

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ	Código	00
		Página	1 de 206

**Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia en la empresa
INGESUELOS JB S.A.S. en el municipio de Pamplona, Norte de Santander**

Luis Miguel Bermúdez Arguelles

Director

Ing. Dayana Carolina Antolínez Antolínez

Especialista en Estructuras

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería civil, Ambiental y Química

Programa Ingeniería Civil

Pamplona

2025

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	2 de 206

**Práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia en la empresa
INGESUELOS JB S.A.S. en el municipio de Pamplona, Norte de Santander**

Luis Miguel Bermúdez Arguelles

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Ing. Dayana Carolina Antolínez Antolínez
Especialista en Estructuras

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Ingeniería civil, Ambiental y Química
Programa Ingeniería Civil
Pamplona
2025

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	3 de 206

Dedicatoria

Dedico este proyecto de grado primeramente a Dios, fuente de fortaleza y guía constante en cada etapa de mi formación, quien me concedió la disciplina y perseverancia necesaria para superar los retos que implicó la culminación de este proyecto.

A mis padres Claudia Marina Arguelles Coronel y Hosman Bermúdez Daza, por su ejemplo de vida, por sus valores inculcados y por el esfuerzo constante que han realizado para brindarme la oportunidad de alcanzar mis metas profesionales. Este logro es reflejo de su dedicación y apoyo incondicional.

A mis hermanas Valentina Bermúdez Arguelles y Valeria Bermúdez Arguelles, quienes con su compañía y palabras de aliento me inspiraron a seguir adelante, recordándome siempre la importancia del compromiso y el esfuerzo personal para alcanzar los objetivos propuestos.

A mis docentes y asesores de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura, quienes con su conocimiento y orientación contribuyeron a enriquecer mi formación profesional, siendo parte fundamental en la consolidación de este camino. Asimismo, a mi directora de proyecto de grado, la ingeniera Dayana Carolina Antolínez Antolínez, por su valioso apoyo y acompañamiento en el desarrollo de lo que hoy constituye este trabajo de grado; y al ingeniero jefe de la empresa INGESUELOS JB S.A.S., Juan Pablo Boada Guerrero, por abrirme las puertas de su empresa y confiar en mis capacidades profesionales.

Finalmente, a todas aquellas personas que de manera directa o indirecta aportaron en el desarrollo de mi carrera y en la culminación de este proyecto, les expreso mi más sincera gratitud.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	4 de 206

Agradecimientos

El presente trabajo de grado es la culminación de una etapa importante en mi vida académica y personal, la cual no habría sido posible sin el apoyo de personas e instituciones a quienes deseo expresar mi más profundo agradecimiento.

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar este proyecto, así como por guiarme en cada etapa de mi formación académica y personal.

A mis padres, por su amor incondicional, sus sacrificios y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la disciplina y la honestidad. Este logro es tan mío como de ellos, pues sin su apoyo constante y sus palabras de aliento, este camino no habría sido posible.

A mi familia, por acompañarme en los momentos más desafiantes, brindándome comprensión, ánimo y confianza para seguir adelante. Su presencia ha sido un pilar fundamental en este proceso.

A la Universidad de Pamplona y a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, aportándome las herramientas necesarias para desarrollarme en el ámbito de la ingeniería civil.

A mis docentes y asesores, quienes con su conocimiento y orientación enriquecieron mi formación, siendo parte esencial de mi crecimiento académico y profesional.

A mi directora de proyecto de grado, la ingeniera Dayana Carolina Antolínez Antolínez, por su compromiso, disposición y valiosas recomendaciones, que fueron determinantes para la correcta estructuración y desarrollo de este trabajo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	5 de 206

De manera especial, agradezco al ingeniero jefe de la empresa INGESUELOS JB S.A.S., Juan Pablo Boada Guerrero, por abrirme las puertas de su institución, confiar en mis capacidades y brindarme la oportunidad de fortalecer mi experiencia en el campo de la geotecnia.

Finalmente, agradezco a mis amigos y compañeros, quienes con su apoyo y compañía hicieron de este recorrido académico una experiencia enriquecedora y más llevadera. A todos ellos, gracias por ser parte de este logro.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	6 de 206

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Introducción	17
Objetivos.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos	19
Marco referencial	20
Marco contextual	20
Marco de antecedentes o estado del arte.....	24
Marco teórico	40
Marco conceptual.....	45
Importancia del estudio de suelos	45
Propiedades de los suelos.....	46
Clasificación de los suelos	47
Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	48
Marco legal	49
Normativa principal	49
Normas técnicas complementarias.....	51
Reglamentos institucionales.....	54
Metodología	57

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	7 de 206

Fase 1: Inducción y reconocimiento	58
Fase 2: Ejecución de ensayos de campo (SPT).....	59
Fase 3: Análisis e interpretación de resultados	62
Fase 4: Elaboración de informes y diseño preliminar.....	63
Resultados.....	74
Objetivo 1. Ejecutar ensayos de penetración estándar (SPT) conforme a los procedimientos establecidos en la normativa, con el fin de caracterizar los suelos del sitio del proyecto.....	74
Armado del equipo.....	84
Realización de la perforación.....	86
Recolección de la muestra	94
Objetivo 2. Analizar los resultados obtenidos del ensayo SPT para integrarlos en estudios geotécnicos orientados al diseño de soluciones de cimentación en proyectos de infraestructura.	95
Valores N – SPT del ensayo SPT	95
Resultados de los laboratorios y de la exploración del subsuelo	105
Objetivo 3. Elaborar soluciones preliminares de cimentación tipo zapata, ajustadas a las condiciones del suelo y conforme a los criterios de capacidad portante y asentamiento establecidos en la normativa colombiana vigente.....	122
Cálculo preliminar para zapatas cuadradas.....	122
Cálculo preliminar de cimentación para sistema de alcantarillado sanitario	135

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	8 de 206

Cálculo preliminar de cimentación para patinódromo	139
Objetivo 4. Verificar la consistencia de los datos obtenidos en campo y apoyar su procesamiento técnico para la elaboración de informes geotécnicos, incluyendo recomendaciones constructivas.....	158
Aportes ingenieriles	168
Levantamiento fotogramétrico con dron DJI PHAMTOM 4.....	168
Planeación de vuelo	169
Trabajo en campo.....	169
Procesamiento de datos.....	170
Modelo digital de superficie (DSM) disperso.....	172
Cálculo de cantidades de formaleta, casetón y concreto para el proyecto Mantris Gold	174
Ensayo de esclerometría	180
Diseño estructural de vivienda de tres niveles	189
Conclusiones	194
Recomendaciones	196
Apéndice	206

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	9 de 206

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Clasificación de las unidades de construcción por categorías.</i>	60
Tabla 2. <i>Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción.</i> .	60
Tabla 3. <i>Factores de capacidad de carga para diferentes ángulos de fricción – Meyerhof.</i>	65
Tabla 4. <i>Valores de I_1 e I_2 para calcular el factor de influencia de Steinbrenner I_s para varias relaciones $N = H/B'$ y $M = L/B$.</i>	69
Tabla 5. <i>Valores de módulo de elasticidad según el tipo de suelo.</i>	70
Tabla 6. <i>Valores de relación de Poisson según el tipo de suelo.</i>	70
Tabla 7. <i>Número de estudios realizados de acuerdo a su ubicación.</i>	75
Tabla 8. <i>Estudios de suelos realizados durante la práctica.</i>	76
Tabla 9. <i>Ubicación de los sondeos de los estudios.</i>	81
Tabla 10. <i>Ejecución del ensayo en el sitio.</i>	87
Tabla 11. <i>Valores de N - SPT por estudio de suelo.</i>	97
Tabla 12. <i>Perfil estratigráfico más representativo del suelo de cada estudio.</i>	106
Tabla 13. <i>Factores de capacidad de carga para un ángulo de fricción de 23 grados.</i> .	125
Tabla 14. <i>Diseño preliminar de zapatas cuadradas de los proyectos ejecutados.</i>	131
Tabla 15. <i>Diseño preliminar de cimentación para sistema de alcantarillado.</i>	138
Tabla 16. <i>Diseño preliminar de cimentación para patinódromo.</i>	143
Tabla 17. <i>Diseño de zapata cuadrada en GEO5.</i>	149
Tabla 18. <i>Modelado de zapata ProtaStructure.</i>	154

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	10 de 206

Tabla 19. <i>Cálculo de cantidades de concreto.</i>	178
Tabla 20. <i>Datos promedio de los rebotes.</i>	186
Tabla 21. <i>Resume de los resultados obtenidos del ensayo del esclerómetro.</i>	188
Tabla 22. <i>Verificación de la deriva de cada piso - Caso de Carga: E_{x+} y E_{x-}.</i>	192
Tabla 23. <i>Verificación de la deriva de cada piso - Caso de Carga: E_{y+} y E_{y-}.</i>	192

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	11 de 206

Lista de figuras

Figura 1. <i>Ubicación de la ejecución del proyecto de grado.</i>	20
Figura 2. <i>Ubicación oficina principal de la empresa INGESUELOS JB S.A.S.</i>	22
Figura 3. <i>Diagrama de flujo de la metodología del proyecto de grado.</i>	57
Figura 4. <i>Asistencia y toma de datos en campo.</i>	61
Figura 5. <i>Factor de influencia I_f para la base a una profundidad de desplante (D_f).</i>	71
Figura 6. <i>Variación del asentamiento de acuerdo a la relación de vacíos y esfuerzos.</i> ...	72
Figura 7. <i>Actividades de campo y de gabinete.</i>	74
Figura 8. <i>Ficha técnica equipo SPT.</i>	85
Figura 9. <i>Partes que conforman el equipo SPT.</i>	86
Figura 10. <i>Resultados sondeo.</i>	96
Figura 11. <i>Cálculo de dimensiones preliminares y asentamiento elástico.</i>	128
Figura 12. <i>Cálculo del asentamiento por consolidación primaria.</i>	130
Figura 13. <i>Establecimiento del perfil.</i>	145
Figura 14. <i>Asignación del suelo encontrado.</i>	146
Figura 15. <i>Establecimiento del nivel de desplante.</i>	146
Figura 16. <i>Establecimiento de la carga neta máxima.</i>	147
Figura 17. <i>Establecimiento de dimensiones preliminares.</i>	147
Figura 18. <i>Resultados obtenidos del software.</i>	148
Figura 19. <i>Valores del suelo ingresado al software ProtaStructure.</i>	152
Figura 20. <i>Valor de carga máxima neta de la estructura.</i>	152

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	12 de 206

Figura 21. <i>Verificación del cumplimiento de parámetros técnicos.</i>	153
Figura 22. <i>Modelado en 3D y 2D del predimensionamiento de la zapata.</i>	154
Figura 23. <i>Ejemplo de realización de informe en la plantilla de INGESUELOS JB S. A. S.</i>	159
Figura 24. <i>Inclusión del N - SPT corregido.</i>	162
Figura 25. <i>Mejora de la calidad de imagen del mapa de amenaza sísmica para Colombia.</i>	166
Figura 26. <i>Herramienta correspondencia del software Excel.</i>	167
Figura 27. <i>Asistencia al sitio del levantamiento.</i>	169
Figura 28. <i>Recorrido realizado por el dron.</i>	170
Figura 29. <i>Fotografías obtenidas del levantamiento.</i>	171
Figura 30. <i>Ortomosaico y el correspondiente modelo digital de superficie (DSM) disperso antes de la densificación.</i>	172
Figura 31. <i>Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico.</i>	173
Figura 32. <i>Plano estructural de la cimentación del proyecto.</i>	175
Figura 33. <i>Plantilla usada para el cálculo de la cantidad de formaleta.</i>	176
Figura 34. <i>Dimensiones de los casetones para el aligeramiento.</i>	177
Figura 35. <i>Asistencia al lugar del proyecto.</i>	179
Figura 36. <i>Área de estudio donde se llevó a cabo el ensayo de esclerometría.</i>	180
Figura 37. <i>Evidencia de la participación en el sitio del ensayo.</i>	182

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	13 de 206

Figura 38. <i>Datos registrados del Ensayo 1 y 2.</i>	182
Figura 39. <i>Ensayo 1 - esclerómetro.</i>	183
Figura 40. <i>Ensayo 2 - esclerómetro.</i>	184
Figura 41. <i>Ensayo 3 - esclerómetro.</i>	184
Figura 42. <i>Ensayo 4 - esclerómetro.</i>	185
Figura 43. <i>Ensayo 5 - esclerómetro.</i>	185
Figura 44. <i>Ensayo 6 - esclerómetro.</i>	186
Figura 45. <i>Curvas de conversión basadas en la resistencia media a la compresión de un cubo y el valor de rebote de R.</i>	187
Figura 46. <i>Planos arquitectónicos del proyecto.</i>	190
Figura 47. <i>Modelo generado en el software ProtaStructure.</i>	191
Figura 48. <i>Planos estructurales del detalle de columnas y plano de vigas del nivel correspondiente.</i>	193

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	14 de 206

Lista de apéndices

Apéndice A. Evidencia fotográfica de la participación en los diferentes estudios de suelos ejecutados durante la práctica empresarial.	206
Apéndice B. Evidencia fotográfica de las muestras de suelo obtenidas en campo para cada estudio de suelo realizado durante la práctica profesional.....	206
Apéndice C. Resultados obtenidos del número de golpes (N – SPT) de cada uno de los estudios realizados durante la práctica profesional.....	206
Apéndice D. Hoja de Excel empleada para la corrección del número de golpes.	206
Apéndice E. Hoja de Excel empleada para el desarrollo de los cálculos correspondientes al diseño preliminar de las zapatas mediante la ecuación general de capacidad de carga.....	206
Apéndice F. Evidencia fotográfica de algunos informes geotécnicos impresos en las oficinas de la empresa.	206
Apéndice G. Evidencia de los aportes ingenieriles realizados durante la práctica empresarial.....	206

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	15 de 206

Resumen

La adecuada caracterización del suelo en proyectos de infraestructura resulta esencial para garantizar cimentaciones seguras, eficientes y conformes con la normativa vigente. En este sentido, el presente proyecto final de grado para optar por el título de ingeniero civil se desarrolló en el marco de la práctica empresarial realizada en la empresa INGESUELOS JB S.A.S., en el municipio de Pamplona, Norte de Santander, con el propósito de aplicar y fortalecer conocimientos en el área de la geotecnia, a través de la participación en actividades de campo y gabinete. El trabajo incluyó la realización del ensayo de penetración estándar (SPT), la toma y clasificación de muestras representativas, el análisis de los perfiles estratigráficos y la interpretación de los valores N – SPT para la caracterización de los suelos. Con base a esta información, se efectuaron cálculos preliminares de capacidad portante y asentamientos para el diseño de zapatas superficiales, aplicando los criterios establecidos en la NSR – 10. Así mismo, se elaboraron informes técnicos que documentaron las etapas del proceso.

Los resultados permitieron identificar las condiciones geotécnicas del terreno, establecer parámetros de resistencia y deformabilidad del suelo, y realizar propuestas preliminares de cimentación. La práctica fortaleció competencias en el manejo e interpretación del SPT, la elaboración de informes geotécnicos y el uso de software especializado, consolidando habilidades propias del ejercicio profesional de la ingeniería civil.

Palabras clave

Prácticas empresariales, asentamientos, software, SPT, suelos, capacidad portante, cimentaciones superficiales, geotecnia.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	16 de 206

Abstrac

Proper soil characterization in infrastructure projects is essential to ensure safe, efficient foundations that comply with current regulations. In this regard, this final degree project for the civil engineering degree was developed within the framework of the business internship carried out at the company INGESUELOS JB S.A.S., in the municipality of Pamplona, Norte de Santander, with the aim of applying and strengthening knowledge in the field of geotechnics through participation in field and office activities.

The work included performing standard penetration tests (SPT), taking and classifying representative samples, analyzing stratigraphic profiles, and interpreting N-SPT values for soil characterization. Based on this information, preliminary calculations of bearing capacity and settlements were made for the design of surface footings, applying the criteria established in NSR-10. Technical reports documenting the stages of the process were also prepared.

The results made it possible to identify the geotechnical conditions of the terrain, establish soil strength and deformability parameters, and make preliminary foundation proposals. The practice strengthened skills in SPT management and interpretation, geotechnical report preparation, and the use of specialized software, consolidating skills specific to the professional practice of civil engineering.

Keys words

Business practices, settlements, software, SPT, soils, bearing capacity, shallow foundations, geotechnics.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	17 de 206

Introducción

En los proyectos de infraestructura, la geotecnia constituye un componente esencial dentro de la ingeniería civil, ya que permite comprender el comportamiento del suelo ante cargas y deformaciones, asegurando que las estructuras se diseñen con criterios de estabilidad, seguridad y durabilidad. En regiones como Pamplona, Norte de Santander, las particularidades geológicas y geomorfológicas caracterizadas por la presencia de depósitos fluviolacustres, estratos heterogéneos y la incidencia de pendientes pronunciadas demandan estudios geotécnicos rigurosos que permitan anticipar problemas como asentamientos diferenciales, pérdida de capacidad portante o fallas en obras de infraestructura.

En este contexto, la empresa INGESUELOS JB S. A. S. desarrolla actividades especializadas orientadas a la exploración, caracterización y evaluación del subsuelo para el diseño adecuado de cimentaciones. La práctica empresarial realizada en esta empresa representó una oportunidad para aplicar procedimientos técnicos de campo y gabinete, particularmente en la ejecución de ensayos, el procesamiento de datos y la elaboración de informes geotécnicos que respaldan la toma de decisiones en los proyectos de ingeniería desarrollados en la zona.

Considerando las condiciones geotécnicas complejas del municipio donde predominan arcillas de baja a media plasticidad, niveles freáticos variables y perfiles estratigráficos con cambios notorios en profundidad, se identificó la necesidad de optimizar la caracterización del terreno mediante técnicas de exploración confiables como el ensayo de penetración estándar (SPT). Esta necesidad se convierte en el punto de partida del presente proyecto, orientado a apoyar los procesos de exploración, análisis y diseño preliminar de cimentaciones.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	18 de 206

De esta forma, el propósito central del trabajo consistió en fortalecer el proceso de caracterización del suelo mediante la ejecución e interpretación del ensayo SPT, integrando los resultados en el diseño preliminar de cimentaciones tipo zapata superficial bajo los lineamientos de la NSR – 10 y los procedimientos técnicos propios de la empresa. En consecuencia, los objetivos específicos se enfocaron en ejecutar el ensayo SPT de acuerdo con la normativa; analizar sus resultados para su integración en estudios geotécnicos; elaborar soluciones preliminares de cimentación acordes con la capacidad portante del suelo; y verificar la consistencia de la información obtenida para la elaboración de informes técnicos.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	19 de 206

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar actividades técnicas orientadas al estudio, supervisión y análisis de suelos en el área de geotecnia, integrando conocimientos teóricos y prácticos conforme a la normativa vigente, en el contexto de la práctica empresarial como auxiliar de ingeniería en INGESUELOS JB S.A.S., en Pamplona, Norte de Santander.

Objetivos específicos

- Ejecutar ensayos de penetración estándar (SPT) conforme a los procedimientos establecidos en la normativa, con el fin de caracterizar los suelos del sitio del proyecto.
- Analizar los resultados obtenidos del ensayo SPT para integrarlos en estudios geotécnicos orientados al diseño de soluciones de cimentación en proyectos de infraestructura.
- Elaborar soluciones preliminares de cimentación tipo zapata, ajustadas a las condiciones del suelo y conforme a los criterios de capacidad portante y asentamiento establecidos en la normativa colombiana vigente.
- Verificar la consistencia de los datos obtenidos en campo y apoyar su procesamiento técnico para la elaboración de informes geotécnicos, incluyendo recomendaciones constructivas.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	20 de 206

Marco referencial

Marco contextual

Descripción Geográfica

Figura 1.

Ubicación de la ejecución del proyecto de grado.



Nota. La figura muestra la ubicación del municipio donde se desarrolló las prácticas empresariales. Fuente: Google Earth Pro (2025).

Pamplona es un municipio ubicado en el departamento de Norte de Santander, Colombia, situado a 7°23' de latitud norte y 72°39' de longitud oeste, con una altitud aproximada de 2.200 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Pamplonita y Cucutilla, al sur con Cácuta y

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	21 de 206

Mutiscua, al oriente con Labateca, y al occidente con Cucutilla. La ciudad está ubicada sobre la cordillera central, caracterizándose por un relieve montañoso y quebrado. El clima es templado, con temperaturas promedio de 16°C, condiciones que influyen directamente en la planificación y ejecución de obras civiles (Alcaldía Municipal de Pamplona, Norte de Santander, 2025). Esta topografía y su variada geología hacen que el comportamiento del suelo sea complejo, incrementando la necesidad de realizar estudios geotécnicos detallados para garantizar la estabilidad de las estructuras.

Contexto Social, Cultural y Económico

Pamplona es reconocida como un centro cultural, educativo y religioso de la región. Su historia está ligada al desarrollo de la educación superior, siendo sede de instituciones como la Universidad de Pamplona, lo que le otorga un carácter académico significativo. Socialmente, cuenta con una población aproximada de 60.000 habitantes, integrada por estudiantes, comerciantes, trabajadores y campesinos. Económicamente, su actividad principal se basa en el comercio, la agricultura, el turismo religioso y la construcción, sector que ha tenido un crecimiento constante debido a la expansión urbana.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	22 de 206

Contexto Institucional u Organizacional

Figura 2.

Ubicación oficina principal de la empresa INGESUELOS JB S.A.S.



Nota. Fuente: Google Earth pro (2025).

La práctica empresarial se realizó en la empresa INGESUELOS JB S.A.S., fundada en 2021 y ubicada en la carrera 8 #11-27 a 11-1 en Pamplona, Norte de Santander. La empresa ha evolucionado desde la ejecución de proyectos locales hasta participar en importantes avances de infraestructura y estudios geotécnicos regionales. INGESUELOS JB S.A.S. cuenta con experiencia en la aplicación de normativa técnica nacional e internacional, utilizando herramientas específicas para el análisis y dimensionamiento de soluciones constructivas. Su enfoque profesional, cumplimiento normativo y participación en proyectos relevantes hacen de esta organización un espacio idóneo para la formación, fortaleciendo las competencias técnicas y administrativas en un entorno laboral real.

Contexto Histórico y Político

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	23 de 206

Pamplona es una de las ciudades más antiguas del nororiente colombiano, fundada el 1 de noviembre de 1549 por Pedro de Ursúa y el capitán Ortún Velázquez de Velasco. Tuvo un papel destacado durante el proceso de independencia del país (Alcaldía Municipal de Pamplona, Norte de Santander, 2025). Políticamente, hace parte del departamento de Norte de Santander, una región que ha enfrentado desafíos en desarrollo económico, infraestructura y acceso a servicios públicos. No obstante, en los últimos años se han implementado planes de desarrollo territorial y políticas enfocadas en fortalecer la inversión en infraestructura y vivienda, aumentando la necesidad de realizar estudios técnicos previos, como los geotécnicos, para asegurar construcciones seguras y sostenibles.

Situación Actual

Actualmente, Pamplona atraviesa una etapa de crecimiento urbano y desarrollo de infraestructura, con proyectos de vivienda, comercio y vías en expansión. Esta situación demanda el respaldo técnico de empresas especializadas en estudios de suelo, como INGESUELOS JB S.A.S., para garantizar la viabilidad y seguridad de los diseños estructurales. En este contexto, la práctica empresarial permite integrar procesos reales de diagnóstico, análisis y diseño, aplicando conocimientos en condiciones específicas del terreno. De esta forma, se podrá fortalecer la formación profesional y contribuir al desarrollo técnico de los proyectos locales, promoviendo prácticas constructivas seguras.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	24 de 206

Marco de antecedentes o estado del arte

Regional

A nivel regional, Garces Cisneros (2016) presenta su pasantía académica realizada en la empresa INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S., en la cual se intervinieron cinco proyectos geotécnicos. Las actividades incluyeron ensayos de laboratorio como CBR, Proctor, densidades in situ y resistencia a la compresión de cilindros de concreto, fundamentales para la caracterización y evaluación del comportamiento del suelo. En campo, se ejecutaron ensayos de penetración estándar (SPT), diseños de cimentaciones superficiales y profundas (zapatas, pilotes y anclajes), así como la construcción de estos elementos estructurales. La pasantía también contempló visitas técnicas y participación en comités de obra, lo cual permitió integrar la teoría con la práctica profesional. Como aporte académico, se elaboraron formatos estandarizados para los ensayos de laboratorio de suelos, en cumplimiento con la Norma Técnica Colombiana (NTC) y la normativa del INVIAS. Estos formatos buscan fortalecer la sistematización de datos y consolidar una base de información que facilite la prestación de servicios técnicos por parte de la Universidad de Pamplona. En el diseño y ejecución de anclajes, se siguieron especificaciones técnicas precisas, como la inclinación y espaciamiento definidos en el proyecto, y se utilizaron equipos especializados como la perforadora Stenuick y sistemas de inyección para la lechada. El desarrollo de los diseños se fundamentó tanto en la experiencia obtenida durante la pasantía como en referencias bibliográficas especializadas.

Años más tarde, López Álvarez (2019) expone su experiencia como auxiliar de ingeniería civil en la empresa Ingeniería del Terreno S.A.S. (INGETER S.A.S.), desarrollando labores en el

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	25 de 206

área de la geotecnia, combinando actividades técnicas en campo y de laboratorio con funciones administrativas. Su participación incluyó la elaboración de cotizaciones e informes técnicos, apoyo en la ejecución de ensayos de laboratorio como granulometría y límites de consistencia, así como la supervisión directa de ensayos de Penetración Estándar (SPT) en terreno. Uno de los proyectos relevantes abordados fue el estudio geotécnico para una vivienda de tres pisos en el Condominio Náutica (Ruitoque), en el cual se analizaron las características físicas y el comportamiento geomecánico del suelo, con el fin de determinar la capacidad portante del terreno, la profundidad adecuada para cimentación, asentamientos esperados y recomendaciones específicas para excavaciones. Las actividades en campo incluyeron el seguimiento y control de perforaciones, recolección de muestras inalteradas y verificación del cumplimiento de la normatividad técnica vigente. En el ámbito administrativo, se fortalecieron habilidades en la redacción de documentación técnica y la gestión de propuestas económicas, demostrando la importancia de una formación integral en el ejercicio profesional del ingeniero civil.

De igual forma, Barrios Beltrán (2021) presenta su práctica empresarial realizada en la empresa Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S., donde se desempeñó como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia. Las actividades desarrolladas se centraron en el procesamiento e interpretación de datos provenientes de ensayos de laboratorio y de campo, clasificación de suelos, caracterización sísmica y elaboración de informes técnicos, bajo la supervisión directa de un ingeniero civil. Durante la práctica se abordaron proyectos geotécnicos enfocados en edificaciones, como el estudio de suelos para una bodega en el municipio de San Gil y una vivienda de dos pisos en la zona rural de Girón, Santander. En estos casos, el análisis geotécnico permitió establecer

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	26 de 206

recomendaciones de diseño con base en la resistencia del suelo y su comportamiento ante cargas estructurales. Asimismo, se participó en proyectos orientados a la estabilidad de taludes, desarrollando labores de apoyo en el diseño de obras de mitigación, claves para garantizar la seguridad de los terrenos intervenidos. La experiencia permitió aplicar conocimientos técnicos en geotecnia mediante el análisis de resultados, toma de decisiones y formulación de alternativas constructivas. Se resalta el valor de la práctica en la formación profesional, al fomentar competencias en interpretación geotécnica, elaboración de documentación técnica y comprensión de los factores que inciden en el diseño y la estabilidad de las estructuras.

Niño Rios (2023) documenta su práctica empresarial realizada en la empresa SITELSA S.A.S., con enfoque en las áreas de acueducto, alcantarillado y geotecnia. Durante la experiencia, el practicante participó activamente en la caracterización de zonas con restricciones geotécnicas, aportando al desarrollo de estudios preliminares para el diseño de proyectos de infraestructura hídrica, especialmente aquellos orientados al abastecimiento y saneamiento básico. Uno de los aspectos destacados fue la estandarización de formatos técnicos para la generación de informes, los cuales fueron elaborados bajo criterios de revisión y análisis geotécnico. Esta iniciativa no solo fortaleció los procesos de interventoría dentro de la empresa, sino que también proyecta beneficios futuros en la calidad de los contratos relacionados con el área técnica. El proceso impactó positivamente la formación del practicante, al permitirle desarrollar competencias en la prestación de servicios profesionales y en la mejora de la calidad técnica de los proyectos ejecutados. Además, se realizaron recomendaciones puntuales en temas como la protección del suelo, ajustes topográficos y procedimientos adecuados para la ejecución de estudios geotécnicos, lo cual

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	27 de 206

evidencia un entendimiento integral del comportamiento del terreno y su influencia en el diseño y la ejecución de obras civiles.

Nacional

Así mismo, Cifuentes Rueda y Malagón Torres (2018) presentan un proyecto de un software aplicativo para el análisis y diseño estructural de cimentaciones superficiales, basado en los requerimientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. La herramienta surge ante la necesidad de contar con un sistema accesible y de fácil comprensión para estudiantes y profesionales, en contraste con los programas comerciales existentes que requieren conocimientos avanzados en diseño estructural. El objetivo principal del software es calcular el acero de refuerzo y las dimensiones de diferentes tipos de zapatas mediante el método de resistencia última, incorporando criterios normativos y ofreciendo funcionalidades tanto de diseño como de revisión estructural. En la metodología se establecen los parámetros de diseño para múltiples tipos de zapatas, los cuales se integran al software por medio de ecuaciones fundamentadas en la normativa. El proceso de programación se llevó a cabo mediante Visual Basic.NET 2015, implementando formularios interactivos que permiten al usuario ingresar datos geométricos, mecánicos y de cargas. La aplicación contempla dos modos principales: diseño, en el que el programa calcula dimensiones mínimas y refuerzos; y revisión, donde el usuario ingresa la totalidad de los parámetros y la herramienta verifica el cumplimiento de los requisitos de la NSR-10 en términos de cortante, flexión y longitudes de desarrollo. El producto final consiste en un sistema estructurado con formularios específicos para diez tipos de zapatas (aisladas, corridas y combinadas), incluyendo imágenes de referencia, conceptos básicos, bibliografía y un módulo

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	28 de 206

de ayuda. La interfaz permite consultar información teórica y obtener reportes detallados de los cálculos realizados. El análisis de resultados demuestra que las diferencias entre los cálculos generados por el software y los ejercicios de referencia encontrados en la bibliografía clásica presentan variaciones menores al 2 %, atribuibles a conversiones de unidades, diferencias en la consideración del peso propio o en la forma de aplicar cargas distribuidas. Esta comparación con fuentes como McCormac, Nilson y Segura confirma la coherencia y precisión del programa. Finalmente, se concluye que el software ofrece un alto nivel de confiabilidad en el cálculo y revisión de zapatas, constituyéndose en una herramienta académica útil para el aprendizaje y verificación de diseños estructurales. Su capacidad para generar informes, validar diseños existentes y proporcionar representaciones visuales facilita su integración a procesos formativos y a prácticas básicas de análisis estructural en cimentaciones superficiales.

De igual forma, Contreras Cadena (2020) expone su experiencia en el área de geotecnia como asistente en la empresa Suelos y Geotecnia S.A.S., donde participó en la elaboración de estudios geotécnicos para proyectos de infraestructura vial y urbanística. Su labor se centró en el análisis estratigráfico de suelos, la digitalización de registros de campo, el procesamiento de resultados de laboratorio, y la elaboración de informes técnicos bajo la supervisión del equipo profesional. Entre los proyectos trabajados se incluyen estudios de suelos para la rehabilitación de pavimentos en Cáchira (Norte de Santander), asesoría en control de compactación para rellenos en el proyecto Altos del Bosque (Piedecuesta, Santander) y diseño geotécnico para tramos con placa huella en veredas del municipio de Yondó (Antioquia). Su experiencia permitió aplicar metodologías de caracterización y clasificación de suelos, así como criterios de diseño para

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	29 de 206

estructuras de pavimento, adaptando los análisis a las necesidades específicas de cada proyecto. A pesar de las restricciones por la emergencia sanitaria, su rol fue clave en la sistematización y análisis de información técnica, fortaleciendo su comprensión sobre los procedimientos exploratorios y normativos en estudios del subsuelo. Esta práctica evidenció la importancia de planificar adecuadamente las campañas geotécnicas, considerando aspectos técnicos, logísticos y sociales del entorno de intervención.

Rivera Villamizar (2021) reporta su experiencia como practicante en la empresa Suelos y Geotecnia S.A.S., donde apoyó el departamento de ingeniería en tareas técnicas relacionadas con estudios topográficos y geotécnicos. Su labor incluyó la ejecución de trabajos de campo, digitalización de registros, recepción y análisis de resultados de laboratorio, y elaboración de informes técnicos para diversos proyectos. Entre los proyectos realizados destacan estudios de suelos para el mejoramiento de vías terciarias en las veredas Limón, La Granja y Muribá en Cantagallo (Bolívar), inventarios de redes viales para proyectos en Yondó (Antioquia) y control geotécnico para la construcción de celdas en el relleno sanitario Carrasco (Giron, Santander). Además, mejoró formatos digitales y enriqueció los informes para optimizar la presentación de resultados ante clientes. Su trabajo enfatiza la importancia de considerar los efectos climáticos en la toma de datos y la aplicación rigurosa de normas técnicas, así como la gestión adecuada de la seguridad en campo. La práctica contribuyó a fortalecer la comprensión integral de los procesos geotécnicos y topográficos asociados al desarrollo de proyectos de ingeniería civil.

García Díaz (2023) documenta su experiencia como auxiliar de ingeniería civil en la empresa Interobras de Santander S.A.S., donde participó activamente en el desarrollo de estudios

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	30 de 206

geotécnicos, geofísicos y ensayos de laboratorio aplicados a proyectos de infraestructura urbana. Su práctica se centró en el apoyo técnico en la elaboración de informes, análisis de resultados y diseño geotécnico preliminar. Entre los proyectos más importantes se encuentra el estudio de suelos para el Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de Málaga, así como para los municipios de Mogotes y Carcasí, todos en el departamento de Santander. Estas labores incluyeron la planificación y ejecución de exploraciones geotécnicas, recolección de muestras alteradas, realización de ensayos de laboratorio, interpretación de propiedades físicas y mecánicas del suelo, y recomendaciones para cimentaciones según las condiciones del terreno. Además, la practicante participó en actividades de análisis geofísico y modelación con software especializado, así como en procesos administrativos asociados a licitaciones. Esta experiencia permitió integrar los fundamentos de la mecánica de suelos con su aplicación práctica, fortaleciendo el criterio técnico en la toma de decisiones relacionadas con el comportamiento del suelo y la interacción del suelo con las estructuras en proyectos civiles.

Domínguez Piratova (2024) presenta su experiencia como pasante en la empresa INCONTECH S.A.S, en el marco de una práctica profesional orientada a la ejecución de estudios geotécnicos y ensayos de laboratorio bajo los lineamientos de la normativa INVIAS y la NSR-10. Su participación incluyó actividades técnicas como la elaboración de informes de suelos, desarrollo de perfiles estratigráficos, granulometrías, ensayos Proctor y CBR, así como la ejecución y control de ensayos de resistencia a la compresión en cilindros de concreto. Durante la pasantía, también adquirió competencias en la organización de datos georreferenciados mediante archivos KMZ en Google Earth y en la actualización de formatos documentales conforme a la

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	31 de 206

certificación ISO 9001. Además, se involucró en tareas de planificación de ensayos, curado de especímenes, y elaboración de mezclas de concreto, consolidando así una visión integral de los procesos que se desarrollan en un laboratorio geotécnico. La práctica profesional permitió al estudiante fortalecer su criterio técnico en el análisis y control de calidad de materiales, así como afianzar su comprensión del comportamiento mecánico de suelos y agregados en contextos reales de obra. La integración entre ejecución de ensayos, procesamiento de resultados y generación de productos técnicos, evidenció su capacidad para aplicar conocimientos normativos y metodológicos al servicio de la infraestructura civil. Esta experiencia contribuyó a su formación como ingeniero civil con enfoque en geotecnia aplicada, resaltando la importancia de la rigurosidad técnica en la generación de información confiable para la toma de decisiones en proyectos constructivos.

Internacional

A nivel mundial, Luna Rodríguez et al. (2021) presentan en el XXVI verano de la ciencia en la Universidad de Guanajuato un trabajo donde presenta una guía metodológica complementada con un código de cálculo orientado a optimizar la cantidad de materiales en el diseño de cimentaciones superficiales tipo zapata aislada de concreto reforzado. Estas cimentaciones, empleadas comúnmente en estructuras conformadas por marcos de concreto o acero, tienen como función principal transmitir cargas verticales, horizontales y momentos al estrato resistente. El trabajo se enfoca en el diseño de zapatas centrales, de borde y de esquina apoyadas sobre un terreno de características uniformes. Para el proceso de diseño, se consideran las acciones obtenidas del análisis estructural cargas gravitacionales y accidentales, las cuales se combinan de acuerdo con

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	32 de 206

los lineamientos del Reglamento de Construcción de la Ciudad de México y las Normas Técnicas Complementarias (2017). Este marco normativo establece los factores de carga, requisitos de los materiales y parámetros de diseño, empleando concreto de clase 1 ($f'_c \geq 250 \text{ kg/cm}^2$) y acero de refuerzo con $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. El análisis incluye la verificación de la estabilidad externa mediante factores de seguridad contra volteo y capacidad de carga. Se destaca que las zapatas ubicadas en borde o esquina pueden requerir incrementos importantes en sus dimensiones para cumplir con la estabilidad, siendo posible optimizar el comportamiento mediante profundización o mediante la acción del empuje pasivo del suelo, siguiendo lineamientos teóricos como los propuestos por Braja M. Das (2011). En el diseño estructural, la cimentación se revisa por flexión y cortante unidireccional como viga ancha, así como por punzonamiento alrededor de la columna, siguiendo los criterios de McCormac & Brown (2011) y las NTC (2017), que fijan la sección crítica a $d/2$ de la cara del dado. El modelo desarrollado calcula los esfuerzos en ambas direcciones y determina las fuerzas cortantes máximas en el área de punzonamiento para garantizar la integridad estructural. La herramienta implementada permite introducir las dimensiones iniciales, propiedades del suelo y cargas actuantes; posteriormente, el sistema genera combinaciones de servicio y diseño, verifica capacidad de carga y ajusta las dimensiones hasta lograr la estabilidad requerida. Una vez satisfecha la capacidad portante, el método optimiza el peralte y el refuerzo para cumplir simultáneamente con flexión, cortante y punzonamiento, utilizando la mínima cantidad de material posible. Los resultados finales corresponden a las dimensiones óptimas y el armado requerido de la zapata para satisfacer todas las combinaciones de carga y criterios

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	33 de 206

normativos, contribuyendo con un procedimiento sistemático, replicable y eficiente para el diseño de cimentaciones superficiales.

Cori y Henry (2022) presentan una investigación para optar por el título profesional de ingeniería civil, desarrollada en el centro poblado de Jancao (Amarilis), Perú, donde aborda un análisis geotécnico orientado al diseño de cimentaciones superficiales para edificaciones unifamiliares, con el propósito de brindar información técnica confiable al ente municipal y subsanar la ausencia de estudios previos en la zona. El estudio se fundamenta en la caracterización físico-mecánica del suelo, la identificación de su tipología, la determinación de parámetros de resistencia y el cálculo de capacidad portante y asentamientos admisibles, insumos esenciales para proponer soluciones de cimentación adecuadas a las condiciones locales. Los resultados geotécnicos obtenidos evidencian la presencia predominante de suelos tipo SC (arena arcillosa) según SUCS, caracterizados por su origen aluvial y una estratigrafía relativamente homogénea en las cuatro calicatas exploradas. El análisis de laboratorio reveló contenidos de humedad entre 2.74–2.91%, pesos específicos de 1.509–1.576 g/cm³ y plasticidades moderadas (IP entre 13.59–14.73%), indicando un comportamiento mecánico típico de materiales granulares con finos cohesivos. Los parámetros de resistencia drenada arrojaron una cohesión entre 0.170–0.200 kg/cm² y ángulos de fricción cercanos a 20°, consistentes con arenas arcillosas de compacidad baja a media. Mediante los métodos clásicos de capacidad de carga de Terzaghi y Meyerhof, el estudio determinó valores admisibles de 1.79–3.12 kg/cm² para cimentación corrida y 2.37–3.10 kg/cm² para zapatas cuadradas, eligiéndose los valores de Terzaghi por su carácter conservador. Con base en estos resultados se plantearon dos alternativas de diseño: (1) cimiento corrido de 0.60 m × 1.20

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	34 de 206

m y (2) zapata cuadrada de 1.50 m $\times$ 1.50 m a 1.50 m de profundidad, ambas cumpliendo con los criterios normativos vigentes de capacidad y asentamiento. El análisis comparativo concluye que, aunque el cimiento corrido representa una opción más económica, la zapata cuadrada conectada mediante vigas de cimentación ofrece mayor seguridad estructural para edificaciones de hasta tres niveles. La investigación constituye un aporte relevante para la planificación urbana de la zona alta de Jancao, donde la falta de estudios geotécnicos ha derivado históricamente en cimentaciones empíricas y riesgo de fallas por capacidad o asentamiento.

Luna Rodriguez et al. (2023) presentan un artículo donde analizan las consideraciones fundamentales para el diseño de cimentaciones superficiales sometidas a cargas excéntricas, partiendo de la determinación de la posición de la carga respecto al núcleo central de la zapata. Cuando la resultante de carga se ubica fuera de este núcleo, se generan distribuciones no uniformes de presiones y la aparición de esfuerzos de tracción, situación común en zapatas de borde, de colindancia o en aquellas que reciben grandes momentos flexionantes. El trabajo desarrolla el proceso de diseño bajo estas condiciones, siguiendo los requisitos de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Se establece que las cimentaciones superficiales distribuyen la carga de la superestructura hacia el suelo, buscando que las presiones generadas no excedan la capacidad admisible del terreno. Si la carga actúa de manera concéntrica, la presión de contacto suele asumirse uniforme; sin embargo, la excentricidad, la rigidez de la cimentación y las propiedades del suelo pueden generar distribuciones no lineales. La presencia de excentricidades notables provoca concentraciones de esfuerzo y disminuye significativamente la capacidad portante, lo cual obliga a realizar un diseño más riguroso. El

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	35 de 206

documento profundiza en el concepto de núcleo central aplicado a zapatas rectangulares y explica su importancia al definir las condiciones en las cuales los esfuerzos normales permanecen en compresión. Para casos con excentricidad en un solo eje, los esfuerzos máximos y mínimos pueden determinarse mediante la fórmula de la escuadría, la cual muestra que, cuando la excentricidad supera el valor $B/6$, se generan tensiones y una rápida variación de los esfuerzos de contacto. En el análisis de capacidad portante bajo carga excéntrica, el estudio emplea el método del área efectiva propuesto por Meyerhof (1953), el cual ajusta el área resistente de la cimentación en función del grado de excentricidad para estimar la capacidad de carga última y el factor de seguridad. Este método permite modelar con mayor precisión la reducción de capacidad conforme la carga se introduce fuera del núcleo central. Finalmente, el diseño estructural de la cimentación se realiza conforme a las Normas Técnicas Complementarias, siguiendo los criterios clásicos de resistencia a flexión, cortante y punzonamiento en elementos de concreto reforzado. Se recomiendan referencias adicionales como Luna Rodríguez et al. (2021) para aspectos específicos del diseño estructural de cimentaciones sometidas a esfuerzos complejos.

Byeong-Soo Yoo et al. (2024) presentan un estudio enfocado en la automatización de la extracción de información geotécnica contenida en registros de sondeos de construcción, con el objetivo de optimizar el proceso de digitalización de datos utilizados en proyectos de ingeniería civil y arquitectura. Su propuesta se basa en el desarrollo de un algoritmo capaz de identificar y extraer información relevante a partir de distintos formatos de registros, abordando así las dificultades asociadas a la diversidad de formularios empleados por diferentes entidades, como organismos estatales, contratistas y estructuras. La metodología contempló el análisis de registros

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	36 de 206

de perforación estándar y distribuidos, a partir del cual se identificaron patrones comunes en los encabezamientos y la disposición de los datos. Como resultado, se diseñó un algoritmo estructurado en cuatro etapas: extracción de texto y geometría mediante bibliotecas de Python, detección de estructuras categóricas por procesamiento de imágenes, reconocimiento semántico a partir de un conjunto de palabras clave y clasificación de categorías excepcionales. El estudio subraya que la terminología utilizada en los encabezamientos presenta una variabilidad significativamente menor que la estructura visual de los documentos, lo que permitió reducir la complejidad del problema mediante la agrupación de palabras clave. La herramienta fue aplicada a registros de perforación de un proyecto específico, logrando procesar exitosamente 34 páginas correspondientes a 17 pozos en apenas 6,27 segundos, sin requerir una diferenciación previa de formatos. Asimismo, se demostró su adaptabilidad, ya que nuevas estructuras pueden ser integradas fácilmente al sistema mediante la adición de terminología específica. El algoritmo, sin embargo, es aplicable únicamente a archivos PDF con capacidad de búsqueda y no contempla el procesamiento de gráficos. Esta contribución representa un avance significativo en la automatización de procesos en geotecnia, al reducir la dependencia del trabajo manual y mejorar la eficiencia en la digitalización de datos, sentando las bases para una mayor integración de tecnologías de inteligencia artificial en el manejo de información geotécnica.

Tombari et al. (2025) presentan un enfoque innovador en el campo de la ingeniería geotécnica, centrado en la evaluación de la fiabilidad mediante datos geotécnicos indirectos, abordando la problemática recurrente del manejo de información escasa, incompleta o corrupta en procesos de diseño. Su propuesta se fundamenta en la Teoría de la Posibilidad, permitiendo

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	37 de 206

representar de manera objetiva las incertidumbres presentes en los parámetros del suelo, sin depender exclusivamente de métodos probabilísticos tradicionales. La metodología desarrollada incorpora grandes bases de datos nacionales e internacionales gestionadas por terceros, como el British Geological Survey, con el fin de derivar valores de entrada confiables para el análisis de capacidad de carga y estados límite geotécnicos. El trabajo establece una guía práctica para la implementación del procedimiento, diseñada para ser accesible a profesionales sin necesidad de formación especializada en teoría de la incertidumbre. Dentro de sus aportes, se destaca la introducción del concepto de “Grado de Comprensión”, el cual cuantifica la experiencia y juicio técnico de los ingenieros en contextos de información parcial. Además, se resalta la coherencia del método con los niveles de seguridad establecidos por los Eurocódigos Estructurales, gracias a la equivalencia entre las estructuras probabilísticas y posibilistas. El estudio incluye un caso aplicado a un pilote cargado axialmente sobre un suelo bicapa, caracterizado mediante ensayos de penetración de cono (CPT), demostrando la viabilidad técnica del enfoque en situaciones reales de diseño. Esta propuesta representa un avance significativo hacia la digitalización de la ingeniería geotécnica, permitiendo mejorar la toma de decisiones a través del uso de información indirecta, reducir la dependencia de datos locales costosos, y optimizar la gestión de la incertidumbre en condiciones complejas. El trabajo contribuye así a consolidar una nueva perspectiva en el análisis de fiabilidad geotécnica, basada en datos, eficiente en términos computacionales, y alineada con las tendencias internacionales en evaluación del riesgo y sostenibilidad en proyectos de infraestructura civil.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	38 de 206

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente, los estudios geotécnicos para proyectos de infraestructura evidencian que el ensayo de penetración estándar (SPT) continúa siendo uno de los métodos más utilizados para la caracterización del subsuelo, debido a su aplicabilidad en diversos tipos de suelo y su utilidad para estimar parámetros de resistencia y deformación. La literatura y las normativas técnicas actuales destacan la importancia de ejecutar el SPT conforme a procedimientos estandarizados, documentando adecuadamente las condiciones de perforación, el equipo empleado y aplicando las correcciones correspondientes al número de golpes, con el fin de obtener valores representativos y comparables. De igual forma, el análisis del SPT en los estudios contemporáneos se integra con resultados de ensayos de laboratorio como granulometría, límites de Atterberg, humedad natural y peso unitario para mejorar la precisión en la clasificación del suelo y en la estimación de parámetros requeridos para el diseño geotécnico. Las buenas prácticas también establecen la necesidad de representar los datos en perfiles estratigráficos que evidencien la variabilidad de los estratos, así como de verificar la consistencia de los registros mediante controles de calidad y revisiones cruzadas entre laboratorio y campo. En cuanto al diseño de cimentaciones, los lineamientos actuales, basados en normativas como la NSR – 10, indican que las soluciones preliminares deben evaluarse mediante el cálculo de la capacidad portante admisible y la estimación de asentamientos, considerando las condiciones reales del terreno. Asimismo, se exige justificar la selección del tipo de cimentación en función de la estratigrafía, el nivel freático, la compresibilidad del suelo y los criterios de seguridad estructural.

En comparación con estos lineamientos, el proyecto de grado se encuentra plenamente alineado con las tendencias y exigencias técnicas vigentes. La ejecución del SPT conforme a la

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	39 de 206

normativa, el análisis de sus resultados para el diseño, la propuesta de soluciones preliminares de zapata y la verificación de la consistencia de los datos representan prácticas acordes con los procedimientos aceptados a nivel profesional. Además, el enfoque del proyecto en integrar los resultados del SPT con las recomendaciones constructivas fortalece su relevancia y pertinencia dentro de los estudios geotécnicos contemporáneos, contribuyendo a la adecuada toma de decisiones para el diseño de cimentaciones en proyectos de infraestructura.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	40 de 206

Marco teórico

La geotecnia aplicada a la práctica profesional

La geotecnia es una disciplina fundamental dentro de la ingeniería civil, encargada del análisis y comprensión de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, elementos esenciales para el diseño y construcción segura de estructuras de cimentación (Santana Ballesteros, 2019). En el contexto de la práctica empresarial, se tuvo la oportunidad de trasladar y aplicar los conocimientos teóricos adquiridos durante su formación académica a situaciones reales de campo y oficina, relacionadas con la caracterización del terreno y la evaluación de las condiciones geotécnicas. Esta experiencia práctica permitió fortalecer habilidades para diagnosticar problemas, interpretar resultados y proponer soluciones fundamentadas, aportando así a la correcta ejecución de proyectos de infraestructura.

Aplicación de la normativa técnica colombiana

El desarrollo de actividades geotécnicas en Colombia está regulado principalmente por la Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), específicamente en el Título H, que establece los criterios para la evaluación del suelo y el diseño de cimentaciones seguras y resistentes (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Complementariamente, se emplean normas técnicas internacionales como la ASTM D1586, que regula la ejecución del Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Durante la práctica empresarial, el cumplimiento estricto de esta normatividad es fundamental para asegurar la calidad técnica y la validez de los resultados, a la vez que permitió desarrollar competencias normativas y profesionales indispensables para su futuro desempeño.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	41 de 206

Ensayo de penetración estándar (SPT) en campo

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) es uno de los métodos más utilizados para determinar las características mecánicas del suelo de manera directa “in situ”. Consiste en la introducción de un muestreador cilíndrico mediante golpes repetidos, contabilizando el número de impactos necesarios para lograr una penetración estándar. Los resultados obtenidos permiten evaluar no solo la resistencia a la penetración, sino también la estimación de propiedades geomecánicas, capacidad portante y asentamientos, parámetros clave para el diseño geotécnico de cimentaciones (Boiero, 2024). La participación activa en la ejecución de este ensayo permitió aplicar la metodología técnica y los lineamientos normativos, garantizando la confiabilidad y precisión en la recolección de datos de campo.

Diseño de cimentaciones tipo zapata

El diseño de cimentaciones tipo zapata es una de las soluciones más comunes para la construcción de estructuras en terrenos con resistencia media o alta a la compresión. Su principal función es anclar y transmitir las tensiones que genera una estructura al terreno sobre el que se encuentra (Arcus Global, 2017). Este proceso se basa en los resultados obtenidos en los estudios de suelo, principalmente en la capacidad portante y en los límites admisibles de asentamiento. Durante la práctica empresarial, se aplicaron los conceptos teóricos de mecánica de suelos y utilizar métodos clásicos de cálculo, como la ecuación general de capacidad de carga, para evaluar y proponer diseños preliminares adecuados. Esta actividad contribuye a la comprensión de cómo los datos geotécnicos se transforman en soluciones constructivas tangibles.

Uso de la ecuación general de capacidad de carga en la práctica empresarial

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	42 de 206

La capacidad de carga de un suelo se refiere al valor máximo de presión que puede soportar sin experimentar fallas estructurales por corte o por asentamientos excesivos (Medina Rivillas, 2014). En la práctica geotécnica, una de las herramientas más fundamentales para la estimación de esta capacidad es la ecuación general de capacidad de carga, derivada del análisis de equilibrio límite del suelo bajo una cimentación superficial. Esta ecuación permite estimar la carga última que una zapata puede transmitir al suelo, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas del terreno y las condiciones geométricas de la cimentación. La expresión clásica, desarrollada por Meyerhof (1963), a partir de los desarrollos de Terzaghi y posteriormente mejorada por Hansen (1970) y Vesic (1973), se presenta en su forma general como:

$$q_u = cN_c[f_c d_c i_c g_c b_c] + qN_q[f_q d_q i_q g_q b_q] + \frac{1}{2}\gamma B N_\gamma[f_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma]$$

Donde:

N_c, N_q, N_γ : Factores de capacidad de carga.

f_c, f_q, f_γ : Factores de forma.

d_c, d_q, d_γ : Factores de profundidad.

i_c, i_q, i_γ : Factores de inclinación de carga.

g_c, g_q, g_γ : Factores del terreno.

b_c, b_q, b_γ : Factores de inclinación de base.

Durante la práctica empresarial en proyectos geotécnicos, esta ecuación es utilizada con frecuencia para el diseño preliminar de zapatas cuando se cuenta con información básica del subsuelo, obtenida comúnmente a través de ensayos de penetración estándar (SPT). Los valores

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	43 de 206

de ϕ y c se estiman a partir de correlaciones empíricas con los resultados del SPT, lo cual permite aplicar la ecuación de forma rápida y efectiva en la etapa de diseño conceptual.

Elaboración de informes técnicos geotécnicos

La elaboración de informes técnicos es una etapa esencial dentro del proceso geotécnico, pues estos documentos consolidan la información de las condiciones del terreno, los análisis realizados que incluyen consejos de diseño y las recomendaciones constructivas propuestas con base a las condiciones presentes del suelo (EGC, 2022).

En la práctica empresarial, se apoyó en la recopilación, organización y redacción de estos informes, desarrollando así habilidades de comunicación técnica y fortaleciendo su capacidad para interpretar datos reales y colaborar en la toma de decisiones. Este proceso contribuye al desarrollo integral de competencias profesionales, técnicas y administrativas, fundamentales para el ejercicio responsable de la ingeniería geotécnica.

Software Geo5

La herramienta GEO5 es un software especializado en el análisis y diseño geotécnico, ampliamente utilizado en el ámbito de la ingeniería civil para el cálculo, verificación y dimensionamiento de diferentes tipos de estructuras. Este programa permite evaluar el comportamiento del suelo y su interacción con las estructuras, facilitando el diseño de cimentaciones superficiales y profundas, muros de contención, pilotes, taludes y otras obras geotécnicas, de acuerdo con criterios de estabilidad, capacidad portante y seguridad. Asimismo, GEO5 constituye una herramienta de apoyo técnico para la toma de decisiones en la etapa de

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	44 de 206

diseño, al integrar metodologías reconocidas y parámetros geotécnicos obtenidos a partir de estudios de campo y laboratorio (Vargas Uchuari & Rey González, 2023).

Software ProtaStructure

ProtaStructure es un software especializado para el análisis y diseño estructural de edificaciones en concreto reforzado y acero, que integra en una sola plataforma herramientas de modelación tridimensional, análisis sísmico, verificación normativa y generación automática de planos estructurales. Su entorno intuitivo permite desarrollar modelos estructurales completos, evaluar el comportamiento ante cargas gravitacionales y laterales, y optimizar elementos como vigas, columnas, losas y cimentaciones, asegurando que el diseño cumpla con los requisitos de seguridad y desempeño definidos por las normas internacionales y locales. ProtaStructure se caracteriza por su capacidad para realizar análisis lineales y no lineales, automatizar procesos de diseño y ofrecer interoperabilidad con programas como AutoCAD, Revit y ProtaDetails, facilitando la elaboración de planos y documentación técnica (Prota Software, 2025).

En el presente proyecto, ProtaStructure fue empleado como herramienta complementaria para la modelación y verificación preliminar de las zapatas superficiales propuestas. A partir de los parámetros geotécnicos obtenidos del ensayo SPT y de los cálculos de capacidad portante y asentamiento, se generaron modelos estructurales que permitieron analizar la distribución de cargas, dimensiones requeridas y comportamiento general de las cimentaciones. El uso del software facilitó la evaluación comparativa entre los resultados teóricos y los obtenidos mediante modelación, aportando mayor precisión y confiabilidad al diseño preliminar realizado.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	45 de 206

Marco conceptual

El desarrollo de este anteproyecto exige una comprensión sólida de los fundamentos teóricos que respaldan el estudio y análisis de suelos en el ámbito de la ingeniería civil. En este contexto, los conceptos que se presentan a continuación como la importancia del estudio de suelos, sus propiedades, la clasificación de los mismos y el Ensayo de Penetración Estándar (SPT) constituyen la base técnica para la adecuada interpretación de los datos obtenidos durante la práctica empresarial. Estos elementos conceptuales permiten orientar de forma rigurosa el análisis de los resultados y la formulación del diseño preliminar de cimentaciones superficiales.

Importancia del estudio de suelos

El estudio de suelos es un componente fundamental en la ingeniería civil, ya que permite conocer las condiciones del terreno sobre el cual se proyectarán obras de infraestructura. A través de este análisis, se identifican las características físicas y mecánicas del suelo, su capacidad de carga, y la presencia de posibles problemas geotécnicos, como suelos expansivos, suelos colapsables o con baja resistencia. Estas condiciones influyen directamente en la estabilidad y seguridad de las estructuras, por lo que su adecuada evaluación es crucial durante las etapas de diseño, construcción y mantenimiento. El estudio geotécnico proporciona información clave para tomar decisiones técnicas acertadas, como el tipo y la profundidad de cimentación más adecuada, reduciendo riesgos estructurales y económicos. En resumen, la inversión en un estudio de suelos completo y riguroso permite anticipar y mitigar problemas potenciales, optimizar diseños, evitar fallas estructurales y garantizar la durabilidad y seguridad de las obras a lo largo del tiempo (PyH Construyendo Soluciones, 2023).

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	46 de 206

Propiedades de los suelos

Las propiedades de los suelos son fundamentales para su clasificación, análisis y utilización en proyectos de ingeniería civil. Estas propiedades se dividen en físicas, mecánicas e índice, y determinan el comportamiento del suelo cuando es sometido a cargas.

- Propiedades físicas:** Las propiedades físicas del suelo comprenden características fundamentales como la composición granulométrica (proporción de arena, limo y arcilla), la estructura, la porosidad, la densidad, la humedad y la permeabilidad. La porosidad determina la capacidad del suelo para almacenar agua y aire, elementos esenciales para la interacción suelo-estructura. La permeabilidad, por su parte, refleja la facilidad con la que el agua puede fluir a través del suelo, lo cual es determinante en el análisis de drenaje y estabilidad. Además, la densidad y el grado de compactación son factores críticos que influyen directamente en la capacidad portante del terreno y en su comportamiento frente a cargas estructurales. Estas propiedades físicas son evaluadas para garantizar la seguridad y funcionalidad de las obras civiles construidas sobre el suelo (Casimiro Minaya et al., 2020).
- Propiedades mecánicas:** Las propiedades mecánicas del suelo están relacionadas con su comportamiento ante cargas y esfuerzos, e incluyen la resistencia al corte, la capacidad de carga, la presión lateral del terreno, la consolidación y la estabilidad de taludes. Estas características son fundamentales para el diseño y seguridad de cimentaciones y otras estructuras civiles. Están influenciadas por factores como la relación de vacíos, la plasticidad, el contenido de humedad, y la estructura interna del

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	47 de 206

suelo. En particular, la resistencia al corte determina la capacidad del suelo para resistir esfuerzos tangenciales, mientras que la capacidad de carga define el peso que puede soportar sin fallar, siendo ambas esenciales para el diseño geotécnico (Mecánica Suelos blog, 2016).

Clasificación de los suelos

La clasificación de suelos es un aspecto fundamental en geotecnia, ya que permite identificar y organizar los diferentes tipos de suelos en función de sus propiedades físicas y mecánicas. Este proceso es crucial para su adecuada utilización en proyectos de ingeniería civil, facilitando el análisis del comportamiento del terreno ante cargas estructurales y condiciones ambientales. Existen diversos sistemas de clasificación, entre los cuales destacan:

- **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS):** Desarrollado por Arthur Casagrande durante la Segunda Guerra Mundial, este sistema es ampliamente utilizado en la ingeniería civil y geotécnica. El USCS clasifica los suelos en función de su tamaño de partícula (granulometría) y sus características de plasticidad (límites de Atterberg).

Los suelos se dividen en:

- **Suelos granulares:** Como gravas y arenas, que se subdividen según su distribución granulométrica y el contenido de finos.
- **Suelos finos:** Como limos y arcillas, que se clasifican en función de su plasticidad (baja, media o alta).

El sistema utiliza códigos alfanuméricos (por ejemplo, GW para grava bien graduada o CL para arcilla de baja plasticidad) que facilitan la interpretación de los resultados.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	48 de 206

- **Sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials):** Este sistema fue desarrollado en 1929 por la Public Roads Administration, ahora FHWA (Federal Highway Administration) de los Estados Unidos. Es especialmente utilizado en el diseño y construcción de vías terrestres, como carreteras y ferrocarriles. El sistema AASHTO clasifica los suelos en siete grupos principales, de A-1 a A-7, basándose en el análisis granulométrico y los límites de consistencia:

- **Grupos A-1 a A-3:** Suelos granulares con un contenido de finos (material que pasa por el tamiz No. 200) menor o igual al 35%.
- **Grupos A-4 a A-7:** Suelos finos con más del 35% de material pasando el tamiz No. 200, generalmente limos y arcillas, con distintas características de plasticidad y comportamiento estructural.

Este sistema también incluye un Índice de Grupo que permite refinar aún más la evaluación de la calidad del suelo como material de subrasante en pavimentos (Gersango, 2025).

Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El Ensayo de Penetración Estándar (SPT) es una prueba in situ que mide la resistencia del suelo al penetrar un tubo de muestreo en intervalos específicos. El procedimiento consiste en contar el número de golpes (N) necesarios para introducir el tubo 15 centímetros dentro del suelo, utilizando un martillo estándar. Este valor N refleja la compacidad o consistencia del suelo y permite obtener una muestra representativa para análisis posteriores. El SPT proporciona información fundamental sobre las propiedades del suelo, como su densidad y resistencia, que son

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	49 de 206

esenciales para el diseño geotécnico y el cálculo de la capacidad portante de cimentaciones (Santana Ballesteros, 2019).

Marco legal

El marco legal de este proyecto de está constituido por las normas y reglamentos técnicos vigentes en Colombia, que regulan las actividades relacionadas con la ingeniería geotécnica, los estudios de suelos y el diseño de cimentaciones, con el fin de garantizar la seguridad, calidad y sostenibilidad en el desarrollo de proyectos de infraestructura. A continuación, se describen las principales disposiciones legales y técnicas que rigen el desarrollo de las actividades contempladas en la práctica empresarial en INGESUELOS JB S.A.S.

Normativa principal

Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR – 10). La NSR-10, expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, es la norma principal que regula el diseño estructural y geotécnico en Colombia, garantizando la resistencia sísmica de las construcciones (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). En su Título H, esta norma establece los criterios técnicos para la caracterización del suelo, la evaluación de su capacidad portante y el diseño de cimentaciones, incluyendo aspectos fundamentales como la interpretación de ensayos de campo, entre ellos el SPT, y la adopción de factores de seguridad para el dimensionamiento estructural. El cumplimiento estricto de esta norma es obligatorio para todos los proyectos de construcción en el país y orienta directamente las actividades que se llevaron cabo durante la práctica empresarial.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	50 de 206

Norma ASTM D1586. La ASTM (American Society for Testing and Materials) D1586 es una norma técnica internacional adoptada en Colombia para la ejecución del Ensayo de Penetración Estándar (SPT). Esta norma especifica el procedimiento estandarizado para la realización del ensayo “in situ”, definiendo el equipo, metodología, interpretación y reporte de resultados. El seguimiento de esta norma asegura la uniformidad y confiabilidad de los datos obtenidos en los estudios geotécnicos, aspectos que fueron aplicados rigurosamente durante la práctica profesional (ASTM International, 2022).

Instituto Nacional de Vías (INVIAS) E – 111, Ensayo Normal de Penetración (SPT) y Muestreo de Suelos con Tubo Partido. Esta norma establece el procedimiento oficial en Colombia para ejecutar el SPT en exploraciones geotécnicas asociadas a obras de infraestructura vial y de ingeniería civil. Esta norma define los requisitos técnicos para la perforación, el equipo, el martillo estandarizado de 63.5 kg, la caída libre de 76 cm, y las condiciones de operación que garantizan la energía de impacto adecuada. Describe paso a paso cómo realizar la penetración del tubo partido (split-spoon), el procedimiento para contabilizar el número de golpes necesarios para hincar el muestreador en los tres tramos de 15 cm, y la forma de obtener el valor N del SPT (suma de los golpes del segundo y tercer tramo). La norma también establece cómo deben extraerse, manipularse y conservarse las muestras obtenidas, cómo registrar los datos de campo (profundidad, nivel freático, recuperación, rechazo, características del suelo), y las tolerancias de operación para evitar errores por variaciones de energía, velocidad de caída o equipo inadecuado. Además, define los criterios de corrección del número de golpes según sobredrive, diámetro de perforación, eficiencia del martillo y presencia de agua, garantizando que los valores N obtenidos

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	51 de 206

sean comparables y representativos. En general, la INVIAS E-111 asegura un procedimiento uniforme, seguro y estandarizado para la ejecución del SPT y la obtención de muestras alteradas, fundamental para la caracterización del subsuelo, la clasificación de suelos, la estimación de capacidad portante, y el diseño geotécnico de cimentaciones y estructuras viales en Colombia (Lopez Rincon, 2017).

Decreto 1077 de 2015 – Reglamento Único del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.

Este decreto compila y regula las normas sectoriales relacionadas con el desarrollo urbano y de vivienda en Colombia, incluyendo aspectos técnicos de construcción y geotecnia. Dentro de sus disposiciones se encuentran requerimientos para estudios de suelos y diseños de cimentaciones que deben ser respetados en los proyectos de infraestructura, reforzando la aplicación de la NSR-10 y las buenas prácticas profesionales (Función Pública, 2023).

Normas técnicas complementarias

Norma Técnica Colombiana (NTC) 1495 – Método De Ensayo para Determinar en el Laboratorio el Contenido de Agua (Humedad) de Suelos y Rocas, con base en la Masa. Esta norma establece el procedimiento estandarizado para medir la cantidad de agua presente en una muestra de suelo o roca, expresada como el porcentaje de humedad respecto a la masa de sólidos. Esta norma describe cómo seleccionar y preparar la muestra, el método de secado en horno a temperatura controlada, y la determinación de las masas inicial (húmeda) y final (seca) de la muestra. El procedimiento incluye especificaciones sobre el equipo requerido, el control de la temperatura del horno, criterios de estabilidad de masa, manipulación de muestras cohesivas y granulares, así como las recomendaciones para asegurar precisión y reproducibilidad de los

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	52 de 206

resultados. Esta norma es fundamental en geotecnia, ya que la humedad natural afecta directamente la resistencia, compresibilidad, permeabilidad y comportamiento mecánico del suelo, parámetros esenciales para estudios geotécnicos, diseño de cimentaciones y caracterización del subsuelo (Hector Cardenas, 2024).

Norma Técnica Colombiana (NTC) 1522 – Ensayo para Determinar la Granulometría por Tamizado. Esta norma establece el procedimiento estandarizado para determinar la distribución de tamaños de partículas en los suelos mediante el uso de tamices de diferentes aberturas. Esta norma describe cómo preparar la muestra (secado, desintegración y cuarteo), cómo realizar el tamizado manual o mecánico, y cómo registrar el peso retenido en cada tamiz para construir la curva granulométrica, la cual permite identificar la proporción de gravas, arenas y finos presentes en el suelo. El método también incluye los criterios para calcular los porcentajes pasantes, y los coeficientes de uniformidad (C_u) y curvatura (C_c), parámetros esenciales para clasificar el suelo y evaluar su comportamiento en ingeniería. En síntesis, la NTC 1522 garantiza un procedimiento preciso y reproducible para caracterizar el suelo, información indispensable en estudios geotécnicos, diseños de cimentaciones, obras viales y control de calidad de materiales (Landaez, 2022).

Norma Técnica Colombiana (NTC) 4630 – Método De Ensayo para la Determinación del Limite Liquido, del Limite Plástico y del Índice de Plasticidad de los Suelos Cohesivos. Esta norma establece el procedimiento oficial para determinar los límites de Atterberg, parámetros fundamentales para evaluar el comportamiento plástico de los suelos finos. Esta norma describe detalladamente cómo realizar el ensayo del límite líquido mediante la copa de Casagrande o el

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	53 de 206

método de cono, definiendo el contenido de humedad en el cual el suelo pasa del estado plástico al estado líquido. Asimismo, especifica el procedimiento para determinar el límite plástico, que es la humedad a la cual el suelo pasa del estado semisólido al plástico, mediante el amasado y rolado del material hasta formar hilos de 3 mm de diámetro. Con base en estas dos determinaciones, la norma define el cálculo del índice de plasticidad ($IP = LL - LP$), parámetro clave para clasificar suelos en sistemas como USCS y AASHTO, además de ser indispensable para predecir su comportamiento volumétrico, capacidad de carga, compresibilidad y susceptibilidad a expansiones o contracciones. En conjunto, la NTC 4630 asegura un método preciso, reproducible y estandarizado para caracterizar la plasticidad de suelos cohesivos en estudios y diseños geotécnicos (Victor Hugo Mejia, 2015).

Norma Técnica Colombiana (NTC) 4630 – Método De Ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas. Esta norma establece el procedimiento estandarizado para medir la resistencia al corte efectiva de un suelo mediante el ensayo de corte directo realizado con consolidación previa y drenaje controlado durante el esfuerzo cortante. La norma define cómo preparar la muestra (disturbada o inalterada), cómo colocarla en la caja de corte, aplicar una carga normal constante, permitir la consolidación total bajo dicha carga y luego aplicar un desplazamiento horizontal de corte de manera drenada y controlada. Durante el ensayo se registran los esfuerzos cortantes y normales para obtener el esfuerzo cortante máximo, con el cual se construye la envolvente de falla que permite determinar los parámetros de resistencia al corte: cohesión efectiva (c') y ángulo de fricción interna efectiva (ϕ'). Esta norma es fundamental para el análisis de estabilidad de taludes, diseño de cimentaciones, muros de contención,

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	54 de 206

evaluación de presiones laterales y estudios geotécnicos donde se requiere conocer el comportamiento del suelo bajo esfuerzos drenados representativos de condiciones de largo plazo (Mendez, 2020).

Norma Técnica Colombiana (NTC) 1504 – Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería. La Norma Técnica Colombiana NTC 1504 establece el procedimiento oficial para la clasificación de suelos con fines de ingeniería. Esta norma define cómo identificar y organizar los suelos en grupos granulométricos y de plasticidad tales como gravas, arenas, limos, arcillas y suelos orgánicos a partir de ensayos como la granulometría y los límites de Atterberg, así como del porcentaje de material que pasa el tamiz N° 200. La NTC 1504 detalla las reglas para asignar los símbolos USCS (GW, SP, CL, SM, etc.), interpretar la curva granulométrica, distinguir entre finos plásticos y no plásticos mediante la carta de plasticidad y reconocer la presencia de materia orgánica. En conjunto, la norma proporciona un método estandarizado y confiable para describir el comportamiento físico básico del suelo, información indispensable para estudios geotécnicos y para el diseño seguro de cimentaciones y otras obras civiles (Rickatman, 2014).

Reglamentos institucionales

Reglamento Interno de Trabajo de Grado (Programa de Ingeniería Civil, Campus Pamplona). Este reglamento establecido en el Acuerdo No. 186 del 2 de diciembre de 2005 – Capítulo VI, define el Trabajo de Grado como un requisito académico obligatorio para optar al título profesional, regulando su naturaleza, modalidades, procesos y mecanismos de evaluación. Este capítulo establece que el estudiante debe desarrollar un trabajo especial —como proyecto de investigación, práctica, pasantía u otra modalidad aprobada por el Comité de Trabajo de Grado—

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	55 de 206

siguiendo etapas formales que incluyen la presentación y aprobación del anteproyecto, la asignación de un director, la ejecución del trabajo conforme a los lineamientos del programa, la entrega del informe final y la sustentación ante jurado. Asimismo, determina las funciones del Comité de Trabajo de Grado, responsable de aprobar propuestas, asignar evaluadores y garantizar el cumplimiento de la normativa institucional. En conjunto, este reglamento organiza y orienta todo el proceso de elaboración, presentación y aprobación del trabajo de grado dentro del Programa de Ingeniería Civil, asegurando rigurosidad académica y uniformidad en los requisitos para la obtención del título (Universidad de Pamplona, 2025).

Reglamento Academico Estudiantil de Pregrado – Universidad de Pamplona. Este reglamento establece el marco normativo para todos los estudiantes de pregrado de la Universidad de Pamplona, definiendo desde los procesos de admisión, matrícula, registro académico y validaciones (homologaciones, transferencias, reingresos) hasta los requisitos para la obtención del título, los derechos y deberes del estudiante, los criterios de evaluación académica, los estímulos y privilegios, las normas disciplinarias, y lo relativo al trabajo de grado como requisito para graduarse; en particular define cómo deben cumplirse los planes de estudio, las condiciones de permanencia, los procedimientos de inscripción, los requisitos de grado (materias aprobadas, promedio mínimo, servicio social, trabajo de grado, paz y salvo, etc.), y regula situaciones especiales como pérdidas de calidad de estudiante por bajo rendimiento, cancelaciones de

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	56 de 206

matrícula, transferencias, con el fin de asegurar equidad, coherencia institucional y orden académico en la formación universitaria.

Teniendo en cuenta lo anterior, la ejecución del proyecto se fundamentó en el cumplimiento de la normativa geotécnica colombiana aplicable a la exploración y caracterización del subsuelo, particularmente en lo relacionado con el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), realizado conforme a la norma ASTM D1586 y la INVIAS E-111, que establece los procedimientos para la perforación, muestreo y determinación del número de golpes corregido, garantizando así la confiabilidad de los datos obtenidos en campo. Asimismo, aunque los ensayos de laboratorio tales como el ensayo de humedad (NTC 1495), granulometría (NTC 1522), límites de Atterberg (NTC 4630) y corte directo (NTC 4630) fueron ejecutados por otra área dentro de la empresa, su aplicación siguió los lineamientos establecidos en las correspondientes Normas Técnicas Colombianas, asegurando la calidad y trazabilidad de los resultados. De igual manera, la interpretación geotécnica y la formulación de soluciones preliminares de cimentación se apoyaron en criterios normativos como la NTC 1504 para clasificación de suelos relacionadas con diseño y evaluación geotécnica. En conjunto, estas normas brindaron el marco técnico necesario para integrar adecuadamente los datos de campo y laboratorio en el diseño de cimentaciones superficiales, garantizando la validez metodológica y el rigor técnico del estudio.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	57 de 206

Metodología

La metodología de este proyecto se desarrolló bajo un enfoque aplicado y descriptivo, basado en la observación directa, la ejecución de actividades prácticas y el análisis técnico de datos obtenidos. Las actividades están orientadas al cumplimiento de los objetivos planteados y se llevó a cabo en cuatro fases secuenciales, que permitieron estructurar adecuadamente el proceso de aprendizaje y aplicación práctica.

Figura 3.

Diagrama de flujo de la metodología del proyecto de grado.



A continuación, se describe cada una de las fases del proyecto:

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	58 de 206

Fase 1: Inducción y reconocimiento

La primera fase corresponde al proceso de inducción y reconocimiento operacional dentro de la empresa INGESUELOS JB S. A. S., con el propósito de garantizar la correcta adaptación a los procedimientos técnicos y a las normas que regulan la ejecución de estudios geotécnicos. Esta etapa metodológica consiste en la revisión detallada de los lineamientos internos para la planificación de exploraciones, el control de calidad en campo y la estructura formal utilizada en la elaboración de informes geotécnicos.

Como parte de esta familiarización, se efectúan estudios exhaustivos de las principales normas aplicables a los procesos realizados por la empresa. Se analizó la NSR – 10, título H (Estudios Geotécnicos), haciendo énfasis en los requisitos mínimos de investigación del subsuelo, profundidades recomendadas de exploración, número de sondeos, criterios de descripción del terreno y parámetros geotécnicos requeridos para el diseño de cimentaciones. Esta norma sirvió de referencia para comprender cómo debe estructurarse un informe geotécnico conforme a la regulación nacional y qué información técnica es obligatoria incluir.

Igualmente, se revisaron las normas ASTM pertinentes a los ensayos de campo. En particular, se profundizó en la ASTM D1586, que establece el procedimiento para la ejecución del Ensayo de Penetración Estándar (SPT). El análisis se centró en aspectos clave como:

- El método de hincado del toma muestras partido.
- La energía aplicada por el martillo.
- El registro de los golpes en los intervalos normalizados.
- La obtención y preservación de muestras perturbadas.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	59 de 206

- Los criterios para garantizar la validez y reproducibilidad de los resultados.

De esta manera, la fase de inducción no solo permitió identificar qué actividades se realizan dentro del proceso geotécnico, sino también cómo deben ejecutarse conforme a estándares reconocidos y bajo qué procedimientos técnicos se soportan las prácticas de campo, la interpretación de datos y la elaboración final de los informes geotécnicos que la empresa entrega a sus clientes.

Fase 2: Ejecución de ensayos de campo (SPT)

La segunda fase corresponde a la ejecución de los ensayos de campo, particularmente la realización de los Ensayo de Penetración Estándar (SPT), siguiendo los lineamientos establecidos por la ASTM D1586, INVIAS E – 111 y las recomendaciones del Título H de la NSR – 10 para las exploraciones geotécnicas. El objetivo metodológico de esta fase fue aplicar de manera rigurosa el procedimiento de campo para obtener datos confiables. Para ello, se tienen previstas campañas geotécnicas donde se efectuó la perforación manual o con equipo mecanizado, dependiendo de la logística del sitio, garantizando el control adecuado de la verticalidad y del avance de la perforación. Una vez preparado el equipo, se procedió a ejecutar el ensayo de SPT siguiendo los pasos estandarizados: Colocación del toma muestras tipo partido, aplicación del martillo de 63.5 kg desde una altura de caída de 76 cm, descarte del primer tramo de penetración y registro de los golpes correspondientes de penetración útil.

Durante todas las actividades se tomaron evidencias fotográficas como también el registro de los datos, mediante un cuaderno de campo proporcionado por la empresa, en el cual se consignaron variables como:

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	60 de 206

- Número de golpes por intervalo (15 cm, 30 cm y 50 cm).
- Profundidad del sondeo (depende de la categoría del proyecto).

Tabla 1.

Clasificación de las unidades de construcción por categorías.

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 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

Nota. En la tabla anterior se muestran los diferentes valores de carga máxima de servicio en columnas de acuerdo a la categoría de unidad de construcción. Fuente: (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Tabla 2.

Número mínimo de sondeos y profundidad por 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

Nota. En la tabla anterior se muestra el número de sondeos y profundidad mínima que se debe alcanzar de acuerdo a la categoría de la unidad de construcción del proyecto.

- Identificación preliminar del tipo de suelo (textura, color, humedad natural, entre otros).
- Recuperación de muestra (empacada en material de envoplast).

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	61 de 206

- Nivel freático (si era visible).
- Observaciones operativas relevantes.

Adicionalmente, se efectuó la recuperación y preservación de las muestras perturbadas obtenidas con la cuchara partida, las cuales fueron rotuladas y almacenadas conforme a los procedimientos internos, para posteriormente ser trasladadas al laboratorio de suelos autorizado.

El cumplimiento estricto del procedimiento normativo permitió asegurar que los datos obtenidos fueran técnicamente válidos, repetibles y aptos para ser empleados en el análisis geotécnico y en la elaboración de los informes técnicos derivados del proyecto.

Figura 4.

Asistencia y toma de datos en campo.



Nota. La figura anterior evidencia la participación en campo, además de la toma de datos necesarios para el estudio geotécnico.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	62 de 206

Fase 3: Análisis e interpretación de resultados

La tercera fase corresponde al análisis e interpretación de los datos obtenidos durante la exploración geotécnica. Este proceso metodológico consiste en la organización, procesamiento y evaluación de la información recolectada en campo mediante los ensayos SPT, con el fin de caracterizar de manera integral el comportamiento geotécnico del subsuelo del área estudiada. Inicialmente, se efectuó la normalización de los valores de penetración (N60) según los lineamientos de la ASTM D1586 y conforme a las recomendaciones del Título H de la NSR – 10, corrigiendo los golpes obtenidos por factores como energía del martillo, diámetro del sondeo, longitud del varillaje y resistencia interna del muestreador. Esta normalización permitió obtener valores comparables y apropiados para correlaciones geotécnicas posteriores. Con los valores corregidos, se procedió a establecer el nivel de desplante, además de la clasificación preliminar de los suelos, aplicando tanto el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) como los criterios complementarios derivados de la inspección visual y las descripciones de perforación. Esta clasificación permitió de igual manera llevar a cabo la descripción de las características observadas en campo, tales como textura, color, consistencia, estructura y recuperación de muestras. Posteriormente, se establece un parámetro geotécnico fundamental, que es la carga máxima de servicio en columnas (KN) según la categoría de la unidad de construcción, además del tipo de cimentación (superficial o profunda). Estos parámetros se establecieron de acuerdo a los resultados de los laboratorios, el criterio del ingeniero geotécnico y estructural, y a la normativa vigente aplicable, especialmente aquellas sugeridas por la NSR – 10 para el diseño de cimentaciones superficiales.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	63 de 206

Finalmente, toda la información obtenida en esta fase fue integrada en el informe geotécnico, estructurando los resultados de manera coherente y sustentada. El análisis permitió establecer las condiciones del subsuelo, identificar estratos de relevancia para el diseño y definir los parámetros geotécnicos necesarios para la selección del tipo de cimentación más adecuado para el proyecto.

Fase 4: Elaboración de informes y diseño preliminar

Finalmente, la cuarta fase se enfoca en la elaboración de informes y el planteamiento del diseño preliminar de cimentaciones superficiales. Se pretende brindar apoyo en la redacción de los informes geotécnicos, formulando recomendaciones técnicas fundamentadas, y se llevó a cabo el diseño preliminar de zapatas utilizando la ecuación general de capacidad de carga, considerando las condiciones del terreno, las cargas estructurales y la normativa colombiana aplicable. Cabe recalcar que todas las fases serán supervisadas por el ingeniero jefe Juan Pablo Boada Guerrero. De acuerdo a lo anterior:

Elaboración de informes

El informe geotécnico se encuentra estructurado en diferentes apartados que incluyen: introducción, normatividad aplicable, información general del proyecto a ejecutar, objetivos, descripción general del área de estudio, amenaza sísmica de la zona, geología, influencia de las estructuras vecinas, profundidad de perforación con equipo SPT, condiciones de drenaje, nivel freático, resultados de la exploración e investigación del subsuelo, registro fotográfico de los sondeos, corrección del número de golpes obtenidos en el ensayo SPT, parámetros para el diseño

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	64 de 206

de cimentaciones, criterios del diseñador, recomendaciones para el diseño y la construcción, así como las limitaciones del estudio.

Posterior a la validación de toda la información antes mencionada y los resultados obtenidos por parte del ingeniero jefe, se procede con la entrega del informe al solicitante, asegurando que los datos presentados sean precisos, confiables y técnicamente sustentados, cumpliendo con los estándares establecidos en la normativa vigente y con los objetivos del estudio geotécnico.

Diseño preliminar

En cuanto al diseño preliminar de zapatas, se debe tener en cuenta tanto los resultados obtenidos de los análisis de laboratorio como también los resultados obtenidos del ensayo realizado en campo. De acuerdo a lo anterior, se extraen los parámetros geotécnicos claves, tales como el número de golpes, peso específico seco y saturado, ángulo de fricción y la cohesión, los cuales sirvieron como base para los respectivos cálculos detallados.

La ecuación general de capacidad de carga se aplica a cimentaciones continuas, cuadradas y circulares, permitiendo además el análisis de situaciones con cargas inclinadas, lo que la hace adaptable a las condiciones reales del terreno y a las características de las estructuras proyectadas.

$$q_u = C * N_c * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + 1/2 * \gamma * B * N_\gamma * F_{\gamma s} * F_{\gamma d} * F_{\gamma i} \quad (1)$$

Para la realización de los diferentes cálculos se debe seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Primeramente, se realiza la determinación de los factores de capacidad de carga (N_c , N_q , N_γ), empleando la tabla propuesta por Meyerhof, la cual se muestra a continuación.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	65 de 206

Tabla 3.

Factores de capacidad de carga para diferentes ángulos de fricción – Meyerhof.

ϕ	Nc	Nq	Ny	ϕ	Nc	Nq	Ny
0	5,14	1	0	26	22,254	11,854	8,002
1	5,38	1,09	0,002	27	23,942	13,199	9,463
2	5,63	1,2	0,01	28	25,804	14,720	11,190
3	5,9	1,31	0,023	29	27,860	16,433	13,236
4	6,19	1,43	0,042	30	30,139	18,401	15,668
5	6,49	1,57	0,07	31	32,671	20,631	18,564
6	6,81	1,72	0,106	32	35,491	23,177	22,023
7	7,16	1,88	0,152	33	38,638	26,092	26,166
8	7,53	2,06	0,209	34	42,164	29,440	31,146
9	7,92	2,25	0,281	35	46,123	33,296	37,152
10	8,35	2,47	0,367	36	50,585	37,752	44,426
11	8,8	2,71	0,471	37	55,630	42,920	53,271
12	9,28	2,97	0,596	38	61,351	48,933	64,073
13	9,81	3,26	0,744	39	67,866	55,957	77,332
14	10,37	3,59	0,921	40	75,313	64,195	93,690
15	10,98	3,94	1,129	41	83,858	73,897	113,986
16	11,63	4,34	1,375	42	93,707	85,374	139,318
17	12,34	4,77	1,664	43	105,107	99,014	171,142
18	13,1	5,26	2,004	44	118,369	115,308	211,408
19	13,93	5,8	2,403	45	113,874	134,874	262,743
20	14,83	6,4	2,871	46	152,098	158,502	328,732
21	15,82	7,07	3,421	47	173,640	187,206	414,327
22	16,88	7,82	4,066	48	199,259	222,300	526,452
23	18,05	8,66	4,824	49	229,924	265,497	674,917
24	19,32	9,6	5,716	50	266,882	319,057	873,854
25	20,72	10,66	6,765				

Nota. En la tabla anterior muestra los distintos valores de factores de carga de acuerdo al ángulo de fricción del suelo para Meyerhof. Fuente: (Diana, 2017).

- 2) Cálculo del esfuerzo efectivo al que estará sometido el suelo al nivel de desplante establecido para la cimentación, implementando la siguiente expresión:

$$q = df * \gamma_d \quad (2)$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	66 de 206

Donde:

df : Nivel de desplante cimentación.

γ : Peso unitario de suelo.

- 3) Determinación del coeficiente de presión pasiva (K_p), el cual se implementará para el cálculo de los diferentes parámetros que se requieren para el diseño.

$$k_p = \tan^2(45 + \frac{\Phi}{2}) \quad (3)$$

Donde:

k_p : Coeficiente de presión pasiva.

γ : Angulo de fricción interno del suelo [grados].

- 4) Luego del cálculo anterior, se lleva a cabo la determinación de los factores de forma (F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$) estableciendo las zapatas como cuadradas, por lo cual sus dimensiones del largo (L) y ancho (B) son iguales.

$$F_{cs} = 1 + 0.2 * k_p * (\frac{B}{L}) \quad (4)$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 * k_p * (\frac{B}{L}) \quad (5)$$

- 5) Seguidamente se determinan los valores de los factores de profundidad (F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$).

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + 0.1 * \sqrt{k_p} * (\frac{D_F}{B}) \quad (6)$$

$$F_{cd} = 1 + 0.2 * \sqrt{k_p} * (\frac{D_F}{B}) \quad (7)$$

- 6) Posteriormente se calculan los valores de los factores de inclinación (F_{ci} , F_{qi} , $F_{\gamma i}$), estos valores se establecen como uno debido a que la cimentación no presenta cargas inclinadas, y si es el caso, se calculan.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	67 de 206

- 7) Se determina a continuación la capacidad de carga última (qu), tenido en cuenta la implementación de un factor de seguridad igual a tres, usando la siguiente expresión:

$$qu = \frac{Q*FS}{B^2} \quad (8)$$

- 8) Teniendo en cuenta lo anterior se procede a determinar las dimensiones de la zapata igualando la expresión (1) y (8).

- 9) Como último paso, se determina el esfuerzo admisible del suelo usando la siguiente formula.

$$Q_{ADM} = \frac{Q}{B^2} \quad (9)$$

Luego de haber establecido el diseño preliminar de las dimensiones de la zapata, se realizaba la comprobación de cumplimiento de parámetros como esfuerzos y excentricidades implementando el software “ProStructure”, garantizando que se cumplieran los requisitos técnicos y normativos.

- 10) Posteriormente al establecimiento del diseño preliminar, se procede a la determinación del asentamiento elástico de las cimentaciones superficiales mediante la metodología de Steinbrenner, la cual combina los principios de la teoría de la elasticidad con factores de forma y de profundidad. Este método requiere parámetros como el módulo de elasticidad del suelo, la carga aplicada y las dimensiones de la cimentación, además del uso de tablas de factores de influencia que permiten estimar el asentamiento en función de la geometría y las condiciones de carga. Para el cálculo se implementaron las siguientes expresiones.

$$\Delta H_i = qB \frac{1-\mu^2}{E_s} I_s I_f \quad (10)$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	68 de 206

$$I_s = (l_1 + \frac{1-2u}{1-u} * l_2) \quad (11)$$

Donde:

ΔH_i : Asentamiento inmediato.

q_c : Magnitud de la presión de contacto, expresada en unidades de Es. [$q_c = Q_{eAc}$].

B: Dimensión menor del cimientto en unidades de ΔH_i .

I_w : Factor de influencia dependiente de la geometría del cimientto y de su rigidez (ver tabla 3).

E_s : Modulo de elasticidad del suelo (ver tabla 5).

μ : Relación de Poisson (ver tabla 6).

I_f : Factor de influencia para la base a una profundidad de desplante (ver figura 5).

Tabla 4.

Valores de I_1 e I_2 para calcular el factor de influencia de Steinbrenner I_s para varias relaciones

$N = H/B'$ y $M = L/B$.

N	$M = 1.0$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
0.2	$I_1 = 0.009$ $I_2 = 0.041$	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
0.4	0.033 0.066	0.032 0.068	0.031 0.069	0.030 0.070	0.029 0.070	0.028 0.071	0.028 0.071	0.027 0.072	0.027 0.072	0.027 0.073	0.027 0.073
0.6	0.066 0.079	0.064 0.081	0.063 0.083	0.061 0.085	0.060 0.087	0.059 0.088	0.058 0.089	0.057 0.090	0.056 0.091	0.056 0.091	0.055 0.092
0.8	0.104 0.083	0.102 0.087	0.100 0.090	0.098 0.093	0.096 0.095	0.095 0.097	0.093 0.098	0.092 0.100	0.091 0.101	0.090 0.102	0.089 0.103
1.0	0.142 0.083	0.140 0.088	0.138 0.091	0.136 0.095	0.134 0.098	0.132 0.100	0.130 0.102	0.129 0.104	0.127 0.106	0.126 0.108	0.125 0.109
1.5	0.224 0.075	0.224 0.080	0.224 0.084	0.223 0.089	0.222 0.093	0.220 0.096	0.219 0.099	0.217 0.102	0.216 0.105	0.214 0.108	0.213 0.110
2.0	0.285 0.064	0.288 0.069	0.290 0.074	0.292 0.078	0.292 0.083	0.292 0.086	0.292 0.090	0.292 0.094	0.291 0.097	0.290 0.100	0.289 0.102
3.0	0.363 0.048	0.372 0.052	0.379 0.056	0.384 0.060	0.389 0.064	0.393 0.068	0.396 0.071	0.398 0.075	0.400 0.078	0.401 0.081	0.402 0.084
4.0	0.408 0.037	0.421 0.041	0.431 0.044	0.440 0.048	0.448 0.051	0.455 0.054	0.460 0.057	0.465 0.060	0.469 0.063	0.473 0.066	0.476 0.069
5.0	0.437 0.031	0.452 0.034	0.465 0.036	0.477 0.039	0.487 0.042	0.496 0.045	0.503 0.048	0.510 0.050	0.516 0.053	0.522 0.055	0.526 0.058
6.0	0.457 0.026	0.474 0.028	0.489 0.031	0.502 0.033	0.514 0.036	0.524 0.038	0.534 0.040	0.542 0.043	0.550 0.045	0.557 0.047	0.563 0.050
7.0	0.471 0.022	0.490 0.024	0.506 0.027	0.520 0.029	0.533 0.031	0.545 0.033	0.556 0.035	0.566 0.037	0.575 0.039	0.583 0.041	0.590 0.043
8.0	0.482 0.020	0.502 0.022	0.519 0.023	0.534 0.025	0.549 0.027	0.561 0.029	0.573 0.031	0.584 0.033	0.594 0.035	0.602 0.036	0.611 0.038
9.0	0.491 0.017	0.511 0.019	0.529 0.021	0.545 0.023	0.560 0.024	0.574 0.026	0.587 0.028	0.598 0.029	0.609 0.031	0.618 0.033	0.627 0.034
10.0	0.498 0.016	0.519 0.017	0.537 0.019	0.554 0.020	0.570 0.022	0.584 0.023	0.597 0.025	0.610 0.027	0.621 0.028	0.631 0.030	0.641 0.031
20.0	0.529 0.008	0.553 0.009	0.575 0.010	0.595 0.010	0.614 0.011	0.631 0.012	0.647 0.013	0.662 0.013	0.677 0.014	0.690 0.015	0.702 0.016
500.0	0.560 0.000	0.587 0.000	0.612 0.000	0.635 0.000	0.656 0.000	0.677 0.000	0.696 0.001	0.714 0.001	0.731 0.001	0.748 0.001	0.763 0.001

Nota. En la tabla anterior se muestran los diferentes valores de factor de influencia de Steinbrenner. Fuente: (E. Bowles, 1997).

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	70 de 206

Tabla 5.

Valores de módulo de elasticidad según el tipo de suelo.

SUELO	E (Kg/cm²)
Arcilla muy suelta	3.5 a 30
Arcilla suelta	20 a 50
Arcilla media	40 a 80
Arcilla dura	70 a 180
Arcilla arenosa	300 a 400
Arena limosa	70 a 200
Arena suelta	100 a 250
Arena densa	500 a 800
Arena densa y grava	1000 a 2000

Nota. En la tabla anterior se muestran los diferentes valores de módulo de elasticidad del suelo. Fuente: (E. Bowles, 1997).

Tabla 6.

Valores de relación de Poisson según el tipo de suelo.

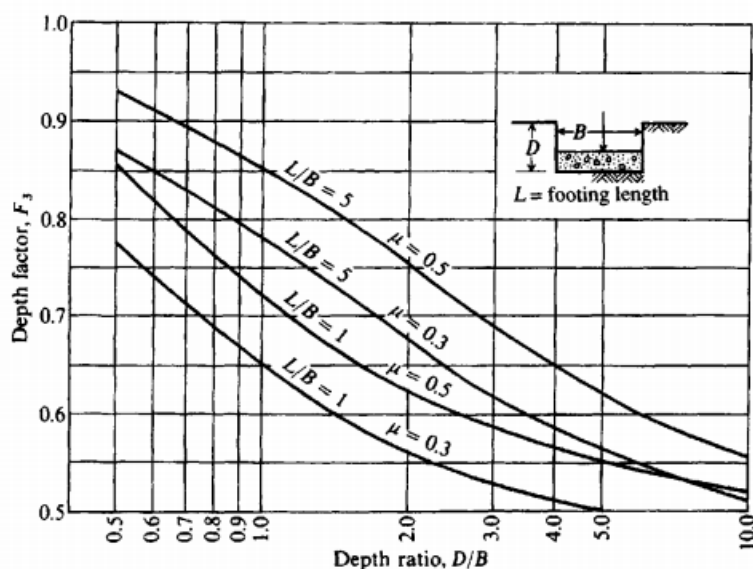
SUELO	U
Arcilla saturada	0.5
Arcilla con arena y limo	0.3 a 0.42
Arcilla no saturada	0.3 a 0.40
Suelo arenoso	0.15 a 0.25
Arena	0.30 a 0.35

Nota. En la tabla anterior se muestran los diferentes valores de factor de influencia de Steinbrenner. Fuente: (E. Bowles, 1997).



Figura 5.

Factor de influencia I_f para la base a una profundidad de desplante (D_f).



Nota. En la tabla anterior se muestran los diferentes valores de factor de influencia (I_f).

Fuente: (E. Bowles, 1997).

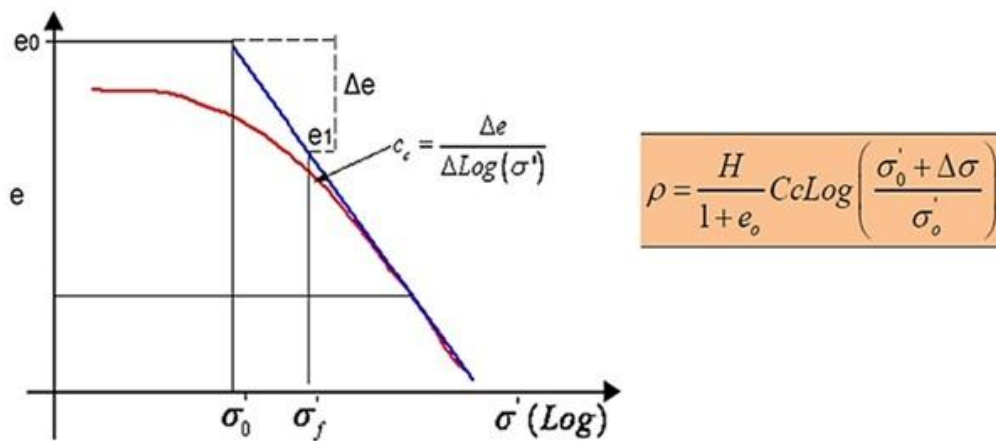
- 11) Finalmente, se realiza el cálculo del asentamiento por consolidación primaria, fenómeno que se presenta en suelos saturados debido a la expulsión del agua contenida en los poros cuando se aplica una carga. Este proceso es lento y dependiente del tiempo, durante el cual el exceso de presión de poro se disipa gradualmente, transfiriéndose la carga al esqueleto sólido del suelo. Como consecuencia, se produce una reducción en el volumen del material y, por ende, un asentamiento vertical progresivo. Para el cálculo de este es necesario tener en cuenta parámetros como la profundidad de desplante (D_f), geometría de la cimentación (B y L), profundidad de influencia de la carga (H), límite líquido del suelo (LL), relación de vacíos (eo) y el esfuerzo del suelo, todo esto con el

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	72 de 206

fin de determinar valores de influencia (I_z) de acuerdo al incremento de esfuerzos y finalmente poder determinar el asentamiento por consolidación primaria (S_c) con las siguientes expresiones matemáticas.

Figura 6.

Variación del asentamiento de acuerdo a la relación de vacíos y esfuerzos.



Es necesario destacar que, en cuanto a la ejecución de los cálculos llevados a cabo mediante las plantillas de la empresa, se agregó a la programación de la hoja de Excel, el asentamiento por consolidación primaria implementando el método de Schmertmann (1970), con el fin de obtener valores más precisos y optimizar los tiempos del desarrollo de los diversos cálculos.

$$CC = 0,009(LL - 10) \rightarrow \text{Índice de compresión.} \quad (12)$$

$$\sigma'_o = \sum \gamma * h \rightarrow \text{Esfuerzo del suelo.} \quad (13)$$

$$I_z = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1} \left(\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1} \right) \right] \quad (14)$$

$$m = \frac{B}{H} \quad (15) \quad n = \frac{L}{H} \quad (16)$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	73 de 206

Si $m^2 + n^2 + 1 < m^2 n^2$ se debe sumar π a la cantidad dentro del paréntesis en el último término.

$$\Delta\sigma = 4Iq_{c_n} \quad (17)$$

$$S_{c(p)} = \frac{c_c H_c}{1+e_o} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma}{\sigma'_o} \quad (18)$$

Cabe recalcar que todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de los diferentes proyectos fueron supervisados detalladamente por el ingeniero en planta con el fin de verificar que el diseño fuera consistente con la normativa colombiana vigente. Esta fase fue de gran importancia, ya que siempre se debía garantizar la estabilidad, funcionalidad y confiabilidad estructural de las obras acometidas. e_o

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	74 de 206

Resultados

Con el propósito de verificar el cumplimiento de los objetivos específicos, se presenta a continuación los resultados alcanzados, resaltando las actividades ejecutadas y los logros obtenidos durante la realización del proyecto de grado.

Objetivo 1. Ejecutar ensayos de penetración estándar (SPT) conforme a los procedimientos establecidos en la normativa, con el fin de caracterizar los suelos del sitio del proyecto.

Para la ejecución de las diferentes jornadas geotécnicas, fue indispensable la familiarización previa con la normativa aplicable, tal como se establece en la fase 1 de la metodología. La participación en actividades de campo y de gabinete, permitieron obtener como resultado la realización de un total de diez (10) estudios de suelos, en los cuales se incluye la construcción de edificaciones, patinódromos y sistemas de alcantarillados.

Figura 7.

Actividades de campo y de gabinete.



Nota. La figura anterior evidencia la participación en actividades de campo y de gabinete.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	75 de 206

Los estudios de suelos se ejecutaron en diversas localizaciones distribuidas en los departamentos de Norte de Santander y Casanare, abarcando diferentes contextos geotécnicos y condiciones del terreno, lo cual permitió obtener una visión representativa del comportamiento del subsuelo en ambas regiones.

Tabla 7.

Número de estudios realizados de acuerdo a su ubicación.

Departamento	Municipio	Número de estudios realizados
Norte de Santander	Pamplona	3
Norte de Santander	Cúcuta	2
Norte de Santander	Villa del Rosario	1
Norte de Santander	Mutiscua	1
Norte de Santander	Gramalote	1
Norte de Santander	Corregimiento el Carmen de Nazareth, Salazar	1
Casanare	Villanueva	1
Total		10

Nota. La tabla anterior se evidencia el número de estudios de suelos realizados durante la práctica profesional, de acuerdo a su ubicación.

Estos estudios de suelos fueron llevados a cabo mediante la implementación del equipo SPT, los cuales se clasifican de acuerdo a la categoría de la unidad de construcción según la tabla 1. Esta categorización permitió establecer el número mínimo de sondeos a realizar, además de la profundidad mínima a la que se debe llegar, de acuerdo a lo establecido en la tabla 2. A

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	76 de 206

continuación, se presenta de forma detallada los estudios realizados en cuanto a ubicación, categoría, número de sondeos, profundidad alcanzada y descripción del mismo.

Tabla 8.

Estudios de suelos realizados durante la práctica.

Nº	Proyecto	Ubicación	Categoría	Nº de sondeos y profundidad máxima alcanzada	Descripción
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Pamplona, Norte de Santander.	Baja	Nº de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. Sondeo 2: 4,50 m. Sondeo 3: 2,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura aporticada de dos niveles, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 500 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Pamplona, Norte de Santander.	Baja	Nº de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. Sondeo 2: 4,50 m. Sondeo 3: 4,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura a porticada de tres niveles, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 750 kN, conforme a lo

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	77 de 206

					establecido en la tabla 1 de la metodología.
3	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural.	Pamplona, Norte de Santander.	Baja	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. Sondeo 2: 4,50 m. Sondeo 3: 3,50 m.	El proyecto por desarrollar consiste en la construcción de una estructura aporticada de un nivel, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 400 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	Cúcuta, Norte de Santander.	Baja	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 3,50 m. Sondeo 2: 4,50 m. Sondeo 3: 3,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura aporticada de tres niveles, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 500 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Cúcuta, Norte de Santander.	Baja	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 3,50 m. Sondeo 2: 4,50 m. Sondeo 3: 3,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura a porticada de tres niveles, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	78 de 206

				de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 500 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
6	Estudio de suelos para la construcción estructural de viviendas de tres niveles	Villa del Rosario, Norte de Santander.	Baja	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. Sondeo 2: 3,50 m. Sondeo 3: 3,50 m. El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura aporticada de tres niveles, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 600 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
7	Estudio de suelos para la construcción de alcantarillado municipal	Corregimiento del Carmen de Nazareth, Salazar, Norte de Santander	Baja	N° de sondeos: 7. Sondeo 1: 3,50 m. Sondeo 2: 3,50 m. Sondeo 3: 3,50 m. Sondeo 4: 3,50 m. Sondeo 5: 3,50 m. Sondeo 6: 3,50 m. Sondeo 7: 3,50 m. El proyecto a desarrollar consiste en un tramo de alcantarillado, que consta de zanjas de aproximadamente 1,0 metro de profundidad. La construcción se clasifica de nivel de complejidad baja, ya que el mayor número de habitantes presente en el corregimiento es menor a 2500 habitantes.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	79 de 206

8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Mutiscua, Norte de Santander.	Baja	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 5,50 m. Sondeo 2: 4,50 m. Sondeo 3: 3,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura aporticada de dos niveles, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría Baja, dado que la mayor carga vertical estimada es de 600 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	Villanueva, Casanare.	Media	N° de sondeos: 4. Sondeo 1: 4,50 m. Sondeo 2: 6,50 m. Sondeo 3: 3,50 m. Sondeo 4: 6,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de una estructura a porticada de cuatro niveles y subterráneo, cimentada mediante zapatas aisladas. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría media, dado que la mayor carga vertical estimada es de 1200 kN, conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	80 de 206

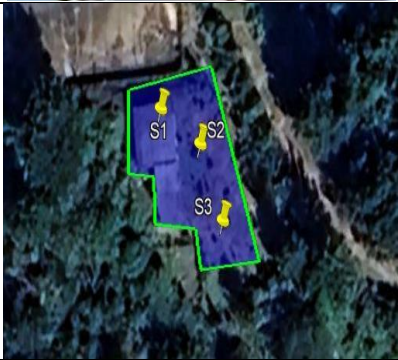
10	Estudio de suelos para proyecto de construcción estructural de patinódromo	Gramalote, N. S	Baja	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 3,50 m. Sondeo 2: 3,50 m. Sondeo 3: 3,50 m.	El proyecto a desarrollar consiste en la construcción de un patinódromo. La estructura estará cimentada mediante una losa de concreto reforzado, diseñada para garantizar una adecuada distribución uniforme de las cargas hacia el terreno natural. Se clasifica como una construcción de nivel de categoría BAJA, dado que la mayor carga vertical estimada es de 25 KN por m ² , conforme a lo establecido en la tabla 1 de la metodología.
<i>Nota.</i> En la tabla anterior se presentan los proyectos ejecutados, su ubicación, la categoría de construcción, numero de sondeos y profundidad máxima a la que se llegó, además de su respectiva descripción, lo cual permite una correcta clasificación de los proyectos y la determinación del número total de estudios realizados. En el desarrollo de los estudio de suelos se ejecutaron sondeos para conocer la naturaleza del depósito, profundidad, espesor y composición de los diferentes niveles, nivel freático, y propiedades desde el punto de vista de ingeniería, con el fin de determinar de manera aproximada las características geotécnicas del terreno para establecer las condiciones que limitan su utilización, los problemas que se puedan presentar y formular algunos criterios y parámetros básicos que deben tener en cuenta los ingenieros encargados del diseño y desarrollo del proyecto.					

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	81 de 206

Teniendo en cuenta que los proyectos se clasifican de acuerdo a su categoría, se procedió a definir la ubicación de los sondeos requeridos, dando cumplimiento con lo establecido en la NSR – 10, Título H, específicamente en la tabla 2 de la metodología, la cual determina el número mínimo de exploraciones y la profundidad para este tipo de proyectos. A continuación, se presenta la distribución de los sondeos de todos los proyectos llevados a cabo.

Tabla 9.

Ubicación de los sondeos de los estudios.

Nº	Proyecto	Ubicación geográfica	Distribución de los sondeos
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Sondeo 1: 7°22'56.91" N 72°38'11.162" W Sondeo 2: 7°22'56.866" N 72°38'11.379" W Sondeo 3: 7°22'56.818" N 72°38'11.145" W	
2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Sondeo 1: 7°22'23.328" N 72°38'52.549" W Sondeo 2: 7°22'23.455" N 72°38'52.44" W Sondeo 3: 7°22'23.302" N 72°38'52.531" W	
3	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural.	Sondeo 1: 7°23'40.49"N 72°39'46.745"W Sondeo 2: 7°23'40.776"N 72°39'46.878"W Sondeo 3: 7°23'40.474"N 72°39'46.716"W	

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	82 de 206

4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	Sondeo 1: 7°52'12.38" N 72°28'49.347" W Sondeo 2: 7°52'12.888" N 72°28'49.722" W Sondeo 3: 7°52'12.678" N 72°28'49.722" W	
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Sondeo 1: 7°51'3.219" N 72°30'57.104" W Sondeo 2: 7°51'3.573" N 72°30'57.032" W Sondeo 3: 7°51'3.479" N 72°30'57.645" W	
6	Estudio de suelos para la construcción estructural de viviendas de tres niveles	Sondeo 1: 7°51'17.293" N 72°27'36.848" W Sondeo 2: 7°51'16.643" N 72°27'36.186" W Sondeo 3: 7°51'16.462" N 72°27'36.322" W	

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	83 de 206

7	Estudio de suelos para la construcción de alcantarillado municipal	Sondeo 1: 7°51'27.970" N 72°53'16.230" W Sondeo 2: 7°51'22.422" N 72°53'19.505" W Sondeo 3: 7°51'18.667" N 72°53'13.765" W Sondeo 4: 7°51'21.143" N 72°53'12.222" W Sondeo 5: 7°51'20.471" N 72°53'20.703" W Sondeo 6: 7°51'18.375" N 72°53'22.822" W Sondeo 7: 7°51'15.068" N 72°53'17.620" W	
8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Sondeo 1: 7°17'51.723" N 72°44'52.282" W Sondeo 2: 7°17'51.811" N 72°44'52.119" W Sondeo 3: 7°17'51.913" N 72°44'52.327" W	
9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	Sondeo 1: 4°36'27.985" N 72°55'32.762" W Sondeo 2: 4°36'28.160" N 72°55'32.875" W Sondeo 3: 4°36'28.092" N 72°55'32.251" W Sondeo 4: 4°36'27.907" N 72°55'32.588" W	

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	84 de 206

10	Estudio de suelos para proyecto de construcción estructural de patinódromo	Sondeo 1:
		7°55'05.721" N 72°47'05.519" W
		Sondeo 2:
		7°55'05.635" N 72°47'05.353" W
		Sondeo 3:
		7°55'05.436" N 72°47'05.010" W



Nota. En la tabla anterior se presenta la ubicación geográfica de los sondeos de los diferentes proyectos realizados durante la práctica empresarial.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a:

Armado del equipo

Para garantizar una correcta ejecución del proceso de armado del equipo SPT, es fundamental conocer en detalle la conformación y funcionalidad de cada uno de sus elementos. En este sentido, a continuación, se presenta de forma general la ficha técnica realizada para la empresa INGESUELOS JB S. A. S, que describe la estructura del equipo SPT, incluyendo sus aplicaciones principales, características operativas y los parámetros fundamentales que rigen su funcionamiento en campo. Esta información permite asegurar un montaje adecuado y conforme a los estándares establecidos para la realización del ensayo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	85 de 206

Figura 8.

Ficha técnica equipo SPT.

EQUIPO DE PERFORACIÓN SPT (Standard Penetration Test)

FICHA TÉCNICA



Aplicaciones

- Determinar la resistencia a la penetración del suelo por medio del número de golpes (N – SPT), hincando un muestreador mediante energía de impacto.
- Obtener muestras alteradas para identificación visual y ensayos de clasificación del suelo estudiado.
- Estimar parámetros de diseño como la capacidad portante, asentamientos, resistencia a la penetración, densidad relativa, consistencia de arcillas.
- Usado en cimentaciones superficiales, profundas y estudios de estabilidad de las diferentes estructuras.

Características principales

- **Amplio uso y reconocimiento internacional:** El ensayo es aceptado y regulado por normas como ASTM, AASHTO, Eurocode y la NSR-10, lo que garantiza la comparabilidad y validez de sus resultados en proyectos de ingeniería a nivel global.
- **Simplicidad y robustez:** El equipo se compone de elementos relativamente sencillos y resistentes, lo que facilita su aplicación en zonas con accesibilidad limitada mediante el uso de trípodes portátiles.
- **Versatilidad de aplicación:** Puede emplearse en una amplia variedad de suelos, incluyendo arenas, limos, arcillas y rellenos. Es útil tanto en exploraciones superficiales como en profundidades de 20 a 30 m, e incluso hasta 50 m aplicando las correcciones correspondientes.
- **Rapidez de ejecución:** Un equipo de trabajo experimentado puede realizar varios sondeos en un mismo día, obteniendo resultados inmediatos en campo a través del índice de resistencia N-SPT.
- **Procedimiento de penetración:** Consiste en hincar un muestreador de cuchara partida (split spoon) con una longitud efectiva de 600 mm, un diámetro externo de 50,8 mm (2 in) y un diámetro interno de 34,9 mm (1 3/8 in), mediante un martillo de 63,5 kg (140 lb) que cae libremente desde una altura de 760 mm (30 in). El martillo puede ser manual o automático.

Nota. En la figura anterior se presenta la ficha técnica del equipo implementado para el ensayo de penetración estándar (SPT), que se realizó durante la realización de la práctica profesional.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	86 de 206

Figura 9.

Partes que conforman el equipo SPT.



Nota. En la figura anterior se presentan los diferentes componentes que conforman el equipo utilizado para la ejecución del ensayo SPT, el cual está integrado por la pesa o martillo, el sistema de poleas, el mecanismo diferencial, el motor, la cuchara, la escalera de operación, secciones de tubería metálica empleadas para la transmisión de energía durante la penetración del muestreador, además de las herramientas menores.

Realización de la perforación

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede al armado del equipo y realización de la perforación en los diferentes puntos de exploración del suelo.

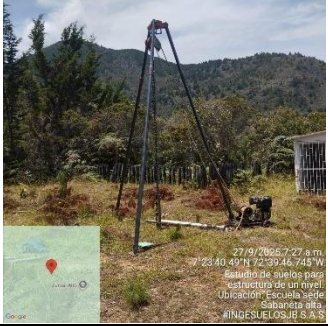
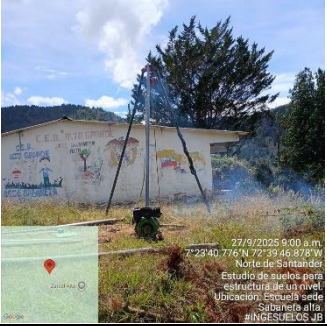
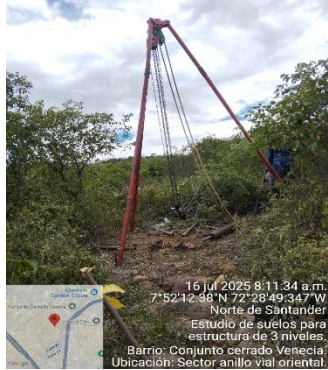
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	87 de 206

Tabla 10.

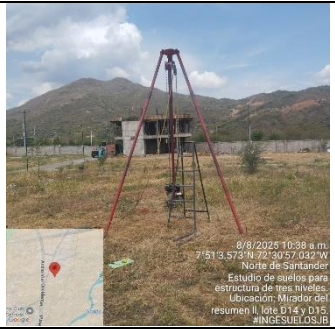
Ejecución del ensayo en el sitio.

N°	Proyecto	Profundidad máxima, N° de estratos y Nivel freático.	Sondeos realizados	
			Sondeo 1	Sondeo 2
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. N° de estratos: 3. Sondeo 2: 4,50 m. N° de estratos: 3. Sondeo 3: 2,50 m. N° de estratos: 2. N. F: No presenta en todos los sondeos.		
2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. N° de estratos: 4. Sondeo 2: 4,50 m. N° de estratos: 4. Sondeo 3: 4,50 m. N° de estratos: 4.	Sondeo 1	Sondeo 2
				

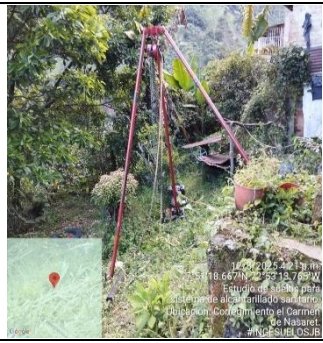
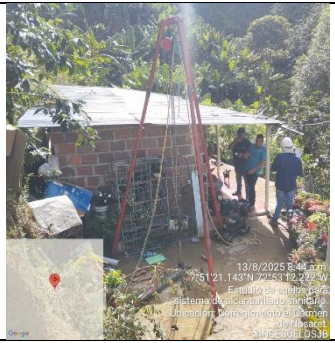
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	88 de 206

3 Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural	N. F: No presenta en todos los sondeos.	Sondeo 3 	Sondeo 4 -
	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 4,50 m. N° de estratos: 3. Sondeo 2: 4,50 m. N° de estratos: 2. Sondeo 3: 3,50 m. N° de estratos: 3. N. F: No presenta en todos los sondeos.	Sondeo 1  Sondeo 2  Sondeo 3  Sondeo 4 -	
	4 Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 3,50 m. N° de estratos: 2. Sondeo 2: 4,50 m. N° de estratos: 1. Sondeo 3: 3,50 m. N° de estratos: 1.	Sondeo 1  Sondeo 2 

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	89 de 206

5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	N. F: No presenta en todos los sondeos.	Sondeo 3 	Sondeo 4 -
			Sondeo 1 	Sondeo 2 
			Sondeo 3 	Sondeo 4 -
			Sondeo 1 	Sondeo 2 

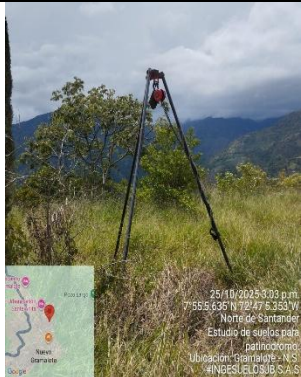
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	90 de 206

7	Estudio de suelos para la construcción de alcantarillado municipal	N. F: No presenta en todos los sondeos.	Sondeo 3 	Sondeo 4 -
			Sondeo 1 	Sondeo 2 
			Sondeo 3 	Sondeo 4 
			Sondeo 5 	Sondeo 6 
			Sondeo 7 3,50 m. Nº de estratos: 3.	
			N. F: No presenta en todos los sondeos.	

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	91 de 206

		Sondeo 7	Sondeo 8
			-
8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Sondeo 1	Sondeo 2
		Sondeo 3	Sondeo 4
			-
9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	Sondeo 1	Sondeo 3

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	92 de 206

10	Estudio de suelos para proyecto de construcción estructural de patinódromo	Sondeo 4: 6,50 m. N° de estratos: 4. N. F: No presenta en todos los sondeos.	Sondeo 3  11 jul 2025 2:18:35 p.m. 4°36'29" N 72°55'32.251" W 6-05 Calle 10 Villanueva Casanare Estudio de suelos para estructura de 4 niveles y subterráneo. Dirección: Carrera 6 # 9 - p81. Barrio: Paraíso.	Sondeo 4  11 jul 2025 3:58:58 p.m. 4°36'27.907" N 72°55'32.588" W 9-53 Carrera 6 Villanueva Casanare Estudio de suelos para estructura de 4 niveles y subterráneo. Dirección: Carrera 6 # 9 - p81. Barrio: Paraíso.
		N° de sondeos: 3. Sondeo 1: 3,50 m. N° de estratos: 2. Sondeo 2: 3,50 m. N° de estratos: 3. Sondeo 3: 3,50 m. N° de estratos: 3. N. F: No presenta en todos los sondeos.	Sondeo 1  25/10/2025 7:27 a.m. 7°55'5.721" N 72°47'5.519" W Estudio de suelos para patinódromo. Ubicación: Camalote - N.S. #INGESUELOS S.A.S	Sondeo 2  25/10/2025 9:03 p.m. 7°55'5.35" N 72°47'5.353" W Norte de Santander Estudio de suelos para patinódromo. Ubicación: Camalote - N.S. #INGESUELOS S.A.S
			Sondeo 3  25/10/2025 4:32 p.m. 7°55'5.436" N 72°47'5.519" W Estudio de suelos para patinódromo. Ubicación: Camalote - N.S. #INGESUELOS S.A.S	Sondeo 4 -
		<i>Nota.</i> En la tabla anterior se presentan las perforaciones (n° de sondeos) realizadas durante la ejecución del ensayo SPT, profundidades máximas alcanzadas por sondeo y si existe o no presencia de nivel freático (N. F) en el sitio de los diferentes proyectos, velando por el cumplimiento de la norma NSR – 10 y ASTM D1586. Para ver la evidencia de la asistencia a campo ver el apéndice A.		

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	93 de 206

A partir de los sondeos realizados durante la práctica empresarial, se evidenció que la presencia del nivel freático es escasa en todos los proyectos evaluados, lo cual favorece una adecuada intervención y desarrollo de las obras. La ausencia o profundidad significativa del nivel freático reduce la probabilidad de problemas asociados al incremento del contenido de humedad, tales como la expansión y pérdida de resistencia en suelos cohesivos, especialmente en arcillas, así como la ocurrencia de fenómenos de licuefacción en suelos granulares bajo la acción de cargas dinámicas, como las inducidas por sismos. Estas condiciones resultan favorables para el diseño y construcción de cimentaciones superficiales, ya que permite adoptar hipótesis de comportamiento más conservadoras y controladas, disminuye la necesidad de sistemas de drenaje especiales y contribuye a una mayor confiabilidad en la estimación de la capacidad portante y los asentamientos. No obstante, se reconoce la importancia de verificar estas condiciones en cada proyecto específico, dado que variaciones estacionales o cambios en las condiciones hidráulicas pueden modificar el comportamiento del subsuelo.

Es muy fundamental tener presente que, para cada estudio de suelos realizado, en el inciso D del artículo H.3.2.5 de la NSR – 10, referente a la profundidad de los sondeos, especifica que al menos el 50% de los sondeos exigidos debe alcanzar la profundidad de 6,0 metros (para categoría baja) y 15,0 metros (para categoría media). No obstante, el numeral (D) del mismo artículo señala que, en los casos donde se encuentre aglomerados rocosos o capas de suelos firmes con comportamiento equivalente al de una roca, y tratándose de estudios de categoría **baja** o **media**, es suficiente verificar una continuidad mínima de 2,00 metros para proceder a la finalización del sondeo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	94 de 206

En todo caso primará el criterio del ingeniero geotecnista responsable, quien determinará la exploración requerida de acuerdo con los lineamientos ya señalados, y en todos los casos, el 50% de las perforaciones, deberán alcanzar una profundidad por debajo del nivel de apoyo de la cimentación. De acuerdo a lo anterior, si el sondeo presenta rechazo generalizado, indicando muy probablemente la presencia de un horizonte de gravas gruesas o conglomerados compactos, típicos de los niveles basales de los depósitos aluviales y coluviales del sector, y considerando adicionalmente que a dicha profundidad ya se supera el nivel de apoyo de la cimentación especificado en el numeral I, se decide suspender el sondeo en esa cota, tal como lo establece la normativa aplicable y conforme al criterio del ingeniero geotecnista responsable.

Recolección de la muestra

Durante la ejecución del ensayo SPT, al alcanzar la profundidad de muestreo, se procedió a la extracción de la tubería de perforación y del dispositivo de muestreo. Posteriormente, se efectuó la recolección de la muestra, la cual fue sellada y conservada utilizando material plástico tipo Envoplast, con el fin de evitar la pérdida de humedad y preservar las condiciones naturales del suelo. Adicionalmente, se realizó el respectivo registro fotográfico ([ver apéndice B](#)) de la muestra para su documentación y análisis posterior. En los resultados del siguiente objetivo se presentarán los perfiles estratigráficos de las muestras más representativas obtenidas de los estudios de suelos.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	95 de 206

Objetivo 2. Analizar los resultados obtenidos del ensayo SPT para integrarlos en estudios geotécnicos orientados al diseño de soluciones de cimentación en proyectos de infraestructura.

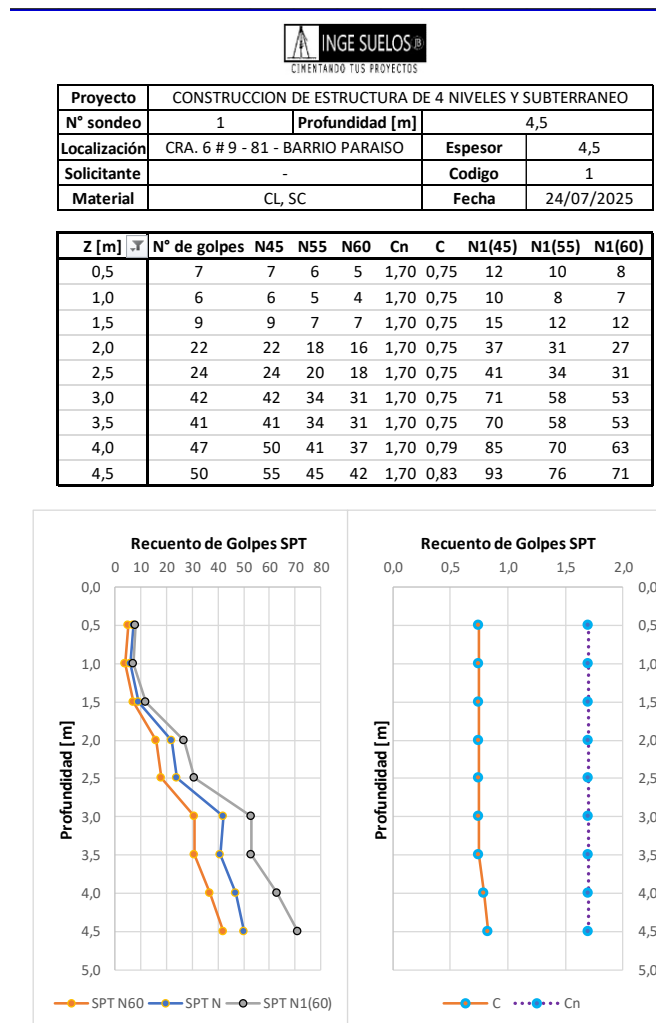
Valores N – SPT del ensayo SPT

En cada uno de los proyectos donde se ejecutaron los estudios geotécnicos, se realizó la toma de los datos de campo correspondientes, incluyendo la ubicación, los niveles de la estructura consignados en el tablero y los valores del número de golpes (N – SPT) obtenidos mediante el ensayo de penetración estándar (SPT).

Cabe recalcar que los análisis presentados a continuación corresponden a actividades desarrolladas en gabinete en las oficinas de la empresa **INGESUELOS JB S.A.S.** Posteriormente, los valores recolectados fueron sistematizados e ingresados en la plantilla de cálculo diseñada para la empresa, la cual incluye, el nombre del proyecto, la ubicación del proyecto y la profundidad alcanzada en el ensayo SPT, además de las correcciones pertinentes del número de golpes del SPT para la obtención de los valores normalizados N45, N55 y N60, conforme a los factores de energía establecidos.

Figura 10.

Resultados sondeo.



Nota. En la figura anterior se presentan un ejemplo de la plantilla típica que implementa la empresa INGESUELOS JB S.A.S para la sistematización de los datos, corrección de numero de golpes y obtención de graficas del suelo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	97 de 206

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos de cada sondeo por estudio de suelo realizado durante la práctica profesional. Para ver de manera detallada estos resultados [ver apéndice C](#).

Tabla 11.

Valores de N - SPT por estudio de suelo.

Nº	Proyecto	Z [m]	Sondeos realizados					
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Sondeo 1			Sondeo 2			
			Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	7	5	8	11	8	14
		1,0	8	6	10	15	11	19
		1,5	18	13	22	13	10	17
		2,0	16	12	20	17	13	22
		2,5	31	23	39	33	25	42
		3,0	27	20	34	28	21	36
		3,5	33	25	42	24	18	31
		4,0	35	28	48	22	17	29
		4,5	35	29	49	38	32	54
		Sondeo 3			Sondeo 4			
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	16	12	20	-	-	-
		1,0	19	14	24	-	-	-
		1,5	23	17	29	-	-	-
		2,0	28	21	36	-	-	-
		2,5	33	25	42	-	-	-
2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Sondeo 1			Sondeo 2			
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	11	8	14	16	12	20
		1,0	18	13	22	20	15	25
		1,5	20	15	25	25	19	32
		2,0	27	20	34	27	20	34
		2,5	28	21	36	25	19	32

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	98 de 206

3	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural	3,0	25	19	32	26	19	32
		3,5	26	19	32	26	19	32
		4,0	30	24	41	29	23	39
		4,5	32	27	46	30	25	42
		Sondeo 3			Sondeo 4			
			N° de golpes	N60	N1 (60)	N° de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	12	9	15	-	-	-
		1,0	15	11	19	-	-	-
		1,5	19	14	24	-	-	-
		2,0	21	16	27	-	-	-
		2,5	18	13	22	-	-	-
		3,0	20	15	25	-	-	-
		3,5	24	18	31	-	-	-
		4,0	25	20	34	-	-	-
		4,5	28	23	39	-	-	-
		Sondeo 1			Sondeo 2			
		Z [m]	N° de golpes	N60	N1 (60)	N° de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	8	6	10	9	7	12
		1,0	11	8	14	16	12	20
		1,5	17	13	22	26	19	32
		2,0	20	15	25	18	13	22
		2,5	19	14	24	29	22	37
		3,0	24	18	31	35	26	44
		3,5	31	23	39	38	28	48
		4,0	45	36	61	46	37	63
		4,5	50	42	71	50	42	71
		Sondeo 3			Sondeo 4			
		Z [m]	N° de golpes	N60	N1 (60)	N° de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	10	7	12	-	-	-
		1,0	9	7	12	-	-	-
		1,5	19	14	24	-	-	-
		2,0	27	20	34	-	-	-
		2,5	35	26	44	-	-	-
		3,0	43	32	54	-	-	-
		3,5	50	37	63	-	-	-

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	99 de 206

4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	Sondeo 1				Sondeo 2		
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	6	4	7	5	4	7
		1,0	15	11	19	13	10	17
		1,5	18	13	22	21	16	27
		2,0	22	16	27	22	16	27
		2,5	32	24	41	31	23	39
		3,0	41	31	52	34	25	42
		3,5	50	37	63	41	31	53
		4,0	-	-	-	46	37	63
		4,5	-	-	-	50	42	71
		Sondeo 3				Sondeo 4		
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	8	6	10	-	-	-
		1,0	16	12	20	-	-	-
		1,5	21	16	27	-	-	-
		2,0	36	27	46	-	-	-
		2,5	45	34	58	-	-	-
		3,0	48	36	61	-	-	-
		3,5	50	37	63	-	-	-
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Sondeo 1				Sondeo 2		
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	12	9	15	9	7	12
		1,0	22	16	27	18	13	22
		1,5	25	19	32	21	16	27
		2,0	36	27	46	26	19	32
		2,5	41	31	53	38	28	48
		3,0	45	34	58	43	32	54
		3,5	50	37	63	50	37	63
		Sondeo 3				Sondeo 4		
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	10	7	12	-	-	-
		1,0	19	14	24	-	-	-
		1,5	24	18	31	-	-	-

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	101 de 206

		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	9	7	12	6	4	7
		1,0	15	11	19	23	17	29
		1,5	21	16	27	31	23	39
		2,0	19	14	24	38	28	48
		2,5	24	18	31	40	30	51
		3,0	41	31	53	46	34	58
		3,5	50	37	63	50	37	63
		Sondeo 5			Sondeo 6			
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	10	7	12	7	5	8
		1,0	15	11	19	12	9	15
		1,5	18	13	22	23	17	29
		2,0	26	19	32	25	19	32
		2,5	31	23	39	32	24	41
		3,0	44	33	56	40	30	51
		3,5	50	37	63	50	37	63
		Sondeo 7			Sondeo 8			
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
		0,5	15	11	19	-	-	-
		1,0	20	15	25	-	-	-
		1,5	32	24	41	-	-	-
		2,0	29	22	37	-	-	-
		2,5	39	29	49	-	-	-
		3,0	43	32	54	-	-	-
		3,5	50	37	63	-	-	-
		Sondeo 1			Sondeo 2			
		Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	0,5	7	5	8	4	3	5
		1,0	6	4	7	9	7	12
		1,5	7	5	8	16	12	20
		2,0	12	9	15	16	12	20
		2,5	18	13	22	15	11	19
		3,0	20	15	25	27	20	34
		3,5	26	19	32	41	31	53

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	102 de 206

9 Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	4,0	34	27	46	46	37	53
	4,5	38	32	54	50	42	71
	5,0	43	37	63	-	-	-
	5,5	50	44	75	-	-	-
	Sondeo 3			Sondeo 4			
	Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
	0,5	9	7	12	-	-	-
	1,0	10	7	12	-	-	-
	1,5	16	12	20	-	-	-
	2,0	17	13	22	-	-	-
	2,5	37	28	48	-	-	-
	3,0	46	34	58	-	-	-
	3,5	50	37	63	-	-	-
	Sondeo 1			Sondeo 2			
	Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
	0,5	7	5	8	4	3	5
	1,0	6	4	7	7	5	8
	1,5	9	7	12	12	9	15
	2,0	22	16	27	18	13	22
	2,5	24	18	31	22	16	27
	3,0	28	21	36	21	16	27
	3,5	26	19	32	26	19	32
	4,0	31	25	42	31	25	42
	4,5	32	27	46	32	27	46
	5,0	-	-	-	34	29	49
	5,5	-	-	-	37	33	56
	6,0	-	-	-	34	31	53
	6,5	-	-	-	39	36	61
	Sondeo 3			Sondeo 4			
	Z [m]	Nº de golpes	N60	N1 (60)	Nº de golpes	N60	N1 (60)
	0,5	6	4	7	7	5	8
	1,0	7	5	8	7	5	8
	1,5	12	9	15	17	13	22
	2,0	21	16	27	20	15	25
	2,5	26	19	32	25	19	32

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	104 de 206

geotécnico de los suelos evaluados, tanto en profundidad como entre los diferentes proyectos y sondeos ejecutados. En términos generales, se observa una tendencia creciente de los valores N – SPT, N60 y N1 (60) con el incremento de la profundidad, lo cual es consistente con procesos naturales de densificación en suelos granulares y aumento de consistencia en suelos cohesivos. En los estratos superficiales, comprendidos entre una profundidad de 0,50 m y 1,50 m, predominan valores bajos a medios de N1 (60), generalmente inferiores a 15 golpes, lo que indica la presencia de suelos sueltos a medianamente compactos o arcillas de baja consistencia. Este comportamiento es recurrente en la mayoría de los proyectos, independientemente del tipo de estructura proyectada, y se asocia a capas de relleno, suelos residuales poco consolidados o materiales con mayor contenido de humedad. A partir de profundidades cercanas a los 2,0 m, los valores de N1 (60) presentan un incremento progresivo, alcanzando rangos entre 20 y 40 golpes, lo cual refleja suelos medianamente densos a densos o arcillas de consistencia media a firme. Este rango de resistencia resulta adecuado para la implementación de cimentaciones superficiales, siempre que se controlen los asentamientos y se verifiquen las cargas transmitidas por la estructura, especialmente en edificaciones de dos y tres niveles. En profundidades mayores, generalmente por debajo de los 3,0 m a 3,5 m, se identifican valores elevados de N1 (60), en muchos casos iguales o superiores a 50 golpes, lo que indica la presencia de suelos densos a muy densos o estratos de alta consistencia. Este comportamiento es particularmente evidente en los proyectos mostrados como lo es el patinódromo, el alcantarillados municipales e instituciones educativas. Estos estratos profundos representan condiciones favorables desde el punto de vista de capacidad portante y control de asentamientos.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	105 de 206

La comparación entre sondeos realizados dentro de un mismo proyecto muestra, una coherencia en los perfiles geotécnicos, aunque con variaciones debido a la heterogeneidad natural del subsuelo. En algunos casos se evidencian diferencias entre sondeos adyacentes, especialmente en los primeros metros, lo que resalta la importancia de ejecutar múltiples sondeos para una adecuada caracterización del terreno.

La corrección de los valores de golpes a N60 y N1 (60) permitió estandarizar los resultados y garantizar su confiabilidad para el análisis geotécnico, constituyéndose en un insumo fundamental para la definición del nivel de desplante, la estimación de parámetros de resistencia y la aplicación de metodologías de capacidad portante empleadas en el diseño preliminar de las cimentaciones. En conjunto, los resultados reflejan un comportamiento geotécnico favorable en la mayoría de los proyectos analizados, siempre que se consideren adecuadamente las condiciones específicas de cada sitio. Con base a dicha información, el ingeniero geotecnista responsable establece el nivel de desplante, considerando la carga neta máxima suministrada por el ingeniero estructural, de acuerdo a la categoría de la construcción, garantizando así la coherencia entre las condiciones del suelo y las exigencias estructurales del proyecto.

Resultados de los laboratorios y de la exploración del subsuelo

En cuanto a los **ensayos de laboratorio**, es importante precisar **que estos son realizados por una empresa externa**, por lo cual dichas actividades no se encuentran incluidas dentro del alcance del presente documento.

Una vez se disponen de los resultados de los análisis realizados a las muestras, **el ingeniero geotecnista entrega las tablas** necesarias que serán incluidas en los informes geotécnicos. Esta

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	106 de 206

información permite establecer la descripción detallada de la exploración del suelo, así como su clasificación de acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio. Es importante destacar que los ensayos realizados por la empresa se **ejecutan sobre las muestras obtenidas a cada metro de profundidad alcanzada**, las cuales **se distribuyen a lo largo de los sondeos** realizados. Esta distribución es definida por el ingeniero geotecnista responsable. A continuación, se presenta el perfil estratigráfico más representativo de la exploración del subsuelo de los estudios realizados.

Tabla 12.

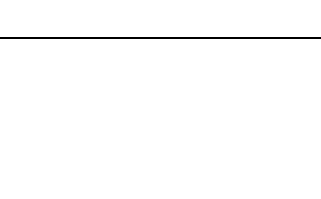
Perfil estratigráfico más representativo del suelo de cada estudio.

Nº	Proyecto	Z [m]	Muestras representativas	Clasificación y propiedades	Observaciones
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de dos niveles	0,0		No presenta	Los primeros metros son una capa de relleno con espesor aproximadamente de 50 cm de profundidad.
		0,5			
		0,5		Arena mal gradada (SP) Grava = 11,50 % Arenas = 70,5 % Finos = 17,8 % LL = No presenta. LP = No presenta. IP = No presenta.	Consiste en una capa con presencia de color marrón oscuro con tonalidades amarillas.
		1,5			
		1,5		Arena mal gradada (SP) Grava = 11,50 % Arenas = 72,5 % Finos = 14,8 % LL = No presenta. LP = No presenta. IP = No presenta.	Se observa una coloración marrón clara con tonalidades de color amarillas, textura arenosa con finos y baja cohesión.
		2,5			

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	107 de 206

2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	2,5	 Arena mal gradada (SP) Grava = 7,0 % Arenas = 83,5 % Finos = 9,3 % LL = No presenta. LP = No presenta. IP = No presenta.	Consiste en una capa de arena con una textura áspera al tacto, con tonalidad marrón oscuro con tendencia a gris oscuro, y una zona con coloración amarillenta.
		3,5		 Consiste en una capa de arena con un contenido de humedad entre bajo y medio, con coloración que varía entre marrón rojizo a anaranjado. Material suelto.
		3,5		
		4,5		
	Estudio de suelos para la construcción estructural de tres niveles	0,0	 No presenta	Suelo conformado por arena, grava y material de relleno con espesor aproximadamente de 50 cm de profundidad.
		0,5		
		0,5		
		1,5		
	Estudio de suelos para la construcción estructural de tres niveles	1,5	 Arena arcillosa (SC) Grava = 13,50 % Arenas = 64,5 % Finos = 21,5 % LL = 20,32 %. LP = 14,95%. IP = 5,37 %.	Corresponde a una capa arenosa con presencia de finos y mezcla de gravas, de color marrón claro.
		1,5		Consiste en una arena con presencia de finos y con presencia de

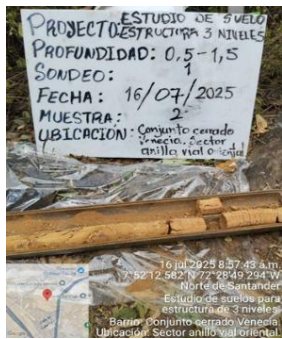
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	108 de 206

3		2,5		Arena mal grada (SP) Grava = 15,50 % Arenas = 68,0 % Finos = 16,0 % LL = No presenta. LP = No presenta. IP = No presenta.	grava, de color marrón oscuro. Consolidada y resistente.
		2,5			Este estrato corresponde a una arena con bajo contenido de finos y presencia de grava dispersa, de color marrón amarillento a marrón oscuro.
		3,5			Este estrato se compone de una arena con baja presencia de gravas y finos, de color marrón oscuro a grisáceo.
		4,5			
	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural	0,0		No presenta	Se identificó un estrato compuesto por un suelo orgánico con presencia de raíces y material vegetal en descomposición. Presenta coloración café oscura.
		0,5			

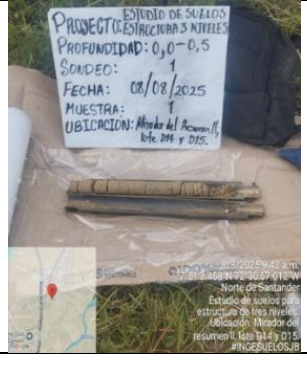
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	109 de 206

		0,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 53,2 % Finos = 46,8 % LL = 22,05%. LP = 14,76 %. IP = 4,52 %.	Se reconoce un estrato de arena arcillosa, de color café rojizo con matices amarillentos. con textura media, predomina la fracción arenosa, pero con un porcentaje apreciable de finos de tipo arcilloso. Presenta resistencia al corte moderada y compresibilidad intermedia.	
		1,5				
		1,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,00 %. Arenas = 41,7 %. Finos = 58,0 %. LL = 22,47 %. LP = 14,64 %. IP = 7,83 %.	Se observa un estrato de color café rojizo oscuro con zonas de tonalidad amarillenta. Presenta una humedad natural baja. El grado de compactación es medio a denso.	
		2,5				
		2,5			Se identifica un estrato de color café rojizo intenso, con zonas localizadas de tonalidad amarillo-anaranjada. La muestra presenta humedad natural baja. Su consistencia es	
		3,5				

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	110 de 206

					firme, con una estructura masiva y ligeramente compacta.
		3,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 %. Arenas = 51,8 %. Finos = 48,2 %. LL = 18,89 %. LP = 16,48 %. IP = 2,41 %.	Se identifica un estrato de color café rojizo con matices anaranjados. Presenta una textura arenosa y presencia moderada de finos plásticos. El suelo muestra humedad natural baja.
4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	4,5			
		0,0		No presenta	Los primeros metros es una capa de relleno con espesor aproximadamente de 50 cm.
		0,5			
		0,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,00 % Arenas = 43,0 % Finos = 56,5 % LL = 22,63%. LP = 16,43%. IP = 6,20 %.	Consiste en una capa de color marrón amarillento uniforme. Cuenta con una estructura masiva, que sugiere una plasticidad baja, además de una cohesión alta.
		1,5			
		1,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,00 %	Cuenta con un contenido de humedad de bajo,

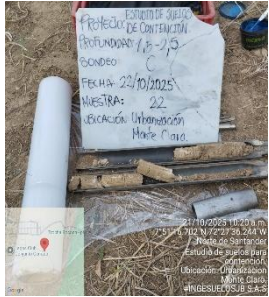
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	111 de 206

		2,5		Arenas = 42,0 % Finos = 58,0 % LL = 19,69 %. LP = 9,24%. IP = 10,45 %.	el cual presenta una tonalidad marrón claro amarillento uniforme, con una textura cohesiva, con consistencia plástica media.
		2,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,0 % Arenas = 41,0 % Finos = 59,0 % LL = 22,94 %. LP = 12,59 %. IP = 10,35 %.	Presenta una tonalidad marrón amarillento claro, ligeramente más uniforme que la muestra anterior, además de una humedad baja y una cohesión elevada.
		3,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,0 % Arenas = 42,6 % Finos = 57,0 % LL = 28,36 %. LP = 18,93 %. IP = 9,43 %.	Consiste en una capa de suelo con una humedad natural baja, con una coloración marrón claro con tonalidades beige anaranjado.
		4,5			
		0,0		No presenta	Los primeros metros es una capa de relleno con espesor aproximadamente de 50 cm.
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	0,5			

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	112 de 206

		0,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 66,7 % Finos = 33,1 % LL = 23,18 %. LP = 16,87 %. IP = 6,31 %.	Consiste en una capa con coloraciones que varían de marrón amarillento a marrón claro, y presencia de sectores grisáceos. Presenta fragmentación de forma cilíndrica, lo que indica una plasticidad baja.
		1,5			
		1,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 69,0 % Finos = 30,8 % LL = 23,43 %. LP = 16,87 %. IP = 6,56 %.	Consiste en una capa de arena con un contenido de humedad de bajo, además de una coloración que varía de amarillo pálido a marrón muy claro. La cohesión es media.
		2,5			
		2,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,0 % Arenas = 70,5 % Finos = 29,5 % LL = 23,17 %. LP = 16,87 %. IP = 6,30 %.	Consiste en una capa con tonalidades que varían de marrón claro a beige, además de un contenido de humedad y cohesión baja. La estructura es suelta a ligeramente compacta.
		3,5			

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	113 de 206

6	Estudio de suelos para la construcción estructural de viviendas de tres niveles	0,0		No presenta	Los primeros metros es una capa de suelo de relleno con espesor aproximadamente de 50 centímetros.
		0,5			
		0,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 69,5 % Finos = 30,0 % LL = 25,82%. LP = 19,23%. IP = 6,59 %.	Consiste en una capa arenosa con una textura de media a ligeramente rasposa al tacto, de grano arenoso con contenido finos, color pardo amarillento.
		1,5			
		1,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 64,3 % Finos = 35,2 % LL = 25,78 %. LP = 18,20%. IP = 7,59 %.	Consiste en una capa de suelo caracterizado por una textura áspera al tacto, con predominancia de arenas y arcillas, además de presentar cierta cohesión, el cual presenta un color marrón amarillento claro con zonas grisáceas a blancas.
		2,5			
		2,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,0 % Arenas = 61,9 %	Consiste en una arena con partículas de partículas finas,

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	114 de 206

7	Estudio de suelos para la construcción de alcantarillado o municipal	3,5		Finos = 36,70 % LL = 28,95 %. LP = 17,92 %. IP = 11,03 %.	con color marrón claro con tonalidades amarillentas, una textura arenosa predominantemente, con presencia de pequeñas fracciones de finos
		3,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,0 % Arenas = 58,6 % Finos = 41,0 % LL = 25,00 %. LP = 14,36 %. IP = 10,64 %.	Consiste en un estrato que presenta un horizonte de un color marrón claro con matices amarillentos. El suelo mantiene parcialmente su forma al manipularse, pero tiende a desmoronarse en fragmentos en estado natural.
		4,5			
		0,0		No presenta	Los primeros metros es una capa de suelo de relleno, con espesor aproximadamente de 50 cm.
		0,5			
		0,5		Arena mal gradada (SP) Grava = 0,00 % Arenas = 82,2 % Finos = 11,3 % LL = No presenta. LP = No presenta. IP = No presenta.	Consiste en una capa arena con presencia de fracción arcillosa fina con tonalidades que varían de marrón amarillento a
		1,5			

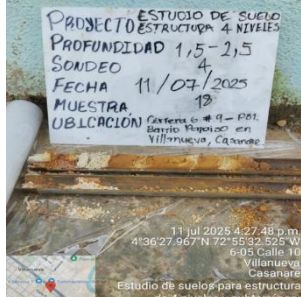
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	115 de 206

8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles				pardo claro. Su cohesión es baja, sin capacidad para formar hilos, y la humedad varía de bajo a medio.
		1,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 79,5 % Finos = 20,2 % LL = 20,73 %. LP = 17,24 %. IP = 3,48 %.	Consiste en una capa de arena, la cual cuenta con un contenido de humedad entre bajo y medio, además de una coloración marrón amarillento claro, consolidada y resistente.
		2,5			
		2,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,0 % Arenas = 76,1 % Finos = 11,3 % LL = 22,98 %. LP = 18,40 %. IP = 4,58 %.	Consiste en una capa de arena con coloraciones que oscilan entre marrón amarillento oscuro y marrón rojizo, además de un contenido de humedad medio. Cuenta con plasticidad y cohesión media.
		3,5			
	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	0,0		No presenta	Los primeros metros es una capa de concreto con un espesor aproximado de 20 cm y de relleno con espesor aproximadamente
		0,5			

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	116 de 206

					de 30 cm.
		0,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,00 % Arenas = 48,2 % Finos = 51,5 % LL = 25,14 %. LP = 16,43%. IP = 8,71 %.	Consiste en una capa con una textura compuesta por fracciones arenosas mezcladas con arcillosas, con tonalidades marrón oscuro y presencia de manchas amarillentas y grisáceas.
		1,5			
		2,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,00 % Arenas = 48,3 % Finos = 52,6 % LL = 25,57 %. LP = 17,19 %. IP = 8,38 %.	Presenta contenido de humedad bajo, el cual presenta un color marrón oscuro con tonalidades grisáceas, con una textura dominada por fracciones arenosas, con presencia muy dispersa de finos y una cantidad significativa de gravas pequeñas.
		3,5			Presenta tonalidades marrones oscuros con matices grisáceos. Su textura es quebradiza al tacto, con cohesión apreciable entre partículas, lo cual

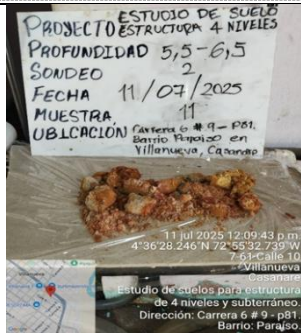
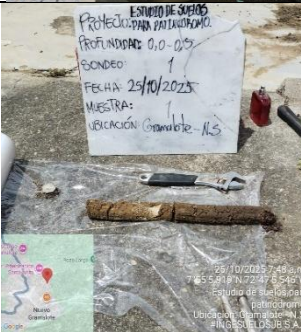
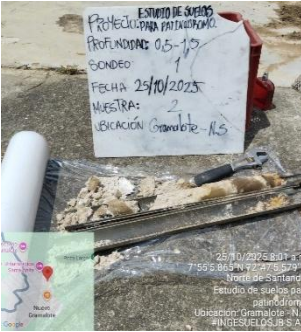
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	117 de 206

9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	3,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,0 % Arenas = 58,6 % Finos = 46,2 % LL = 26,73 %. LP = 17,91 %. IP = 8,82 %.	se manifiesta en la adherencia a las paredes de la cuchara partida.
		4,5			Consiste en un estrato con un contenido de humedad bajo, con tonalidades marrones claro en algunas zonas, su textura es rugosa y tiende a agrietarse al tacto en estado semiseco.
		0,0		No presenta	Los primeros metros pertenecen a una losa de concreto y material de relleno con espesor aproximadamente de 50 cm de profundidad.
		0,5			
		0,5		Arcilla arenosa (CS) Grava = 0,00 % Arenas = 35,7 % Finos = 64,1 % LL = 27,19 %. LP = 14,44%. IP = 12,75 %.	Consiste en una capa de arcilla de color café consolidada sin presencia de suelo grueso con un espesor.
		1,5			
		1,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 1,50 % Arenas = 55,3 % Finos = 43,0 % LL = 20,96 %. LP = 16,28 %. IP = 4,68 %.	Consiste en una capa de arena arcillosa de color amarillo ocre a café, donde su estructura presenta materiales finos y arena con
		2,5			

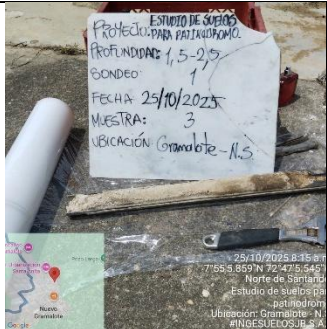
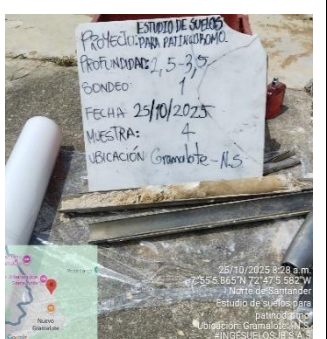
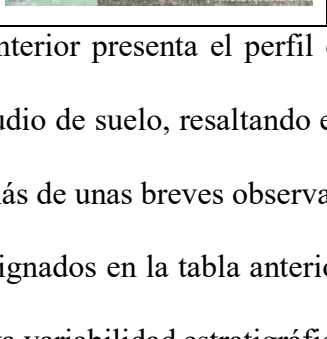
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	118 de 206

					presencia de grava.
		2,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,67 % Arenas = 60,0 % Finos = 39,0 % LL = 20,36 %. LP = 18,02 %. IP = 2,34 %.	Consiste en una capa de arena arcillosa de color rojizo con tonalidades café, donde su estructura presenta materiales finos y arena con presencia de grava
		3,5			
		3,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,0 % Arenas = 68,8 % Finos = 30,8 % LL = 26,73 %. LP = 17,88 %. IP = 8,85 %.	Capa de arena arcillosa de color amarillo ocre a café, donde su estructura presenta materiales finos y arena con presencia de grava. Suelos competentes para la cimentación estructural.
		5,5			
		5,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 72,0 % Finos = 27,6 % LL = 25,71 %. LP = 17,24 %.	Consiste en una capa de arena arcillosa de color amarillo ocre a café, donde su estructura presenta

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	119 de 206

		6,5		IP = 8,47 %.	materiales finos y arena con presencia de grava
10	Estudio de suelos para proyecto de construcción estructural de patinódromo	0,0		No presenta	Los primeros metros es una capa de suelo de relleno con espesor aproximadamente de 50 cm.
		0,5			
		0,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,50 % Arenas = 75,5 % Finos = 23,8 % LL = 18,25 %. LP = 15,12%. IP = 313 %.	Consiste en una capa de arena con presencia de gravas con una textura áspera al tacto y fácilmente disgregable al aplicarle fuerza manual, con un color blanco amarillento pálido, indicativo de baja materia orgánica y posible lavado superficial.
		1,5			
		1,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,48 % Arenas = 60,5 % Finos = 38,8 % LL = 20,48 %. LP = 11,74 %.	Consiste en una capa de suelo caracterizado por una textura rasposa al tacto, y leve adherencia El material exhibe un

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	120 de 206

		2,5		IP = 7,74 %.	color gris pardo claro, indicando leve oxidación por la presencia de humedad y bajo contenido orgánico.
		2,5		Arena arcillosa (SC) Grava = 0,00 % Arenas = 57,1 % Finos = 42,4 % LL = 19,85 %. LP = 9,70 %. IP = 10,14 %.	Consiste en una capa de arena con presencia de finos, el material presenta tonalidades pardo grisáceo claro. Su textura es áspera al tacto y homogéneo.
		3,5			

Nota. En la tabla anterior presenta el perfil estratigráfico de las muestras de suelo más representativas de cada estudio de suelo, resaltando el tipo de suelo, resultados de granulometría y límites de atterberg, además de unas breves observaciones del suelo.

Los resultados consignados en la tabla anterior para el conjunto de los diez (10) estudios de suelos evidencian una alta variabilidad estratigráfica y composición de los suelos estudiados en los diferentes proyectos, lo cual es consistente con la diversidad de ubicaciones y contextos geotécnicos evaluados. De manera general, en la mayoría de los estudios se identifica la presencia de capas superficiales de relleno, con espesores aproximados de hasta 0,50 m, lo que resalta la necesidad de considerar estos estratos como no competentes para la cimentación y definir niveles de desplante por debajo de los mismos. De acuerdo a la clasificación USCS, predominan los suelos granulares con finos, principalmente arenas arcillosas (SC) y arcillas arenosas (CS), así como

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	121 de 206

sectores con arenas mal gradadas (SP). Las arenas mal gradadas presentan altos porcentajes de fracción arenosa (entre 68 % y 83,5 %), bajos contenidos de finos y ausencia de límites de Atterberg, lo que confirma su carácter no plástico y comportamiento predominantemente friccional. Estos materiales muestran, en general, baja cohesión y buena capacidad portante cuando se encuentran densificados, aunque son propensos a perder de resistencia en condiciones de saturación. Por su parte, las arenas arcillosas (SC) y arcillas arenosas (CS) presentan contenidos de finos variables, usualmente entre 30 % y 60 %, con valores de límite líquido bajos a moderados (aproximadamente entre 18 % y 28 %) e índices de plasticidad bajos a medios, lo que permite clasificarlas como suelos de baja plasticidad. Este comportamiento es coherente con las descripciones observadas en campo, donde se reportan texturas arenosas con presencia apreciable de finos, cohesión moderada y humedad natural generalmente baja.

En los proyectos donde predominan las arcillas arenosas (CS), se evidencia un comportamiento más cohesivo, con estructuras masivas, consistencias firmes y baja permeabilidad, lo cual implica una mayor sensibilidad a cambios en el contenido de humedad y una respuesta mecánica dependiente de las condiciones de drenaje. Estos factores son determinantes en el análisis de asentamientos y en la definición del sistema de cimentación más adecuado. En términos generales, la información obtenida a partir de los ensayos de laboratorio permitió una caracterización confiable de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos, sirviendo como base para la correlación con los resultados del ensayo SPT y para el posterior análisis de capacidad portante y asentamientos. Estos resultados confirman la importancia de una

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	122 de 206

adecuada clasificación del suelo y de la integración de observaciones de campo y laboratorio para garantizar diseños de cimentación seguros y técnicamente justificados.

Objetivo 3. Elaborar soluciones preliminares de cimentación tipo zapata, ajustadas a las condiciones del suelo y conforme a los criterios de capacidad portante y asentamiento establecidos en la normativa colombiana vigente.

Cálculo preliminar para zapatas cuadradas

Para la presentación de los resultados de este objetivo, a continuación, se realizarán los cálculos de las dimensiones preliminar del proyecto n°9 (Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo) consignado en la tabla 8. El **ingeniero geotecnista responsable, estableció el modelo de zapatas cuadradas para estructuras aporticadas**, debido a que son simples, eficientes y versátiles para cargas concentradas de columnas, facilitando así, cálculos iniciales. Además, para la realización de los cálculos de los proyectos realizados, se implementó una hoja de Excel programada ([ver apéndice E](#)).

El material en el que va a estar colocada la cimentación fue identificado como una arena arcillosa (SC). Datos como el peso específico, peso específico saturado, ángulo de fricción y cohesión, son determinados por los siguientes ensayos:

- Método de la parafina (Peso específico del suelo).
- Gravedad específica (permite determinar por medio de fórmulas el peso específico saturado del suelo).
- Ensayo de corte directo (ángulo de fricción y cohesión del suelo).

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	123 de 206

Parámetros como el ángulo de fricción interna y la cohesión también pueden obtenerse mediante correlaciones empíricas y con base en la literatura geotécnica existente, especialmente cuando no se dispone de ensayos directos o cuando es necesario complementar la información proveniente de las pruebas de campo y laboratorio. **La determinación y adopción final de estos valores le corresponde al ingeniero geotecnista responsable**, quien los define conforme a su criterio técnico y experiencia profesional.

Seguidamente, con los parámetros estipulados se efectuaron los respectivos cálculos de capacidad portante del terreno y asentamientos, aplicando la ecuación general de capacidad de carga (ecuación 1). Para el desarrollo de dichos cálculos se siguió el procedimiento establecido en la fase 4 de la metodología, correspondiente a la elaboración de informes y diseño preliminar.

A continuación, se continúa con el proyecto seleccionado como ejemplo referenciado previamente con el fin de exponer el procedimiento seguido para el desarrollo de los cálculos correspondientes al diseño preliminar de zapatas cuadradas realizado durante las prácticas empresariales. Primeramente, se lleva a cabo el cálculo del esfuerzo efectivo del suelo (q) al nivel de desplante establecido para la cimentación, implementando la formula (2):

Para este caso en específico, se estableció un nivel de desplante (D_f) de 3,00 metros, y un peso específico (γ) de 18,5 KN/m³ (arena arcillosa).

$$q = 3.00 \text{ m} * 18,5 \text{ KN/m}^3$$

$$q = 55,50 \text{ KN/m}^2$$

Seguidamente, se procedió a determinar el coeficiente de presión pasiva del suelo (K_p), empleando la ecuación (3). Para este cálculo se consideró un ángulo de fricción interna (ϕ) de 27°,

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	124 de 206

valor obtenido del análisis de las propiedades mecánicas del suelo. Sustituyendo dicho valor en la ecuación correspondiente, se obtiene el siguiente resultado:

$$k_p = \tan^2\left(45 + \frac{27}{2}\right)$$

$$k_p = 2.66$$

Luego, se procede al cálculo de los factores de forma (F_{cs} , F_{qs} , $F_{\gamma s}$), aplicando las ecuaciones (4) y (5). Dado que el diseño preliminar es una zapata cuadrada, se consideran los coeficientes establecidos para esta geometría, obteniendo los siguientes resultados:

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 * 2.66 * (1)$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 * 2.66 * (1)$$

$$F_{cs} = 1 + 0.2 * 2.66 * (1)$$

$$F_{cs} = 1 + 0.2 * 2.66 * (1)$$

Posteriormente, se procede a determinar los factores de profundidad (F_{cd} , F_{qd} , $F_{\gamma d}$), empleando las ecuaciones (6) y (7). Para este cálculo se consideró un nivel de desplante (D_f) de 3,00 metros, seleccionado con base en los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT), en el cual se evidenció una mayor resistencia del suelo a dicha profundidad.

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + 0.1 * \sqrt{2.66} * \left(\frac{3.0}{B}\right)$$

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + \frac{0.490}{B}$$

$$F_{cd} = 1 + 0.2 * \sqrt{2.66} * \left(\frac{3.0}{B}\right)$$

$$F_{cd} = 1 + \frac{0.979}{B}$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	125 de 206

Cabe recalcar que los factores de inclinación (F_{ci} , F_{qi} , $F_{\gamma i}$) se asignaron como uno (1) debido a que en la cimentación establecida no se presentan cargas inclinadas. A continuación, se presentan los valores de los factores de capacidad de carga (N_c , N_q y N_{γ}), obtenidos específicamente de la tabla 1, para un ángulo de fricción de 23 grados.

Tabla 13.

Factores de capacidad de carga para un ángulo de fricción de 23 grados.

ϕ	N_c	N_q	N_{γ}
27	23,942	13,199	9,463

Nota. En la tabla anterior se observa los diferentes valores de factores de carga para el ángulo de fricción correspondiente al suelo que sostiene la cimentación.

A continuación, se determina la capacidad última del suelo (q_u) mediante la aplicación de la ecuación (8), considerando un factor de seguridad (FS) igual a 3 y una carga vertical máxima (Q) de 1200 kN. Cabe resaltar que estos valores fueron suministrados por el ingeniero responsable del diseño estructural. Es importante mencionar que la ecuación se mantiene expresada en función del ancho de la zapata (B), con el propósito de determinar posteriormente las dimensiones preliminares de la cimentación superficial.

Con los valores obtenidos en los apartados anteriores, además de tener el suelo una cohesión de 8 kN/m², se procede a sustituir los parámetros en la ecuación general de capacidad de carga (ecuación 1), determinando así las dimensiones preliminares de las zapatas que cumplen con las condiciones de diseño establecidas.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	126 de 206

$$\frac{1200 \cdot 3}{B^2} = 8 \cdot 23.942 \cdot 1.533 \cdot 1 + \frac{0.462}{B} \cdot 1 + 55.50 \cdot 13.199 \cdot 1.266 \cdot 1 + \frac{0.490}{B} \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot$$

$$18.5 \cdot B \cdot 9.463 \cdot 1.266 \cdot 1 + \frac{0.490}{B} \cdot 1$$

$$\frac{1200 \cdot 3}{B^2} = 8,0 \cdot 23,94 \cdot 1,53 \cdot 1 + \frac{0,98}{B} \cdot 1 + 55,50 \cdot 13,20 \cdot 1,27 \cdot 1 + \frac{0,490}{B} \cdot 1 +$$

$$\frac{1}{2} \cdot 18,50 \cdot B \cdot 9,463 \cdot 1,27 \cdot 1 + \frac{0,490}{B} \cdot 1$$

A partir de la ecuación anterior, se despeja el parámetro B con el fin de determinar el ancho de la zapata, obteniéndose un valor de 1,63 metros. Sin embargo, considerando que en obra se adoptan medidas constructivas prácticas, el valor se redondea a 1,70 metros para facilitar el proceso de ejecución y replanteo en campo. Cabe recalcar que, con estas dimensiones obtenidas, se calcula la capacidad admisible del suelo que en este caso es de 415,22 KN/m². A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los distintos parámetros analizados, junto con el resumen del diseño de cimentación correspondiente a algunos de los estudios geotécnicos más representativos.

Cálculo de asentamientos elástico

Para el cálculo del asentamiento elástico es necesario tener en cuenta que el diseño está establecido para una arcilla arenosa, permitiendo así, obtener el valor de la relación de Poisson, que según la tabla 6, es de 0,30. De acuerdo a lo anterior, se procede a determinar los factores de influencia de Steinbrenner (I1 e I2), de acuerdo a lo establecido en la tabla 4 para relaciones $N = H/B'$ y $M = L/B$.

$$M = L'/B' = 1.70/1.70 = 1$$

$$N = H/B' = 3.0/1.70 = 1.76$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	127 de 206

En este caso, cuando los valores no están especificados en la tabla (como es el caso del valor N), se procede a realizar interpolación entre valores, obteniéndose:

$$I_1 = 0.256$$

$$I_2 = 0.069$$

Seguidamente, de la figura 5 y con el valor calculado de D_f/B , que es de 1,76, se obtiene el factor de influencia (I_s) con respecto a la base a una profundidad de desplante, para $\mu = 0.30$ y $L/B = 1$.

$$I_f = I_w = 0.58$$

Reemplazando en la ecuación (10), se obtiene:

$$\Delta H_i = 1200 \text{ kN} * 1.70 \text{ m} * \frac{1 - 0.30^2}{70000} \left(0.256 + \frac{1 - 0.30 * 2}{1 - 0.30} * 0.069 \right) * 0.58$$

$$\Delta H_{i_{centro}} = 0.00456 \text{ m} = 0.456 \text{ cm} = 4.56 \text{ mm}$$

Cabe resaltar que todos los cálculos mostrados anteriormente son realizados implementando una hoja de cálculo desarrollada en el software Microsoft Excel, la cual permite automatizar procedimientos, incrementar la eficiencia y minimizar posibles errores operativos. El uso de esta herramienta contribuye de manera significativa a la precisión de los resultados y, por ende, a la calidad y confiabilidad de los proyectos geotécnicos elaborados.

Figura 11.

Cálculo de dimensiones preliminares y asentamiento elástico.

Información del proyecto				Baja
Dirección	Carretera 6 # 9 - 1	Barrio	Paraíso	Media
Municipio	Villanueva	Departamento	Casanare	Alta
Categoría	Media	Nº de sondeos	4	Especial
Profundidad de influencia [m]				5,78

Datos		Resultado
Número de balastro [Kg] g/cm3		3,82
N	21	
B	1	
L	1	

Resultados de los laboratorios	
γd [KN/M3]	18,5
γsat [KN/M3]	19,5
C [KN/M3]	8
φ [Grados]	27
d _f [Nivel de desplante] [m]	9,0
Carga de servicio Q [KN]	1200
Factor de seguridad	3
E _s (Modulo de elasticidad)	70000
Profundidad de influencia	5,78
Profundidad de SPT	6,5

Factores de forma	
F _{qs} -F _{ys}	1,266
F _{cs}	1,533

Factores de profundidad	
F _{qd} -F _{yd}	0,490
F _{cd}	0,979

Factores de inclinación	
F _d -F _q -F _{yl}	1

Capacidad de carga para hallar B (Base de zapata)	
valor de Ecuacion racional	-4,8074E+01
Base de zapata (m)	1,63
Longitud de zapata (m)	1,70

Asentamiento elástico	
L/B Parametro (M) Tabla 5.2	1
D _f /B Parametro (N) Tabla 5.2	1,76
E _s (Modulo de elasticidad)	70000
I ₁	0,256
I ₂	0,069
μ	0,30
I _s	0,296
IF=IW Factor de Influencia, Figura 5.7	0,58
Δh _i (m)	0,00456
Δh _i (cm)	0,456
Δh _i (mm)	4,56

Coeficiente de tierras	
K _a	0,38
K _p	2,66

φ	N _c	N _q	N _y
0	5,14	1	0
1	5,38	1,09	0,002
2	5,63	1,2	0,01
3	5,9	1,31	0,023
4	6,19	1,43	0,042
5	6,49	1,57	0,07
6	6,81	1,72	0,106
7	7,16	1,88	0,152
8	7,53	2,06	0,209
9	7,92	2,25	0,281
10	8,35	2,47	0,367
11	8,8	2,71	0,471
12	9,28	2,97	0,596
13	9,81	3,26	0,744
14	10,37	3,59	0,921
15	10,98	3,94	1,129
16	11,63	4,34	1,375
17	12,34	4,77	1,664
18	13,1	5,26	2,004
19	13,93	5,8	2,403
20	14,83	6,4	2,871
21	15,82	7,07	3,421
22	16,88	7,82	4,066
23	18,05	8,66	4,824
24	19,32	9,6	5,716
25	20,72	10,68	6,765
26	22,254	11,854	8,002
27	23,942	13,199	9,463

φ	N _c	N _q	N _y
27	23,942	13,20	9,463

qu = C + N_c + F_{cs} + F_{cd} + F_{ci} + q + N_q + F_{qs}

Aplicar solver para cada estudio C39

Nota. En la figura anterior se observa el cálculo de las dimensiones preliminares de las zapatas, así como la estimación del asentamiento elástico, ambos constituyen parámetros fundamentales dentro del análisis geotécnico del proyecto en estudio. Fuente: Excel, 2025.

Cálculo de asentamientos por consolidación primaria

Para el cálculo del asentamiento por consolidación primaria es necesario tener en cuenta y determinar diversos parámetros que se muestran a continuación:

$$D_f = 3 \text{ m} \quad B = 1,70 \text{ m} \quad L = 1,70 \text{ m}$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	129 de 206

$H = 5,78 \text{ m} \rightarrow$ Profundidad de influencia de la carga.

$LL = 20,96 \% \rightarrow$ Limite liquido.

$e_o = 0,97 \rightarrow$ Relación de vacios.

De acuerdo a lo anterior, se procede a determinar el índice de compresión del suelo implementando la ecuación (12).

$CC = 0,009(LL - 10) \rightarrow$ Índice de compresión.

$CC = 0,009(20,96\% - 10)$

Seguidamente, se calcula el esfuerzo del suelo usando la ecuación (13).

$\sigma'_o = \sum \gamma \cdot h \rightarrow$ Esfuerzo del suelo.

$\sigma'_o = (18,50 \text{ KN/m}^3)(3,00 \text{ m}) + (18,50 \text{ KN/m}^3)(2,89 \text{ m}) + (18,50 \text{ KN/m}^3)(2,89 \text{ m})$

$\sigma'_o = 162,43 \text{ KN/m}^2$

Posteriormente, es necesario establecer el valor de la influencia de acuerdo a los incrementos de esfuerzos en la masa del suelo, teniendo en cuenta las ecuaciones (14), (15) y (16):

$$m = \frac{1,70 \text{ m}}{5,78 \text{ m}} = 0,294 \quad n = \frac{1,70 \text{ m}}{5,78 \text{ m}} = 0,294$$

$$I_z = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2(0,294)(0,294)\sqrt{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 1}}{(0,294)^2 + (0,294)^2 + (0,294)^2(0,294)^2 + 1} \left(\frac{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 2}{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 1} \right) + \right. \\ \left. \tan^{-1} \left(\frac{2(0,294)(0,294)\sqrt{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 1}}{(0,294)^2 + (0,294)^2 - (0,294)^2(0,294)^2 + 1} \right) \right]$$

$$I_z = 0,036$$

Cabe recalcar que es necesario implementar la ecuación (17) para poder calcular la variación del esfuerzo de acuerdo a la influencia y el esfuerzo que produce el suelo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	131 de 206

A continuación, se presenta una tabla resumen de los diseños preliminares de cimentación de **zapatas cuadradas** desarrollados durante la práctica empresarial, implementando la misma metodología de diseño y ecuaciones mostradas anteriormente. Estos incluyen el resumen del diseño preliminar, de acuerdo con las características particulares de cada proyecto evaluado. Cabe resaltar que los diseños desarrollados corresponden a propuestas preliminares de cimentación, las cuales se plantearon de manera sistemática mediante **zapatas cuadradas**, con el fin de establecer criterios iniciales de dimensionamiento basados en las condiciones geotécnicas identificadas. No obstante, se reconoce que la definición del diseño final de la cimentación es responsabilidad conjunta del **ingeniero geotecnista** y del **ingeniero estructural**, quienes, a partir de las dimensiones preliminares consignadas en los informes geotécnicos, evalúan y adoptan la tipología más adecuada para cada proyecto. En este sentido, los diseños finales pueden materializarse en zapatas cuadradas, rectangulares, combinadas, losas de cimentación u otras soluciones estructurales, según las exigencias del sistema estructural, las cargas actuantes y las condiciones particulares del suelo.

Tabla 14.

Diseño preliminar de zapatas cuadradas de los proyectos ejecutados.

Nº	Proyecto	Ubicación	Parámetros técnicos a nivel de desplante	Resumen del diseño
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Pamplona, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 2,00 m. Q = 500 KN. B y L = 1,40 m. Qadm = 255,0 KN/m ² . Se = 0,014 cm. Sp = 0,15 cm.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	132 de 206

2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Pamplona, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 1,50 m. Q = 750 KN. B y L = 1,60 m. Qadm = 292,97 KN/m2. Se = 0,13 cm. Sp = 2,02 cm.
3	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural.	Pamplona, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 10,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 22$	Df = 1,50 m. Q = 400 KN. B y L = 1,50 m. Qadm = 177,78 KN/m2. Se = 0,096 cm. Sp = 2,07 cm.
4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	Cúcuta, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 1,50 m. Q = 500 KN. B y L = 1,60 m. Qadm = 195,31 KN/m2. Se = 0,028 cm. Sp = 0,07 cm.
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Cúcuta, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 1,50 m. Q = 500 KN. B y L = 1,60 m. Qadm = 195,54 KN/m2. Se = 0,03 cm. Sp = 0,42 cm.
6	Estudio de suelos para la construcción estructural de viviendas de tres niveles	Villa del Rosario, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 1,50 m. Q = 600 KN. B y L = 1,70 m. Qadm = 207,61 KN/m2. Se = 0,148 cm. Sp = 2,31 cm.
8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación	Mutiscua, Norte de Santander.	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 2,00 m. Q = 600 KN. B y L = 1,60 m. Qadm = 234,38 KN/m2. Se = 0,179 cm.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	133 de 206

de dos niveles		Sp = 2,00 cm.	
9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo Villanueva, Casanare.	$\gamma_d = 18.5 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19.5 \text{ KN/m}^3$ $C = 8 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27$	Df = 3,00 m. Q = 1200 KN. B y L = 1,70 m. Qadm = 415,0 KN/m ² . Se = 0,456 cm. Sp = 1,69 cm.
<i>Nota.</i> En la tabla anterior se presenta el resumen de los diseños preliminares de cimentaciones para zapatas cuadradas, relacionando parámetros obtenidos tanto de campo, como de laboratorio. Los resultados obtenidos del diseño preliminar de zapatas cuadradas de los estudios de suelos realizados en los diferentes proyectos, evidencian un comportamiento geotécnico relativamente homogéneo en cuanto a los parámetros físicos y mecánicos del subsuelo, predominando valores de peso unitario seco cercanos a 18,50 kN/m³ y peso unitario saturado de aproximadamente 19,50 kN/m³. Estos valores son característicos de suelos de consistencia media, compatibles con materiales finos y granulares con presencia moderada de humedad, lo cual influye directamente en la capacidad portante y en el desempeño de las cimentaciones superficiales propuestas. Los parámetros de resistencia al corte muestran valores de cohesión (C) comprendidos entre 8,0 y 14,0 kN/m² y ángulos de fricción interna (ϕ) entre 22° y 27°, reflejando una variabilidad asociada a las condiciones locales del suelo y al tipo de material predominante en cada proyecto. En general, los suelos con mayores valores de ángulo de fricción, como el caso del proyecto ubicado en Villanueva, Casanare, presentan capacidades portantes admisibles significativamente superiores, alcanzando valores del orden de 415 kN/m², lo cual evidencia una mejor respuesta mecánica del terreno frente a cargas estructurales elevadas. En cuanto a las condiciones de			

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	134 de 206

desplante, se observa que las profundidades de cimentación (D_f) oscilan entre 1,50 m y 3,00 m, siendo mayores en proyectos de mayor carga estructural y número de niveles, lo cual responde a la necesidad de alcanzar estratos con mejores propiedades geotécnicas y garantizar condiciones adecuadas de estabilidad. De manera coherente, las cargas aplicadas (Q) varían entre 400 kN y 1200 kN, incrementándose progresivamente en función del tipo y magnitud de la estructura. Las dimensiones preliminares de las zapatas (B y L) se encuentran en un rango aproximado entre 1,40 m y 1,70 m, lo que indica una adecuada relación entre la carga transmitida, la capacidad portante del suelo y los criterios de diseño adoptados. Asimismo, los valores de asentamiento totales, que es la suma de los asentamientos elásticos (S_e) y los asentamientos por consolidación primaria (S_p), se mantienen dentro de límites admisibles según la normativa vigente (1”), lo que sugiere que las cimentaciones propuestas no presentarían problemas significativos de deformaciones excesivas ni afectaciones al comportamiento estructural.

En conjunto, los resultados reflejan que los diseños preliminares de cimentación cumplen con los criterios de seguridad y servicio establecidos en la normativa colombiana, evidenciando una correcta interacción entre los parámetros geotécnicos obtenidos en campo y laboratorio y los requerimientos estructurales de cada proyecto. Esto resalta la importancia de una adecuada caracterización del subsuelo y de la correcta aplicación de los métodos de cálculo de capacidad portante y asentamientos en el desarrollo de los diferentes proyectos de infraestructura.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	135 de 206

Cálculo preliminar de cimentación para sistema de alcantarillado sanitario

En cuanto al diseño preliminar para un sistema de alcantarillado, se presenta a continuación los cálculos para el proyecto n°7 (Estudio de suelos para la construcción de alcantarillado municipal). Primeramente, se establecen los parámetros de laboratorio:

$$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$$

$$C = 8,0 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi = 27,0$$

Seguidamente, se realiza el procedimiento antes mostrado (para zapatas cuadradas) pero con la diferencia, de que en este caso se estableció un diseño de cimentación considerando un área de 1 m^2 , esto con el fin de determinar la capacidad portante o esfuerzo admisible al que estará sometido el suelo. A partir del cálculo realizado, se obtuvo el siguiente resultado:

$$q = 3,00 \text{ m} * 18,50 \text{ KN/m}^3$$

$$q = 55,50 \text{ KN/m}^2$$

$$k_p = \tan^2(45 + \frac{27,0}{2})$$

$$k_p = 2,663$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1 + 0.1 * 2,663 * (1)$$

$$F_{qs} = F_{\gamma s} = 1,27$$

$$F_{cs} = 1 + 0.2 * 2,66 * (1)$$

$$F_{cs} = 1,53$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	136 de 206

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + 0.1 * \sqrt{2,66} * \left(\frac{3,00}{1}\right)$$

$$F_{qd} = F_{\gamma d} = 1 + \frac{0,490}{1}$$

$$F_{cd} = 1 + 0.2 * \sqrt{2,66} * \left(\frac{3,00}{1}\right)$$

$$F_{cd} = 1 + \frac{0,98}{1}$$

$$N_C = 23,94$$

$$N_q = 13,200$$

$$N_{\gamma} = 9,463$$

$$q_u = 8,0 * 23,94 * 1,53 * 1 + \frac{0,98}{1} * 1 + 55,50 * 13,20 * 1,27 * 1 + \frac{0,490}{1} * 1 + \frac{1}{2} * 18,50 * 1 * 9,463 * 1,27 * 1 + \frac{0,490}{B} * 1$$

Luego de lo anterior, se determina la capacidad portante ultima (q_u) del suelo:

$$q_u = 272,071 \text{ KN/m}^2$$

Por último, se determina la capacidad portante admisible (q_{adm}) del suelo:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$q_{adm} = \frac{272,071 \text{ KN/m}^2}{3} = 90,69 \text{ KN/m}^2$$

Cálculo de asentamientos elástico

Posteriormente, se procede calcular asentamiento elástico de igual forme

$$M = L'/B' = 1,70/1,70 = 1,00$$

$$N = H/B' = 3,00/1,70 = 1,76$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	137 de 206

$$I1 = 0.256$$

$$I2 = 0.069$$

Seguidamente, de la figura 5 y con el valor calculado de D_f/B , que es de 1, se obtiene el factor de influencia (I_s) con respecto a la base a una profundidad de desplante, para $\mu = 0.30$ y $L/B = 1$.

$$I_f = I_w = 0.65$$

Reemplazando en la ecuación (10), se obtiene:

$$\Delta H_i = 1200 \text{ kN} * 1,70 \text{ m} * \frac{1 - 0,296^2}{70000} \left(0,256 + \frac{1 - 2 * 0,3}{1 - 0,3} * 0,069 \right) * 0,581$$

$$\Delta H_{\text{centro}} = 0,004559 \text{ m} = 0,4559 \text{ cm} = 4,559 \text{ mm}$$

Cálculo de asentamientos por consolidación primaria

Para el cálculo del asentamiento por consolidación primaria es necesario tener en cuenta y determinar diversos parámetros que se muestran a continuación:

$$D_f = 3,00 \text{ m} \quad B = 1,70 \text{ m} \quad L = 1,70 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \text{ m} \rightarrow \text{Profundidad de influencia de la carga.}$$

$$LL = \text{No presenta} \rightarrow \text{Limite liquido.}$$

$$e_o = 0,97 \rightarrow \text{Relación de vacíos.}$$

De acuerdo a lo anterior, se procede a determinar el índice de compresión del suelo implementando la ecuación (12).

$$CC = 0,009(LL - 10) \rightarrow \text{Índice de compresión.}$$

$$CC = 0,009(0 - 10) = \text{Valor negativo}$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	138 de 206

En este caso, como el suelo es una arena a esa profundidad, o es muy mínimo o no existe asentamiento por consolidación primaria.

$$S_{c(p)} = 0,0 \text{ m} = 00, \text{ cm} \rightarrow \text{No existe. } S_{c(p)} = 0,0169 \text{ m} = 1,69 \text{ cm}$$

Tabla 15.

Diseño preliminar de cimentación para sistema de alcantarillado.

Nº	Proyecto	Ubicación	Parámetros técnicos	Resumen del diseño
7	Estudio de suelos para la construcción de alcantarillado municipal	Corregimiento el Carmen de Nazareth, Salazar, Norte de Santander	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 1,00 m. Q = 50 KN. Qadm por metro cuadrado = 90,69 KN/m ² . Se = 0,0019 cm. Sp = 0,00 cm.

Nota. En la tabla anterior se presenta el resumen de los diseños preliminares de cimentaciones alcantarillado municipal, relacionando parámetros obtenidos tanto de campo, como de laboratorio.

El estudio de suelos realizado para la construcción del sistema de alcantarillado municipal en el corregimiento el Carmen de Nazareth, municipio de Salazar (Norte de Santander), evidencia un comportamiento geotécnico favorable para el tipo de infraestructura proyectada. Los parámetros físicos y mecánicos del suelo, representados por un peso unitario seco de 18,50 kN/m³, peso unitario saturado de 19,50 kN/m³, cohesión de 8,0 kN/m² y un ángulo de fricción interna de 24°, son característicos de un suelo con resistencia media, adecuado para soportar cargas bajas a moderadas. El nivel de desplante adoptado de 1,00 m es coherente con la naturaleza del proyecto, considerando que se trata de una estructura lineal superficial asociada a redes de alcantarillado sanitario, cuya carga transmitida al terreno es relativamente baja (50 kN). En este contexto, la

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	139 de 206

capacidad portante admisible obtenida (90,69 kN/m²), resulta suficiente para garantizar la estabilidad del proyecto, cumpliendo con la normativa geotécnica vigente. Adicionalmente, los asentamientos calculados, tanto el asentamiento elástico ($S_e = 0,0019$ cm) como el asentamiento por consolidación primaria ($S_p = 0,0$ cm), son prácticamente despreciables, lo cual indica un comportamiento rígido del suelo frente a la carga aplicada. Este resultado confirma que no se esperan deformaciones significativas que puedan afectar la funcionalidad o durabilidad del sistema de alcantarillado.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que las condiciones geotécnicas del sitio son adecuadas para la ejecución del proyecto, permitiendo un diseño seguro y eficiente. Asimismo, se evidencia la correcta aplicación de los criterios de evaluación de capacidad portante y deformaciones para obras de infraestructura liviana, reforzando la importancia de una adecuada caracterización del subsuelo en proyectos de baja carga estructural.

Cálculo preliminar de cimentación para patinódromo

En cuanto al diseño preliminar para una placa de concreto reforzado, se presenta a continuación los cálculos para el proyecto n°10 (Estudio de suelos para proyecto de construcción estructural de patinódromo). Primeramente, se establecen los parámetros de laboratorio:

$$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$$

$$C = 8,0 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi = 27,0$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	140 de 206

Seguidamente, se realiza el mismo procedimiento antes mostrado (para sistema de alcantarillado). A partir del cálculo realizado, se obtuvo el siguiente resultado:

$$q = 3,00 \text{ m} * 18,50 \text{ KN/m}^3$$

$$q = 55,50 \text{ KN/m}^2$$

$$kp = \tan^2(45 + \frac{27,0}{2})$$

$$kp = 2,663$$

$$Fqs = F\gamma s = 1 + 0.1 * 2,663 * (1)$$

$$Fqs = F\gamma s = 1,27$$

$$Fcs = 1 + 0.2 * 2,66 * (1)$$

$$Fcs = 1,53$$

$$Fqd = F\gamma d = 1 + 0.1 * \sqrt{2,66} * (\frac{3,00}{1})$$

$$Fqd = F\gamma d = 1 + \frac{0,490}{1}$$

$$Fcd = 1 + 0.2 * \sqrt{2,66} * (\frac{3,00}{1})$$

$$Fcd = 1 + \frac{0,98}{1}$$

$$NC = 23,94$$

$$Nq = 13,200$$

$$N\gamma = 9,463$$

Reemplazando en la ecuación general de la capacidad de carga para 1 m² tenemos:

$$qu = 8,0 * 23,94 * 1,53 * 1 + \frac{0,98}{1} * 1 + 55,50 * 13,20 * 1,27 * 1 + \frac{0,490}{1} * 1 + \frac{1}{2} *$$

$$18,50 * 1 * 9,463 * 1,27 * 1 + \frac{0,490}{1} * 1$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	141 de 206

Luego de lo anterior, se determina la capacidad portante ultima (q_u) del suelo:

$$q_u = 444,35 \text{ KN/m}^2$$

Por último, se determina la capacidad portante admisible (q_{adm}) del suelo:

$$q_{adm} = \frac{q_u}{F_s}$$

$$q_{adm} = \frac{557,88 \text{ KN/m}^2}{3}$$

$$q_{adm} = 148,117 \text{ KN/m}^2$$

Cálculo del asentamiento elástico

Posteriormente, se procede calcular asentamiento elástico de igual forme

$$M = L'/B' = 1,70/1,70 = 1$$

$$N = H/B' = 3,00/1,70 = 1,76$$

$$I_1 = 0.256$$

$$I_2 = 0.069$$

Seguidamente, de la figura 5 y con el valor calculado de D_f/B , que es de 1.5, se obtiene el factor de influencia (I_s) con respecto a la base a una profundidad de desplante, para $\mu = 0.30$ y $L/B = 1$.

$$I_f = I_w = 0.61$$

Reemplazando en la ecuación (10), se obtiene:

$$\Delta H_i = 1200 \text{ kN} * 1,70 \text{ m} * \frac{1 - 0,296^2}{70000} \left(0,256 + \frac{1 - 2 * 0,3}{1 - 0,3} * 0,069 \right) * 0,581$$

$$\Delta H_{i\text{centro}} = 0,004559 \text{ m} = 0,4559 \text{ cm} = 4,559 \text{ mm}$$

Cálculo de asentamientos por consolidación primaria

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	142 de 206

Para el cálculo del asentamiento por consolidación primaria es necesario tener en cuenta y determinar diversos parámetros que se muestran a continuación:

$$D_f = 3,00 \text{ m} \quad B = 1,70 \text{ m} \quad L = 1,70 \text{ m}$$

$$H = 1,0 \text{ m} \rightarrow \text{Profundidad de influencia de la carga.}$$

$$LL = 18,25 \rightarrow \text{Limite liquido.}$$

$$e_o = 0,97 \rightarrow \text{Relación de vacíos.}$$

De acuerdo a lo anterior, se procede a determinar el índice de compresión del suelo implementando la ecuación (12).

$$CC = 0,009(LL - 10) \rightarrow \text{Índice de compresión.}$$

$$CC = 0,009(18,25 - 10) = 0,074$$

Seguidamente, se calcula el esfuerzo del suelo usando la ecuación (13). $\sigma'_o = \sum \gamma \cdot h \rightarrow$ Esfuerzo del suelo.

$$\sigma'_o = (18,50 \text{ KN/m}^3)(3,00 \text{ m})$$

$$\sigma'_o = 9,25 \text{ KN/m}^2$$

Posteriormente, es necesario establecer el valor de la influencia de acuerdo a los incrementos de esfuerzos en la masa del suelo, teniendo en cuenta las ecuaciones (14), (15) y (16):

$$m = \frac{1,70 \text{ m}}{5,78 \text{ m}} = 1 \quad n = \frac{1,70 \text{ m}}{5,780 \text{ m}} = 1$$

$$I_z = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2(0,294)(0,294)\sqrt{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 1}}{(0,294)^2 + (0,294)^2 + (0,294)^2(0,294)^2 + 1} \left(\frac{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 2}{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 1} \right) \right. \\ \left. + \tan^{-1} \left(\frac{2(0,294)(0,294)\sqrt{(0,294)^2 + (0,294)^2 + 1}}{(0,294)^2 + (0,294)^2 - (0,294)^2(0,294)^2 + 1} \right) \right]$$

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	143 de 206

$$I_z = 0,036$$

Cabe recalcar que es necesario implementar la ecuación (17) para poder calcular la variación del esfuerzo de acuerdo a la influencia y el esfuerzo que produce el suelo.

$$\Delta\sigma = 4 * (0,036) * (9,25 \text{ KN/m}^3) = 6,483 \text{ KN/m}^2 \quad \Delta\sigma = 4*(0,036)*(162,43\text{KN/m}^3) = 36,215\text{KN/m}^2$$

Por último, se determina el asentamiento por consolidación primaria de acuerdo a la ecuación (18).

$$S_{c(p)} = 0,0087 \text{ m} = 0,87 \text{ cm} \quad S_{c(p)} = 0,0169\text{m} = 1,69\text{cm}$$

Tabla 16.

Diseño preliminar de cimentación para patinódromo.

Nº	Proyecto	Ubicación	Parámetros técnicos	Resumen del diseño
10	Estudio de suelos para proyecto de construcción estructural de patinódromo	Gramalote, Norte de Santander	$\gamma_d = 18,50 \text{ KN/m}^3$ $\gamma_{sat} = 19,50 \text{ KN/m}^3$ $C = 8,0 \text{ KN/m}^2$ $\phi = 27,0$	Df = 0,50 m. Q = 25 KN. Qadm por metro cuadrado = 148,12 KN/m ² . Se = 0,0005 cm. Sp = 0,87 cm.

Nota. En la tabla anterior se presenta el resumen de los diseños preliminares de cimentaciones para un patinódromo, relacionando parámetros obtenidos tanto de campo, como de laboratorio.

El estudio de suelos realizado para el proyecto de construcción estructural del patinódromo, ubicado en el municipio de Gramalote, Norte de Santander, permitió caracterizar un suelo con un peso unitario seco de 18,50 kN/m³ y un peso unitario saturado de 19,50 kN/m³, valores representativos de suelos granulares con presencia moderada de finos. Los parámetros de

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	144 de 206

resistencia al corte obtenidos, con una cohesión de $5,0 \text{ kN/m}^2$ y un ángulo de fricción interna de 26° , indican un comportamiento predominantemente friccional, adecuado para soportar cargas superficiales bajas a moderadas. El diseño geotécnico planteó una profundidad de cimentación de $0,50 \text{ m}$ de acuerdo al número de golpes obtenidos del SPT, coherente con la magnitud de la carga estructural considerada ($Q = 25 \text{ kN}$), propia de una estructura liviana como el patinódromo. La capacidad portante admisible calculada, equivalente a $148,12 \text{ kN/m}^2$, evidencia que el suelo presenta condiciones favorables para la cimentación superficial, sin requerir medidas especiales de mejoramiento del terreno. En cuanto al comportamiento deformable del suelo, los asentamientos totales resultan bajos, con un asentamiento elástico (S_e) de $0,0005 \text{ cm}$ y un asentamiento por consolidación (S_p) de $0,87 \text{ cm}$, valores que se encuentran dentro de los límites admisibles establecidos por la normativa vigente. Estos resultados permiten concluir que el suelo ofrece un desempeño geotécnico adecuado, garantizando estabilidad y funcionalidad de la estructura proyectada a largo plazo.

Modelado en el software Geo5 y ProtaStructure

Mediante la implementación del software Geo5 y ProtaStructure se desarrolló el modelado necesario para evaluar el desempeño de las soluciones preliminares de cimentación tipo zapata. Estas herramientas permitieron analizar de manera integrada la interacción suelo – estructura, verificando parámetros como los esfuerzos admisibles, excentricidades generadas, acero necesario y la revisión frente a la condición de punzonamiento. Asimismo, estos programas facilitaron la optimización de la geometría y dimensiones de las zapatas, asegurando que cumplieran con los

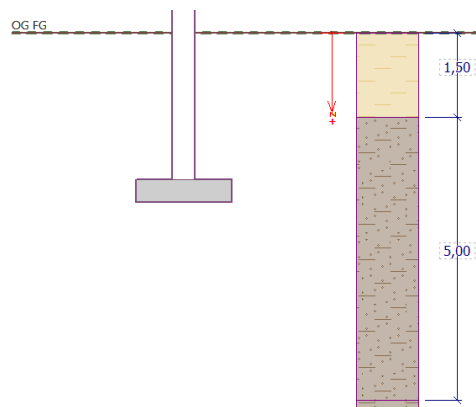
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	145 de 206

requisitos de capacidad portante, estabilidad y rigidez establecidos para el proyecto, en concordancia con las condiciones geotécnicas del sitio.

A continuación, se presentan el proceso de modelación de las zapatas, tomando como ejemplo el proyecto n°9 (Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo). En el caso del **software Geo5**, primero se define los estratos encontrados durante la exploración:

Figura 13.

Establecimiento del perfil.

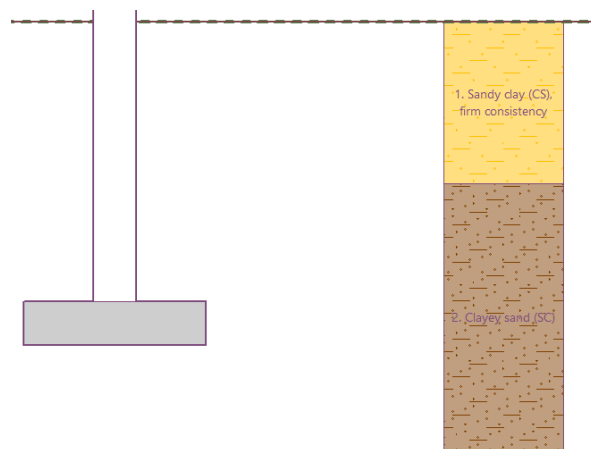


Seguidamente, se establecen los tipos de suelos clasificados de acuerdo a los estudios de laboratorio, que para este caso es arcilla arenosa (CS) y una arena arcillosa (SC):

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	146 de 206

Figura 14.

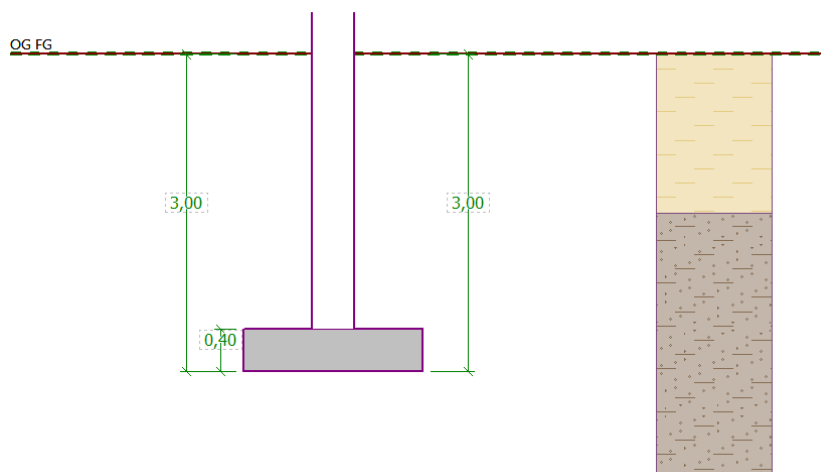
Asignación del suelo encontrado.



Posteriormente, se ingresa al software el nivel de desplante estipulado, que en este caso es de 3,00 metros:

Figura 15.

Establecimiento del nivel de desplante.

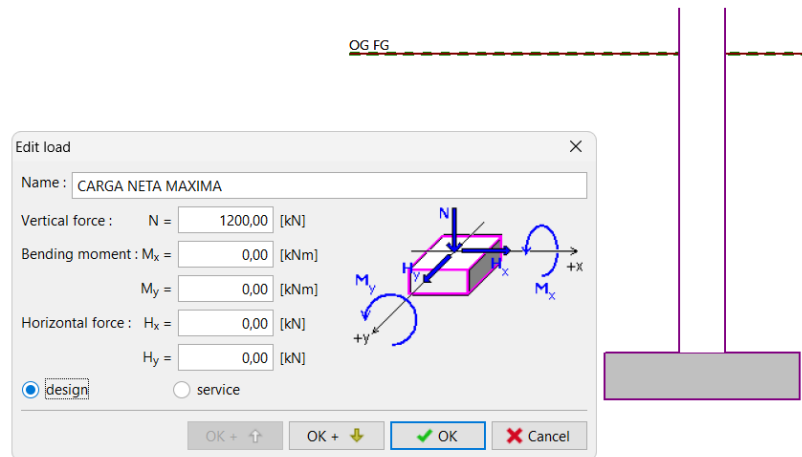


Luego se procede a ingresar la carga neta máxima establecida por el ingeniero estructural:

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	147 de 206

Figura 16.

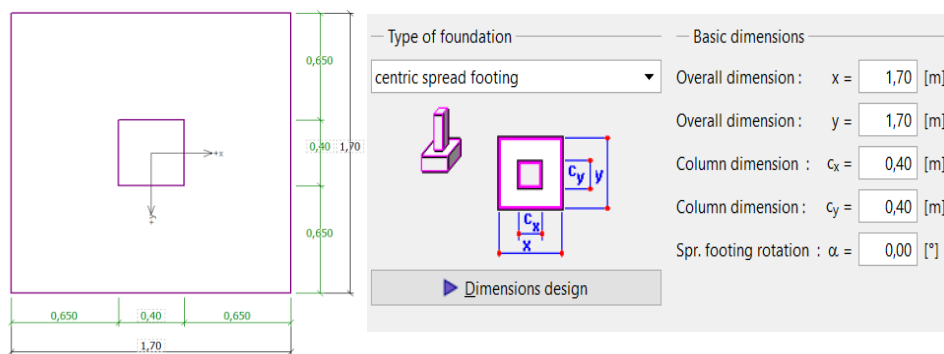
Establecimiento de la carga neta máxima.



Adicionalmente, se ingresan las dimensiones preliminares calculadas por la ecuación general de capacidad de carga:

Figura 17.

Establecimiento de dimensiones preliminares.



De acuerdo a lo anterior, se obtiene el siguiente resultado:

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	148 de 206

Figura 18.

Resultados obtenidos del software.

Verification of spread footing bearing capacity

Vertical bearing capacity check

Shape of contact stress : rectangle

Most unfavorable load case No. 1. (Load No. 1)

Design bearing capacity of found.soil $R_d = 1628,40 \text{ kPa}$

Extreme contact stress $\sigma = 499,39 \text{ kPa}$

Factor of safety = $3,26 > 1,50$

Bearing capacity in the vertical direction is **SATISFACTORY**

Verification of load eccentricity

Max. eccentricity in direction of base length $e_x = 0,009 < 0,333$

Max. eccentricity in direction of base width $e_y = 0,017 < 0,333$

Max. overall eccentricity $e_t = 0,019 < 0,333$

Eccentricity of load is **SATISFACTORY**

Horizontal bearing capacity check

Most unfavorable load case No. 1. (Load No. 1)

Horizontal bearing capacity $R_{dh} = 740,47 \text{ kN}$

Extreme horizontal force $H = 0,00 \text{ kN}$

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa que el software empleado arroja un valor de capacidad admisible del suelo superior al calculado mediante la ecuación general de capacidad de carga, lo que evidencia el cumplimiento de los parámetros y criterios establecidos para el análisis. En estos casos, y conforme a un enfoque conservador de diseño, se adopta el valor más crítico de capacidad admisible, el cual, para el ejemplo desarrollado en este documento, corresponde a 415 kN/m^2 .

A continuación, se presenta una tabla resumen del diseño para los diferentes proyectos abordados en este documento. Es importante destacar que el modelado **solo se realizó para estructuras aporticada** cimentadas mediante zapatas.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	149 de 206

Tabla 17.

Diseño de zapata cuadrada en GEO5.

Nº	Proyecto	Ubicación	Parámetros de entrada	Resultados GEO5	Comparación Qadmisible
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Pamplona, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = SP Df = 2,00 m. Q = 500 KN. B y L = 1,40 m.	Qadm = 317,29 KN/m2. ex = 0,012 < 0,333 ey = 0,024 < 0,333 et = 0,028 < 0,333	Ecuación general = 255,0 KN/m2. GEO5 = 317,29 KN/m2.
2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles	Pamplona, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = SC Df = 1,50 m. Q = 750 KN. B y L = 1,60 m.	Qadm = 338,38 KN/m2. ex = 0,008 < 0,333 ey = 0,015 < 0,333 et = 0,017 < 0,333	Ecuación general = 292,97 KN/m2. GEO5 = 338,38 KN/m2.
3	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural	Pamplona, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = SC Df = 1,50 m. Q = 400 KN. B y L = 1,50 m.	Qadm = 226,85 KN/m2. ex = 0,014 < 0,333 ey = 0,029 < 0,333 et = 0,032 < 0,333	Ecuación general = 177,78 KN/m2. GEO5 = 226,85 KN/m2.
4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial	Cúcuta, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = CS Df = 1,50 m. Q = 500 KN. B y L = 1,60 m.	Qadm = 240,96 KN/m2. ex = 0,011 < 0,333 ey = 0,022 < 0,333 et = 0,024 < 0,333	Ecuación general = 195,31 KN/m2. GEO5 = 240,96 KN/m2.
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación	Cúcuta, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = SC Df = 1,50 m. Q = 500 KN. B y L = 1,60 m.	Qadm = 241,00 KN/m2. ex = 0,010 < 0,333 ey = 0,021 < 0,333 et = 0,024 < 0,333	Ecuación general = 195,54 KN/m2. GEO5 = 241,00 KN/m2.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	150 de 206

de tres niveles				
6	Estudio de suelos para la construcción estructural de viviendas de tres niveles	Villa del Rosario, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = SC Df = 1,50 m. Q = 600 KN. B y L = 1,70 m.	Qadm = 248,51 KN/m2. $ex = 0,009 < 0,333$ $ey = 0,013 < 0,333$ $et = 0,015 < 0,333$ Ecuación general = 195,54 KN/m2. GEO5 = 248,51 KN/m2.
8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles	Mutiscua, Norte de Santander.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = CS Df = 2,00 m. Q = 600 KN. B y L = 1,60 m. Qadm =	Qadm = 286,61 KN/m2. $ex = 0,009 < 0,333$ $ey = 0,012 < 0,333$ $et = 0,016 < 0,333$ Ecuación general = 234,38 KN/m2. GEO5 = 286,61 KN/m2.
9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	Villanueva, Casanare.	Tipo de suelo al nivel de desplante (USCS) = SC Df = 3,00 m. Q = 1200 KN. B y L = 1,70 m.	Qadm = 499,39 KN/m2. $ex = 0,009 < 0,333$ $ey = 0,017 < 0,333$ $et = 0,019 < 0,333$ Ecuación general = 415,0 KN/m2. GEO5 = 499,39 KN/m2.
<i>Nota.</i> En la tabla anterior se presenta el resumen del diseño de zapatas cuadradas, realizado mediante el software especializado GEO5, con el propósito de verificar el cumplimiento de la capacidad portante admisible del suelo en relación con la carga aplicada y las dimensiones adoptadas para la cimentación. El análisis comparativo entre la capacidad admisible del suelo calculada mediante la ecuación general de capacidad de carga y los valores obtenidos a través del software GEO5 evidencia una tendencia consistente en todos los proyectos evaluados: los valores de capacidad admisible determinados con GEO5 resultan superiores a los calculados de forma analítica. Este comportamiento se presenta de manera uniforme en suelos clasificados como arenas mal gradadas (SP), arenas arcillosas (SC) y arcillas arenosas (CS), para diferentes niveles de desplante y cargas				

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	151 de 206

estructurales. En todos los casos analizados, los criterios de excentricidad en ambas direcciones (e_x , e_y) y la excentricidad total (e_t) cumplen satisfactoriamente con el requisito normativo, ya que sus valores son significativamente menores a 0,333, lo que confirma que las zapatas trabajan bajo condiciones de carga adecuadamente centradas y que la distribución de esfuerzos en la base de la cimentación es aceptable. Este aspecto valida la aplicabilidad de las dimensiones preliminares propuestas para las zapatas superficiales. La diferencia observada entre los valores de capacidad admisible obtenidos por ambos métodos se explica principalmente por el enfoque más integral del software GEO5, el cual incorpora factores de corrección asociados a la geometría real de la cimentación, condiciones de carga, interacción suelo – estructura y criterios de seguridad más conservadores. No obstante, la ecuación general de capacidad de carga proporciona resultados coherentes y consistentes, que permiten establecer un valor crítico de diseño, el cual resulta fundamental para garantizar la seguridad estructural. En el caso de proyectos con mayores exigencias estructurales, como la edificación de cuatro niveles con subterráneo en Villanueva, Casanare, se observa una mayor capacidad admisible tanto en el cálculo analítico como en el modelado con GEO5, atribuible al mayor nivel de desplante, a las mejores condiciones del suelo y a un mayor ángulo de fricción interna, lo que confirma la influencia directa de estos parámetros en la capacidad portante del terreno.

En general, los resultados permiten inferir que el uso conjunto de la ecuación general de capacidad de carga y del software GEO5 constituye una herramienta confiable para el diseño preliminar de cimentaciones superficiales. En todos los proyectos se adoptó el valor más desfavorable de capacidad admisible como criterio de diseño, garantizando así soluciones seguras,

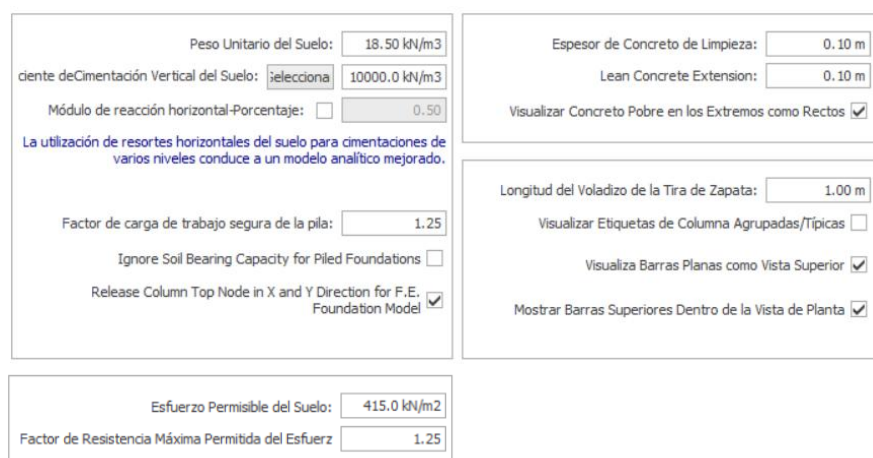
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	152 de 206

técnicamente viables y acordes con lo establecido en la NSR – 10, reafirmando la importancia del juicio ingenieril en la toma de decisiones finales.

Para el caso del **software ProtaStructure**, siguiente con el proyecto n°9, primero se establece el peso específico y el esfuerzo admisible del suelo.

Figura 19.

Valores del suelo ingresado al software ProtaStructure.



The screenshot shows the 'Suelo' (Soil) settings in ProtaStructure. The parameters are as follows:

- Peso Unitario del Suelo: 18.50 kN/m³
- Ciente de Cimentación Vertical del Suelo: 10000.0 kN/m³
- Módulo de reacción horizontal-Porcentaje: 0.50
- Factor de carga de trabajo segura de la pila: 1.25
- Ignore Soil Bearing Capacity for Piled Foundations: ☐
- Release Column Top Node in X and Y Direction for F.E. Foundation Model: ☒
- Esfuerzo Permisible del Suelo: 415.0 kN/m²
- Factor de Resistencia Máxima Permitida del Esfuerz: 1.25
- Espesor de Concreto de Limpieza: 0.10 m
- Lean Concrete Extension: 0.10 m
- Visualizar Concreto Pobre en los Extremos como Rectos: ☒
- Longitud del Voladizo de la Tira de Zapata: 1.00 m
- Visualizar Etiquetas de Columna Agrupadas/Típicas: ☐
- Visualiza Barras Planas como Vista Superior: ☒
- Mostrar Barras Superiores Dentro de la Vista de Planta: ☒

Posteriormente, se procede a ingresar la carga neta máxima correspondiente:

Figura 20.

Valor de carga máxima neta de la estructura.

Unidades: (kN, kN.m)

Cargas; Definidas por el Usua... ▼

Comb. N°	Columna	N	Vx	Vy	Mx	My	ΣN
Env	1C1	1200.00	0.00	0.00	0.0	0.0	1313.29

Seguidamente, se procede al modelamiento de la zapata cuadrada, ingresando las dimensiones preliminares obtenidas del cálculo, para hacer la respectiva corroboración de los parámetros como el esfuerzo admisible del suelo, excentricidades, entre otras.

Figura 21.

Verificación del cumplimiento de parámetros técnicos.

Geometría de Zapata

Etiqueta de la Zapata: F-1C1

Desplante: 0.40 m

Altura de la Zapata Cónica: 0.00 m

Recubrimiento de Concreto: 5.00 cm

Lx: 1.70 m

Ly: 1.70 m

Forzar a Zapata Cuadrada para el Diseño ☐

Dimensiones de Columna

b1: 35.00 cm

b2: 35.00 cm

Excentricidad de Zapata

Excentricidad X: 0.00 m

Excentricidad Y: 0.00 m

Diseño

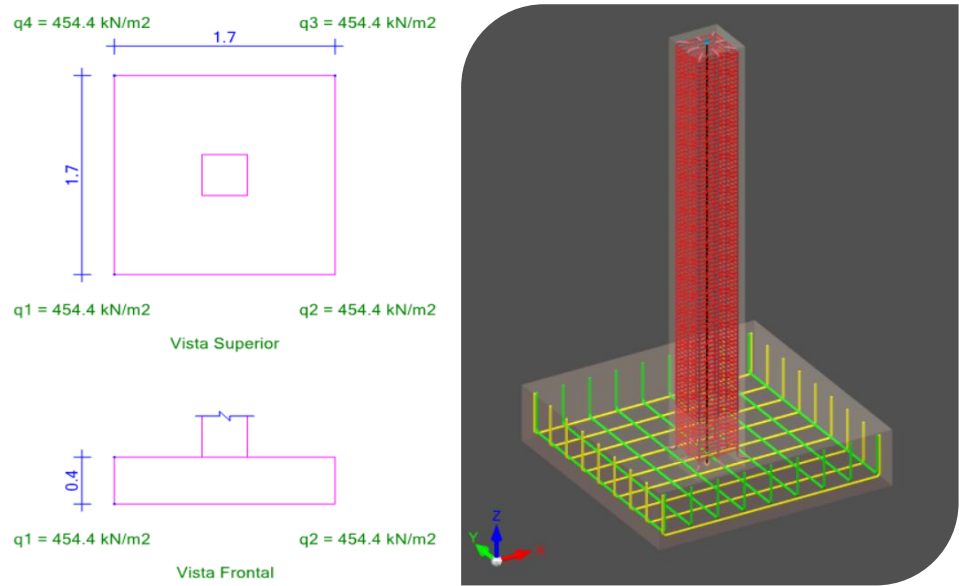
Descripción	Unidad	Resultado
Esfuerzo del Suelo (Capacidad de Carga Neta/Esfuerzo Máximo del Suelo)	kN/m ²	518.8 > 454.4
Excentricidad X-Dir (Lx / 6, Mx / N)	m	0.28 > 0.00
Excentricidad Y-Dir (Ly / 6, My / N)	m	0.28 > 0.00
Refuerzo en la Dir-X (9#5 / 20.00) (Previsto / Requerido)	cm ²	18 > 12
Refuerzo en la Dir-Y (9#5 / 20.00) (Previsto / Requerido)	cm ²	18 > 12
Verificación por Punzonamiento (Capacidad / Demanda)	kN	1499.18 > 1100.62
Verificación de Corte a Cara de Columna en la Dir-X (Capacidad / Demanda)	kN	581.60 > 476.47
Verificación de Corte a la Distancia d de la Columna en la Dir-X (Capacidad / Demanda)	kN	610.67 > 235.02
Verificación de Corte a Cara de Columna en la Dir-Y (Capacidad / Demanda)	kN	581.60 > 476.47
Verificación de Corte a la Distancia d de la Columna en la Dir-Y (Capacidad / Demanda)	kN	610.67 > 246.25

El Diseño es Satisfactorio:

Nota. En la figura anterior se muestra un ejemplo del cumplimiento de los diferentes parámetros relevantes para el diseño de la cimentación modelado en el software ProtaStructure, 2025.

Figura 22.

Modelado en 3D y 2D del predimensionamiento de la zapata.



Nota. En la figura anterior se muestra el modelado de una zapata realizado en el software ProtaStructure, 2025 para la comprobación de los diferentes parámetros de diseño.

A continuación, se presenta una tabla resumen del modelado para los diferentes proyectos abordados en este documento. Es importante destacar que el modelado **solo se realizó para estructuras aporricada** cimentadas mediante zapatas.

Tabla 18.

Modelado de zapata ProtaStructure.

Nº	Proyecto	Ubicación	Parámetros de entrada	Resultados ProtaStructure
1	Estudio de suelos para la construcción estructural de	Pamplona, Norte de Santander.	Qadm = 255,0 KN/m2. Df = 2,00 m. Q = 500 KN. B y L = 1,40 m.	Refuerzo Dir. x (14#5/10 cm) = 28 cm2 > 9 cm2. Refuerzo Dir. y (14#5/10 cm) = 28 cm2 > 8 cm2.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	155 de 206

	edificación de dos niveles		Punzonamiento = 1622,65 KN > 379,443 KN
2	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles Pamplona, Norte de Santander.	Qadm = 292,97 KN/m2. Df = 1,50 m. Q = 750 KN. B y L = 1,60 m.	Refuerzo Dir. x (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Refuerzo Dir. y (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Punzonamiento = 1622,768KN > 649,603 KN
3	Estudios de suelos para la construcción de una institución educativa rural Pamplona, Norte de Santander.	Qadm = 177,78 KN/m2. Df = 1,50 m. Q = 400 KN. B y L = 1,50 m.	Refuerzo Dir. x (6#5/25 cm) = 12 cm2 > 9 cm2. Refuerzo Dir. y (6#5/25 cm) = 12 cm2 > 9 cm2. Punzonamiento = 1622,76 KN > 353,48 KN
4	Estudio de suelos para la construcción de estructuras de tres niveles para conjunto residencial Cúcuta, Norte de Santander.	Qadm = 195,31 KN/m2. Df = 1,50 m. Q = 500 KN. B y L = 1,60 m.	Refuerzo Dir. x (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Refuerzo Dir. y (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 9 cm2. Punzonamiento = 1608,75 KN > 455,23 KN
5	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de tres niveles Cúcuta, Norte de Santander.	Qadm = 195,54 KN/m2. Df = 1,50 m. Q = 500 KN. B y L = 1,60 m.	Refuerzo Dir. x (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Refuerzo Dir. y (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Punzonamiento = 1622,78 KN > 453,15 KN
6	Estudio de suelos para la construcción estructural de viviendas de tres niveles Villa del Rosario, Norte de Santander.	Qadm = 207,61 KN/m2. Df = 1,50 m. Q = 600 KN. B y L = 1,70 m.	Refuerzo Dir. x (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 11 cm2. Refuerzo Dir. y (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Punzonamiento = 1622,76 KN > 556,29 KN
8	Estudio de suelos para la construcción estructural de edificación de dos niveles Mutiscua, Norte de Santander.	Qadm = 234,38 KN/m2. Df = 2,00 m. Q = 600 KN. B y L = 1,60 m. Qadm =	Refuerzo Dir. x (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Refuerzo Dir. y (7#5/25 cm) = 14 cm2 > 10 cm2. Punzonamiento = 1622,76 KN > 550,34 KN

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	156 de 206

9	Estudio de suelos para la construcción de estructura de 4 niveles y subterráneo	Villanueva, Casanare.	$Q_{adm} = 415,0 \text{ KN/m}^2$. $D_f = 3,00 \text{ m}$. $Q = 1200 \text{ KN}$. $B \text{ y } L = 1,70 \text{ m}$.	Refuerzo Dir. x = $14 \text{ cm}^2 > 11 \text{ cm}^2$. Refuerzo Dir. y = $14 \text{ cm}^2 > 11 \text{ cm}^2$. Punzonamiento = $1622,76 \text{ KN} > 1107,43 \text{ K}$
---	---	-----------------------	--	---

Nota. En la tabla anterior se presenta el resumen del modelado de zapatas cuadradas, realizado mediante el software especializado ProtaStructure, con el propósito de verificar el cumplimiento de la capacidad admisible del suelo en relación con la carga aplicada, las dimensiones adoptadas para la cimentación, cantidad de refuerzo necesario y punzonamiento.

El modelado y verificación de las zapatas aisladas mediante el software ProtaStructure permitió evaluar de manera integral el comportamiento estructural de las cimentaciones superficiales propuestas, utilizando como parámetros de entrada las capacidades admisibles del suelo previamente definidas en los estudios geotécnicos. En todos los proyectos analizados, los valores de refuerzo requerido en las direcciones longitudinal (x) y transversal (y) resultaron menores que los refuerzos finalmente dispuestos, lo que evidencia que las zapatas cumplen satisfactoriamente los criterios de resistencia a flexión establecidos por la normativa vigente. Los resultados muestran que el área de acero provista en cada zapata es superior al área mínima requerida, lo cual garantiza un comportamiento estructural seguro y adecuado frente a las solicitaciones inducidas por las cargas transmitidas por la estructura. Esta condición se mantiene de forma consistente en edificaciones de dos, tres y hasta cuatro niveles, independientemente de la variación en la carga aplicada o en la capacidad portante del suelo. Adicionalmente, la verificación por punzonamiento evidencia que, en todos los casos, la resistencia última del sistema de cimentación es considerablemente mayor que el esfuerzo de punzonamiento generado por la

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	157 de 206

carga aplicada. Los valores obtenidos confirman que las zapatas presentan un margen de seguridad adecuado frente a este modo de falla, el cual resulta crítico en cimentaciones superficiales sometidas a cargas concentradas. En proyectos con mayores exigencias estructurales, como la edificación de cuatro niveles con subterráneo en Villanueva, Casanare, se observa un incremento tanto en la carga transmitida como en las solicitaciones de punzonamiento; sin embargo, los resultados del software demuestran que el diseño preliminar continúa siendo estructuralmente viable, manteniendo relaciones favorables entre resistencia disponible y demanda estructural.

En conjunto, el uso del software ProtaStructure permitió validar de manera eficiente la compatibilidad entre el diseño geotécnico y el diseño estructural de las cimentaciones superficiales, evidenciando una adecuada interacción suelo–estructura. Es importante recalcar que, dependiendo de la ubicación de las zapatas dentro del sistema estructural, estas pueden estar sometidas a mayores esfuerzos y excentricidades, lo cual puede implicar un incremento en sus dimensiones. El sistema final de cimentación es definido de manera conjunta por el ingeniero geotecnista y el ingeniero estructural, considerando los criterios técnicos correspondientes. En este sentido, los resultados obtenidos confirman que las dimensiones y los refuerzos propuestos constituyen una base técnica confiable para el diseño final de las zapatas, el cual deberá ser establecido por el ingeniero estructural responsable, de acuerdo con los requerimientos específicos del proyecto y la normativa vigente.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	158 de 206

Los resultados obtenidos en este objetivo fueron satisfactorios, dado que se establecieron soluciones preliminares de cimentación para zapata cuadradas, sistemas de alcantarillados y placas de concreto para patinódromos, acordes con las características mecánicas del subsuelo y con las restricciones de diseño establecidas por la normativa colombiana vigente. Con base en los parámetros geotécnicos determinados en campo, laboratorios y modelado, se evaluó la capacidad portante admisible del terreno, el asentamiento esperado, excentricidades, cantidades de acero y punzonamiento, lo que hizo posible definir anchos y profundidades óptimas para las zapatas proyectadas. Las alternativas de cimentación propuestas garantizan un desempeño adecuado, al asegurar que las presiones transmitidas al suelo permanezcan dentro de los límites permisibles y que los asentamientos estimados no comprometan la estabilidad ni la funcionalidad de la estructura diseñada.

Objetivo 4. Verificar la consistencia de los datos obtenidos en campo y apoyar su procesamiento técnico para la elaboración de informes geotécnicos, incluyendo recomendaciones constructivas.

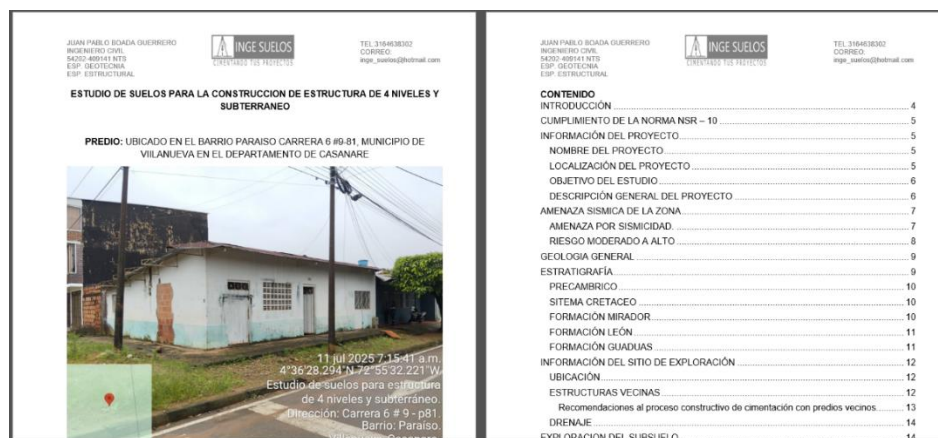
Plantilla implementada para la realización de los informes

Para la elaboración de los diferentes informes geotécnicos antes mencionados se empleó la plantilla establecida por la empresa INGESUELOS JB S. A. S, la cual fue cuidadosamente modificada y adaptada con el fin de incorporar los datos y la información específica correspondiente a las condiciones geotécnicas y características particulares de cada proyecto.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	159 de 206

Figura 23.

Ejemplo de realización de informe en la plantilla de INGESUELOS JB S. A. S.



Nota. En la figura anterior se presenta la plantilla tipo utilizada por la empresa para la elaboración de los informes geotécnicos correspondientes a los diferentes proyectos de construcción.

Es importante destacar que, por **políticas de confidencialidad de la empresa INGESUELOS JB S. A. S., no es posible divulgar de manera detallada el contenido de los informes geotécnicos** elaborados por la entidad. Por lo anterior, en el presente documento solo se expondrá de forma general la estructura de dichos informes y algunos aspectos relevantes, sin comprometer la información reservada.

El informe geotécnico se encuentra estructurado en diferentes apartados que incluyen:

- **Introducción:** En esta parte se especifica que la empresa INGESUELOS JB S. A. S, realizó las investigaciones del subsuelo del predio donde se desea realizar el proyecto. Además de que en el desarrollo del estudio de suelos se ejecutaron sondeos y ensayos de laboratorio para conocer la naturaleza del depósito, profundidad, espesor y

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	160 de 206

composición de los diferentes niveles, nivel freático y sus variaciones, y propiedades desde el punto de vista de ingeniería, con el fin de determinar de manera aproximada las características geotécnicas del terreno para establecer las condiciones que limitan su utilización, los problemas que se puedan presentar y formular algunos criterios y parámetros básicos que deben tener en cuenta los ingenieros encargados del diseño y desarrollo del proyecto.

- **Normatividad aplicable:** Se expresa el cumplimiento de la norma NSR – 10 (cumplimiento de la ley 1229 de 2008 y el decreto 926 de 2010), teniendo en cuenta que el ingeniero geotecnista da fe de que conoce el lugar y lo ha visitado para efectos de la elaboración del informe geotécnico.
- **Información general del proyecto a ejecutar:** Incluye el nombre del proyecto, localización, objetivo y la descripción general del mismo (categoría de la unidad de construcción y mayor carga vertical estimada).
- **Amenaza sísmica de la zona:** Se especifica el riesgo sísmico de la zona, que en el caso de Norte de Santander y Casanare es alto, además de los eventos sísmicos registrados históricamente, lo que advierte la aplicación estricta de la norma NSR – 10.
- **Geología:** Se detalla la geología general de la zona, estratigrafía, formaciones y la geología estructural.
- **Influencia de las estructuras vecinas:** En los casos en que el terreno destinado a la construcción presente edificaciones colindantes en uno o varios de sus costados, es fundamental considerar la interacción con estas estructuras, especialmente durante las

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	161 de 206

actividades de excavación. Cuando existan estructuras vecinas cercanas al perímetro del proyecto, no se recomienda excavar más de 1.5 m de profundidad sin implementar previamente medidas de protección o estabilización, con el fin de evitar afectaciones a dichas edificaciones. Por tal motivo, se establecen una serie de recomendaciones técnicas para la ejecución segura de las excavaciones destinadas a la construcción de zapatas.

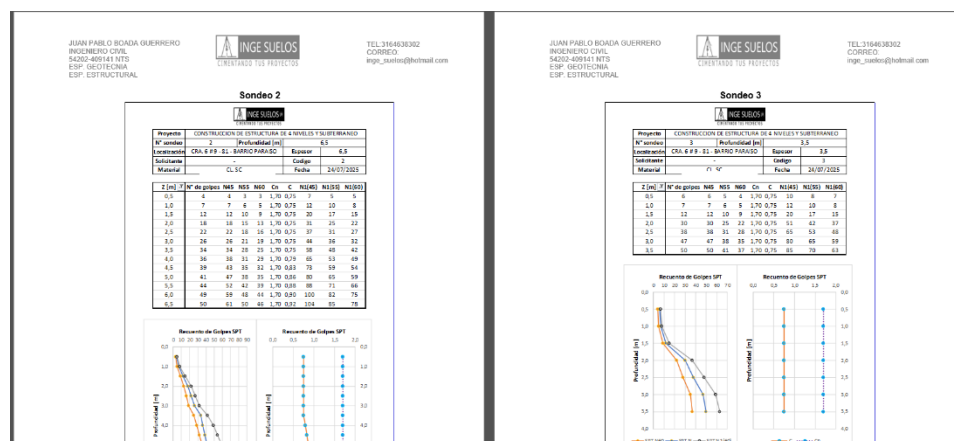
- **Condiciones de drenaje:** En este inciso se establece que a la hora de la excavación se evidencio o no presencia de aguas o yacimientos de aguas en el terreno. Si se presentan nivel freático durante la excavación es importante realizar el abatimiento del mismo con filtros y si es necesario la construcción de una caja para encausar el agua y sacarlo al sistema de alcantarillado. Es de vital importancia hacer los debidos drenajes de aguas lluvias para la construcción para evitar la filtración de dicha agua al suelo.
- **Nivel freático:** Se especifica si en los sondeos realizados para la exploración del subsuelo se evidencio o no presencia de nivel freático en las profundidades alcanzadas.
- **Resultados de la exploración e investigación del subsuelo:** Se presenta una descripción detallada de la exploración del subsuelo en el área destinada para la construcción del proyecto, teniendo en cuenta el tipo de suelo, color, textura, consistencia, humedad natural, estructura y demás.
- **Registro fotográfico de los sondeos:** Se anexan todas las evidencias fotográficas tomadas durante la realización del ensayo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	162 de 206

- **Corrección del número de golpes obtenidos en el ensayo SPT:** Se implementa la plantilla institucional utilizada por la empresa, con el fin de efectuar el cálculo correspondiente a la corrección del número de golpes (N60 y N1 - 60) del ensayo SPT. Los valores corregidos son posteriormente integrados y presentados en el informe geotécnico con su respectiva gráfica.

Figura 24.

Inclusión del N - SPT corregido.



Nota. En la figura anterior se muestra la integración del resultado de la corrección del número de golpes a la plantilla del informe geotécnico que emplea la empresa INGUSELOS JB.

- **Parámetros para el diseño de cimentaciones:** En el informe se consignan de manera detallada los parámetros geotécnicos adoptados, así como los cálculos y fundamentos necesarios para sustentar el diseño de las cimentaciones, garantizando su coherencia con las condiciones del terreno y con los criterios normativos aplicables.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	163 de 206

- **Criterios del diseñador:** En este inciso se especifica que para la realización del diseño de cimentaciones de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma NRS – 10 y en conformidad con la facilidad de cálculo se establece que tipo de cimentación se va a implementar, además de sus dimensiones.
- **Recomendaciones para el diseño:** Después de haber realizado un exhaustivo análisis a las propiedades físico mecánicas del suelo donde se desea realizar la ejecución del proyecto. Se deben tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el proyecto las siguientes recomendaciones con el fin de brindar mayor seguridad a la construcción de este. En el caso del proyecto n°9 que se ha venido trabajando sería:
 - Luego de haber tomado un modelo de cimentación se toma la decisión de hacer zapatas aisladas.
 - El nivel de desplante para el sistema de cimentaciones, se dará a una profundidad de 3,00 m, medidos desde el nivel de vía donde está situada la superficie del terreno.
 - La capacidad admisible para el ancho propuesto de cimentación será de 415,00 KN/m², si se desea mayor capacidad admisible para la cimentación se puede aumentar el ancho de la zapata.
 - El valor del asentamiento total, el cual es la suma del asentamiento elástico y el asentamiento por consolidación primaria es de $pT = 0,46 \text{ cm} + 1,69 \text{ cm} = 2,15 \text{ cm}$.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	164 de 206

- Con el fin de proporcionar seguridad a la estructura y basándonos en la normatividad se asume un factor de seguridad de 3.0 para el diseño de la de la cimentación.

- **Recomendaciones para la construcción:** Teniendo en cuenta el análisis de las propiedades del suelo que servirá como base para la cimentación, se formulan las siguientes recomendaciones constructivas, orientadas a garantizar la estabilidad del terreno y a evitar alteraciones que puedan comprometer el desempeño del sistema estructural de la obra:

- **Retiro de material superficial:** Se debe remover la losa de concreto existente o el suelo de relleno hasta una profundidad aproximada de 0,50 m, con el fin de eliminar estratos con presencia de materia orgánica o materiales de baja capacidad portante que puedan generar asentamientos diferenciales.
- **Control de excavaciones:** No se debe avanzar más de 1,50 m en las excavaciones sin disponer previamente de sistemas de contención temporal adecuados, con el propósito de asegurar la estabilidad del talud y prevenir afectaciones a estructuras vecinas o infraestructuras cercanas.
- **Drenaje y control de infiltraciones:** Es imprescindible implementar sistemas de drenaje superficial y subsuperficial que eviten la acumulación o infiltración de agua en la zona de cimentación, dado que la humedad excesiva puede modificar significativamente las propiedades mecánicas del suelo y reducir su capacidad portante.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	165 de 206

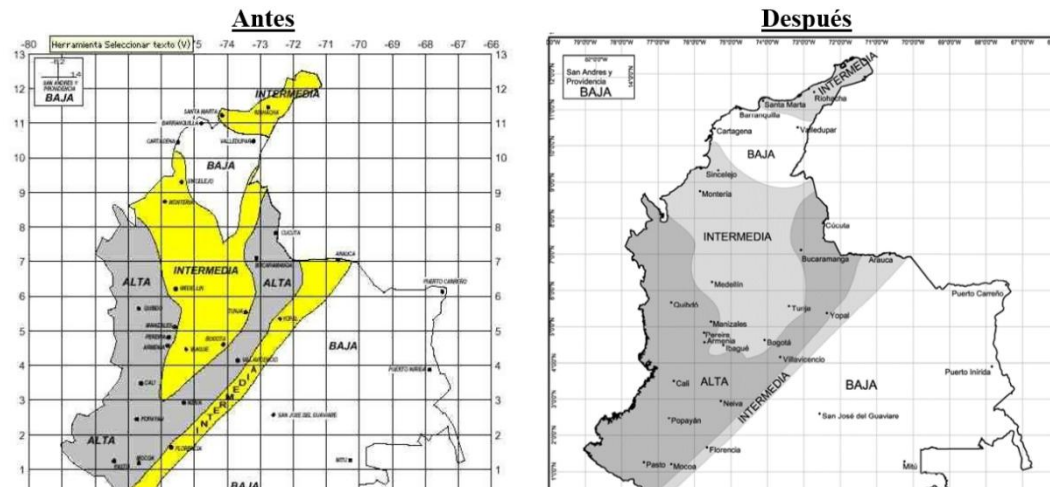
- **Limitaciones del estudio:** En este apartado se establece que las recomendaciones presentadas en el informe se fundamentan exclusivamente en la investigación geotécnica ejecutada por la empresa, desarrollada conforme a la práctica común de la ingeniería de suelos y con una cobertura considerada suficiente para caracterizar las condiciones del subsuelo dentro del área del proyecto. No obstante, si durante la construcción se evidencian condiciones no contempladas en este estudio, ya sea por cambios en el alcance del proyecto, variaciones geométricas, diferencias en el perfil estratigráfico o presencia de materiales no identificados, se deberá notificar oportunamente para evaluar la situación y realizar los ajustes necesarios a las recomendaciones formuladas.

De acuerdo con lo anterior, se efectuaron diversas mejoras al documento, tanto en la redacción (mejoramiento de la descripción del subsuelo y algunos textos relevantes) como en la calidad de las imágenes incorporadas, con el propósito de optimizar su presentación técnica y asegurar una comunicación más precisa, coherente y profesional de la información contenida en los informes geotécnicos.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código 00	
		Página 166 de 206	

Figura 25.

Mejora de la calidad de imagen del mapa de amenaza sísmica para Colombia.



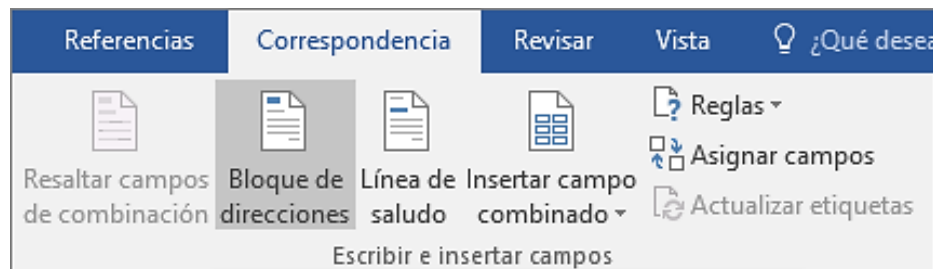
Nota. En la figura anterior se presenta la comparación entre el estado original y la versión mejorada del mapa de amenaza sísmica de Colombia, obtenido del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR – 10), evidenciando el incremento en la calidad y resolución gráfica del material utilizado.

Otro aporte relevante consistió en la implementación de la herramienta “Correspondencia” del software Microsoft Word, la cual permitió vincular hojas de cálculo de Excel programadas para el cálculo de las dimensiones preliminares de las zapatas y la estimación de los asentamientos. Esta integración facilitó la automatización en la consignación de datos dentro de la plantilla establecida, optimizando así la eficiencia y precisión en la elaboración de los diferentes informes geotécnicos desarrollados por la empresa.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	167 de 206

Figura 26.

Herramienta correspondencia del software Excel.



Nota. En la figura anterior se presenta la herramienta “Correspondencia” del software Microsoft Word, vinculada con Excel, la cual resulta indispensable para la inserción automatizada de los datos calculados durante el predimensionamiento de las zapatas en los diferentes informes geotécnicos elaborados.

Los resultados obtenidos en este objetivo fueron satisfactorios, dado que se realizó una verificación integral de la consistencia y calidad de los datos obtenidos en campo, contrastándolos con los registros de resultados laboratorio y los cálculos obtenidos, además de los criterios de control geotécnico establecidos en la normativa vigente. Este proceso permitió asegurar la fiabilidad de los parámetros empleados en el análisis, identificar posibles discrepancias y validar su representatividad frente a las condiciones reales del terreno. Asimismo, se apoyó el procesamiento técnico de la información para la estructuración del informe geotécnico, incorporando recomendaciones constructivas fundamentadas en el comportamiento esperado del suelo, con el fin de orientar adecuadamente el diseño y la ejecución de las obras proyectadas.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	168 de 206

Aportes ingenieriles

A continuación, se presentan las actividades adicionales desarrolladas durante la práctica profesional en la empresa INGESUELOS JB S.A.S, las cuales contribuyeron al fortalecimiento y expansión del conocimiento en áreas complementarias a la geotecnia, ampliando así el alcance de las competencias adquiridas más allá de los objetivos iniciales planteados en este trabajo de grado.

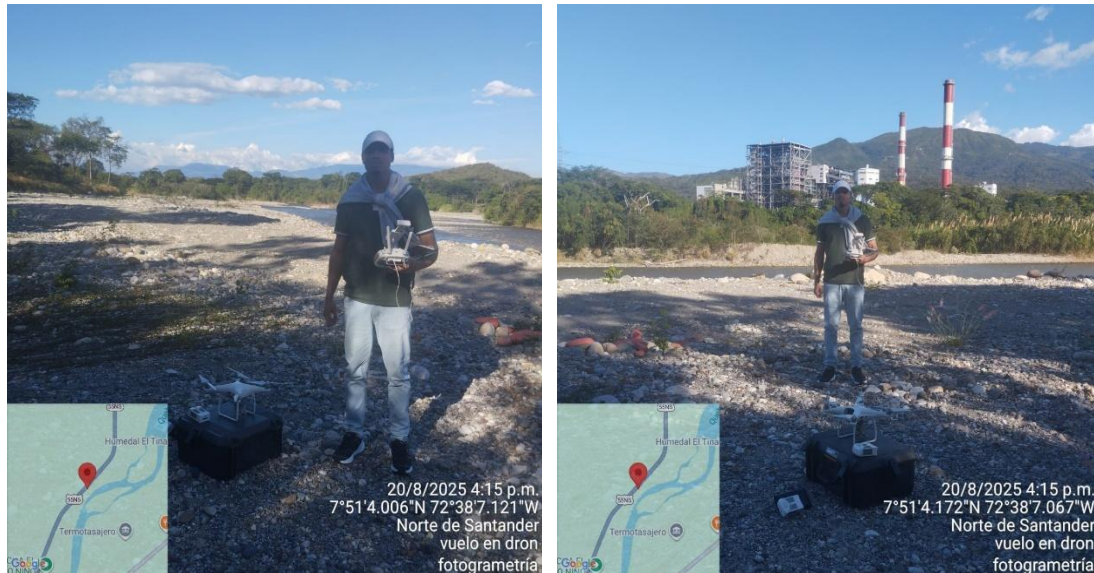
Levantamiento fotogramétrico con dron DJI PHAMTOM 4

La actividad de levantamiento fotogramétrico se desarrolló como un componente complementario de este proyecto de grado, con el propósito de obtener un modelo digital de superficie (MDS), un ortomosaico y cartografía de alta resolución del sector evaluado. Para ello, se empleó un vehículo aéreo no tripulado (UAV) DJI Phantom 4, siguiendo procedimientos técnicos estandarizados, parámetros de vuelo controlados y lineamientos operacionales seguros. La actividad se ejecutó brindando apoyo directo al ingeniero jefe, asegurando el cumplimiento del procedimiento para poder realizar el levantamiento. El levantamiento se efectuó en el municipio de San Cayetano, Norte de Santander, específicamente en los alrededores de la planta termoeléctrica Termotasajero S.A., aportando información espacial de alta precisión para fines técnicos y de apoyo al análisis del terreno.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	169 de 206

Figura 27.

Asistencia al sitio del levantamiento.



Nota. En la figura anterior se puede observar la asistencia al lugar de realización del levantamiento, con el fin de obtener una serie de fotografías que serán base para la generación del modelo.

Planeación de vuelo

- **Área cubierta:** 415.000 m².
- **Altura de vuelo:** 313 ft para Phantom 4.
- **Resolución esperada (GSD):** Alta resolución - 2.69 cm/pixel según la altura.
- **Software de planificación:** DJI GS Pro.

Trabajo en campo

- **Fecha de vuelo:** 20 de agosto de 2025.
- **Condiciones climáticas:** Despejado con poca nubosidad y viento moderado.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	170 de 206

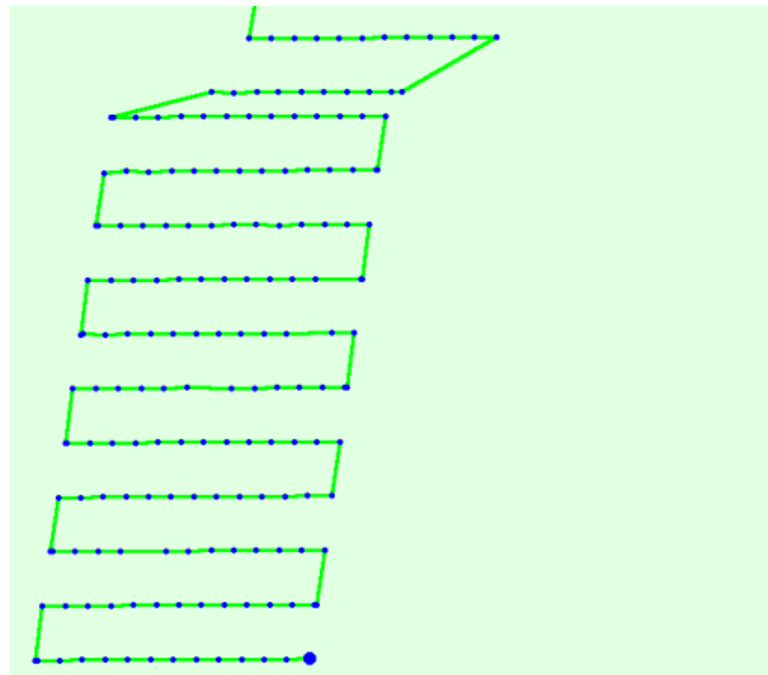
- **Número de vuelos realizados:** 2.
- **Puntos de control terrestre (GCPs):** Se establecieron y midieron mediante equipo WGS84 /UTMzone 18N (EGM96Geoid) de alta precisión, garantizando el ajuste planimétrico del modelo.

Procesamiento de datos

- **Software empleado:** Pix4Dmapper.

Figura 28.

Recorrido realizado por el dron.



Nota. En la figura anterior se puede observar los diferentes puntos donde el dron realiza las diferentes pausas para la captura adecuada de las imágenes tomadas para el respectivo levantamiento.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	171 de 206

Durante el vuelo se adquirieron de manera satisfactoria todas las fotografías programadas (250 fotografías en total), con una adecuada superposición longitudinal y transversal. Las imágenes presentaron:

- Nitidez y resolución óptima para su procesamiento.
- Correcta exposición y estabilidad geométrica.
- Cobertura total del polígono establecido.

Figura 29.

Fotografías obtenidas del levantamiento.



Nota. En la figura anterior se puede observar algunas imágenes tomadas por el dron durante el recorrido programado para el respectivo levantamiento.

La calidad de las capturas permitió su utilización directa en el software fotogramétrico sin necesidad de repetir vuelos adicionales.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	172 de 206

Modelo digital de superficie (DSM) disperso

El procesamiento de la información produjo una nube de puntos densa con buena distribución espacial, permitiendo reconstruir con precisión la topografía superficial

Figura 30.

Ortomosaico y el correspondiente modelo digital de superficie (DSM) disperso antes de la densificación.

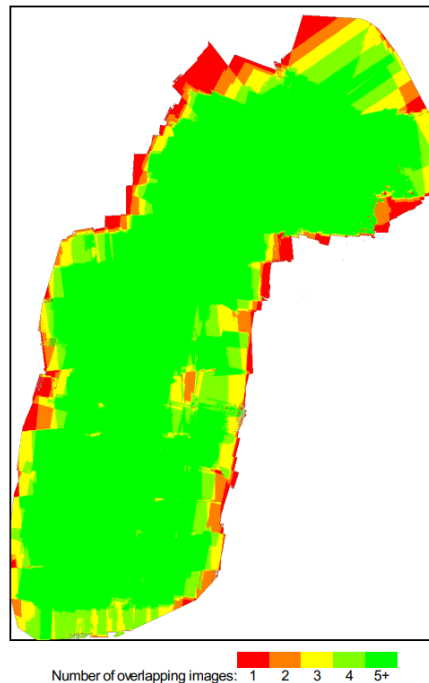


Nota. En la figura anterior se puede observar diversas imágenes tomadas por el dron durante el recorrido programado para el respectivo levantamiento.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	173 de 206

Figura 31.

Número de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel del ortomosaico.



Nota. En la figura anterior se puede observar las áreas rojas y amarillas, las cuales indican una superposición baja, lo que puede generar resultados deficientes. Las áreas verdes indican una superposición de más de 5 imágenes por cada píxel. Se generarán resultados de buena calidad siempre que el número de coincidencias de puntos clave también sea suficiente para estas áreas.

La realización del levantamiento fotogramétrico constituyó una actividad de gran valor dentro de la práctica empresarial, ya que permitió aprender como se realiza una caracterización precisa de un área de estudio mediante la generación de productos cartográficos de alta precisión, aportando una visión diferente en los proyectos que enriqueció el análisis técnico. Esta actividad representó un beneficio significativo al fortalecer las competencias en el manejo de tecnologías

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	174 de 206

UAV, planificación de vuelos, procesamiento fotogramétrico y análisis digital del terreno, habilidades altamente demandadas en el ejercicio profesional de la ingeniería civil.

Cálculo de cantidades de formaleta, casetón y concreto para el proyecto Mantris Gold

Durante el desarrollo de la práctica profesional en la empresa INGESUELOS JB S. A. S, participé activamente en el proceso de cómputo y verificación de las cantidades de formaleta metálica, casetón y concreto requeridas para la placa aligerada de cimentación del proyecto Mantris Gold (edificación de catorce niveles). La metodología seguida fue de carácter sistemático y se orientó a garantizar trazabilidad y coherencia con los planos estructurales. Las principales actividades desarrolladas incluyeron la revisión de planos estructurales, cálculo de la cantidad de formaleta necesaria para muros de carga y columnas, el cálculo volumétrico neto de concreto para la placa de cimentación, aplicando las fórmulas geométricas correspondientes, y la determinación del área y perímetros necesarios para el encofrado.

Como resultado de la actividad de cálculo de cantidades de formaleta, casetón y concreto para la edificación de catorce niveles del proyecto Mantris Gold, se obtuvo una cuantificación precisa y organizada de los volúmenes y áreas requeridas para la ejecución estructural del proyecto.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	176 de 206

- Área total de formaleta metálica utilizada para los muros de carga.

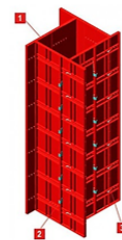
Figura 33.

Plantilla usada para el cálculo de la cantidad de formaleta.

	Cantidades de Formaleta						
	Tramos [N°]	Largo [m]	Ancho Panel [m]	N° Paneles	N° Paneles Totales	Longitud abarcada	Restante
1		0,40	0,40	1,00	1	0,4	0,00
		3,95	0,60	6,58	7	4,2	0,25
		3,55	0,60	5,92	6	3,6	0,05
2		4,49	0,60	7,48	8	4,8	0,31
		3,69	0,60	6,15	7	4,2	0,51
3		10,75	0,60	17,92	18	10,8	0,05
		3,15	0,60	5,25	6	3,6	0,45
		1,90	0,60	3,17	4	2,4	0,5
		1,90	0,60	3,17	4	2,4	0,5
4		1,80	0,60	3,00	3	1,8	0,00
		3,29	0,60	5,48	6	3,6	0,31
		2,89	0,60	4,82	5	3,0	0,11
5		0,40	0,40	1,00	1	0,4	0,00
		2,38	0,60	3,97	4	2,4	0,02
		2,38	0,60	3,97	4	2,4	0,02
6		0,40	0,40	1,00	1	0,4	0,00
		2,38	0,60	3,97	4	2,4	0,02
		2,38	0,60	3,97	4	2,4	0,02
7		0,40	0,40	1,00	1	0,4	0,00
		2,38	0,60	3,97	4	2,4	0,02
		2,38	0,60	3,97	4	2,4	0,02

Altura [m]	1,2
Total paneles de 0,60 m	98
Total paneles de 0,40 m	5

Altura [m]	3,6
Total paneles de 0,60 m	294
Total paneles de 0,40 m	15



	Cantidad de Formaleta						
	Columna [N°]	Largo [m]	Ancho Panel [m]	N° Paneles	N° Paneles Totales	N° de Caras	Total
1C		1,20	0,60	2,00	2	2	4
		0,60	0,60	1,00	1	2	2
2C		1,20	0,60	2,00	2	2	4
		0,60	0,60	1,00	1	2	2
3C		1,20	0,60	2,00	2	2	4
		0,60	0,60	1,00	1	2	2
4C		1,20	0,60	2,00	2	2	4
		0,60	0,60	1,00	1	2	2
5C		1,20	0,60	2,00	2	2	4
		0,60	0,60	1,00	1	2	2

Altura [m]	1,2
Total paneles de 0,60 m	30

Total paneles de 0,60 m	324
Total paneles de 0,40 m	15

Nota. En la figura anterior se puede observar las dimensiones (largo y ancho) necesarias para el cálculo de la cantidad de paneles para el encofrado de muros y columnas.

- Sistematización de las dimensiones de los casetones a implementar para el aligeramiento de la placa de cimentación para el proyecto.

Figura 34.

Dimensiones de los casetones para el aligeramiento.

Tramo	Cantidad	Casetón			
	Nº	[Ancho x Largo]			
1	2	0,85x0,72	4	6	0,90x3,59
	14	0,90x0,72		1	0,27x3,59
	1	1,27x0,72		2	0,95x3,59
	1	0,65x0,72		3	0,70x3,59
	1	0,55x0,72		2	0,85x3,59
	1	0,15x0,72		1	0,55x3,59
	1	0,69x0,72		5	0,90x3,54
2	15	0,90x3,00	5	1	0,20x3,54
	1	0,79x3,00		10	0,90x4,61
	2	0,70x3,00		1	0,27x4,61
	1	0,55x3,00		1	0,95x4,61
	1	0,20x3,00		1	0,70x4,61
	1	0,74x3,00		1	0,90x4,35
				1	0,55x4,23
3	11	0,90x2,72	6	1	0,90x4,03
	1	0,27x2,72		1	0,90x3,86
	1	0,47x2,72		1	0,90x3,69
	1	0,70x2,72		1	0,90x3,52
	1	0,55x2,72		1	0,90x3,35
	5	0,90x2,67		1	0,20x3,30
	1	0,20x2,67		1	0,74x7,30
	1	0,74x2,67		12	0,90x1,34
				1	0,90x1,51
				1	0,55x1,63
				1	0,90x1,78
				1	0,90x1,95
				1	0,90x2,12
				1	0,90x2,29
				1	0,90x2,45
				1	0,20x2,62
				1	0,74x2,59

Nota. En la figura anterior se puede observar las dimensiones (ancho y largo) de los casetones a implementar para el aligeramiento de acuerdo a las medidas del plano estructural.

- Cálculo de los volúmenes parciales y totales de concreto, considerando las variaciones entre elementos estructurales para la placa de cimentación aligerada.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	178 de 206

Tabla 19.

Cálculo de cantidades de concreto.

Cantidad de Concreto a 0,45 m - Losa Aligerada	
Largo losa [m]	24,87
Ancho losa [m]	18,20
Espesor losa [m]	0,45
Volumen de la losa [m3]	203,69
Desperdicio [m3]	5%
Total concreto [m3]	213,87

Cantidad de Concreto a 0,85 m - Losa Aligerada	
Area total Vigas y Viguetas [m2]	177,20
Espesor Vigas y Viguetas [m]	0,85
Volumen de Vigas y Viguetas [m3]	150,62
Desperdicio [m3]	5%
Total concreto [m3]	158,15

Total concreto - suma [m3]	372,02
----------------------------	--------

Mixer	
Capacidad [m3]	9
Nº de Mixer a utilizar	42

41,34

	Cantidad		Vigas y Viguetas	Area Unitaria	Area Total
	Nº		[Ancho x Largo]	[m2]	[m2]
VIGAS	1		0,50x24,96	12,48	12,48
	1		0,50x24,82	12,41	12,41
	2		0,50x24,87	12,44	24,87
	4		0,50x18,20	9,10	36,40
	1		0,50x18,28	9,14	9,14
VIGUETA	18		0,25x18,20	4,55	81,90

177,20

Nota. En la figura anterior se puede observar los cálculos realizados, implementando una hoja de Excel con fórmulas programadas para poder determinar la cantidad de concreto necesario para la placa.

La utilización del archivo Excel permitió sistematizar la información, disminuir el riesgo de errores y agilizar el proceso de cálculo, facilitando la verificación de cantidades y la comparación entre diferentes alternativas constructivas. Estos resultados fueron entregados al ingeniero jefe para la comprobación de resultados y posterior planificación operativa.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	179 de 206

Figura 35.

Asistencia al lugar del proyecto.



Nota. En la figura anterior se puede observar el colado del concreto para la placa de cimentación del proyecto del edificio Mantris Gold.

La ejecución de esta actividad adicional representó un aporte significativo para el crecimiento profesional, debido a que fortaleció competencias esenciales en la estimación y control de cantidades de obra, procesos fundamentales dentro de la planificación y gestión de proyectos de construcción. La participación en el cálculo de formaleta, casetón y concreto, apoyado en herramientas digitales como Excel, permitió comprender con mayor claridad la relación entre el diseño estructural y la optimización de recursos. Asimismo, esta experiencia contribuyó al desarrollo de un criterio técnico más sólido, a la mejora en la interpretación de planos y al manejo

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	180 de 206

preciso de datos, consolidando habilidades clave para su desempeño futuro como ingeniero civil en proyectos de mediana y gran escala.

Ensayo de esclerometría

Otra actividad realizada durante la estancia en la empresa fue el ensayo de esclerometría en los elementos estructurales de la edificación perteneciente a la Institución Educativa Nuestra Señora de la Merced – Sede Varones Patricio Villamizar, ubicada en el municipio de Mutiscua, Norte de Santander. El cual tuvo como finalidad evaluar la dureza superficial del concreto mediante el uso del martillo de rebote, con el fin de estimar la resistencia a la compresión de los elementos en estudio y compararlo con la resistencia de diseño especificada para la obra.

Coordenadas del lugar de estudio: 07°17'51.92" N - 72°44'51.97" W

Figura 36.

Área de estudio donde se llevó a cabo el ensayo de esclerometría.



Nota. En la figura anterior se puede observar la ubicación del lugar donde se llevó a cabo el ensayo. Fuente: Google Earth Pro, 2025.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	181 de 206

1) Datos generales del ensayo

- Elemento ensayado: Columnas.
- **Edad del concreto:** 23 años.
- **Resistencia de diseño (f'_c):** 21 MPa.
- **Condición superficial:** Seca y pulida.
- **Orientación:** Horizontal.
- **Equipo:** Love Test, modelo ZC – 3A.
- **Fecha de calibración:** 22/08/2025.

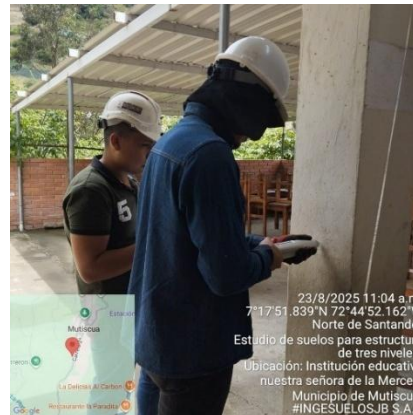
2) Valores de rebote obtenidos

En cada uno de los elementos evaluados (columnas) se registraron un total de 16 impactos por punto de ensayo. Las lecturas atípicas fueron descartadas según el criterio estadístico de desviación respecto al valor promedio. Los valores de rebote oscilaron dentro de rangos considerados representativos para concretos de edad avanzada, evidenciándose variaciones moderadas entre elementos, propias de estructuras con varios años de servicio.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	182 de 206

Figura 37.

Evidencia de la participación en el sitio del ensayo.



Nota. En la figura anterior se puede observar la participación en campo de la realización del ensayo de esclerometría en uno de los elementos estructurales estudiados.

Figura 38.

Datos registrados del Ensayo 1 y 2.

		ENSAYO DE PRUEBA DE CONCRETO POR MEDIO DEL ESCLEROMETRO		FECHA: 23/08/2025 HORA: 11:04 AM																																																																			
PROYECTO: Inge Suelos S.A.S. EMPRESA DE INGENIERIA, ARQUITECTURA Y CONSTRUCCION		DIRECCION:																																																																					
RESUMEN DE DISEÑO:		EDAD:																																																																					
N° DE MUESTRA: 1 DESCRIPCION DE LA UNIDAD: Columna 3				N° DE MUESTRA: 2 DESCRIPCION DE LA UNIDAD: Columna 3																																																																			
<table><tr><th>N° DE LECTURA</th><th>VALOR DE LA LECTURA</th></tr><tr><td>1</td><td>32</td></tr><tr><td>2</td><td>30</td></tr><tr><td>3</td><td>29</td></tr><tr><td>4</td><td>29</td></tr><tr><td>5</td><td>32</td></tr><tr><td>6</td><td>32</td></tr><tr><td>7</td><td>28</td></tr><tr><td>8</td><td>28</td></tr><tr><td>9</td><td>30</td></tr><tr><td>10</td><td>30</td></tr><tr><td>11</td><td>29</td></tr><tr><td>12</td><td>30</td></tr><tr><td>13</td><td>28</td></tr><tr><td>14</td><td>28</td></tr><tr><td>15</td><td>26</td></tr><tr><td>16</td><td>28</td></tr></table>				N° DE LECTURA	VALOR DE LA LECTURA	1	32	2	30	3	29	4	29	5	32	6	32	7	28	8	28	9	30	10	30	11	29	12	30	13	28	14	28	15	26	16	28	<table><tr><th>N° DE LECTURA</th><th>VALOR DE LA LECTURA</th></tr><tr><td>1</td><td>35</td></tr><tr><td>2</td><td>35</td></tr><tr><td>3</td><td>34</td></tr><tr><td>4</td><td>33</td></tr><tr><td>5</td><td>33</td></tr><tr><td>6</td><td>34</td></tr><tr><td>7</td><td>32</td></tr><tr><td>8</td><td>34</td></tr><tr><td>9</td><td>47</td></tr><tr><td>10</td><td>34</td></tr><tr><td>11</td><td>33</td></tr><tr><td>12</td><td>37</td></tr><tr><td>13</td><td>36</td></tr><tr><td>14</td><td>37</td></tr><tr><td>15</td><td>35</td></tr><tr><td>16</td><td>32</td></tr></table>		N° DE LECTURA	VALOR DE LA LECTURA	1	35	2	35	3	34	4	33	5	33	6	34	7	32	8	34	9	47	10	34	11	33	12	37	13	36	14	37	15	35
N° DE LECTURA	VALOR DE LA LECTURA																																																																						
1	32																																																																						
2	30																																																																						
3	29																																																																						
4	29																																																																						
5	32																																																																						
6	32																																																																						
7	28																																																																						
8	28																																																																						
9	30																																																																						
10	30																																																																						
11	29																																																																						
12	30																																																																						
13	28																																																																						
14	28																																																																						
15	26																																																																						
16	28																																																																						
N° DE LECTURA	VALOR DE LA LECTURA																																																																						
1	35																																																																						
2	35																																																																						
3	34																																																																						
4	33																																																																						
5	33																																																																						
6	34																																																																						
7	32																																																																						
8	34																																																																						
9	47																																																																						
10	34																																																																						
11	33																																																																						
12	37																																																																						
13	36																																																																						
14	37																																																																						
15	35																																																																						
16	32																																																																						
OBSERVACIONES: Promedio 29.		OBSERVACIONES: Promedio 34.9																																																																					

Nota. En la figura anterior se puede observar los diferentes datos obtenidos del ensayo uno y dos realizado para las columnas correspondientes.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	183 de 206

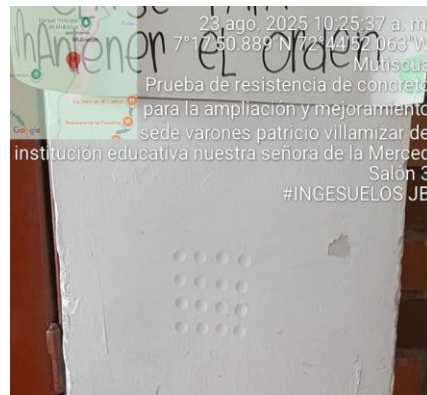
3) Valores medios corregidos

Tras la aplicación de los factores de corrección correspondientes a la orientación del ensayo y condiciones superficiales, los valores de rebote mostraron una tendencia general coherente con la conservación aceptable del concreto. Las correcciones permitieron homogenizar los resultados y asegurar una aproximación más confiable a la resistencia real del material.

- **Columna – Salón 3:**

Figura 39.

Ensayo 1 - esclerómetro.



Lecturas: 32, 30, 29, 29, 32, 32, 28, 28, 30, 30, 27, 30, 28, 28, 26, 28.

Lecturas descartadas: 32, 32, 32, 27, 26, 28.

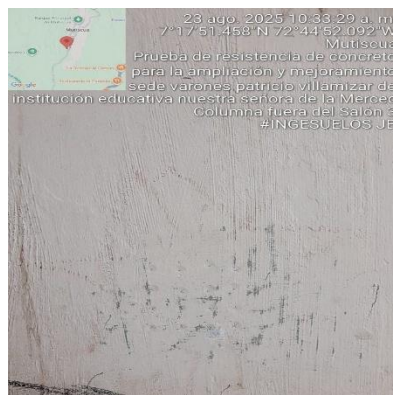
Promedio: 29.

- **Columna – Frente al salón 3:**

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	184 de 206

Figura 40.

Ensayo 2 - esclerómetro.



Lecturas: 35, 35, 34, 33, 33, 39, 32, 34, 41, 39, 33, 37, 36, 37, 35, 32.

Lecturas descartadas: 39, 32, 41, 39, 33, 32.

Promedio: 35.

- **Columna – Salón 2 (fondo izquierdo):**

Figura 41.

Ensayo 3 - esclerómetro.



Lecturas: 30, 28, 29, 29, 31, 27, 27, 28, 32, 28, 28, 30, 31, 30, 31, 31.

Lecturas descartadas: 30, 27, 27, 31, 31, 31.

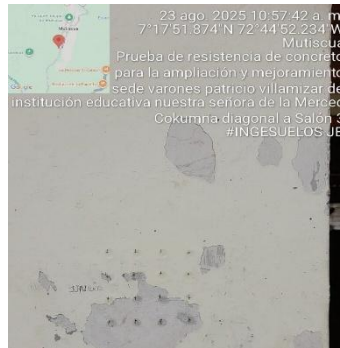
Promedio: 29,3.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	185 de 206

- **Columna – Diagonal a la entrada salón 2:**

Figura 42.

Ensayo 4 - esclerómetro.



Lecturas: 35, 40, 43, 42, 40, 46, 41, 35, 40, 37, 34, 35, 40, 38, 40, 41.

Lecturas descartadas: 35, 43, 46, 35, 34, 35.

Promedio: 40.

- **Columna – Diagonal a la entrada salón 1:**

Figura 43.

Ensayo 5 - esclerómetro.



Lecturas: 31, 35, 39, 34, 32, 34, 31, 30, 40, 39, 36, 40, 56, 60, 58, 56.

Lecturas descartadas: 40, 40, 56, 60, 58, 58, 56.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	186 de 206

Promedio: 34,1.

- **Columna – 2da izquierda entrada (fachada):**

Figura 44.

Ensayo 6 - esclerómetro.



Lecturas: 39, 28, 34, 32, 29, 31, 29, 32, 28, 33, 27, 35, 31, 29, 28, 34.

Lecturas descartadas: 39, 34, 27, 35, 28, 34.

Promedio: 30,2.

Tabla 20.

Datos promedio de los rebotes.

Muestra	Ubicación / Descripción	Índice de Rebote Promedio
1	Columna – Salón 3	29,0
2	Columna – Frente al salón 3	35,0
3	Columna – Salón 2 (fondo izquierdo)	29,3
4	Columna – Diagonal a la entrada salón 2	40,0
5	Columna – Diagonal a la entrada salón 1	34,1
6	Columna – 2da izquierda entrada (fachada)	30,2

Nota. En la tabla anterior se presenta el resumen de los resultados promedios de los rebotes obtenidos durante la ejecución del ensayo.

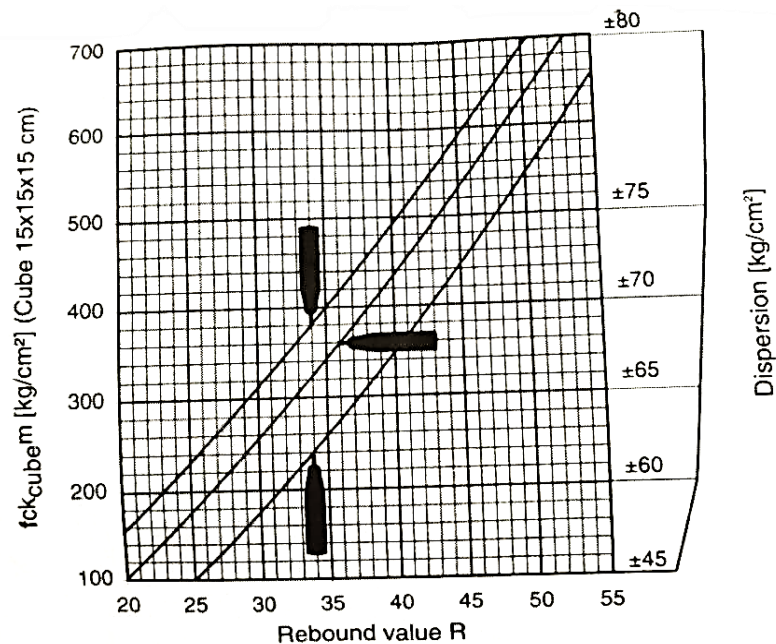
	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	187 de 206

4) Estimación de la resistencia a la compresión

Mediante la correlación entre los valores corregidos y las curvas proporcionadas por el fabricante del esclerómetro, se estimaron resistencias a compresión (f'_c) para cada uno de los elementos. En términos generales, los valores obtenidos se encontraron dentro de rangos compatibles con concretos estructurales típicos empleados en edificaciones institucionales, sin evidenciar reducciones críticas que sugirieran deterioro severo o pérdida notable de la capacidad resistente. Para poder realizar la conversión correspondiente, es necesario implementar la gráfica establecida por el fabricante, la cual se presenta a continuación:

Figura 45.

Curvas de conversión basadas en la resistencia media a la compresión de un cubo y el valor de rebote de R.



	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	188 de 206

Nota. En la figura anterior se presenta la gráfica proporcionada por el fabricante para realizar la conversión de los rebotes a resistencia a la compresión. Fuente: Fabricante.

Tabla 21.

Resume de los resultados obtenidos del ensayo del esclerómetro.

Muestra	Ubicación / Descripción	Resistencia a la Compresión [Kg/cm ²]	Resistencia a la Compresión [MPa]	Resistencia a la Compresión [PSI]
1	Columna – Salón 3	240,00	23,54	3413,60
2	Columna – Frente al salón 3	340,00	33,34	4835,94
3	Columna – Salón 2 (fondo izquierdo)	245,00	24,03	3484,72
4	Columna – Diagonal a la entrada salón 2	430,00	42,17	6116,04
5	Columna – Diagonal a la entrada salón 1	325,00	31,87	4622,59
6	Columna – 2da izquierda entrada (fachada)	250,00	24,52	3555,84

Nota. En la tabla anterior se presenta la resistencia a la compresión obtenida de acuerdo a los promedios de los rebotes en cada elemento estructural estudiado durante el ensayo.

5) Observaciones complementarias

- No se evidenciaron fisuras activas en los puntos de medición que afectaran la lectura.
- El concreto en general exhibe un comportamiento compatible con estructuras escolarizadas construidas con especificaciones tradicionales.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	189 de 206

La realización del ensayo de esclerometría constituyó un aporte significativo al proyecto de grado, al permitir reforzar las competencias en la evaluación no destructiva de estructuras de concreto. Esta actividad complementó la formación adquirida durante la práctica, integrando criterios estructurales necesarios para interpretar la capacidad resistente del concreto en servicio. Asimismo, el análisis de los resultados fortaleció la habilidad para correlacionar datos de campo con normativas y metodologías de diagnóstico estructural, aportando una visión más integral del proceso constructivo y del ciclo de vida de las obras civiles. En conjunto, esta experiencia enriqueció el componente técnico del proyecto de grado, al evidenciar la importancia de la caracterización y verificación del estado de los materiales en la toma de decisiones de ingeniería.

Diseño estructural de vivienda de tres niveles

Otra actividad adicional desarrollada fue el diseño estructural de una vivienda de tres niveles ubicada en el conjunto residencial el Poblado, lote B42, en Pamplona, Norte de Santander, la cual se fundamentó en el procesamiento ordenado de la información arquitectónica y en la modelación computacional mediante el software ProtaStructure. En primera instancia, se llevó a cabo la revisión detallada de los planos arquitectónicos suministrados por el ingeniero jee, verificando dimensiones, distribución espacial, alturas de entrepiso y elementos relevantes para la configuración estructural con supervisión del ingeniero en planta. Posteriormente, se realizó la interpretación de las cargas gravitacionales y las cargas vivas correspondientes según el uso de cada espacio, aplicando las disposiciones normativas establecidas en el reglamento colombiano de construcción sismorresistente (NSR – 10) para edificaciones de este tipo.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	190 de 206

Como resultado del proceso de diseño estructural de la vivienda, se obtuvo un modelo estructural completamente definido y optimizado en el software ProtaStructure, el cual permitió evaluar de manera precisa el comportamiento de la edificación frente a cargas gravitacionales y sísmicas. Se logró generar un modelo 3D coherente con la arquitectura del proyecto, en el que se integraron adecuadamente losas de entrepiso, vigas, viguetas, columnas y cimentación, asegurando la correcta interacción entre los diferentes elementos estructurales.

Figura 46.

Planos arquitectónicos del proyecto.



Nota. En la figura anterior se puede observar las diferentes plantas o niveles con las respectivas distribuciones que conforman el proyecto de construcción de edificación de tres niveles.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	191 de 206

Figura 47.

Modelo generado en el software ProtaStructure.

Estado de Diseño

■	Falla
■	Advertencia
■	Análisis Caducado
■	Ok
■	No Diseñar
■	No Diseñado



Nota. En la figura anterior se puede observar el modelo de la estructura de tres niveles que se realizó con base a los planos arquitectónicos, además de la verificación del cumplimiento de los parámetros técnicos, evidenciándose por el color verde.

Del análisis estructural se realizaron el respectivo análisis de los desplazamientos obtenidos, los cuales fueron validados conforme a los límites establecidos por la NSR – 10. A partir de estos resultados, el software permitió realizar el dimensionamiento y la optimización de las secciones de concreto reforzado, obteniéndose geometrías ajustadas a las exigencias del diseño.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	192 de 206

Tabla 22.

Verificación de la deriva de cada piso - Caso de Carga: Ex+ y Ex-.

Piso	h (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{Max} (m)	Δ_M (m)	Miembro	(Δ_M / h)
Piso: 3	2.700	0.011	0.003	0.016	3C6	$0.006 \leq 0.01$ ✓
Piso: 2	2.700	0.008	0.005	0.028	2C9	$0.010 > 0.01$ ✓
Piso: 1	2.700	0.004	0.004	0.022	1C2	$0.008 \leq 0.01$ ✓

Piso	h (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{Max} (m)	Δ_M (m)	Miembro	(Δ_M / h)
Piso: 3	2.700	0.012	0.003	0.017	3C6	$0.006 \leq 0.01$ ✓
Piso: 2	2.700	0.010	0.005	0.031	2C2	$0.010 > 0.01$ ✓
Piso: 1	2.700	0.004	0.004	0.025	1C2	$0.009 \leq 0.01$ ✓

Nota. En la tabla anterior se puede observar los valores de las diferentes derivas de acuerdo al piso, verificándose del cumplimiento de estas de acuerdo a la normativa NSR – 10.

Tabla 23.

Verificación de la deriva de cada piso - Caso de Carga: Ey+ y Ey-.

Piso	h (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{Max} (m)	Δ_M (m)	Miembro	(Δ_M / h)
Piso: 3	2.700	0.011	0.003	0.016	3C9	$0.006 \leq 0.01$ ✓
Piso: 2	2.700	0.008	0.005	0.028	2C2	$0.010 > 0.01$ ✓
Piso: 1	2.700	0.003	0.003	0.018	1C2	$0.007 \leq 0.01$ ✓

Piso	h (m)	δ_{Max} (m)	Δ_{Max} (m)	Δ_M (m)	Miembro	(Δ_M / h)
Piso: 3	2.700	0.010	0.003	0.016	3C6	$0.006 \leq 0.01$ ✓
Piso: 2	2.700	0.008	0.005	0.027	2C8	$0.010 \leq 0.01$ ✓
Piso: 1	2.700	0.003	0.003	0.017	1C8	$0.006 \leq 0.01$ ✓

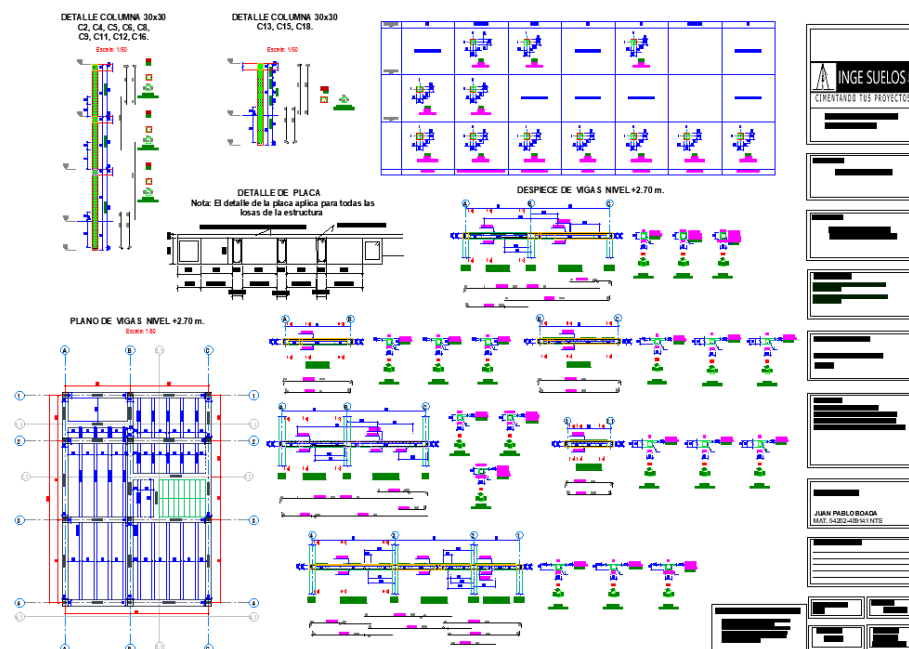
Nota. En la tabla anterior se puede observar los valores de las diferentes derivas de acuerdo al piso, verificándose del cumplimiento de estas de acuerdo a la normativa NSR – 10.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	193 de 206

Asimismo, se realizaron los planos estructurales detallados, incluyendo especificaciones de refuerzo, dimensiones finales y esquemas de armado, los cuales constituyen un insumo fundamental para la etapa constructiva. Finalmente, ProtaStructure produjo los reportes técnicos de cálculo, que documentan el cumplimiento normativo del diseño. Estos productos permitieron cerrar de manera satisfactoria la actividad y evidencian la correcta aplicación de criterios profesionales en el modelado y análisis estructural.

Figura 48.

Planos estructurales del detalle de columnas y plano de vigas del nivel correspondiente.



Nota. En la figura anterior se puede observar algunos detalles de planos estructurales realizados para la construcción del proyecto mencionado anteriormente.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	194 de 206

Conclusiones

La práctica profesional permitió evidenciar la variabilidad geotécnica de los suelos estudiados, reflejada en los valores de resistencia a la penetración obtenidos mediante el ensayo SPT, ejecutado conforme a los lineamientos de la NSR-10 y la norma ASTM D1586. Esta experiencia fortaleció las competencias técnicas en la ejecución, corrección e interpretación de resultados, permitiendo comprender el comportamiento del subsuelo en función de sus características físicas y mecánicas.

La obtención de muestras semi-alteradas y el análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio dados por el equipo de trabajo encargado de la empresa INGESUELOS JB S.A.S o por alguna entidad externa, posibilitaron la adecuada clasificación de los suelos mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), identificándose materiales como arcillas de baja plasticidad (CL), arenas mal gradadas (SP) y arenas arcillosas (SC). Se comprobó que el contenido de finos y las condiciones de humedad influyen significativamente en el comportamiento mecánico de los suelos, aspectos determinantes para la definición del nivel de desplante y el desempeño de las cimentaciones superficiales.

Con base en la información obtenida en campo y el análisis de los resultados, se realizaron los cálculos de capacidad portante mediante la ecuación general de capacidad de carga, cumpliendo con los criterios establecidos en la normativa vigente. La modelación y verificación de las cimentaciones mediante el uso de software especializado como Geo5 y ProtaStructure permitió evaluar esfuerzos, asentamientos y condiciones de estabilidad, garantizando que los diseños preliminares propuestos fueran seguros, eficientes y acordes con las condiciones del terreno. Este

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	195 de 206

proceso evidenció la importancia de la articulación técnica entre el ingeniero geotecnista y el ingeniero estructural en la toma de decisiones de diseño.

Adicionalmente, se brindó apoyo en la elaboración, revisión y validación de informes geotécnicos bajo los lineamientos técnicos de la empresa INGESUELOS JB S.A.S., contribuyendo a la adecuada organización y presentación de la información, así como a la formulación de recomendaciones técnicas para el diseño de cimentaciones y el control del terreno.

En términos generales, el desarrollo de la práctica profesional permitió consolidar criterios técnicos fundamentales para la caracterización del subsuelo y el diseño preliminar de cimentaciones, integrando conocimientos teóricos y prácticos propios de la ingeniería civil. La experiencia adquirida reafirma la importancia de una correcta interpretación de los ensayos geotécnicos como base para garantizar la seguridad, funcionalidad y viabilidad de los proyectos de infraestructura.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	196 de 206

Recomendaciones

Durante el desarrollo de las prácticas profesionales realizadas como auxiliar de ingeniería en el área de geotecnia en la empresa INGESUELOS JB S.A.S., fue posible identificar una serie de falencias en la ejecución de distintas actividades operativas. En este contexto, las recomendaciones presentadas a continuación se orientan a fortalecer los procesos internos de la entidad y a promover una estrategia de mejoramiento continuo, con el propósito de contribuir al incremento de la eficiencia y a la elevación de la calidad técnica de los servicios geotécnicos que la empresa ofrece.

Debido a la falta de algunos conocimientos importantes por parte del personal del área de la geotecnia, se recomienda la capacitación continua, ya que esta constituye un componente fundamental para el fortalecimiento de las competencias técnicas del equipo. Resulta indispensable promover espacios de formación orientados a la interpretación de resultados geotécnicos y al uso de software geotécnico especializado como GeoStudio, Geo5, plaxis 2D, Settle2, entre otros. Estas capacitaciones deben llevarse a cabo teniendo en cuenta los lineamientos establecidos por el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), particularmente en su Título H, así como en los criterios de la norma ASTM D1586. De esta manera, se garantiza que todos los actores involucrados en los proyectos cuenten con conocimientos actualizados y alineados con los estándares técnicos y normativos vigentes.

Durante las practicas se identificó que los informes y estudios previos están almacenados de forma dispersa, dificultando la consulta de los proyectos, por lo que se recomienda establecer un repositorio unificado de informes geotécnicos, mediante la creación de una base de datos interna

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	197 de 206

que consolide estudios previos clasificados por zona, tipo de proyecto y fecha. Esta herramienta permitirá optimizar la consulta de información histórica, agilizar la toma de decisiones en proyectos futuros y mejorar la comprensión regional del comportamiento de los suelos.

Asimismo, se observó que los tiempos de procesamiento de ensayos de laboratorio generan retrasos en la entrega de informes finales, especialmente cuando se gestionan múltiples proyectos simultáneamente, por lo que es necesario optimizar los tiempos de respuesta en la fase de laboratorio, evaluando alternativas logísticas y organizacionales que contribuyan a reducir el plazo de obtención de resultados, especialmente en situaciones donde se gestionan múltiples proyectos de manera simultánea.

Debido a la falta del uso de elementos de protección como el casco protector, se propone fortalecer las prácticas de seguridad en campo, reforzando los protocolos relacionados con la operación de perforaciones, el manejo de equipos, la circulación en obra y la adecuada señalización de las áreas de trabajo. Estas medidas contribuirán a minimizar riesgos y garantizar condiciones seguras para el personal técnico.

Durante las prácticas se evidenció poca articulación entre equipos de campo, laboratorio y oficina técnica, lo cual afecta el flujo de información y, por consiguiente, la calidad del diseño final. Por lo cual, es importante recomendar que se deben establecer reuniones cortas de retroalimentación al finalizar cada jornada o proyecto, compartir perfiles estratigráficos preliminares en tiempo real con la oficina técnica, integrar resultados de laboratorio y SPT en software de modelación estructural para mejorar la coherencia del diseño de cimentaciones. Una

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	198 de 206

adecuada sincronización entre estas áreas garantiza una interpretación más precisa del subsuelo y resultados de diseño más robustos.

Se identificaron vacíos en el manejo de software y en la interpretación normativa, los cuales podrían mejorarse desde la formación universitaria, por lo cual, se recomienda para futuros practicantes documentar diariamente actividades, hallazgos y dificultades; desarrollar habilidades en herramientas como AutoCAD Civil 3D, Geo5, Excel avanzado, QGIS; estudiar correlaciones para parámetros geotécnicos y normativas aplicables (NSR-10, ASTM, NTC, INVIAS) y mantener una comunicación constante con campo y laboratorio.

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	199 de 206

Referencias

Alcaldía Municipal de Pamplona, Norte de Santander. (2025). *Información del municipio de Pamplona*. Pamplona-nortedesantander. <https://pamplona-nortedesantander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>

Alessandro Tombari, Luciano Stefanini, Giovanni Li Destri Nicosia, Liam M.J. Holland, & Marcus Dobbs. (2025). *Geotechnical data-driven Possibility reliability assessment*. ScienceDirect. <https://www-sciencedirect-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S0266352X25002605>

ASTM International. (2022). *Standard test method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel sampling of soils*. Store Astm. https://store.astm.org/d1586_d1586m-18e01.html

Arcus Global. (2017). *Zapatas ¿qué son y cómo se clasifican?* <https://www.arcus-global.com/wp/zapatas-que-son-y-como-se-clasifican/#:~:text=La%20zapata%20es%20una%20cimentaci%C3%B3n,Zapatas%20Flexibles>

Barrios Beltrán, N. D. (2021). *Práctica empresarial en la empresa Alianza Consultora & Ingeniería S.A.S. como auxiliar de ingeniería en el área de Geotecnia*. Noesis Uis. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/75f387f8-18a4-45fd-8ad0-fbfb002f5ea1/content>

Byeong Soo Yoo, Jin Tae Han, & Eomzi Yang. (2024). *Automated geotechnical information extraction from construction boring logs using keyword groups*. ScienceDirect. <https://www-sciencedirect-com.unipamplona.basesdedatosezproxy.com/science/article/pii/S1226798825000649>

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	200 de 206

Boiero, A. (2024). *¿Por qué corregir el número de golpes del ensayo SPT?* Sismica Institute. <https://sismica-institute.com/factores-de-correccion-del-ensayo-spt/#:~:text=Referencias-,%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20ensayo%20SPT?,Figura%201:%20El%20ensayo%20SPT.>

Casimiro Minaya, J. P., Guizado Cotrina Juan Carlos, Pomayay Yaranga, Y., Rocha Quinteros, G., & Yarango Diaz, L. (2020). *Informe Propiedades físicas y químicas del suelo.* uDocz. <https://www.udocz.com/apuntes/103283/informe-propiedades-fisicas-y-quimicas-del-suelo#pf5>

Contreras Cadena, M. (2020). *Asistencia en la ejecución de estudios geotécnicos para proyectos constructivos en la empresa Suelos y Geotecnia S.A.S.* Repository Upb. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/11645>

Cifuentes Rueda, N. L., & Malagón Torres, G. (2018, 2 noviembre). *Software de aplicación para el análisis y diseño estructural de cimentaciones superficiales.* Repository.Udistrital. <https://repository.udistrital.edu.co/items/35105ae7-3a72-46c7-a7d9-edba98e7b74b>

Cori, S., & Henry, E. (2022). *Análisis geotécnico aplicado al diseño de cimentaciones superficiales en viviendas unifamiliares en la zona alta del centro poblado de Jancao del distrito de Amarilis.* repositorio.udh. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3233>

Domínguez Piratova, J. A. (2024). *Pasantía empresarial realizada con la empresa INCONTECH SAS.* Repository Usta. <https://repository.usta.edu.co/items/a6456452-ffb8-40d9-b6c6-c4527ffaba90>

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	201 de 206

Diana. (2017, octubre). *Capacidad portante Tablas para Meyerhof Hansen y Vesic*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/362237046/Capacidad-Portante-Tablas-Para-Meyerhof-Hansen-y-Vesic>

EGC. (2022). *¿Qué contiene un informe geotécnico?* EGC Consulting. <https://egcconsulting.net/que-contiene-un-informe-geotecnico/#:~:text=Un%20informe%20geot%C3%A9cnico%20es%20un,la%20mitigaci%C3%B3n%20durante%20la%20construcci%C3%B3n>.

El Congreso de Colombia. (1997). *Ley 400 de 1997*. Función Pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=336>

E. Bowles, J. (1997). *Foundation analysis and design*. En *Scribd* (5.ª ed.). <https://es.scribd.com/doc/139025162/Foundation-Analysis-and-Design-5th-Edition-Joseph-E-Bowles>

Función Pública. (2023). *Decreto 1077 de 2015 Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Funcionpublica. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216>

Garces Cisneros, H. A. (2016). *Pasantía académica en Geotecnia, efectuada en la empresa Interventoría y Obras en Santander - INTEROBRAS DE SANTANDER S.A.S*. Repositoriospace. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/1677?locale=en>

García Díaz, L. L. (2023). *Apoyo en proyectos geotécnicos, geofísicos y de laboratorios de suelos para la empresa Interobras de Santander S.A.S*. Repositorio Udes. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/7ee7cbec-5ca1-444c-a21c-731ac396796a>

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	202 de 206

Gersango. (2025). *Clasificación de suelos: desde la agronomía a la geotecnia*. InGeododo. <https://ingeododo.com/2025/03/17/clasificacion-de-suelos-desde-la-agronomia-a-la-geotecnia/>

Gil Ariza, J. D. (2018). *Conceptualización de la metodología de un estudio geotécnico definitivo con base en la literatura científica y la normativa legal vigente*. Epository Ucatolica. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3e8aa1d-2784-4abb-9d6e-7ca75f0d3b18/content>

Hector Cardenas. (2024). *Método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de agua (Humedad) de suelos y rocas, con base en la masa*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/758357480/NTC-1495-Humedad-en-Suelos>

López Álvarez, A. C. (2019). *Práctica empresarial como auxiliar en Ingeniería Civil en la empresa INGETER S.A.S, realizando estudios de geotecnia en el departamento de Santander*. Repositorio Udes. <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/cc54f29b-40a1-4494-9e97-2cb9ca849fa1>

Luna Rodríguez, F. J., Leal Vaca, J. C., Torres Chahin, C. N., Rangel Hernández, J. L., Mortera Villalobos, A. M., Chávez Espínola, S. A., & Bárcenas Iraola, B. A. (2021). *Análisis y diseño de cimentaciones superficiales*. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3277/2779>

Luna Rodríguez, F. J., Leal Vaca, J. C., & Alba Barroso, A. M. (2023). *Análisis y diseño de cimentaciones superficiales cargadas excéntricamente*. Jovenesenlaciencia. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4074/3557>

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	203 de 206

Landaez. (2022). *NTC 1522 Ensayo para determinar la granulometría por tamizado*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/559395051/NTC-1522-GRANULOMETRIA>

Lopez Rincon, D. A. (2017). *Ensayo normal de penetración (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/363328869/INV-E-111-13-pdf>

Mecánica Suelos blog (Ed.). (2016). *Propiedades mecánicas del suelo*. Mecanicasuelos Blog. <https://mecanicasuelosblog.wordpress.com/2016/11/07/propiedades-mecanicas-del-suelo/>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente*. Unisdr. <https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Minvivienda. (2023). *Manual de supervisión e interventoría*. https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/gct-m-02_v2_copia_controlada-manual-de-supervision-2023_0.pdf

Medina Rivillas, A. B. (2014). *Informe de práctica final (teorías de capacidad de carga)*. repositorio.elpoli. <https://repositorio.elpoli.edu.co/server/api/core/bitstreams/6003f44c-d5f5-4df9-b8f8-88ed705f535a/content>

Mendez, J. (2020). *Método de ensayo para determinar el corte directo de suelos bajo condiciones consolidadas y drenadas*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/465894387/NTC-1917>

Niño Rios, J. S. (2023). *Acompañamiento de proyectos de ingeniería con enfoque geotécnico en modalidad de prácticas empresariales para la empresa SITELSA S.A.S*. Repositorio

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	204 de 206

Udes. [https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/3b7fdddf-2ce5-406e-9346-](https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/3b7fdddf-2ce5-406e-9346-abf7297ff542)

[abf7297ff542](https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/3b7fdddf-2ce5-406e-9346-abf7297ff542)

PyH Construyendo Soluciones. (2023). *Importancia del estudio de suelos en las obras civiles*. <https://pyhca.com/importancia-del-estudio-de-suelos-en-las-obras-civiles/>

Prota Software. (2025). *ProtaStructure: BIM Structural Analysis for Concrete & Steel*. <https://protasoftware.com/products/protastructure>

Rivera Villamizar, N. C. (2021). *Apoyo en el área de estudios Topográficos y Geotécnicos en diferentes proyectos de ingeniería a cargo de la empresa Suelos y Geotecnia S.A.S*. Repository Upb. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/12434>

Rickatman. (2014). *NTC 1504 Clasificacion de suelos para propositos de ingenieria*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/218425544/NTC-1504-Clasificacion-de-Suelos-Para-Propositos-de-Ingenieria>

Santana Ballesteros, M. A. (2019). *Estudios de suelos aplicados al desarrollo de proyectos geotécnicos y de ingeniería civil*. Repositorio Ucalda. <https://repositorio.ucaldas.edu.co/server/api/core/bitstreams/714b61ba-7ef5-48e1-9c64-595364b99395/content>

Universidad de Pamplona. (2025). *Reglamento Interno de Trabajo de Grado (Programa de Ingeniería Civil, Campus Pamplona)*. Unipamplona. https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_129/recursos/archivos-civil/documentos/06112020/reglamento_tragrado.pdf

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	205 de 206

Victor Hugo Mejia. (2015). *Método de ensayo para la determinación del límite líquido, del límite plástico y del índice de plasticidad de los suelos cohesivos*. Scribd. <https://es.scribd.com/document/257430551/Procedimientos-Para-La-Determinacion>

Vargas Uchuari, L. I., & Rey González, D. A. (2023). *Diseño estructural de un muro de contención, bajo parámetros geotécnicos en estado saturado modelado en software GEO5*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25757>

	Trabajo de Grado Departamento de Ingenierías CAQ.	Código	00
		Página	206 de 206

Apéndice

Apéndice A. Evidencia fotográfica de la participación en los diferentes estudios de suelos ejecutados durante la práctica empresarial.

Apéndice B. Evidencia fotográfica de las muestras de suelo obtenidas en campo para cada estudio de suelo realizado durante la práctica profesional.

Apéndice C. Resultados obtenidos del número de golpes (N – SPT) de cada uno de los estudios realizados durante la práctica profesional.

Apéndice D. Hoja de Excel empleada para la corrección del número de golpes.

Apéndice E. Hoja de Excel empleada para el desarrollo de los cálculos correspondientes al diseño preliminar de las zapatas mediante la ecuación general de capacidad de carga.

Apéndice F. Evidencia fotográfica de algunos informes geotécnicos impresos en las oficinas de la empresa.

Apéndice G. Evidencia de los aportes ingenieriles realizados durante la práctica empresarial.

Cabe resaltar que, para consultar los apéndices mencionados, se debe acceder al enlace correspondiente. Sin embargo, debido a las políticas internas de la empresa, no es posible divulgar la totalidad de los documentos ni otra información sensible relacionada con los estudios realizados.

Link:

<https://drive.google.com/drive/folders/1otHykZQQnyGa3iCUj3oECZUDaPNbFW6Y?usp=sharing>