficial o cimentación profunda.

Tabla 15. Resultados análisis de capacidad portante Edificación 2 y 3

D_f [m]	B [m]	L [m]	q_{adm} [kPa]
3,00	1,00	1,00	520
	1,50	1,50	507
	2,00	2,00	496



Como cimentación para las porterías, se recomiendan zapatas aisladas con una sección mínima de 1.00 x 1.00 m y una profundidad de desplante de 1,00 m a partir de la superficie actual del terreno, siempre y cuando se sobrepase el relleno antrópico existente. La capacidad portante para esta condición es de 357 kPa (36 ton/m²), para carga vertical concéntrica. Sin embargo, una vez se tenga el diseño definitivo de esta cimentación por parte del ingeniero estructural y las cargas a las que será sometida la cimentación, se deberá revisar la capacidad portante, y en caso de no cumplir se deberá implementar otra alternativa de cimentación superficial o cimentación profunda.

Tabla 16. Resultados análisis de capacidad portante Porterías

D_f [m]	B [m]	L [m]	q_{adm} [kPa]
1,00	1,00	1,00	357
	1,50	1,50	331
	2,00	2,00	320

7.5 EVALUACIÓN DE ASENTAMIENTOS Y DEFORMABILIDAD

De acuerdo al resultado obtenido en el ensayo de consolidación se identifica que los suelos analizados presentan un coeficiente de consolidación muy bajo, razón por la cual los asentamientos a largo plazo pueden ser despreciados en este análisis, debido a su granulometría y los resultados de los coeficientes; por lo anterior, se esperan en el sector únicamente asentamientos inmediatos.

Se realizaron los cálculos para determinar los asentamientos teóricos esperados dando como resultado magnitudes del orden de 15,56 mm para asentamientos elásticos inmediatos a 1,00 m de profundidad, 18,17 mm para asentamientos elásticos inmediatos a 1,80 m de profundidad, 18,72 mm para asentamientos elásticos inmediatos a 2,00 m de profundidad y 22,39 mm para asentamientos elásticos inmediatos a 3,00 m de profundidad. Todos los asentamientos anteriormente mencionados fueron estimados con dimensiones del cimiento de 1,00m x 1,00m. En el Anexo 4 se observan los cálculos de asentamientos, utilizando como parámetro el valor de capacidad portante generado por la alternativa de cimentación de zapatas de sección cuadrada.



Tabla 17. Resultados análisis de asentamientos

Edificación	D _f [m]	B [m]	L [m]	S _{elástico} [mm]	k _s [t/m ³]
Edificación 1 - Auditorio	1,80	1,00	1,00	18,17	2339
		1,50	1,50	9,11	1995
		2,00	2,00	5,77	1806
Edificación 1 - Subestación	2,00	1,00	1,00	18,72	2366
		1,50	1,50	9,42	2019
		2,00	2,00	6,12	1805
Edificación 2 y 3	3,00	1,00	1,00	22,39	2367
		1,50	1,50	11,37	2021
		2,00	2,00	7,00	1807
Porterías	1,00	1,00	1,00	15,56	2339
		1,50	1,50	7,51	1994
		2,00	2,00	4,52	1803

7.6 ANÁLISIS POTENCIAL DE LICUACIÓN

Desde el punto de vista geotécnico el fenómeno que puede afectar de forma importante las estructuras es la licuación, la cual puede presentarse durante la ocurrencia de un evento sísmico. Sin embargo, los suelos del área de estudio poseen bajo potencial de licuación debido a la ausencia de nivel freático y contenido de finos mayor al 20%.

7.7 ANÁLISIS SUELOS COLAPSABLES

Los suelos colapsables son las arenas o limos que sufren pérdidas de su conformación estructural y reducción de volumen cuando aumentan su humedad o se saturan. Este análisis se realizó con la siguiente expresión:

$$\gamma_{dcrít} = \frac{\gamma_w}{(1/G_s) + w_l}$$

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_{dcrít}} \leq 1 \text{ El suelo es colapsable}$$

$$\gamma_{dcrít} = \frac{1}{(1/2,9) + 0,407} = 1,33 \text{ kN/m}^3$$



$$\frac{1,79}{1,33} = 1,35$$

Considerando que $\gamma_d/\gamma_{dcrit} \geq 1$ se puede decir que el suelo no es colapsable.

7.8 EVALUACIÓN DE EXPANSIVIDAD

La evaluación de expansividad de los suelos presentes en el sitio del proyecto se realizó con base en la Tabla H.9.1-1 de la NSR-10, donde se reconocen los suelos expansivos basados en valores de límite líquido e índice de plasticidad.

Tabla 18. Clasificación de suelos expansivos, Tabla H.9.1-1 NSR-10

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

De acuerdo a lo anterior, los suelos correspondientes al área de estudio poseen un potencial de expansión bajo.

7.9 ESTABILIDAD DE EXCAVACIONES

Con el fin de efectuar las excavaciones necesarias para la construcción de las cimentaciones y a partir de la caracterización de los materiales a intervenir, se evaluó la altura máxima de corte a utilizarse durante el desarrollo del proyecto. En el modelo geotécnico simplificado para el análisis de estabilidad de taludes se usaron los parámetros definidos para cada estrato en la Tabla 13. Se contempló el escenario estático y pseudoestático, con una saturación parcial ($R_u=0.1$) para considerar la presencia aguas lluvias. El análisis de estabilidad pseudoestático consideró un coeficiente sísmico horizontal igual al 50% del sismo de diseño, es decir 0,15g, de acuerdo con lo establecido en la NSR-10 título H, dado el carácter temporal de las excavaciones.

$$A_{m\acute{a}x} = A_a * F_a * I = 0,25 * 1,15 * 1,25 = 0,359g$$

$$KST = 0.80 * A_{m\acute{a}x} = 0,29g$$

$$50\%KST = 0,15g$$



La estabilidad de los taludes (factor de seguridad) se verificó utilizando la metodología de equilibrio límite de Spencer. Se realizaron análisis utilizando el programa SLIDE y como resultado se estableció el factor de seguridad mínimo para los dos escenarios para los cuales se realizó el diseño.

Para la cimentación superficial de las edificaciones, se definió una excavación máximo de 3,0 m de profundidad con taludes 0.5H:1.0V. Los resultados de los análisis se presentan en la Figura 10, donde se observan factores de seguridad satisfactorios para los cortes temporales.

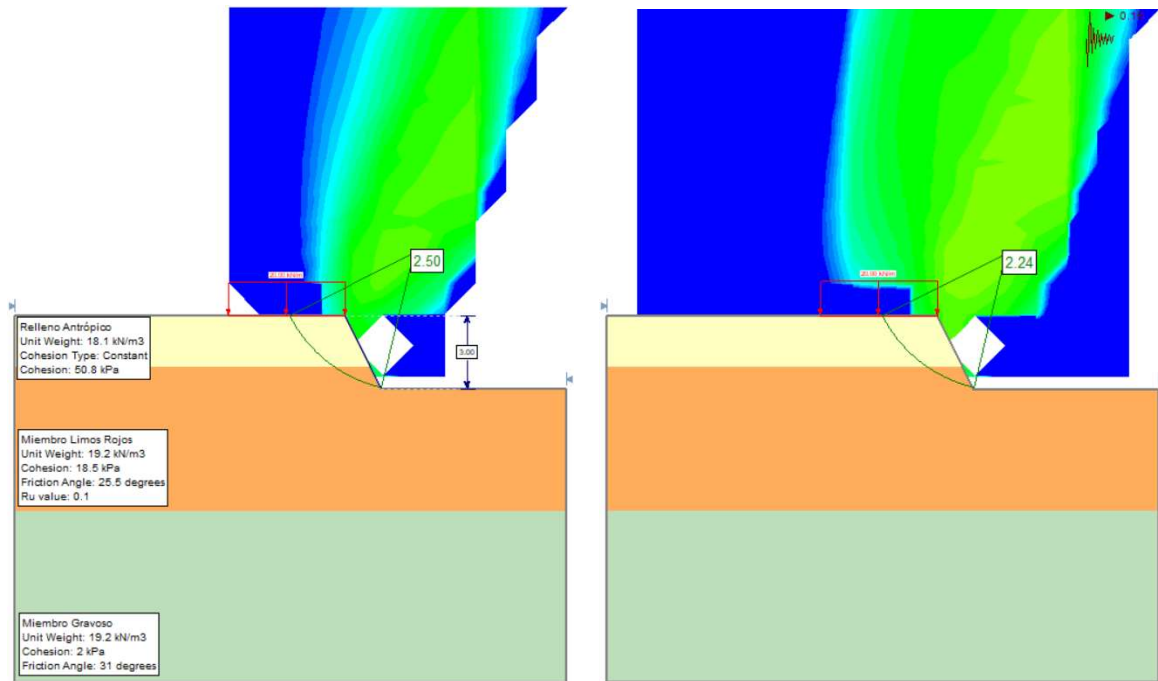


Figura 10 Resultados análisis de estabilidad condición estática y pseudo estática

7.10 COEFICIENTES DE PRESIÓN DE TIERRAS

Los coeficientes de presión de tierras para las estructuras a implantarse bajo la superficie de terreno horizontal se presentan en la Tabla 19. Estos parámetros se estimaron considerando que los rellenos de estas excavaciones se harán empleando materiales granulares, para los cuales se estimó un ángulo de fricción de 32°. Las expresiones para determinar estos coeficientes se muestran a continuación:



$$K_0 = 1 - \sin \varphi \quad (Jaky, 1944)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (Rankine)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (Rankine)$$

Tabla 19. Coeficientes de presión de tierras

Coeficiente	Valor
K _o	0,47
K _a	0,32
K _p	3,25

7.11 ASPECTOS SÍSMICOS

De acuerdo con la Norma Colombiana de Construcciones Sismo-resistentes NSR-10, los siguientes son los coeficientes que se utilizarán para el análisis estructural.

Nivel de amenaza sísmica	Alta
Tipo de perfil de suelos	C
Coeficiente de importancia	1,25
Aceleración horizontal pico efectiva A _a	0,25
Velocidad horizontal pico efectiva A _v	0,25
Coef. Ampl. Aceleración períodos cortos F _a	1,15
Coef. Ampl. Aceleración períodos intermedios F _v	1,55



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las conclusiones y recomendaciones consignadas en el presente informe se basan en la caracterización Geológica y Geotécnica de la zona explorada para las edificaciones a construir en el Instituto Técnico Superior Dámaso Zapata.
- El número de sondeos realizados ha tenido en cuenta el efecto por repetición dado que todas las estructuras presentan rangos de carga máxima de servicio transmitida a la masa de suelo en el rango de valores entre 801 kN y 4.000 kN correspondiente a la categoría media según la tabla H.3.1-1 de la NSR-10.
- De acuerdo con las exploraciones y los resultados de los ensayos de laboratorio, los materiales encontrados en el subsuelo se clasifican como arenas limosas, arenas arcillosas, arena limo-arcillosas y algo de limos de baja plasticidad, muy densas. No se encontró nivel freático en las perforaciones realizadas.
- Debido a la homogeneidad de los materiales encontrados en los 5 sondeos, la exploración geotécnica indirecta y el apique, no fue necesario hacer zonificaciones geotécnicas, sino que se consideró realizar una sola caracterización geotécnica para todo el lote.
- Como cimentación para la Edificación 1, en el sector del Auditorio se recomienda la construcción de zapatas aisladas de mínimo 1.00 x 1.00, cimentadas a 1.80 m de profundidad, con una capacidad portante de 42.50 ton/m². Los asentamientos elásticos a corto plazo para esta condición son de 18.17 mm. Para el sector de la Subestación se recomienda la construcción de zapatas aisladas de mínimo 1.00 x 1.00, cimentadas a 2.00 m de profundidad, con una capacidad portante de 44.30 ton/m². Los asentamientos elásticos a corto plazo para esta condición son de 18.72 mm.
- Como cimentación para la Edificación 2 y 3, se recomienda la construcción de zapatas aisladas de mínimo 1.00 x 1.00, cimentadas a 3.00 m de profundidad, con una capacidad portante de 53.00 ton/m². Los asentamientos elásticos a corto plazo para esta condición son de 22.39 mm.
- Como cimentación para las Porterías, se recomienda la construcción de zapatas aisladas de mínimo 1.00 x 1.00, cimentadas a 1.00 m de profundidad, con una capacidad portante de 36.00 ton/m². Los asentamientos elásticos a corto plazo para esta condición son de 15.56 mm.



- Las dimensiones finales de la cimentación las determinará el ingeniero estructural dependiendo del análisis de cargas efectuado para las edificaciones; y en caso de que la cimentación superficial no cumpla con las solicitaciones de carga, se deberá implementar otro tipo de cimentación superficial o una cimentación profunda.
- Las capacidades portantes aquí presentadas son evaluadas para cargas netamente verticales, por lo que cualquier modificación de la forma, profundidad y condiciones de carga de estos cimientos requieren de un nuevo análisis.
- Considerando que no se encontró nivel freático y que el contenido de finos de los materiales es mayor al 20%, se establece que los materiales encontrados en la zona presentan baja susceptibilidad al fenómeno de licuación. Si se llegase a presentar nivel freático, es necesario realizar el análisis bajo esta nueva condición.
- Se realizó el análisis para de suelos colapsables, dando como resultado que los materiales presentes en la zona no son colapsables. Así mismo, se realizó la evaluación de expansividad basados en los valores de límite líquido e índice de plasticidad y se obtuvo que los suelos correspondientes al área de estudio poseen un potencial de expansión bajo.
- En las excavaciones para la cimentación de las edificaciones se deberá emplear un talud de corte 0,50H:1,00V. No obstante, durante la ejecución de estos trabajos se deberá evaluar continuamente las condiciones de estabilidad de los cortes y tomar todas las previsiones necesarias para evitar la ocurrencia de inestabilidades.
- Durante los trabajos de excavación, se deberá mantener un control del agua al interior de la excavación con el propósito de evitar afectaciones del suelo de cimentación. El material afectado por un inadecuado manejo de las aguas deberá ser escarificado hasta retirar el material afectado.
- No se permitirá la depositación de materiales excavados al borde de la excavación, en un ancho de franja de 1 m (Franja de seguridad). Adicionalmente, no se permitirán ningún tipo de sobrecarga, bien sea por equipos, maquinaria, materiales de construcción, etc., superior a 20 kN/m^2 , hasta un ancho de franja total igual a la profundidad de la excavación (incluye el ancho de la franja de seguridad), medida desde el borde de la excavación.
- A continuación se presentan algunas recomendaciones constructivas para las zapatas aisladas:



Se deberá verificar antes del inicio de las labores de excavación los niveles de instalación de las tuberías y las posibles interferencias de redes existentes o de cualquier estructura subterránea. Si es necesario remover alguna de estas instalaciones, se deberán desconectar antes de iniciar el trabajo respectivo y de igual forma se deben proteger las instalaciones que van a quedar para evitar cualquier tipo de afectación.

Una vez realizada la excavación se puede proceder a la construcción de la cimentación. Se recomienda realizar una marcación del lugar donde se va a construir la cimentación de acuerdo al plano de diseño, esta marcación debe ser realizada por una comisión topográfica.

Es necesario verificar que el nivel de suelo alcanzado en la excavación corresponde a suelo competente, de acuerdo a las recomendaciones de este estudio (Formación Bucaramanga – Miembro Limos Rojos).

Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar que en la superficie de apoyo de la cimentación se presente alteración del suelo durante la construcción por saturación o remoldeo.

Se recomienda colocar una capa de mortero de aproximadamente 3 cm de espesor para conformar una superficie limpia sobre la cual se procederá a construir la cimentación.

Después se realizará el armado y fundida de las zapatas aisladas con las secciones y espesor necesarios, los cuales son el resultado del Cálculo Estructural de la cimentación.

Una vez terminadas las excavaciones y fundidos los cimientos, se recomienda realizar todos los rellenos con material seleccionado. Este material de relleno deberá cumplir con los requerimientos exigidos en el ART. 610 Rellenos para Estructuras de las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVIAS.



Tabla 610 - 1. Requisitos de los suelos para rellenos de estructuras

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) en masa, máximo	E-123	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200) en masa, máximo	E-123	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	0	1.0	1.0
Límite líquido, máximo (%)	E-125	30	40	40
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	10	15	-
CBR de laboratorio, mínimo (%) (Nota 1)	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%) (Nota 1)	E-148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso, máximo (%) (Nota 2)	E-157	2.0	2.0	2.0
Contenido de sales Solubles, máximo (%)	E-158	0.2	0.2	-

- El material seleccionado se conformará en capas de máximo 20 cm, y se compactará con compactadores del tipo cilindro liso vibratorio, o cerca de las edificaciones existentes se usarán mini compactadores del tipo bomag o saltarín con el fin de evitar agrietamiento por vibración, hasta alcanzar el 95% de su densidad seca máxima en el ensayo Proctor Modificado. El chequeo de compactación deberá realizarse por cada capa siguiendo los lineamientos de la especificación.
- La placa de contrapiso debe quedar apoyada sobre un material de recebo tipo B200 compactado al 95% de su densidad seca máxima en el ensayo Proctor Modificado, con un espesor de 40 cm, compactados en capas de 20 cm.



9. LIMITACIONES

Las conclusiones y recomendaciones consignadas en el presente informe se basan en los resultados de las exploraciones de campo, resultados de laboratorio, y análisis geotécnico realizado por un especialista. En caso de encontrar condiciones diferentes a las establecidas en el presente informe o si se prevé un cambio sustancial en la magnitud del proyecto y/o cargas, debe informarse al ingeniero geotecnista para emitir las respectivas recomendaciones geotécnicas.

CLAUDIA MILENA BURGOS GUERRERO
MAT. 68202 – 104936 STD.
ING. CIVIL - MAGISTER EN GEOTECNIA



ANEXOS



Anexo 1 INFORME DE EXPLORACIONES



Anexo 2 RESUMEN RESULTADOS ENSAYOS DE CAMPO Y LABORATORIO



Anexo 3 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA



**Anexo 4 ANÁLISIS GEOTÉCNICOS – CÁLCULOS CAPACIDAD PORTANTE Y
ASENTAMIENTOS**