

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ENSAYOS DE PLACA
DE CARGA IN SITU

DAESSY BIBIANA CIFUENTES CORREDOR
JENNY ALEXANDRA IGUAVITA RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2020

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA ENSAYOS DE PLACA
DE CARGA IN SITU

DAESSY BIBIANA CIFUENTES CORREDOR
JENNY ALEXANDRA IGUAVITA RODRÍGUEZ

PROYECTO DE GRADO EN MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL

DIRECTOR:
ING. JOSÉ RODRIGO MÉNDEZ ZULUAGA
INGENIERO CIVIL
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL
TUNJA
2020

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Tunja, 09 Junio 2020

El presente trabajo investigativo se lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los deseos más anhelados.

A mis padres, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Daessy Bibiana Cifuentes Corredor

Dedico este proyecto de grado principalmente a Dios por permitirme mediante salud, vida y sabiduría culminar mi carrera universitaria.

Para mis padres, Javier Iguavita B y Luz Mery Rodríguez R por su esfuerzo y sabiduría para formarme como una persona de bien y enseñarme el camino de la superación mediante su ejemplo, apoyo emocional y económico.

Para mis hermanos, porque siempre fueron mi inspiración para ser su ejemplo a seguir.

Con amor.

Jenny Alexandra Iguavita Rodríguez.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente, queremos expresar nuestra gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre nuestra vida y a nuestra familia por estar siempre presentes.

Nuestro más grande y sincero agradecimiento al Ingeniero JOSÉ RODRIGO MÉNDEZ ZULUAGA principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, experiencia y colaboración permitió y apoyo el desarrollo del presente proyecto. De igual manera a la Empresa Roymen Ingeniería que nos facilitó sus equipos e instalaciones con el fin de la construcción del prototipo para ensayos de placa de carga in situ.

De igual manera nuestro franco agradecimiento a la Universidad Santo Tomas Tunja, a la Facultad de Ingeniería Civil, a nuestros profesores por transmitirnos sus valiosos conocimientos, los cuales hicieron que pudiéramos crecer día a día como profesionales. Por último, a Jhon Fredy Hernández y José Vargas laboratoristas de la Facultad de Ingeniería Civil por habernos acompañado durante el proceso de obtención de muestras y ensayos de laboratorio de nuestro trabajo de grado. A todos ellos gracias por la paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
1.PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	15
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1. Espacial	16
1.2.2. Temporal	17
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3.1. Pregunta general	18
1.3.2. Preguntas específicas	18
2.JUSTIFICACIÓN	19
3.OBJETIVOS	20
3. 1 GENERAL	20
3. 2 ESPECÍFICOS	20
4.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	21
4.1 ESTADO DEL ARTE	21
4.2 ANTECEDENTES	29
5.MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍA	31
5.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	31
5.2 METODOLOGÍA	31
5.3 MATERIALES	32
5.4 EQUIPOS	33
5.4. 1 Equipos electrónicos	33
5.4. 2 Equipos y herramientas usadas en la construcción del equipo	34
5.4. 3 Equipos o herramientas utilizados para obtención de muestras	35
6.ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	37
6.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO	37
6.1.1 Diseño de prototipo para ensayo de placa de carga in situ	37
6.1.2 Construcción de prototipo para ensayo de placa de carga	40

6.1.2.1 Sistema de aplicación de carga:	40
6.1.2.2 Sistema de vigas de apoyo	45
6.1.2.4 Sistema de medición	51
6.2 FICHA TÉCNICA PROTOTIPO PARA ENSAYO DE PLACA IN SITU	53
6.3 MANUAL DE OPERACIÓN PROTOTIPO PARA ENSAYO DE PLACA DE CARGA IN SITU	54
6.4 GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE PLACA DE CARGA IN SITU CON EL PROTOTIPO	54
6.5 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SITIO DE ESTUDIO	55
6.5.1 Localización	55
6.5.2 Geología de Tunja, Boyacá	55
6.5.3 Exploración geotécnica	58
6.5.4 Ensayos de campo	60
6.5.4.1 Ensayo de penetración (spt)	60
6.5.5 Ensayos de laboratorio	61
6.5.5.1 Contenido de humedad	61
6.5.5.2 Compresión inconfiada	62
6.5.5.3 Gravedad específica	62
6.5.5.4 Granulometría por tamizado con lavado	63
6.5.5.5 Límites de Atterberg	64
6.5.5.6 Relación de fases	65
6.5.5.7 Consolidación	66
6.5.5.8 Corte directo	67
6.5.6 Clasificación de suelo por el sistema unificado de clasificación	68
6.5.7 Perfiles estratigráficos	70
6.5.8 Análisis de resultados	71
6.5.8.1 Análisis de capacidad portante	74
7. CONCLUSIONES	76
8. RECOMENDACIONES	78
9. GLOSARIO	79
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
11. ANEXOS	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Materiales usados en la fabricación el equipo de placa de carga in situ	32
Tabla 2. Dispositivos en el equipo de placa de carga in situ.	33
Tabla 3. Equipos y herramientas usados en el prototipo de placa de carga in situ.	34
Tabla 4. Equipos usados para extracción y adecuación de muestras.	35
Tabla 5. Factores de seguridad de los materiales utilizados en la construcción del prototipo.	39
Tabla 6. Clasificación por el sistema unificado del suelo.	68
Tabla 7. Cálculo capacidad portante por el método de Meyerhof.	75

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Instalaciones laboratorio de geotecnia Universidad Santo Tomás Tunja.	16
Fotografía 2. Taller metalmecánico empresa Roymen Ingeniería.	17
Fotografía 3. Equipo actual con que se realiza el proceso de análisis de carga estática.	22
Fotografía 4. Ensayo de placa de carga.	24
Fotografía 5. Ensayo de placa de carga estático.	29
Fotografía 6. Ensamble interior de la caja.	40
Fotografía 7. Ensamble interior de la caja eje manual.	41
Fotografía 8. Construcción de la caja.	42
Fotografía 9. Fabricación del pistón de aplicación de carga.	43
Fotografía 10. Fabricación de soporte para transformación de desplazamiento.	43
Fotografía 11. Fabricación de orificios del soporte para transformación de desplazamiento.	44
Fotografía 12. Sistema de aplicación de carga.	45
Fotografía 13. Escualizadores verticales y horizontales.	46
Fotografía 14. Fabricación de vigas de apoyo.	46
Fotografía 15. Fabricación de correderas.	47
Fotografía 16. Sistema de vigas de apoyo.	48
Fotografía 17. Fabricación de barrenos helicoidales.	49
Fotografía 18. Fabricación de punta barrenos helicoidales.	50
Fotografía 19. Sistema de anclaje mediante barrenos helicoidales.	51
Fotografía 20. Celda tipo s.	51

Fotografía 21. Indicador digital.	52
Fotografía 22. Deformímetro precisión 0.02 mm.	52
Fotografía 23. Fabricación sistema de medición.	53
Fotografía 24. Exploración geotécnica.	58
Fotografía 25. Extracción de muestra.	59
Fotografía 26. Muestra de la exploración geotécnica.	60
Fotografía 27. Muestras humedad.	61
Fotografía 28. Compresión inconfiada.	62
Fotografía 29. Gravedad específica.	63
Fotografía 30. Granulometría por tamizado con lavado.	64
Fotografía 31. Límites de Atterberg.	65
Fotografía 32. Relación de fases.	66
Fotografía 33. Consolidación unidimensional.	66
Fotografía 34. Corte directo.	67

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de ensayo de placa de carga.	25
Ilustración 2. Esquematzación de la trinchera que se debe conformar en un ensayo de placa de carga para cimentaciones superficiales.	27
Ilustración 3. Diagrama de cuerpo libre para el prototipo de placa de carga in situ.	37
Ilustración 4. Diagrama de cortante generado para el prototipo de placa de carga in situ.	38
Ilustración 5. Diagrama de momento máximo generado para el prototipo de placa de carga in situ.	38
Ilustración 6. Localización de la zona de estudio.	55
Ilustración 7. Localización sitio de estudio en la geología regional de Tunja Boyacá.	56
Ilustración 8. Ensayo de penetración estándar.	61
Ilustración 9. Perfil estratigráfico aproximado de la zona de estudio.	70
Ilustración 10. Localización de las exploraciones dentro de la zona de estudio.	71

RESUMEN

La determinación de la capacidad portante y otras propiedades mecánicas resulta ser uno de los aspectos técnicos más importantes en la ingeniería geotécnica. Por ende, se requiere de un equipo especializado para la obtención de características físicas en el suelo que va a ser estudiado.

En el presente trabajo se lleva a cabo el diseño y construcción de un prototipo para el ensayo de placa de carga in situ bajo condiciones estáticas. Este permite determinar la capacidad de carga última mediante la obtención de curvas esfuerzo-deformación obtenidas con la realización de pruebas en campo y paralelamente determina algunas propiedades de resistencia in situ.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó una caracterización geotécnica de un lote ubicado en el barrio las Quintas de la ciudad de Tunja. Por lo que se ejecutó una serie de exploraciones de tipo manual con toma de muestras. Se proyectaron ensayos de laboratorio tanto de clasificación, resistencia y deformabilidad.

Finalmente se generó una guía para la realización del ensayo, una ficha técnica y un manual de operación del equipo de placa de carga in situ.

Palabras clave: deformabilidad, resistencia, capacidad portante del suelo, esfuerzo.

ABSTRACT

The determination of bearing capacity and other mechanical properties turns out to be one of the most important technical aspects in geotechnical engineering. Therefore, specialized equipment is required to obtain physical characteristics in the soil to be studied.

In this work the design and construction of a prototype for on-site load plate testing is carried out under static conditions. This allows to determine the ultimate load capacity by obtaining stress-deformation curves obtained with field testing and in parallel determines some resistance properties in situ.

For the development of this project, a geotechnical characterization of a lot located in the Quintas neighborhood of the city of Tunja was carried out. So a series of manual type scans were run with sampling. Laboratory tests of both classification, strength and deformability were designed.

Finally, a test guide, a technical data sheet and an on-site load plate equipment operation manual were generated.

Keywords: deformability, resistance, soil supporting capacity, effort.

INTRODUCCIÓN

Una de las finalidades de la Ingeniería Civil es generar y desarrollar proyectos que suplan las necesidades de los clientes prestando un servicio excelente, seguro y confiable. Entre estos se involucra el análisis de las características geológicas, geomorfológicas y topográficas de un lugar. Por ejemplo, la diversidad y variedad de suelos con la aplicación de estudios especializados como ensayos de campo.

Para realizar un reconocimiento geotécnico una alternativa muy favorable resulta el ensayo de placa de carga in situ. Puesto que permite conocer la capacidad portante del suelo en estado natural o compacto. Además, se puede determinar algunas propiedades mecánicas que generan un análisis más profundo del suelo que se va a investigar.

El método normalmente utilizado es el estático el cual consiste en aplicar carga mediante un gato hidráulico usando un camión para dar reacción a este, la carga se aplica sobre una placa circular. Luego se ubica la placa sobre la superficie del suelo para medir los asentamientos obtenidos. Con la realización de este ensayo se pueden obtener diferentes parámetros de los resultados obtenidos como el módulo de balasto o de reacción.

De acuerdo a lo anterior, este trabajo de grado contiene el diseño y construcción de un equipo para la realización del ensayo de placa de carga in situ estático que permite determinar las características de resistencia y deformación del suelo. En este caso se eligió un sector del barrio las Quintas de la ciudad de Tunja como zona de estudio en la cual se desarrolló una exploración geotécnica para llevar a cabo diferentes ensayos de laboratorio determinando las principales propiedades del suelo y simultáneamente se procedió a la construcción del equipo.

Teniendo en cuenta las diferentes investigaciones realizadas sobre temas relacionados con el equipo de placa de carga. Se seleccionó la metodología que uso Ricaldoni¹ y Salazar², con el fin de considerar aspectos fundamentales para el diseño y construcción de un equipo innovador. Teniendo en cuenta que se pretende que el prototipo sea económico, portátil y desarmable. Esta indagación expone la problemática que se presenta, justificación y objetivos, marco referencial, técnico y normativo tanto del ensayo como del equipo. Finalmente, se cuenta con el análisis de resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto generando una serie de conclusiones y recomendaciones.

¹ RICALDONI, Julio. Ensayo de Placa Estático. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://www.fing.edu.uy/ensayo-de-placa-est%C3%A1tico>

² SALAZAR DONIS, Sergio Alfredo. Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática. Guatemala, 2008, p. 85. Trabajo de grado (Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Uno de los ensayos alternativos en la ingeniería geotécnica es el de placa de carga in situ. Ya que permite determinar las propiedades mecánicas del suelo obteniendo la capacidad portante y la deformabilidad de éste en forma directa. Siendo favorable en los procedimientos que se le realizan al suelo para el diseño de cimentaciones.

Según Yepes³, esta prueba consiste en aplicar una carga sobre una placa (generalmente rígida), colocada sobre la superficie del terreno y medir tanto los esfuerzos como las deformaciones producidas. Se utiliza especialmente para comprobar el módulo de deformación de capas de terraplenes y de firmes. El método habitualmente utilizado es el estático, con carga aplicada sobre una placa circular mediante un gato utilizando un camión cargado o una máquina pesada como reacción para el gato. De esta manera comprobar y conocer las tensiones aceptables del terreno y los asentamientos.

En Colombia por falta de conocimiento, iniciativa innovadora y emprendedora la mayor parte de la sociedad no se dedica a la fabricación de prototipos oportunos y novedosos pertenecientes al área de geotecnia. La adquisición de este equipo resulta complicada lo que causa la importación de dichos equipos que son distribuidos por empresas mayoristas. Es importante mencionar que estos equipos son costosos y algunas especificaciones técnicas tanto del ensayo como del equipo no son adecuadas a las requeridas por el cliente.

Con lo anterior se puede expresar que el montaje del equipo de placa de carga in situ comercialmente resulta complejo y con costos demasiado elevados, por este motivo se ve la necesidad de adquirir un equipo práctico y novedoso para la realización del ensayo.

Ante dicha problemática se plantea el diseño y construcción de un equipo innovador, portátil y económico para la realización de ensayos de carga de placa in situ. Teniendo en cuenta que en la actualidad la Universidad Santo Tomás sede Tunja y la región no cuentan con el equipo de carga de placa in situ, generando una debilidad importante en la comunidad universitaria y en el desarrollo del territorio. Evidenciando una falencia referente a ensayos de campo. Por tal motivo, sería indispensable la adquisición de un equipo con características similares que permita fortalecer el proceso de aprendizaje de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil y experiencia en profesionales afines.

³ YEPES PIQUERAS, Víctor. Ensayo de placa de carga. {En línea}. Junio 15 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Espacial

El presente trabajo de investigación se ejecutó en la Universidad Santo Tomas Tunja sede campus ubicada en la Avenida Universitaria Calle 48 No. 1-235 este. En el laboratorio de geotecnia de la Universidad Santo Tomás se solicitaron los equipos para realizar la extracción de muestras del lugar de estudio y se realizaron los ensayos de laboratorio de dichas muestras como se muestra en la fotografía 1. Así como en la biblioteca se realizaron consultas en libros y equipos informáticos.

Fotografía 1. Instalaciones laboratorio de geotecnia Universidad Santo Tomás Tunja.



Fuente: Autor

El proceso constructivo del prototipo de placa de carga in situ se llevó a cabo en el taller metalmecánico de la empresa Roymen Ingeniería ubicada en la transversal 7 #61-15 del Barrio Asís en la ciudad de Tunja Boyacá como se puede evidenciar en la fotografía 2.

Fotografía 2. Taller metalmecánico empresa Roymen Ingeniería.



Fuente: Autor

1.2.2. Temporal

El trabajo de grado se inició a desarrollar desde el momento de la aprobación del anteproyecto por parte del comité de grado, a partir de la revisión bibliográfica y el diseño del equipo placa de carga in situ. Seguido de la compra de materiales para para la construcción de cada uno de los sistemas del equipo.

Inicialmente se fabricaron las piezas del equipo verificando la adecuada funcionalidad, se aplicó la pintura y por último se ensambló el equipo. Además, se realizó una exploración del subsuelo en la zona de estudio y se realizaron una serie de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Por otra parte, se generó un análisis de los resultados obtenidos y se consolidó el libro de proyecto de grado para revisión del director de proyecto obteniendo su aprobación y posterior entrega a la Facultad de Ingeniería Civil en las fechas establecidas.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Pregunta general

¿Cómo aportar a la ingeniería civil en cuanto a progreso y conocimiento teórico práctico en el área de fundaciones, llevando a cabo el uso de información para la elaboración del equipo de placa de carga in situ?

1.3.2. Preguntas específicas

1. ¿En cuanto al diseño del equipo de placa de carga in situ que aspectos se deben tener en cuenta para que en el proceso constructivo no se presenten dificultades e inconvenientes?
2. ¿De qué manera se puede proporcionar información técnico manual del equipo de placa de carga in situ?
3. ¿Cómo brindar información acerca de la correcta operatividad del equipo de placa de carga in situ?

2. JUSTIFICACIÓN

Con la realización del equipo para ensayo de placa de carga se determinan propiedades representativas para el diseño de fundaciones. Como lo es la capacidad de carga in situ, características de deformabilidad y otras de gran importancia en la ingeniería de suelos.

Con el diseño y construcción del prototipo de equipo de placa de carga in situ se busca beneficiar a la comunidad educativa de la Universidad Santo Tomás y a los futuros profesionales e investigadores de las áreas afines.

Con el desarrollo de este prototipo los estudiantes profundizarán los conocimientos en el área de fundaciones permitiendo la realización de prácticas académicas tanto para los estudiantes de la facultad seccional Tunja; como para las demás sedes de la universidad. Este proyecto pretende que los estudiantes se motiven, estudien e investiguen sobre temas relacionados al área de los suelos con el fin de obtener reconocimientos para la universidad. Además, profesionales acordes lograrán perfeccionar su labor en el área de geotecnia creando un impacto en la sociedad.

Ya que el montaje actual no resulta viable tanto para la mayoría de profesionales como para los estudiantes, surge la necesidad de diseñar y construir el equipo innovador, portátil, desarmable y económico.

De esta manera la Universidad Santo Tomás sede Tunja además de beneficiar a la comunidad estudiantil podrá prestar servicios a entidades públicas como privadas que requieran de este tipo de ensayos. Ya que se pudo evidenciar que en el departamento de Boyacá el prototipo sería una alternativa nueva y factible comparado con los equipos que se pueden encontrar actualmente.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar y construir un equipo para la realización del ensayo de placa de carga in situ estático; que permita determinar las características resistencia y deformación del suelo.

3.2 ESPECÍFICOS.

1. Ensamblar el equipo de placa de carga in situ en condiciones óptimas teniendo en cuenta la normatividad disponible, así como aspectos económicos, de seguridad y calidad.
2. Realizar una serie de exploraciones en un lote de estudio del barrio las Quintas de la ciudad de Tunja para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo.
3. Desarrollar una guía para la realización del ensayo, así como la ficha técnica y manual de operación del prototipo de equipo de placa de carga in situ.

4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 ESTADO DEL ARTE

Es importante conocer y analizar diferentes estudios relacionados con equipos de ensayos de placa de carga in situ, basados en argumentos sólidos y concisos, con el fin de estabilizar el trabajo de tesis que se pretende desarrollar. De esta manera implementar una metodología o realizar una unión entre las diferentes metodologías que se ajusten al objetivo principal planteado, teniendo en cuenta las dificultades que se tienen en los estudios para considerarlos en el trabajo de tesis.

En primer lugar se tiene que, Devincenzi, Powell, Cruz y Arroyo⁴ generaron una investigación en Enero de 2007 sobre la “Actualidad en el uso de los Ensayos Geotécnicos in situ”, donde presentan contribuciones y evoluciones a los ensayos geotécnicos in situ más usados en los últimos años, destacando el potencial y la importancia de estos ensayos asegurando que los estudios se lleven con solidez, concluyendo que un diseño geotécnico necesita de buenos conocimientos del comportamiento del suelo además de que estos ensayos suministran información útil.

Como se puede apreciar en la fotografía 3 y en relación con el presente trabajo de grado, Salazar⁵ en abril de 2008, desarrolla una “Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática” cuyo objetivo es el mejoramiento de la productividad, automatizando el proceso del ensayo de carga con placa estática. Dado que se requiere de calidad que exige la globalización del mercado.

Como este servicio requiere rapidez y calidad, ve la necesidad de minimizar sus costos y facilitar el proceso del ensayo de placa de carga tomando esto como herramienta de oportunidad y competitividad en el mercado. Como resultado la automatización mejorará significativamente en cuanto a la productividad del proceso de análisis de carga con placa, así mismo se satisface la demanda del servicio

⁴ DEVINCENZI, Marcelo; POWELL, John; CRUZ, Nuno y ARROYO ÁLVAREZ, Marcos. Actualidad en el uso de los Ensayos Geotécnicos in situ. En: Revista Digital Del Cedex. N°145 (Enero, 2007); p. 31.

⁵ SALAZAR DONIS, Sergio Alfredo. Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática. Guatemala, 2008, p. 85. Trabajo de grado (Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

debido al aumento de cantidad de análisis por hora; además, al poner en marcha el proceso automatizado propuesto, se practica una mejora continua adquiriendo ahorros de tiempo, optimización de recursos, mano de obra y una mejor rentabilidad.

Fotografía 3.Equipo actual con que se realiza el proceso de análisis de carga estática.



Fuente: SALAZAR DONIS, Sergio Alfredo. Equipo actual para realizar análisis de carga con placa estática. Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática. Guatemala, 2008, p. 85. [Consultado el 15 de Junio de 2019]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4009/1/Sergio%20Alfredo%20Salazar%20Donis.pdf>

Por otra parte, Cortés⁶ desarrolló un “Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos” en Julio de 2010 en Costa Rica con el fin de determinar el coeficiente de balasto ya que es un parámetro importante en el análisis estructural de cimentaciones, esto se logró analizando dos sitios con el objetivo de encontrar repetitividad en los métodos utilizados para determinar el coeficiente de balasto, de igual forma se hicieron comparaciones con métodos expuestos en la teoría ya que se obtienen resultados más sencillos en laboratorio llegando a la conclusión que se puede conocer el

⁶ CORTÉS MENA, Jonathan. Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos. Costa Rica, 2010, p. 118. Trabajo de grado (Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería en Construcción

coeficiente de balasto en el laboratorio y es un motivo para seguir investigando sobre el tema por la facilidad de obtención.

En septiembre de 2010, Ruiz ⁷ trabajó en el “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas”. Principalmente, este trabajo de tesis está dedicado al diseño, fabricación y prueba de un equipo para la ejecución de ensayos de carga axial sobre placa en excavaciones para cimentaciones profundas que permita obtener valores de capacidad portante y relaciones esfuerzo/deformación en condiciones cercanas a condiciones de prototipo. Finalmente, Ruiz observa que las mediciones del ensayo de carga en cimentaciones profundas tienen un interés especial debido a que se obtienen valores más apropiados que los resultantes de suposiciones, correlaciones y extrapolaciones utilizadas en la práctica corriente.

Siguiendo, Valencia, Lara y Camapum,⁸ en Agosto 24 de 2011 en Medellín Colombia estudiaron las “Aplicaciones adicionales de los resultados de pruebas de carga estáticas en el diseño geotécnico de cimentaciones” y expusieron que los resultados de las pruebas de carga suministran informaciones significativas para el diseño; evaluando niveles de carga para detallar la carga de servicio y las características de deformabilidad del suelo concluyendo que las propuestas de los resultados de las pruebas deben ser detalladas con una mayor base de datos incluyendo resultados de otras regiones de Suramérica.

Desde otra perspectiva Cruz⁹ desarrolló un estudio en el año 2011 sobre la “Estimación de deformaciones de rellenos técnicos bajo los cimientos a partir de la correlación de pruebas IN SITU” en Cuba como se puede apreciar en la fotografía 4 donde el objetivo era reducir al mínimo el desarrollo de pruebas de placa cargada por lo costosas que resultan, de igual manera plantea un instrumento práctico para evaluar las deformaciones que se provocarán en el suelo. Los datos utilizados son obtenidos a través de la relación de los resultados de los ensayos de Prueba de

⁷ RUIZ ÁLVAREZ, Jaime Alberto. Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas. Medellín, 2010, p. 66. Trabajo de grado (Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Escuela de Ingeniería Civil.

⁸ VALENCIA GONZÁLEZ, Yamile; LARA VALENCIA, Luis Augusto y CAMAPUM DE CARVALHO, Jose. Aplicaciones adicionales de los resultados de pruebas de carga estáticas en el diseño geotécnico de cimentaciones. En: Revista DYNA. Vol.79, N° 175 (Agosto, 2011); p. 182-190.

⁹ CRUZ MENDEZ, Yuri Jesús. Estimación de deformaciones de rellenos técnicos bajo los cimientos a partir de la correlación de pruebas “IN SITU”. {En línea}. Junio 15 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Cruz_Mendez_GEO5-P2.pdf

Placa Cargada PLT y la Prueba de Control de Compactación, asociando las deformaciones bajo una placa de ensayo. Cruz concluye que al realizar un buen control de compactación en los suelos se logra reducir el número de pruebas de placa cargada en cada obra además apreciar las deformaciones en obras que no puedan ser sometidas a ensayos de carga.

El 7 de febrero de 2014, Yepes¹⁰ continúa hablando sobre el “Ensayo de placa de carga” donde público que este es uno de los ensayos “in situ” llevados a cabo para realizar un reconocimiento geotécnico. La ejecución de la prueba resulta imprescindible para la comprobación de la capacidad portante de un suelo en función de su estado natural o como consecuencia de una determinada compactación y consiste en aplicar una carga sobre una placa generalmente rígida, colocada sobre la superficie del terreno midiendo los asentamientos producidos. Se utilizan con gran profusión para comprobar el módulo de deformación de capas de terraplenes y de firmes. El método habitualmente utilizado es el estático, con carga aplicada sobre una placa circular mediante un gato, utilizando un camión cargado o una máquina pesada como reacción para el gato como se muestra en la fotografía 4.

Fotografía 4. Ensayo de placa de carga.

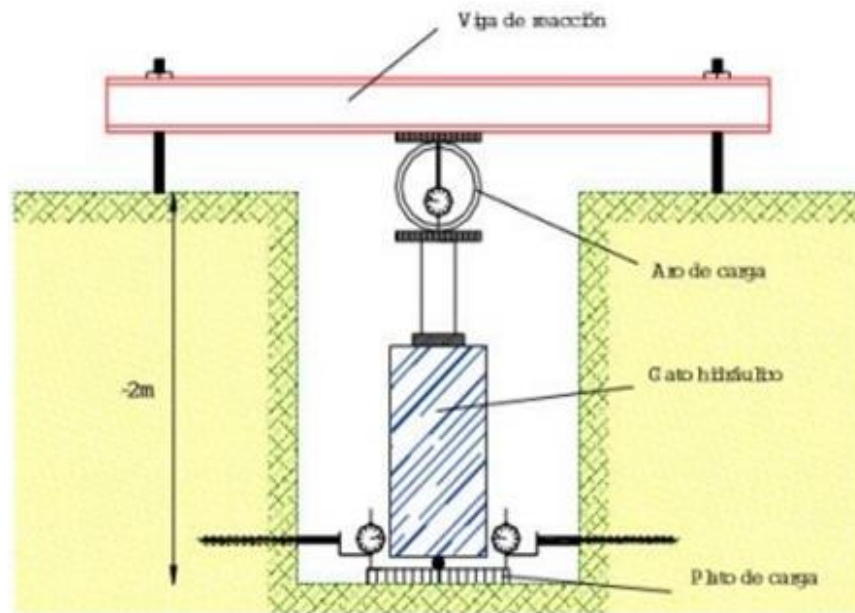


Fuente: YEPES PIQUERAS, Víctor. Ensayo de placa de carga. Ensayo de placa de carga. [Consultado el 15 de Junio de 2019]. Disponible en <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

¹⁰ YEPES PIQUERAS, Víctor. Ensayo de placa de carga. {En línea}. Junio 15 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

De otra manera, Pantoja y Suárez¹¹ desarrollaron el “Estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (k) para suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona de expansión urbana de Cerritos – Pereira” en Enero de 2015, con el fin de estudiar la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (K) el cual es determinado mediante un ensayo de placa de carga como se puede ver en la ilustración 1 ejecutando diferentes pruebas de campo y ensayos de laboratorio para poder definir el tipo de suelo que se estudió, así llegando a la conclusión que la comparación de los datos obtenidos de los dos ensayos de campo (SPT y placa de carga) alcanzó una posible correlación aplicable a los suelos analizados.

Ilustración 1. Esquema de ensayo de placa de carga.



Fuente: PANTOJA ARBOLEDA, Paola Viviana y SUÁREZ SUÁREZ, Jorge Andrés. Esquema de ensayo de placa de carga. Estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (k) para suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona de expansión urbana de Cerritos – Pereira. Pereira, 2015, p. 99. [Consultado el 15 de Junio de 2019]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17135/ESTUDIO%20SOBRE%20LA%20RELACION%20ENTRE%20EL%20ENSAYO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

¹¹ PANTOJA ARBOLEDA, Paola Viviana y SUÁREZ SUÁREZ, Jorge Andrés. Estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (k) para suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona de expansión urbana de Cerritos – Pereira. Pereira, 2015, p. 99. Trabajo de grado (. Estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (k) para suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona de expansión urbana de Cerritos – Pereira). Universidad Libre. Facultad de Ingeniería Civil.

De nuevo en aplicaciones como cimentaciones, Gil¹² realizó una investigación relacionada con “Pruebas de carga en cimentaciones profundas” el 28 de mayo de 2017. Donde se expresa que cada vez son más las obras de cimentación donde las pruebas de carga tienen un papel fundamental en el diseño y la ejecución. Técnicas como la del pilote prefabricado hincado no se observan actualmente, si no van asociados a pruebas de carga dinámicas que permitan verificar los criterios de rechazo adoptados o las longitudes estimadas. El autor concluyó que con las pruebas de carga logramos una mejor comprensión del comportamiento del sistema pilote-suelo, lo que puede permitir una reducción de la longitud del pilote o un incremento en su carga de diseño. Dando lugar a potenciales ahorros en los costos de cimentación.

Una vez más, en cuanto al debido procedimiento, Ricaldoni¹³ el 21 de Agosto de 2018 elaboró un estudio con relación al “Ensayo de placa estático” en Uruguay donde su objetivo primordial era comprobar y conocer las tensiones aceptables del terreno y los asentamientos, realizando la curva carga-asentamiento del terreno aplicando una carga y midiendo el desplazamiento vertical de un punto de la superficie de un suelo sujeto a diferentes periodos de carga concluyendo que la reacción se puede conocer mediante camión cargado afirmado sobre una viga horizontal.

Según Das¹⁴ la capacidad de soporte de carga ultima de una cimentación, así como la capacidad de carga permisible basadas en consideraciones del asentamiento tolerable, se pueden determinar con efectividad a partir de una prueba de carga en campo, que se le refiere por lo general como prueba de carga de placa. Las placas que se utilizan para las pruebas en el campo suelen estar hechas de acero y tienen un espesor de 25 mm y un diámetro de 150 a 762mm. En ocasiones también se utilizan placas cuadradas de 305x305mm.

Para realizar una prueba de carga de placa, se excava un agujero con un diámetro mínimo de $4B_{pp}$ (B es el diámetro de la placa de prueba) hasta una profundidad D_f , que es la profundidad de la cimentación propuesta. La placa se coloca en el centro del agujero y se aplica en pasos una carga que es de aproximadamente un cuarto a un quinto de la carga ultima estimada por medio de un gato hidráulico. En la ilustración 2 se muestra un diagrama esquemático de la configuración de la prueba.

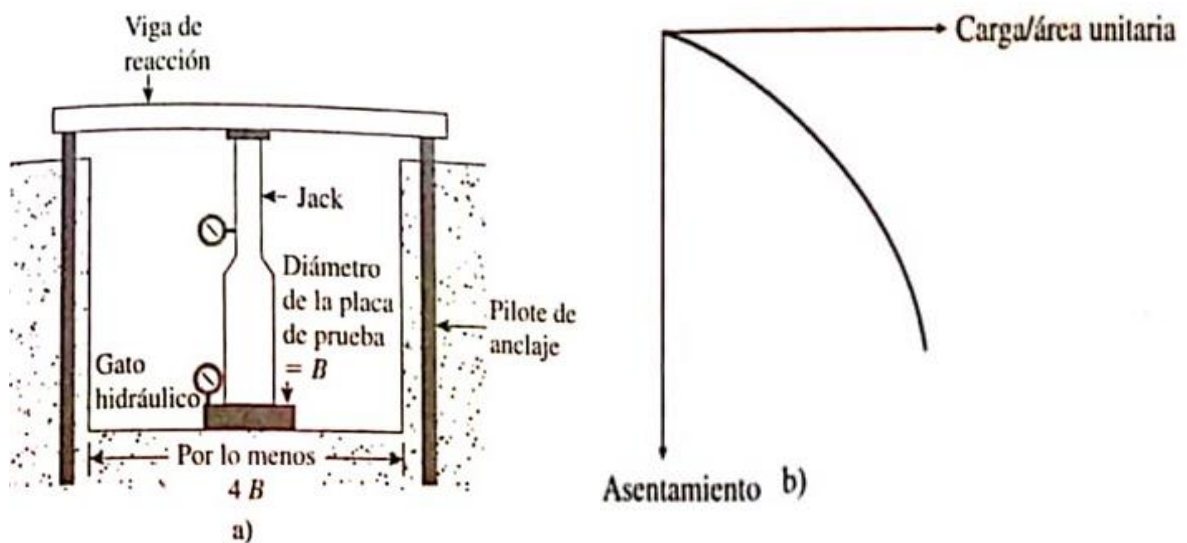
¹² GIL LABLANCA, Rafael. Pruebas de carga en cimentaciones profundas. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://fernandeztadeo.com/Adobe/PRUEBAS%20DE%20CARGA%20EN%20CIMENTACIONES%20PROFUNDAS%20RODIO%20KRONSA.pdf>

¹³ RICALDONI, Julio. Ensayo de Placa Estático. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://www.fing.edu.uy/ensayo-de-placa-est%C3%A1tico>

¹⁴ DAS, Braja. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cuarta Edición. México. Editorial Cengage Learning, 2013. P. 280.

Durante cada paso de la aplicación de la carga, se observa el asentamiento de la placa en medidores de caratula. Se permite que la menos transcurra una hora entre cada aplicación. La prueba se debe realizar hasta la falla, o al menos hasta que la placa se haya asentado 25mm (1 pulgada). En la figura (b) se puede observar la naturaleza de la curva carga- asentamiento obtenida de las pruebas, de donde se puede determinar la carga última por área unitaria.

Ilustración 2. Esquematización de la trinchera que se debe conformar en un ensayo de placa de carga para cimentaciones superficiales.



Fuente: DAS, Braja. Esquematización de la trinchera que se debe conformar en un ensayo de placa de carga para cimentaciones superficiales. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cuarta Edición. México. Editorial Cengage Learning, 2013. P. 280. [Consultado el 16 de Junio de 2019]. Disponible en: https://www.academia.edu/37854899/Fundamentos_de_Ingenieria_Geotecnica_Braja_M_Das

NORMATIVIDAD

Según la norma I.N.V. E-168¹⁵ la cual hace referencia a "Ensayo de placa con carga estática no repetida, para emplear en la evaluación y diseño de pavimentos", menciona que el equipo está constituido por un dispositivo de carga, ensamblaje de gato hidráulico, placa de soporte, diales indicadores y una viga de deflexión.

El dispositivo de carga es un camión, remolque o un tracto-remolque, donde los puntos de apoyo es decir las ruedas deben estar a 2,4 metros de la placa que se está empleando, además la carga muerta debe ser al menos de 11350 kg (25000 lb). El ensamblaje de gato hidráulico debe tener la capacidad para aplicar la máxima

¹⁵ INVIAS. Ensayo de placa con carga estática no repetida, para emplear en la evaluación y diseño de pavimentos. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

carga requerida y un manómetro calibrado que indique la magnitud de la carga aplicada. La placa de soporte está constituida por placas circulares de acero de un espesor de 25,4 milímetros (1 pulgada), con diámetro de 152 a 762 milímetros (6 a 30 pulgadas). También se pueden utilizar placas de aleación de aluminio No.24ST de 38 milímetros (1½ pulgada), lo anterior se puede evidenciar en la fotografía 5.

Los diales indicadores los cuales son los deformímetros deben estar graduados en unidades de 0.02 milímetros (0.001 pulgadas). La viga de deflexión puede ser un tubo de un diámetro de 63,5 milímetros (2½ pulgadas) o un ángulo de acero de 76 x 76 x 6 milímetros (3" x 3" x ¼ pulgadas), debe ser de 5,5 metros de largo y descansar en soportes de 2,4 metros.

Este ensayo es usado para el diseño de estructuras de pavimento y en suelos, bases no cementadas y en materiales de sub-base, para conocer el módulo de reacción de la sub-rasante o la resistencia al corte de las capas del pavimento.

También, la norma ASSHTO T 222-81¹⁶ Indica que los ensayos de placa de carga permiten determinar las características resistencia-deformación de un terreno. Consisten en colocar una placa sobre el suelo natural, aplicar una serie de cargas y medir las deformaciones. El resultado del ensayo se representa en un diagrama tensión deformación.

A partir de este ensayo se pueden obtener numerosos datos entre los que se destacan: Obtención de la capacidad de carga del suelo para un asentamiento determinado, determinación del módulo de reacción o coeficiente de Balasto (K), determinación de las características de la curva carga contra deformación del suelo, obtención del coeficiente de elasticidad del suelo (E), realización de estudios sobre la estabilidad de pavimentos o bases de caminos ya existentes.

Los ensayos de placa de carga permiten determinar las características resistencia-deformación de un terreno. Consisten en colocar una placa sobre el suelo natural, aplicar una serie de cargas y medir las deformaciones. El resultado del ensayo se representa en un diagrama tensión deformación.

A partir de este ensayo se pueden obtener numerosos datos entre los que se destacan:

¹⁶ ASSHTO T 222-81. Ensayo de placa de carga in situ. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://www.cuevadelcivil.com/2017/04/ensayo-de-placa-de-carga.html>

- Obtención de la capacidad de carga del suelo para un asentamiento determinado.
- Determinación del módulo de reacción ó coeficiente de Balasto (K).
- Determinación de las características de la curva carga contra deformación del suelo.
- Obtención del coeficiente de elasticidad del suelo (E).
- Realización de estudios sobre la estabilidad de pavimentos ó bases de caminos ya existentes.

Fotografía 5. Ensayo de placa de carga estático.



Fuente: ASSHTO T 222-81. Ensayo de placa de carga. Ensayo de placa de carga in situ. [Consultado el 16 de Junio de 2019]. Disponible en: <https://www.cuevadelcivil.com/2017/04/ensayo-de-placa-de-carga.html>

4.2 ANTECEDENTES

Teniendo en cuenta, los diferentes artículos investigados y analizando los conocimientos recopilados en cada uno de estos, se evidencia que Europa y Latino América son los lugares en donde más se han llevado a cabo estudios en cuanto a la aplicación, ejecución, actualización y novedades en el ensayo de placa de carga. Se encuentra interesante el aporte de Salazar con su “Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática”, recordando que en el presente proyecto de grado se pretende analizar un prototipo para la realización de ensayos de placa de carga in situ; que permita determinar las características resistencia y deformación en el barrio las quintas de la ciudad de Tunja.

Dicha propuesta realizada por el licenciado, ofrece la información adecuada y los antecedentes apropiados con relación a la presente tesis *“Diseño y construcción de un prototipo para ensayos de placa de carga in situ”*.

Lo anterior basado en la problemática para la ejecución del ensayo de placa de carga estático “in situ” ya que se conoce por medio de la investigación de más artículos relacionados el proceso actual para la realización de dicho ensayo entre estos Yepes con “Ensayo de placa de carga”, Ricaldoni con “Ensayo de Placa Estático”.

Siguiendo, la indagación se dio con investigaciones que se han llevado a cabo a lo largo del tiempo teniendo en cuenta diferentes proyectos ya realizados donde se realiza la toma de datos del ensayo de placa de carga estática para ejecutar diferentes obras como Cruz con “Estimación de deformaciones de rellenos técnicos bajo los cimientos a partir de la correlación de pruebas IN SITU”. También se encontró información sobre los equipos utilizados para la realización del ensayo y diversos ensayos relacionados como Ruiz con “Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas”, e información sobre la actualidad y mejoramiento del ensayo como Devincenzi, Powell, Cruz y Arroyo con “Actualidad en el uso de los Ensayos Geotécnicos in situ”.

Llegando así a concluir sobre los conocimientos acumulados en diferentes indagaciones para beneficio del proyecto de grado planteado.

En el trabajo de grado se tendrá en cuenta la metodología que uso Ricaldoni con su aporte “Ensayo de placa estático”, aunque es importante manifestar que también se consideraran varias metodologías relacionadas como la de Salazar “Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática” cuyo objetivo es el mejoramiento de la productividad. Es importante tener en cuenta que Ricaldoni menciona que usa un camión para generar la reacción, lo que se busca es anular el uso de este para que el equipo sea portátil y sencillo.

5. MATERIALES, EQUIPOS Y METODOLOGÍA

5.1 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El objetivo de esta investigación es dar solución al planteamiento de un problema durante un estudio al cual se logra dar respuesta por medio de sistemas empíricos, críticos y sistematizados donde se cuenta con perspectiva cualitativa y cuantitativa. Para este proyecto se tendrá una orientación cuantitativa en la cual se utilizan métodos de recolección de información para corroborar una hipótesis apoyándose de mediciones numéricas, para que de esta manera la información sea llevada a cabo y así poder evidenciar diferentes conjeturas.

Además, se implementaron análisis exploratorios los cuales se desarrollan cuando la intención es la elaboración de una investigación innovadora donde el problema es escasamente analizado y estudios descriptivos que se desarrollan para conocer propiedades y características de elementos u objetos con el fin de generar un análisis.

5.2 METODOLOGÍA

Para este proyecto se llevó a cabo una revisión bibliográfica e información de diferentes ensayos de placa de carga “in situ” haciendo uso de las bases de datos encontradas en internet para mayor confiabilidad. De igual manera se tomaron referencias en libros relacionados con este tipo de pruebas. Posteriormente se ordenó la información recolectada de las diferentes fuentes teniendo en cuenta información relevante donde no solo se enfocó en aquella con contenido técnico, sino también en contenido relacionado con costos y calidad.

Para el diseño del equipo de placa de carga in situ fue necesario buscar un mecanismo que soporte la carga de diseño que corresponde a 5 toneladas. Este diseño se desarrolló con el fin de solucionar una problemática, donde se tuvo en cuenta criterios de diseño determinados por la norma del ensayo y conceptos de mecánica de materiales puesto que es la ciencia que analiza el comportamiento de los mismos. Es necesario mencionar que para el diseño se tuvieron presentes aspectos tales como seguridad, economía, calidad, portabilidad, utilidad y mantenimiento.

Se desarrolló la construcción del equipo de placa de carga in situ en el taller metalmecánico de la Empresa Roymen Ingenieria que dispone de personal competente e idóneo para actividades referentes al diseño, mantenimiento y construcción de equipos para ensayos de suelos y rocas. Se utilizaron equipos y herramientas para fabricar, soldar y ensamblar las piezas del prototipo. El equipo

contó con un sistema que mide la deformación del suelo tales como un medidor digital, vigas de soporte, caja reductora y barrenos de reacción.

Luego se realizó la exploración del subsuelo en un sector del barrio las Quintas de la ciudad de Tunja empleando los equipos de laboratorio de la Universidad Santo Tomás sede campus, lugar donde se ejecutaron los debidos ensayos de laboratorio con el fin de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

Por último, de acuerdo a los resultados obtenidos se analizaron y se generaron una serie de conclusiones y recomendaciones. Por otra parte, se ejecutó el informe redactado con base al trabajo realizado.

5.3 MATERIALES

Los materiales que se usaron para la construcción del equipo de placa de carga in situ fueron acorde al diseño inicialmente planteado y a la disponibilidad de estos a nivel local estos se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Materiales usados en la fabricación el equipo de placa de carga in situ

MATERIAL	PARTE DEL EQUIPO DE CARGA DE PLACA IN SITU
Acero 41-40	Pistón de aplicación de carga, tubos barrenos helicoidales.
Acero A 36	Barrenos helicoidales, aspas, escualizadores, caja reductora.
Acero Inoxidable 304	Tornillería
Acero perfil en canal 4" Tipo americano	Vigas de apoyo
Acero 10-45	Soporte para la transformación de desplazamiento, soportes para rodamientos.
Angulo espesor 1/4	Correderas
Acero lámina calibre 5/16	Cartelas
Sistema tornillo sin fin	Caja reductora

Soldadura 70-14	Barrenos helicoidales, escualizadores, vigas de apoyo, caja reductora, Cartelas.
Empaque de plomo	Caja reductora
Pinturas anticorrosivas	Equipo
Pinturas	Equipo

Fuente: Autor

De igual manera fueron usados dispositivos electrónicos para el sistema de medición del prototipo que se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Dispositivos en el equipo de placa de carga in situ.

DISPOSITIVOS
Celda de carga (Capacidad 5 toneladas)
Deformímetros analógicos (precisión 0.02mm)
Indicador digital lexus

Fuente: Autor

5.4 EQUIPOS

A continuación, se presenta los equipos electrónicos, los equipos o herramientas utilizadas en la construcción del equipo y los equipos utilizados para la obtención de muestras.

5.4. 1 Equipos electrónicos

- **COMPUTADOR:** Este equipo se utilizó para llevar a cabo la revisión bibliográfica y antecedentes de información relacionada con ensayos de placa de carga in situ, diseño, modelado de equipos y consolidación del libro del proyecto.
- **CÁMARA:** Este equipo se utilizó para obtener registro fotográfico y así generar análisis en las actividades de proceso constructivo del equipo de placa de carga in situ, exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y campo.

5.4. 2 Equipos y herramientas usadas en la construcción del equipo

A continuación, se puede observar la tabla 3 en la cual se describe detalladamente los equipos o herramientas requeridos para la construcción del prototipo diseñado.

Tabla 3. Equipos y herramientas usados en el prototipo de placa de carga in situ.

EQUIPO O HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
Torno italiano mono Fap	Es una herramienta industrial que funciona por medio de electricidad y es utilizada para mecanizar, roscar, cortar, perforar, desbastar, ranurar y cilindrar diferentes piezas. Con este se fabricaron algunas partes del equipo de carga de placa in situ.
Equipo de soldadura Lincoln AC 225 AMP	Es un equipo que funciona por medio de electricidad y es utilizado para la unión de piezas metálicas por medio de la soldadura. Son ideales para la soldadura de uso general como el acero dulce y de baja aleación, aceros inoxidable y hierro fundido. Además, cuenta con elementos complementarios de protección personal como la careta.
Taladro de árbol industrial 5/8" x 13"	Es una herramienta estacionaria que es usada para perforar materiales diversos. Tiene mayor uso en tareas de perforación en serie o de mayor precisión. El proceso de perforación, como en todos los taladros, consiste del arranque de material a través del movimiento giratorio de una herramienta llamada broca. La broca puede variar de acuerdo con el material a trabajar, igualmente el diámetro también depende de esta.
Taladro de rotación industrial 1/2"	El Taladro es una herramienta giratoria a la que se le acopla un elemento al que hace girar y realiza el trabajo. Moverá una broca para hacer agujeros y si le acoplamos un disco o cepillo de alambre este lijará o desbastará la pieza sobre la que se use.
Pulidora industrial de 7"	Herramientas eléctricas cuya versatilidad es importante para pulir salientes o bordes, así como soltar remaches, redondear ángulos, cortar metales, etc.
Prensa de banco 5"	Herramienta de sujeción que se usa como auxiliar en el maquinado en máquinas

	herramientas como los taladros o fresadoras. Se utiliza para sujetar piezas tanto prismáticas como cilíndricas, lo que evita ser sujetadas manualmente evitando accidentes, además hay trabajos que solo se pueden hacer sujetando las piezas a trabajar por medio de esta herramienta.
Brocas para metal	Herramienta de metal que permite hacer orificios circulares en diversos materiales con ayuda de una herramienta mecánica como el taladro etc.
Buriles para Torno	Es una herramienta manual de corte, formada por una barra de acero terminada en punta que sirve para cortar, marcar, ranurar un material.
Compresor de 100 lts 145 psi	Es una máquina, cuyo trabajo consiste en incrementar la presión de un fluido en este caso pintura anticorrosiva
OTROS EQUIPOS O HERRAMIENTAS USADOS	
✓ Calibrador pie de rey ✓ Martillo ✓ Flexómetro ✓ Llaves expansivas ✓ Llaves combinadas en pulgadas ✓ Escuadras ✓ Reglas de medición metálicas	

Fuente: Autor

5.4. 3 Equipos o herramientas utilizados para obtención de muestras

En la tabla 4 se puede encontrar los equipos o herramientas utilizados para ejecutar la exploración geotécnica en la zona de estudio y posterior análisis del suelo. Además, una breve descripción de su función.

Tabla 4. Equipos usados para extracción y adecuación de muestras.

EQUIPO O HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
Pica	Herramienta utilizada para para cavar terrenos, remover materiales sueltos.
Pala	Herramienta manual utilizada para excavar y remover material de un terreno.
Barras	Herramienta usada para la remoción de capa vegetal y suelo orgánico presente.
Hoyadora	Herramienta utilizada para la remoción de materiales sueltos.

Llaves tubo	Herramienta ajustable utilizada para aflojar o apretar piezas.
Pesa	Utilizada para ejercer los golpes en el ensayo de penetración estándar, este se deja caer desde una altura determinada.
Trípode	Equipo constituido por tres patas con la parte superior circular que permite levantar la tubería de perforación con las muestras de suelo sustraídas.
Tubos shelby	Tubo de acero que es usado para la toma de muestras del suelo en ensayos in situ. Permite conservar las propiedades naturales de este.
Equipo de spt	Equipo utilizado para la perforación en la zona donde se va a estudiar el suelo hasta la profundidad deseada para la extracción de la muestra. Donde se incorpora la cuchara enroscada con los tubos.
OTROS EQUIPOS O HERRAMIENTAS USADOS	
✓ Flexómetro ✓ Papel aluminio ✓ Marcador ✓ Cinta ✓ Bolsas plasticas	

Fuente: Autor

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

6.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

El diseño del prototipo para ensayo de placa de carga in situ se llevó a cabo teniendo en cuenta aspectos económicos, técnicos y de calidad. Además, se emplearon aspectos de equilibrio, esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad.

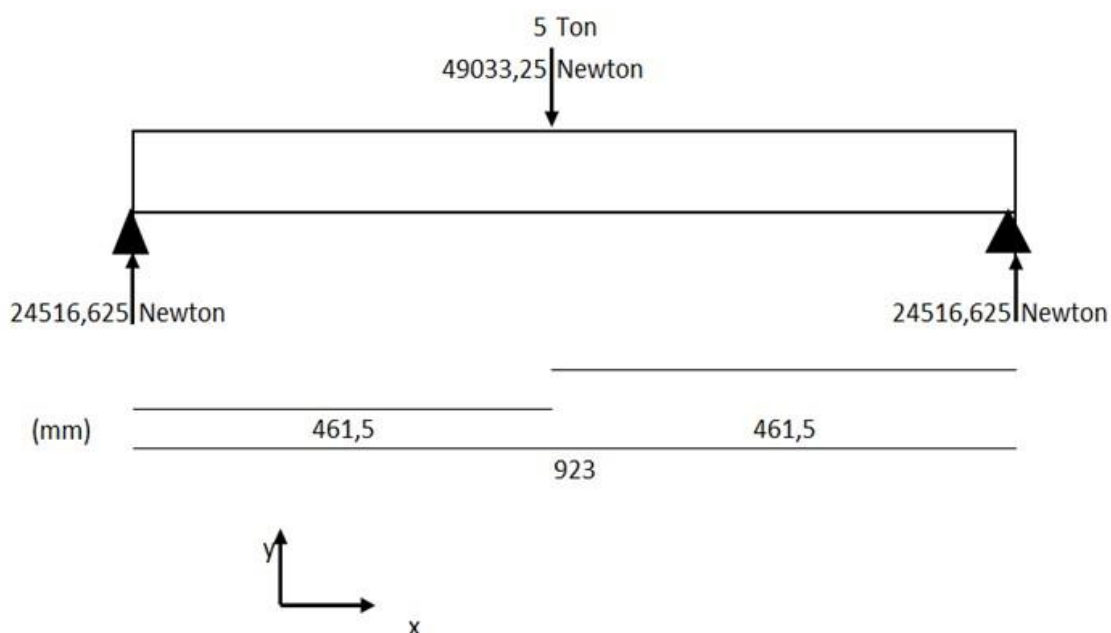
El prototipo cuenta con cuatro sistemas los cuales son los siguientes: Sistema de aplicación de carga, sistema de viga de apoyo, sistema de anclaje mediante barrenos helicoidales y sistema de medición, lo anterior teniendo en cuenta la norma del Invías I.N.V. E-168 y la norma ASSHTO T 222-81.

6.1.1 Diseño de prototipo para ensayo de placa de carga in situ

Es fundamental mencionar que el diseño de este prototipo es de hasta 10 toneladas, aunque se utilizará para 5 toneladas debido al factor de seguridad.

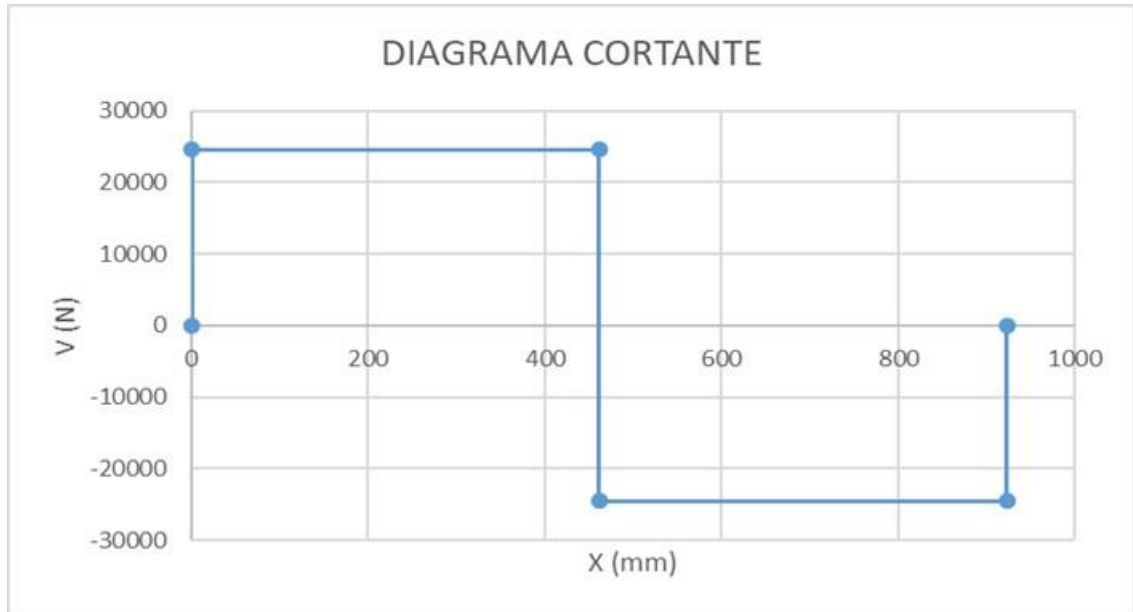
A continuación, en la ilustración 3 se presenta el diagrama de cuerpo libre y en la ilustración 4 y 5 los diagramas de cortante y de momento del prototipo diseñado. Es fundamental aclarar que el peso propio del material no se tuvo en cuenta debido a que este no es significativo al momento de calcular los diagramas.

Ilustración 3. Diagrama de cuerpo libre para el prototipo de placa de carga in situ.



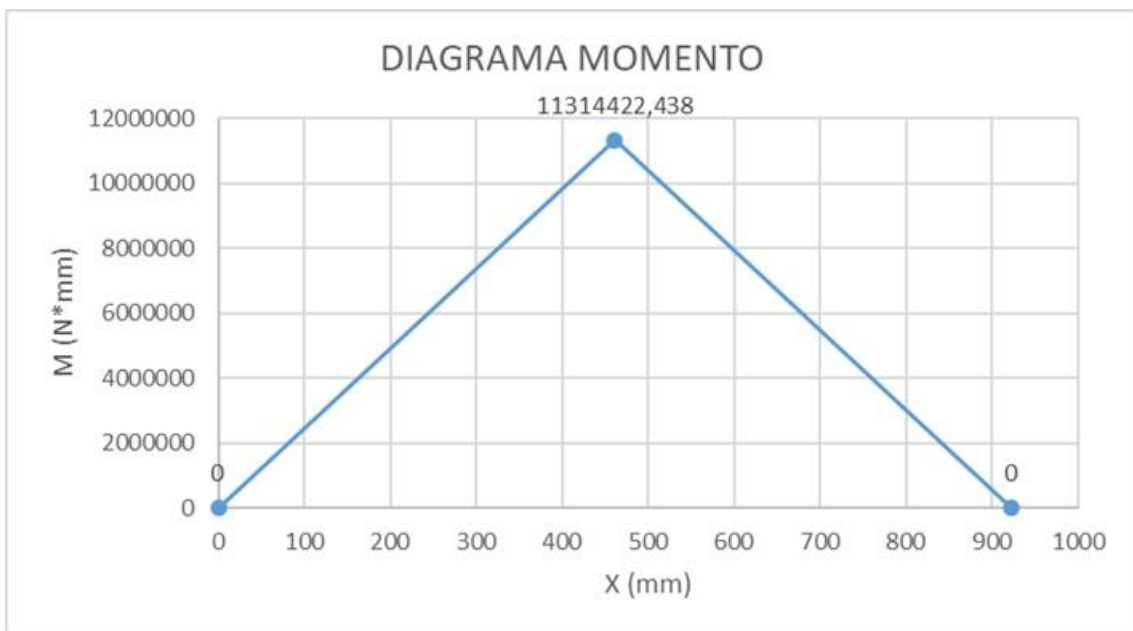
Fuente: Autor

Ilustración 4. Diagrama de cortante generado para el prototipo de placa de carga in situ.



Fuente: Autor

Ilustración 5. Diagrama de momento máximo generado para el prototipo de placa de carga in situ.



Fuente: Autor

De acuerdo a lo anterior, se analizaron los materiales a utilizar en la construcción del prototipo para rectificar los factores de seguridad, ya que este debe tener

factores de seguridad de mínimo 1,5 para que funcione de manera adecuada y con garantía.

En seguida, se presenta los factores de seguridad de los aceros utilizados en la construcción del prototipo, teniendo en cuenta el esfuerzo de fluencia de cada uno de ellos y la carga que se utilizará que será de 5 toneladas (2500 kg).

Los elementos analizados se encuentran en el anexo 1.

Tabla 5. Factores de seguridad de los materiales utilizados en la construcción del prototipo.

ELEMENTO ANALIZADO	MATERIAL	FACTOR DE SEGURIDAD	OBSERVACIONES
Barrenos helicoidales	Acero A 36	5,936	Esfuerzo de fluencia (Fy): 2550 kg/cm ²
Extensiones de los barrenos helicoidales	Acero 41-40	16,2	Esfuerzo de fluencia (Fy): 6000 kg/cm ²
Tornillos 5/16" de caja reductora y barrenos helicoidales	Tornillería 150.000 PSI	2,06	Esfuerzo de fluencia (Fy): 10546,035 kg/cm ²
Tornillos 1/2"	Tornillería 150.000 PSI	5,31	Esfuerzo de fluencia (Fy): 10546,035 kg/cm ²
Tornillos 7/16" de correderas	Tornillería 150.000 PSI	4,04	Esfuerzo de fluencia (Fy): 10546,035 kg/cm ²
Soporte para la transformación de desplazamiento	Acero 10-45	12,16	Esfuerzo de fluencia (Fy): 3161,132 kg/cm ²

Fuente: Autor.

También, se diseñó el prototipo en 3D en el programa de AutoCAD con el fin de realizar una adecuada presentación y para una mejor visualización del manual de operación del prototipo. Este diseño se encuentra en el anexo 8.

6.1.2 Construcción de prototipo para ensayo de placa de carga

La construcción del prototipo se llevó a cabo en el taller metalmecánico de la empresa Roymen Ingeniería, la cual permitió el uso de máquinas, equipos y herramientas para la construcción de las diferentes piezas del prototipo, apoyando económica y profesionalmente. El equipo de placa de carga in situ está conformado por cuatro sistemas los cuales son:

6.1.2.1 Sistema de aplicación de carga:

Constituido por la caja reductora, el pistón y placa de aplicación de carga.

➤ CAJA REDUCTORA:

Para el ensamble de esta, se dispone el sistema de engranaje tornillo sin fin. Compuesto de un tornillo cilíndrico (piñón) de diámetro 43 milímetros y largo de 43 milímetros, que va instalado en el centro de un eje manual que engrana en una rueda cilíndrica conocida como corona con relación de 1/80 con un diámetro de 218 milímetros como se observa en la fotografía 6. Este sistema de engranaje permite la reducción de velocidad, bajo rozamiento, genera un empuje axial elevado por lo que requiere el uso de cojines adecuados para soportar estos esfuerzos. Además de esto, en los extremos de la rosca, se dispondrán los rodamientos con rodillos 30212 de diámetro de pista o exterior de 110 milímetros y diámetro interno 60 milímetros.

Fotografía 6.Ensamble interior de la caja.



Fuente: Autor

El sistema anterior se realizó con el fin de generar el movimiento manual del pistón de aplicación de carga. Ya que los rodamientos se caracterizan por: tener gran capacidad de carga, alta rigidez, reduce la fricción y aumenta la capacidad a carga axial, posee vida útil prolongada y sobre todo son desmontables e intercambiables.

El eje manual con longitud de 510 milímetros cuenta con dos separadores en cada lado realizados con acero A60. En el derecho de 105 milímetros de largo y en el izquierdo de 110 milímetros de largo. Y en el extremo de estos se dispone otro sistema de rodamientos 11910 (19x45x14 milímetros) en la izquierda y 30203 (17x40x13 milímetros) en la derecha como se puede ver en la fotografía 7.

Fotografía 7.Ensamble interior de la caja eje manual.



Fuente: Autor

Para la elaboración de la caja con dimensiones (302x2070x100 milímetros), se utilizó láminas de acero A36 de calibre 3/8 cortadas con pulidora industrial para disco de 9". En seguida se recurrió a herramientas como el taladro y los machuelos roscadores para realizar las roscas internas donde irán los tornillos 5/16 "y así unir las láminas como se puede evidenciar en la fotografía 8.

En la parte superior e inferior de la caja, se dispone de unos soportes porta rodamientos en acero A36 referencia 10-45, donde estos descansaran. Además de contener el orificio en donde se introduce el pistón de aplicación de carga en la caja. Se requiere de tres empaques de papel de plomo en la unión de estas a la caja para dar mayor factibilidad al momento de generar el movimiento interno. Lo anterior también se puede evidenciar en la fotografía 8, dichos soportes son unidos a la caja mediante tornillos 1 ½ pulgadas por 1 pulgada de longitud.

Finalmente, se dispone a ensamblar el sistema interno, es decir el explicado inicialmente y la caja. Esta última, mediante tornillos de 5/16 pulgadas.

Fotografía 8. Construcción de la caja.



Fuente: Autor

➤ PISTÓN DE APLICACIÓN DE CARGA:

Para la elaboración del pistón se usó acero de referencia 41-40 con diámetro $1 \frac{3}{4}$ pulgada. Inicialmente se realizó el roscado de 6 hilos por pulgada lineal en el torno como en la fotografía 9. Este pistón cuenta con una longitud de 950 milímetros.

Al haber roscado totalmente el pistón, fue necesario contar con mano de obra particular para la elaboración de una cuña de $\frac{1}{2}$ pulgada, ya que no se cuenta con los elementos para la realización de esta.

Posteriormente, al pistón roscado se le realizó una perforación en la parte inferior usando el torno. Inicialmente se perforó con una broca piloto para dejar una muestra y así con la broca grande perforar completamente.

Después, se realizó el roscado con un buril triangular para finalmente rectificar con el macho de una pulgada. La perforación cuenta con 1 pulgada de rosca ordinaria de 8 hilos, esto se realizó para unir la celda al equipo y así conocer la capacidad portante última del suelo a estudiar. Es importante mencionar que este sistema es el que permite el transporte de la fuerza generada inicialmente en la manivela.

Fotografía 9.Fabricación del pistón de aplicación de carga.



Fuente: Autor

El pistón fue probado en el sistema de rodamiento para conocer si funcionaba correctamente obteniendo una respuesta positiva.

Finalmente, se fabricó un soporte de desplazamiento con forma de cilindro. Este dispone de un orificio en el centro de diámetro interno $1 \frac{3}{4}$ pulgadas, $2 \frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro exterior y altura de 40 milímetros. Fue realizado con acero 10-45, con ayuda del torno industrial como se observa en la fotografía 10.

Fotografía 10.Fabricación de soporte para transformación de desplazamiento.



Fuente: Autor

Adicionalmente, cuenta con cuatro orificios realizados con ayuda de taladro de árbol y machuelos roscadores para tornillos bristón 5/16 acero inoxidable con rosca ordinaria que serán fundamentales a la hora de ensamblar la pieza. Esto se muestra en la fotografía 11.

Por ultimo, se requirió de la fabricación de una chaveta para cuña de $\frac{1}{2}$ pulgada en su interior con ayuda particular ya que no se cuenta con el equipo que la realiza.

Este soporte es fundamental, ya que con este se genera la transformación del movimiento de rotación ejercido manualmente en desplazamiento lineal del pistón de carga.

Fotografía 11. Fabricación de orificios del soporte para transformación de desplazamiento.



Fuente: Autor

Además, se realizó la fabricación de una placa con acero A 36 calibre $\frac{5}{8}$ de pulgada. Esta de 100 milímetros por 100 milímetros, aunque para el equipo se puede usar otro tipo de placa dependiendo del tipo de suelo. La función de la placa es importante para el prototipo ya que por medio de esta se transmite la carga producida. Esta placa esta atornillada a la celda de medición que es ensamblada al pistón de aplicación de carga.

Finalmente, se aplicó pintura anticorrosiva y pintura amarilla al sistema de aplicación de carga como se ve muestra en la fotografía 12. Antes de este procedimiento se realizó una limpieza y lijado a este sistema con el fin de que la pintura se fijara de buena manera al material. También se instaló una manivela para rotación del sin fin de aluminio con el fin de generar el movimiento rotacional al pistón de aplicación de

carga y unas agarraderas de varilla cuadrada A36 de $\frac{1}{2}$ pulgadas para mayor facilidad al manipular el prototipo como se puede apreciar también en la fotografía 12.

Fotografía 12. Sistema de aplicación de carga.



Fuente: Autor

6.1.2.2 Sistema de vigas de apoyo

Inicialmente se fabricaron los escualizadores, para estos se usó acero en platina 3/8 A 36.

Primero se realizó el molde de la parte superior con un orificio el cual permite que se unan los escualizadores verticales de los barrenos helicoidales con los escualizadores horizontales, estos últimos situados en las vigas de apoyo. Posteriormente se elaboró el roscado en rosca cuadrada usando acero en platina 3/8 A 36. Teniendo estas dos piezas tanto de los escualizadores verticales como los horizontales se marcaron en su centro para luego ser soldados como se puede observar en la fotografía 13 a.

La función de estos escualizadores es permitir el movimiento de los barrenos helicoidales respecto a las vigas, esto con el objetivo de acomodar el equipo al momento de desarrollar el debido ensayo realizándolo de buena manera en los puntos exactos y así obtener valores óptimos. Los escualizadores verticales se enroscan al tubo de barra perforada de acero 41-40 roscado, el cual va unido a los barrenos helicoidales como muestra la fotografía 13 b.

Fotografía 13.Escualizadores verticales y horizontales.

a)



b)



Fuente: Autor

Para la elaboración de las vigas se usó acero perfil en canal 4 pulgadas tipo americano como se muestra en la fotografía 14. Se fabricaron 4 platinas con acero 5/8 A 36 y 4 moldes circulares con barra de 2 ½ pulgadas 41-40 los cuales fueron perforados usando el torno con un diámetro de 1 ¼ pulgada paso de 4 hilos por pulgada lineal, medida correspondiente a la de los ecualizadores horizontales ya que estos van roscados al molde circular. Estas dos piezas se soldaron con el fin de unir los ecualizadores horizontales a la viga.

Para que las vigas funcionen como un mecanismo rígido se soldaron a sus dos lados junto a las platinas.

Fotografía 14.Fabricación de vigas de apoyo.



Fuente: Autor

Además, se realizaron cuatro ángulos y para ello se utilizó un ángulo de acero de espesor $\frac{1}{4}$. Dos de ellos con 250 milímetros de largo y los restantes 273 milímetros de largo. Los ángulos de 273 milímetros se ensamblaron a la caja mediante soldadura y por una cara de los cuatro ángulos fabricados se realizaron unas correderas con ayuda del taladro de árbol.

Posteriormente se realizaron cuatro orificios en la otra cara de dos ángulos con el fin de ensamblar las vigas por medio de tornillos como se muestra en la fotografía 15.

Fotografía 15. Fabricación de correderas.



Fuente: Autor

Se optó también por la fabricación de cuatro riostras, pie de amigo o cartelas de lámina de acero de calibre 5/16 de uso externo cuentan con unas dimensiones de 70x80 milímetros y de uso interno 70x70 milímetros.

Estas con el fin de ser soldadas mediante soldadura 70-40 a los ángulos para garantizar un soporte debido a la alta carga que se le puede llegar aplicar al equipo. Este sistema se idealizó con el fin de poder adaptar las vigas y la caja dependiendo los ensayos.

Por último, se realizó una limpieza y lijado al sistema de vigas de apoyo con el fin de que la pintura se fijara de manera adecuada al material. Posteriormente se aplicó la pintura anticorrosiva y la pintura amarilla para este sistema como se muestra en la fotografía 16.

Fotografía 16. Sistema de vigas de apoyo.



Fuente: Autor

6.1.2.3 Sistema de anclaje mediante barrenos helicoidales

Para la elaboración de los barrenos helicoidales se usaron tubos de barra perforada de alta resistencia correspondientes a 2 pulgadas con calibre de 160 y aspas con acero de lámina 3/16 pulgada de calibre A 36.

Para la fabricación de las aspas de los barrenos helicoidales fue necesario contar con mano de obra particular debido a que no se disponía de los elementos para la construcción de los mismos.

Después de disponer de las aspas estas se soldaron con el tubo de barra perforada para formar los barrenos, para ello se usó soldadura 70-14. Estas aspas de los barrenos helicoidales son esenciales para el equipo de ensayo de placa de carga in situ ya que son las que permiten que se realice la perforación del suelo a estudiar.

Debido a que los tubos de barra perforada de los barrenos helicoidales no se encontraban de igual longitud se decidió cortarlos usando una pulidora como se muestra en la fotografía 17 con el fin de obtener una medida exacta para no tener problemas al realizar el ensayo. Los barrenos helicoidales cuentan con una longitud de 850 milímetros y un diámetro de 35 milímetros.

Fotografía 17. Fabricación de barrenos helicoidales.



Fuente: Autor

Posteriormente, se usó un taladro de árbol para abrir 2 agujeros en los cuatro tubos de los barrenos helicoidales y en cuatro extensiones de barra perforada de acero 41-40, con el fin de unir cada uno de los tubos por medio de tornillos 7/16 pulgadas grado 5 x 2 ½ de longitud.

Las extensiones de barra perforada de acero 41-40 cuenta con una longitud de 605 milímetros y un diámetro de 48 milímetros.

El objetivo de esta unión mediante tornillos es conocer la capacidad portante a diferentes profundidades al realizar el ensayo de placa de carga in situ. Lo anterior, quiere decir que el equipo se puede montar o ensamblar si se pretende desarrollar el ensayo a diferentes cotas sin necesidad de quitar los barrenos helicoidales.

Luego se elaboraron la punta de los barrenos helicoidales en el torno usando acero 10-45. Estas cuentan con una longitud de 38 milímetros con un diámetro de 35 milímetros y la cabeza 30 milímetros con un diámetro de 22 milímetros.

La punta se fabricó tipo trompo ya que la cabeza se debía soldar con el tubo de los barrenos helicoidales, para esto se usó soldadura 70-14. Esta punta de los barrenos helicoidales es fundamental en el equipo debido a que permitirá el inicio de la perforación del suelo. Véase fotografía 18.

Fotografía 18.Fabricación de punta barrenos helicoidales.



Fuente: Autor

Después de haber unido por medio de los tornillos cada tubo de barreno con cada extensión de barra perforada de acero 41-40, se soldó cada uno en la parte superior de las extensiones de barra perforada de acero 41-40 con un tubo de diámetro menor el cual cuenta con una rosca cuadrada donde se une con los escualizadores verticales.

El tubo soldado de barra perforada de acero 41-40 cuenta con una longitud de 199 milímetros y un diámetro de 43 milímetros.

La función de los barrenos helicoidales es generar reacción al instante de realizar el debido ensayo de placa de carga in situ. Además, es fundamental mencionar que los barrenos se unen a las vigas por medio de los escualizadores al ensamblar las partes del equipo para realizar el ensayo mencionado.

Cabe mencionar, que se optó por realizar un sistema con tensores para que a la hora de hacer el ensayo cada uno de los barrenos estén fijos en cada punto establecido.

Por último, igualmente que los anteriores sistemas se aplicó pintura anticorrosiva y pintura negra en el sistema de anclaje mediante barrenos helicoidales como se muestra en la fotografía 19. Realizando una limpieza y lijado a este sistema previamente, con el fin de que la pintura se fijara de manera adecuada al material.

Fotografía 19. Sistema de anclaje mediante barrenos helicoidales.



Fuente: Autor

6.1.2.4 Sistema de medición

El prototipo está diseñado para soportar una capacidad de hasta 10 toneladas aproximadamente ya que el factor de seguridad para este equipo es el óptimo debido que se encuentran sobre 1, pero como se mencionó anteriormente se instaló un sistema de medición para un uso de hasta 5 toneladas. Por ello se requirió de elementos especializados para medir la deformación que genera el suelo como reacción a un esfuerzo aplicado.

El sistema de medición está conformado por:

- ✓ Una celda tipo s que al conectarse al indicador digital presenta las medidas de carga. Véase fotografía 20.

Fotografía 20. Celda tipo s.



Fuente: Autor

- ✓ Un indicador digital marca lexus indicado en la fotografía 21. Este tiene la función de amplificar la señal de las celdas de carga. Cuenta con 2 puntos de corte configurables por teclado, es de alta precisión, fácil instalación y configuración.

Fotografía 21.Indicador digital.



Fuente: Autor

- ✓ Deformimetro analógico con precisión 0,02 milímetros. Véase fotografía 22.

Fotografía 22.Deformimetro precisión 0.02 mm.



Fuente: Autor

- ✓ También se fabricó un barreno helicoidal de 500 milímetros de largo y un ángulo cuya longitud varía entre 600 y 800 milímetros de 2 pulgadas y $\frac{1}{4}$ de espesor en donde se situará el deformímetro analógico con precisión 0.02 milímetros.

El barreno helicoidal es independiente al prototipo y se puede posicionar en cualquier punto donde no se interfiera con la deformación de la placa y la deformación del suelo alrededor. Este es escualizable en su altura mediante una columna deslizante con recubrimiento en cromo de acero 10-45 con desplazamiento de 0 hasta 400 milímetros unida al ángulo por una tuerca de 14 milímetros de diámetro y al barreno mediante un tornillo 7/16 lateral. Lo anterior se puede observar en la fotografía 23.

Fotografía 23. Fabricación sistema de medición.



Fuente: Autor.

6.2 FICHA TÉCNICA PROTOTIPO PARA ENSAYO DE PLACA IN SITU

La ficha técnica se realiza con el fin de dar información fundamental del prototipo a las personas que operen el prototipo de placa de carga in situ o tengan contacto con este.

Esta contiene información como las dimensiones, peso, funcionamiento y el debido uso del prototipo. Además, presenta los elementos de protección que debe disponer el o los operarios. Véase anexo 3.

6.3 MANUAL DE OPERACIÓN PROTOTIPO PARA ENSAYO DE PLACA DE CARGA IN SITU

El manual de operación del prototipo presenta los elementos de protección personal que se debe disponer al realizar el ensayo de placa de carga in situ, además presenta las instrucciones para un adecuado uso del prototipo. Este se encuentra en el anexo 4.

6.4 GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS DE PLACA DE CARGA IN SITU CON EL PROTOTIPO

La guía presenta el objeto, la importancia y uso, los equipos a usar y el procedimiento que se deben tener en cuenta para realizar ensayo de placa de carga in situ. Este se encuentra en el anexo 5.

6.5 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL SITIO DE ESTUDIO

6.5.1 Localización

Se llevó a cabo en la ciudad de Tunja, Avenida Universitaria N° 50-65 Barrio Las Quintas específicamente en las coordenadas 5°33'20.9"N 73°20'48.6"W. En la ilustración 6 se puede observar la localización de la zona de estudio.

Ilustración 6. Localización de la zona de estudio.



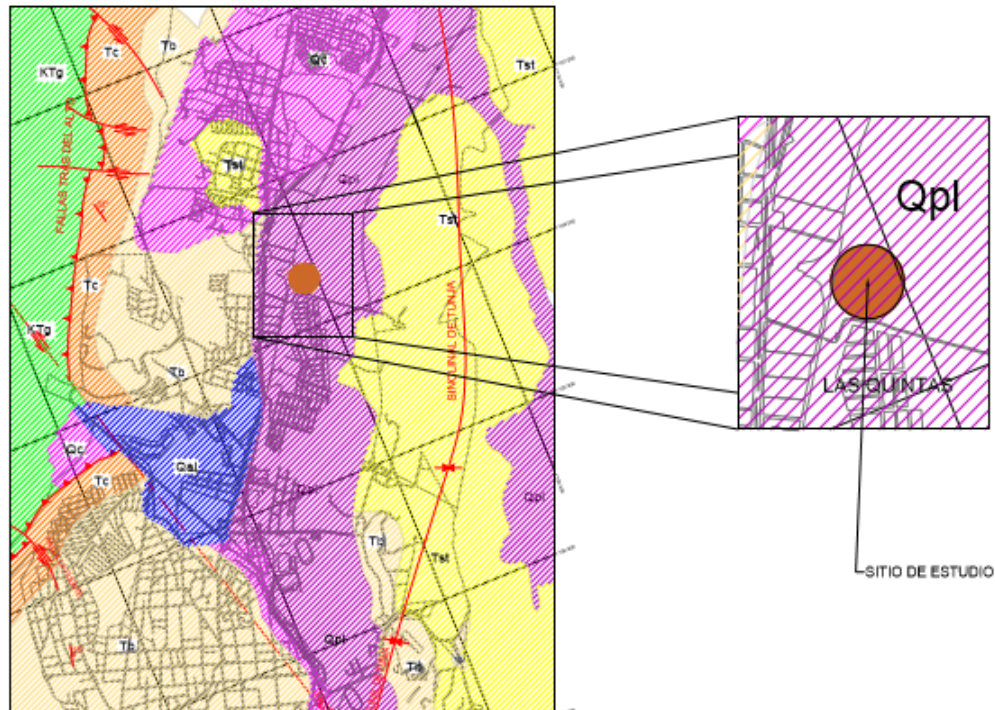
Fuente: Google Maps

6.5.2 Geología de Tunja, Boyacá

La ciudad de Tunja Boyacá está constituida en su geología por la Formación guaduas (Ktg), Guadalupe (Ksg), Bogotá (Tb), Tilatá (Tst) y depósito fluvio lacustre.

El lugar en el que se realizó la exploración geotécnica corresponde al depósito fluvio lacustre donde puede verse afectada por la falla de Tunja y el sinclinal de Tunja que se encuentra en el norte de este depósito. Véase Ilustración 7.

Ilustración 7. Localización sitio de estudio en la geología regional de Tunja Boyacá.



Fuente: Autor

Depósito fluvio lacustre (Qpl)

Los depósitos lacustres se derivan principalmente por ríos y debido a los diferentes factores físicos, químicos, biológicos y condiciones climáticas y geológicas. Estos sedimentos se sitúan a lo largo de los ríos por lo general en la desembocadura donde se generan abanicos aluviales que se expanden al interior del lago. Las gravas y arenas se depositan en los ríos, a diferencia de los limos y arcillas que alcanzan el centro del lago.

Reyes¹⁷ menciona que los sectores planos de los valles de Tunja-Duitama e Iza-Sogamoso pertenecen a cuencas de antiguos lagos, donde la evolución ha sido muy compleja. En el sector terminal del valle de Sogamoso por la erosividad del río Chicamocha se observan los sedimentos lacustres o fluvio lacustres. Según Reyes allí se hallaron restos fósiles de mamíferos dentro de arcillas limosas blandas a una profundidad de 8 metros. Además, se observaron a 4 metros arcilla gris azulosa plástica, luego un horizonte 1.20 metros de gravilla poligénica y 0.60 metros de arena amarilla indicando un periodo fluvial. Sobre este material reposa arcilla amarillenta hasta la superficie del terreno.

¹⁷ REYES, Italo. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso. {En línea}. Diciembre 20 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/31488/1/30666-111049-1-PB.pdf>

Formación guaduas (Ktg)

Según el Ingeominas¹⁸ la formación guaduas está constituida por arcillolitas laminadas a no laminadas, de color gris claro a abigarradas intercaladas de cuarzo arenitas grises, de grano fino a medio y algunas capas de carbón. A lo largo de la secuencia se encuentran restos de hojas y fragmentos pequeños de material vegetal carbonizados. Su espesor es de 700 m considerado para la unidad en cortes geológicos.

Grupo Guadalupe (Ksg)

El Ingeominas menciona que Pérez y Salazar en el año 1978 denominaron Grupo Guadalupe. En la formación guadalupe inferior (Ksgi) está constituida en la parte superior de arcilla limosa y limolita arcillosa gris claro a gris oscuro, areniscas cuarzosas gris claro localmente macizo y con estratificación cruzada. Presencia en la parte media de limonita en capas delgadas, silícea, caolinítica gris claro y arcillolita limosa gris oscuro. En la parte inferior presencia de arenisca cuarzosa gris claro y arcillolita limosa gris oscuro.

La formación Guadalupe Superior (Ksgs) está constituida en la parte superior de arenisca cuarzosa dura a friable de grano medio a grueso gris claro, localmente maciza y con estratificación cruzada. Presencia en la parte media de limolita cuarzosa, silícea en capas delgadas y arcillolita limosa gris oscuro. En la parte inferior presencia de arenisca cuarzosa generalmente maciza de grano medio gris claro y arcillolita limosa gris oscuro.

Formación Bogotá (Tb)

De nuevo el Ingeominas menciona que esta formación se divide en una inferior constituida por una intercalación de arenitas subfeldespáticas a sublitoarenitas de grano medio a fino, color gris verdoso a gris azulado y hacia la base gris marrón. Ocurren lodolitas y arcillolitas interestratificadas, color gris verdoso, con moteado gris claro y en menor proporción gris rojizo. Y una parte superior constituida por arcillolitas y limolitas abigarradas, intercaladas con esporádicas capas de cuarzo arenitas de grano medio a grueso, en capas muy gruesas.

Formación Tilatá (Tst)

Según el Ingeominas afirma que la formación Tilatá está constituida por areniscas conglomeráticas, conglomerados de gravas a cantos bien redondeados, arcillas rojas y capas de turba.

¹⁸ INGEOMINAS. Mapa Geológico del Departamento de Boyacá. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040020044/documento/pdf/0101200441101000.pdf>

6.5.3 Exploración geotécnica

La exploración geotécnica se llevó a cabo en la Avenida Universitaria N° 50-65 Barrio Las Quintas de la ciudad de Tunja. Inicialmente se realizaron cuatros sondeos.

En el primer sondeo se obtuvieron 10 muestras, 5 de ellas muestras alteradas y 5 inalteradas a una profundidad de 5,45 metros. En el segundo sondeo se obtuvieron 4 muestras inalteradas a una profundidad de 2,75 metros. En el tercer sondeo se obtuvieron 3 muestras, 1 de ellas muestra alterada y 2 inalteradas a una profundidad de 2,33 metros. En el cuarto sondeo se obtuvieron 4 muestras, 1 de ellas muestra alterada y 3 inalteradas a una profundidad de 2,75 metros.

Es importante mencionar que también se usó la torre de elevación de tubería para el primer sondeo, sin embargo, es la misma metodología que se va a explicar a continuación, la diferencia es que la torre de elevación es un mecanismo que tiene en su parte superior una polea.

Con la fuerza ejercida y por medio de la cuerda de fique de 1 pulgada que pasa por la polea se hace el desplazamiento de la pesa, siendo de gran ayuda para el esfuerzo generado como se muestra a continuación en la fotografía 24.

Fotografía 24. Exploración geotécnica.



Fuente: Autor

La profundidad de cada sondeo inicialmente debe ser de 90 centímetros a 1 metro, posteriormente se mide el tubo shelby y se coloca el tubo shelby con el tubo guía en el sondeo realizado.

Luego se marca la misma medida del tubo shelby en el tubo guía desde la superficie del suelo y se coloca en el tubo guía el cabezote y la pesa.

Se debe dar golpes con la pesa hasta llegar a la medición marcada inicialmente, lo anterior para tomar la muestra alterada o inalterada.

Después se corta el suelo con la llave de tubo y se extrae cuidadosamente el tubo guía con el tubo shelby con ayuda de un aparato conocido como “burro” como se aprecia en la fotografía 25.

Fotografía 25. Extracción de muestra.



Fuente: Autor

Se realizó el anterior procedimiento en los 4 sondeos, teniendo en cuenta que se debía marcar la profundidad anterior para así marcar la nueva profundidad de muestra.

Se obtuvieron en total 7 muestras alteradas y 14 muestras inalteradas de los 4 sondeos realizados un ejemplo se muestra en la fotografía 26.

Para cada muestra inalterada se debe colocar papel aluminio en los extremos de cada muestra alterada se debe envolver en papel aluminio, esto para que las muestras no pierdan la humedad.

Fotografía 26. Muestra de la exploración geotécnica.



Fuente: Autor

6.5.4 Ensayos de campo

6.5.4.1 Ensayo de penetración (spt)

El ensayo SPT, consiste, en hincar en el terreno con un muestreador de tubo partido mediante golpes realizados con una pesa o martillo hasta llegar al número de golpes necesarios para clavar dicho muestreador.

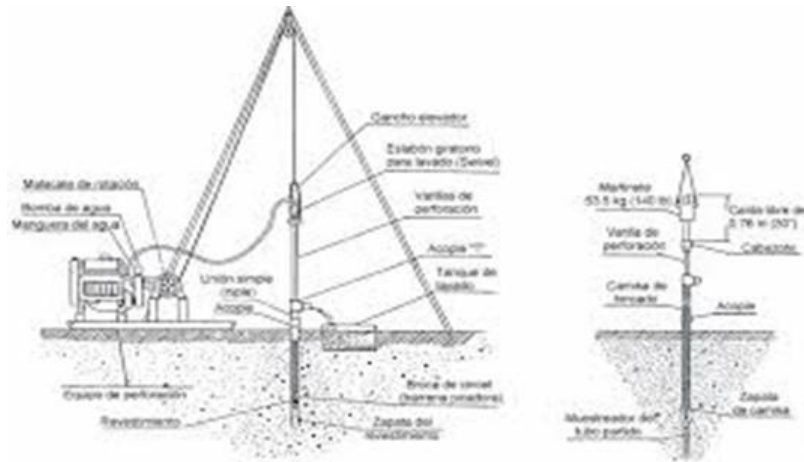
La norma INV E – 111.¹⁹ describe el procedimiento conocido como ensayo normal de penetración (Standard Penetration Test), que consiste en conducir un muestreador de tubo partido dentro del suelo para obtener muestras alteradas representativas, ser identificadas y así medir la resistencia del suelo a la penetración del muestreador. Véase Ilustración 8.

Con la aplicación de este método, se busca obtener muestras del suelo apropiadas para determinar el contenido de humedad, identificación y clasificación del suelo. Además, otros tipos de ensayos apropiados para el estudio del suelo.

Este tipo de ensayos no es apropiado para suelos con gravas, guijarros o cantos rodados, ya que generalmente se obtiene un rechazo y se puede dañar el equipo. Este método, se utiliza generalmente para los proyectos de exploración geotécnica.

¹⁹INVIAS. Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo en suelos con tubo partido. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

Ilustración 8. Ensayo de penetración estándar.



Fuente: INVIAS. Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo en suelos con tubo partido. [Consultado el 21 de Diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.erosion.com.co/>

6.5.5 Ensayos de laboratorio

Con las muestras obtenidas en la exploración geotécnica se desarrollaron los siguientes ensayos:

6.5.5.1 Contenido de humedad

Este ensayo tiene como finalidad determinar el contenido de humedad de una muestra de suelo. El contenido de agua en un suelo es fundamental para determinar las características de este. Por ejemplo, volumen y cohesión. El método tradicional para determinar la humedad del suelo se realiza por medio del secado al horno. Esta se expresa en porcentaje por medio de la relación entre el peso del agua y el peso de partículas sólidas como se observa en la fotografía 27.

Fotografía 27. Muestras humedad.



Fuente: Autor

6.5.5.2 Compresión inconfínada

Según lo descrito en la norma INV E – 152.²⁰ el objetivo principal de este ensayo es determinar la resistencia a la compresión inconfínada de los suelos bajo condiciones inalteradas aplicando una carga axial usando cualquier método de resistencia controlada o deformación controlada como se puede observar en la fotografía 28.

Fotografía 28. Compresión inconfínada.



Fuente: Autor

Además, indica que este es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple.

6.5.5.3 Gravedad específica

La norma, I.N.V.E-128²¹ describe este ensayo como un método por el cual se determina la gravedad específica de los suelos con ayuda de un picnómetro. Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas, a la misma temperatura. Véanse fotografía 29.

²⁰INVIAS. Compresión inconfínada en muestras de suelos. {En línea}. Abril 19 de 2020. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

²¹INVIAS. Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral empleando un picnómetro con agua. {En línea}. Abril 19 de 2020. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

Fotografía 29.Gravedad específica.



Fuente: Autor

6.5.5.4 Granulometría por tamizado con lavado

Este ensayo principalmente tiene como fin identificar cuantitativamente la distribución de material según los diferentes tamaños de partículas de agregados ya sean finos o gruesos por lo general mediante tamices. Antes de esto es importante siempre realizar el procedimiento de lavado de las muestras. Véase fotografía 30.

La norma I.N.V.E -213²² establece que método se usa principalmente para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán utilizados como agregados.

Los resultados se emplean para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados.

Los datos pueden también servir para el desarrollo de las relaciones referentes a la porosidad y el empaquetamiento.

²² INVIAS. Análisis granulométrico de suelos por tamizado. {En línea}. Abril 19 de 2020. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

Fotografía 30.Granulometría por tamizado con lavado.



Fuente: Autor

En este caso solo se realizó el procedimiento de lavado mediante el tamiz N°4 y posteriormente tamiz N°200 ya que las muestras obtenidas no tenían un alto contenido de materia grueso y pasaban directamente al tamiz N° 200

6.5.5.5 Límites de Atterberg

Son ensayos de laboratorio requeridos por norma donde se obtiene los límites del rango de humedad donde el suelo mantiene su estado plástico. Estos permiten clasificar el suelo en la Clasificación Unificada de Suelos.

La norma I.N.V. E – 125 ²³ describe que el límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico.

Según I.N.V. E – 126 ²⁴ el límite plástico, se determina presionando de una manera repetida una porción del suelo húmedo hasta que baje su contenido de humedad y se produzca agrietamiento.

El límite plástico es la humedad mas baja con la cual se pueden formar dichos rollos sin llegar a desmenuarse. Como se aprecia en la fotografía 31.

²³ INVIAS. Determinación del límite líquido de los suelos. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

²⁴ INVIAS. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. {En línea}. Abril 19 de 2020. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

Entonces, el límite líquido, es la humedad del suelo en el límite entre el estado semi-líquido y plástico. El límite Plástico es el contenido de humedad del suelo en el límite entre los estados semi-sólido y plástico.

Y con estos se halla el Índice de Plasticidad el cual es la diferencia entre los límites líquido y plástico, es decir, el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico.

Estos ensayos son fundamentales, ya que permite clasificar el suelo mediante el método aplicado de clasificación unificada.

Fotografía 31. Límites de Atterberg.



Fuente: Autor

6.5.5.6 Relación de fases

El suelo está constituido por diferentes fases como lo son sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida constituida por diferentes minerales, la líquida por agua y la gaseosa principalmente por aire.

La fase sólida constituye un volumen de sólido y entre la fase líquida y gaseosa forman el volumen de vacíos. El suelo estará totalmente saturado si todos los vacíos están ocupados con agua. Véase fotografía 32.

En el laboratorio se determinará las relaciones entre las fases del suelo, la granulometría y los límites de Atterberg. Estas se utilizan para clasificar los suelos, y así poder predecir su comportamiento.

Fotografía 32.Relación de fases.



Fuente: Autor

6.5.5.7 Consolidación

Según la norma I.N.V. E – 151²⁵ Este método se refiere al procedimiento para determinar la rata y la magnitud de la consolidación de muestras de suelos cuando se confinan lateralmente y se drenan axialmente mientras se someten a incrementos controlados de esfuerzo vertical. Véase fotografía 33.

Fotografía 33.Consolidación unidimensional.



Fuente: Autor

²⁵ INVIAS. Consolidación unidimensional de los suelos. {En línea}. Abril 19 de 2020. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

De acuerdo con lo anterior, se procedió a realizar las pruebas de laboratorio con ayuda de los laboratoristas de la facultad de ingeniería civil con las muestras extraídas cargadas axialmente y aumentando la carga constantemente hasta que todo exceso de agua se disipe.

Se tomará nota de las medidas e disminución de la muestra, calculando así la relación entre el esfuerzo efectivo y la relación de vacíos o deformación.

6.5.5.8 Corte directo

Según la norma, I.N.V. E – 154²⁶ el principal objetivo determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo. El ensayo se podrá hacer con un corte sencillo o un corte doble como se muestra en la fotografía 34.

Los resultados del ensayo son aplicables en situaciones de campo, en las cuales ha ocurrido la consolidación completa bajo la sobrecarga existente y se produce lentamente la falla, así que el exceso de las presiones de poros se disipa. El ensayo también es útil para la determinación en el material de la máxima resistencia al corte y de la resistencia residual a lo largo de planos conocidos de baja resistencia.

Fotografía 34.Corte directo.



Fuente: Autor

²⁶ INVIAS. Ensayo de corte directo en condición consolidada. {En línea}. Abril 19 de 2020. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

6.5.6 Clasificación de suelo por el sistema unificado de clasificación

Después de analizar las muestras obtenidas durante la exploración geotécnica, con ayuda de los ensayos de límites de Atterberg y granulometría por tamizado con lavado. Se procedió a realizar la clasificación del suelo por el método de clasificación unificada en la zona estudiada. Dicha clasificación de muestra a continuación en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación por el sistema unificado del suelo.

SONDEO	MUESTRA	PROF. (m)	LL	LP	IP	% # 200	CLASIFICACIÓN
1	1	1,30	30,11	16,67	13,44	81,66	Arcilla ligera con arena con arena de color gris de baja plasticidad
1	2	1,75	45,75	28,61	17,14	95,17	Limo de color gris oscuro de consistencia firme y alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados
1	4	2,64	55,20	32,19	23,02	95,15	Limo elástico de color gris claro y amarillo de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados
1	7	4,4	50,25	27,45	22,81	88,42	Arcilla densa de color gris oscuro de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados.
1	9	5,0	58,26	30,57	27,69	97,75	Limo elástico de color gris claro y amarillo de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados

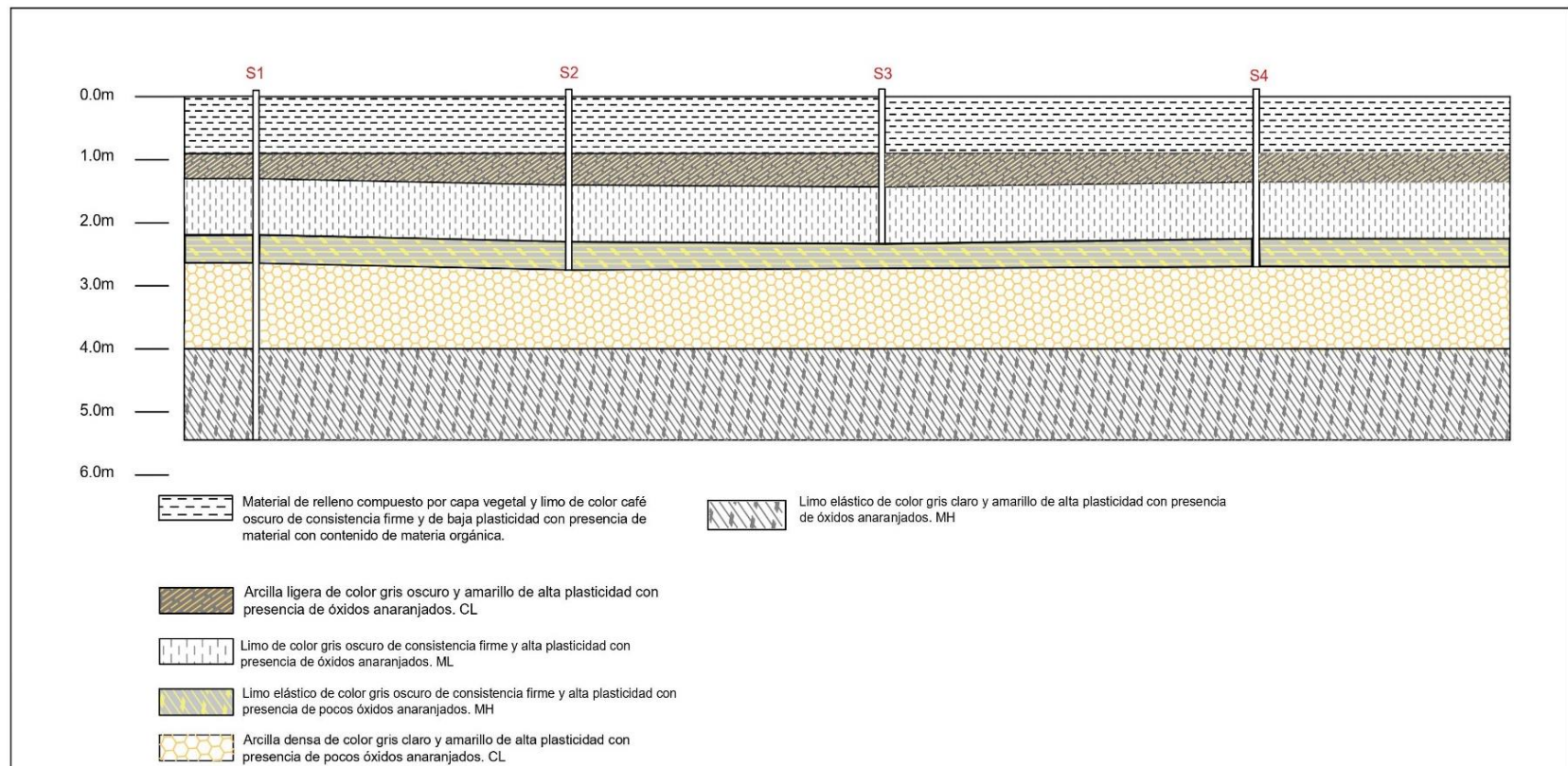
2	1	1,40	31,31	17,97	13,34	96,38	Arcilla ligera de color gris oscuro de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados.
2	4	2,75	52,49	32,13	20,36	96,66	Limo elástico de color gris oscuro de consistencia firme y alta plasticidad con presencia de pocos óxidos anaranjados
3	1	1,43	34,48	17,51	16,98	91,11	Arcilla ligera de color gris oscuro de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados.
3	2	1,88	42,07	29,55	12,52	98,33	Limo de color gris oscuro de consistencia firme y alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados
4	1	1,35	32,68	15,95	16,73	90,37	Arcilla ligera de color gris oscuro y amarillo de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados.
4	2	1.80	43,38	27,48	15,90	96,17	Limo de color gris oscuro de consistencia firme y alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados

Fuente: Autor

6.5.7 Perfiles estratigráficos

En la ilustración 9 se puede apreciar el perfil estratigráfico encontrado para la zona de estudio teniendo en cuenta las condiciones geológicas, las observaciones llevadas a cabo durante la realización de las exploraciones y resultados llevados a cabo tanto en campo como en el laboratorio.

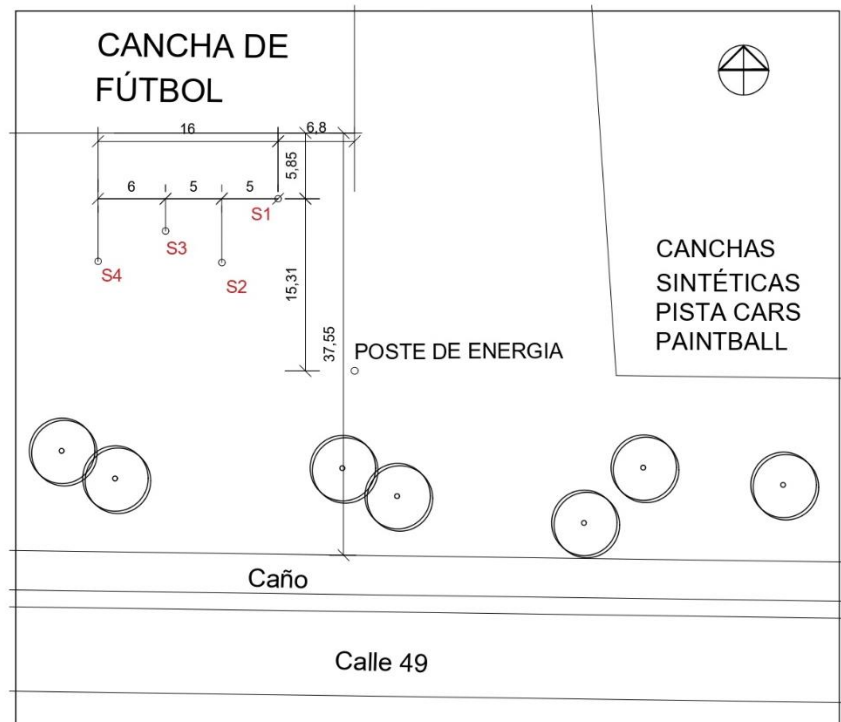
Ilustración 9. Perfil estratigráfico aproximado de la zona de estudio.



Fuente: Autor

En la ilustración 10 se puede observar la localización general de las exploraciones dentro de la zona de estudio con correspondientes distancias entre ellos en metros.

Ilustración 10. Localización de las exploraciones dentro de la zona de estudio.



Fuente: Autor

6.5.8 Análisis de resultados

Como resultado del proceso de exploración y los datos obtenidos en el laboratorio (véase Anexo 6), se genera el perfil estratigráfico del suelo.

Teniendo en cuenta las condiciones geológicas de la zona de estudio, las observaciones durante la realización de las exploraciones geotécnicas y los resultados obtenidos en el laboratorio, se presenta una descripción de los materiales encontrados en cada uno de los estratos para la zona de estudio.

En los cuatro sondeos realizados se presentan los siguientes materiales:

- De 0,0 a 0,90 m se presenta un material de relleno compuesto por capa vegetal y limo de color café oscuro de consistencia firme y de baja plasticidad con presencia de material con contenido de materia orgánica. Se puede evidenciar que el material de relleno se extiende hasta una profundidad de 0,90m en los cuatro sondeos realizados.

- De 0,90 m a 1,30 m se encontró un estrato compuesto por arcilla ligera de color gris oscuro y amarillo de alta plasticidad con presencia de óxidos anaranjados. Además, este estrato presenta variaciones entre 15,45% y 15,93% de humedad natural. De acuerdo a los ensayos de límites de Atterberg, el estrato presenta un límite líquido promedio de 32,15%, límite plástico promedio de 17,03% e índice de plasticidad promedio de 15,13%, por lo que se puede determinar que este estrato presenta un comportamiento tipo semisólido, siendo favorable para la estabilidad en el suelo de fundación.

De acuerdo al ensayo de compresión inconfiada el estrato presenta una resistencia máxima promedio de $q_u=5,96$ (kg/cm²) y un valor de cohesión de $C_u=2,98$ (kg/cm²) por lo que se obtuvo una consistencia entre dura y muy firme, lo que indica condiciones adecuadas como suelo de fundación para las cargas que se esperan aplicar. Sin embargo, se debe tener en precaución en la entrada de agua de escorrentía al suelo ya que la resistencia puede disminuir al contacto con el agua.

Se puede evidenciar que este estrato en el primer sondeo se encuentra a una profundidad de 1,30 metros mientras que en el sondeo 2 se extendió a una profundidad de 1,40 metros, en el sondeo 3 a una profundidad de 1,43 metros y en el sondeo 4 a una profundidad de 1,35 metros.

- De 1,30 a 2,19 m se encontró un estrato compuesto por limo de color gris oscuro de consistencia firme, de alta plasticidad y con presencia de óxidos anaranjados. Además, este estrato presenta variaciones entre 22,15% y 52,38% de humedad natural. De acuerdo a los ensayos de límites de Atterberg, el estrato presenta un límite líquido promedio de 43,73%, límite plástico promedio de 28,55% e índice de plasticidad promedio de 15,19%, por lo que se puede determinar que este estrato presenta un comportamiento tipo semisólido, siendo favorable para la estabilidad en el suelo de fundación.

De acuerdo al ensayo de campo realizado, correspondiente al ensayo de penetración estándar SPT se pudo encontrar golpes entre 6 a 7, y mediante correlaciones empíricas derivadas de la geotecnia se encontraron valores de cohesión entre $C_u = 0,51$ Kg/cm² y $C_u = 0,57$ Kg/cm².

Del ensayo de corte directo, el estrato presenta un valor de cohesión de $C_u=20,87$ (kg/cm²), lo que indica que es un suelo de capacidad portante adecuada para las cargas que se esperan aplicar.

Se puede evidenciar que este estrato en el primer sondeo se encuentra a una profundidad de 2,19 metros mientras que en el sondeo 2 se extendió a una profundidad de 2,3 metros, en el sondeo 3 a una profundidad de 2,33 metros y en el sondeo 4 a una profundidad de 2,25 metros.

- De 2,19 m a 2,64 m se encontró un estrato compuesto por limo elástico de color gris oscuro, consistencia firme de alta plasticidad con presencia de pocos óxidos anaranjados. Además, este estrato presenta variaciones entre 44,42% y 45,61% de humedad natural. De acuerdo a los ensayos de límites de Atterberg, el estrato presenta un límite líquido promedio de 53,85%, límite plástico promedio de 32,16% e índice de plasticidad promedio de 21,69%, por lo que se puede determinar que este estrato presenta un comportamiento tipo plástico, siendo favorable para la estabilidad en el suelo de fundación. De acuerdo al ensayo de campo realizado, correspondiente al ensayo de penetración estándar SPT se pudo encontrar golpes entre 1 a 7, y mediante correlaciones empíricas derivadas de la geotecnia se encontraron valores de cohesión entre $C_u = 0,30 \text{ Kg/cm}^2$ y $C_u = 0,51 \text{ Kg/cm}^2$.

Se puede evidenciar que este estrato en el primer sondeo se encuentra a una profundidad de 2,64 metros mientras que en el sondeo 2 se extendió a una profundidad de 2,75 metros y en el sondeo 4 a una profundidad de 2,70 metros.

- De 2,64m a 4,0 m se encontró un estrato compuesto por arcilla densa de color gris claro y amarillo de alta plasticidad y con presencia de pocos óxidos anaranjados. Además, este estrato presenta variaciones entre 29,19% y 35,51% de humedad natural. De acuerdo a los ensayos de límites de Atterberg, el estrato presenta un límite líquido promedio de 50,25%, límite plástico promedio de 27,45% e índice de plasticidad promedio de 22,81%, por lo que se puede determinar que este estrato presenta un comportamiento tipo plástico, siendo favorable para la estabilidad en el suelo de fundación.

De acuerdo al ensayo de compresión confinada el estrato presenta una resistencia máxima promedio de $q_u=3,11 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ y un valor de cohesión promedio de $C_u=1.56 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ por lo que se obtuvo una consistencia entre d muy firme, lo que indica condiciones adecuadas como suelo de fundación para las cargas que se esperan aplicar.

Para este estrato se realizó un ensayo de consolidación unidimensional en donde se pudo determinar un índice de compresibilidad de $C_c= 0,060$, con un índice de expansibilidad de $C_s=0,070$. Con base en este ensayo se pudo encontrar que el esfuerzo de pre-consolidación es de $P_c=1,25\text{Kg/cm}^2$ por lo que se pudo determinar que el suelo corresponde a arcillas sobre consolidadas SC. De acuerdo al ensayo de campo realizado, correspondiente al ensayo de penetración estándar SPT se pudo encontrar golpes entre 4a 6, y mediante correlaciones empíricas derivadas de la geotecnia se encontraron valores de cohesión de $C_u = 0,44 \text{ Kg/cm}^2$

- De 4,0m a 5,45 m se encontró un estrato compuesto por limo elástico de color gris claro y amarillo de alta plasticidad y con presencia de óxidos anaranjados. Además, este estrato presenta variaciones entre 29,04% y 32,72% de humedad natural. De acuerdo a los ensayos de límites de Atterberg, el estrato presenta un límite líquido promedio de 58,26%, límite plástico promedio de 30,57% e índice de plasticidad promedio de 27,69%, por lo que se puede determinar que este estrato presenta un comportamiento tipo plástico, siendo favorable para la estabilidad en el suelo de fundación. De acuerdo al ensayo de campo realizado, correspondiente al ensayo de penetración estándar SPT se pudo encontrar golpes entre 5 a 9, y mediante correlaciones empíricas derivadas de la geotecnia se encontraron valores de cohesión entre $C_u = 0,44 \text{ Kg/cm}^2$ y $C_u = 0,51 \text{ Kg/cm}^2$

6.5.8.1 Análisis de capacidad portante

Por último, después de conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo estudiado, se procede a determinar la capacidad de soporte del suelo.

La capacidad de soporte del suelo para cimientos aislados se calculó según la ecuación general para capacidad de carga de Meyerhof según la placa de aplicación de carga de 0,1 x 0,1m. La evaluación de la capacidad de soporte se realizó para cargas verticales.

La ecuación presentada por Meyerhof es la que se muestra a continuación:

$$q_u = CNcF_{cs}F_{cd}F_{ci} + qN_qF_{qs}F_{qd}F_{qi} + 0.5\gamma BN_\gamma F_{\gamma s}F_{\gamma d}F_{\gamma i}$$

Donde:

C = Cohesión del suelo

q = Esfuerzo efectivo

γ = El peso unitario del suelo.

B = Ancho del cimiento

F_{cs} F_{qs} $F_{\gamma s}$ = Factores de forma

F_{cd} F_{qd} $F_{\gamma d}$ = Factores de profundidad

F_{ci} F_{qi} $F_{\gamma i}$ = Factores de inclinación de la carga

N_c N_q N_γ = Factores de capacidad de carga

Los parámetros geotécnicos obtenidos anteriormente son los siguientes, resaltando que se trabajó con una cohesión de $0,0 \text{ KN/m}^2$ ya que el suelo es normalmente consolidado.

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

$$\phi = 16^\circ$$

$$\gamma = 17,4 \text{ KN/m}^3$$

$$q = 19,1 \text{ KN/m}^2$$

$$N_c = 11,63$$

$$N_q = 4,34$$

$$N_\gamma = 3,06$$

En la tabla 7 se puede apreciar la evaluación de capacidad de carga para el presente proyecto de grado. Se puede observar que la capacidad de soporte del suelo en condiciones favorable presenta un valor de $q_u = 17,03 \text{ T/m}^2$. Cabe resaltar que las cargas aplicadas deben encontrarse por debajo de las que el suelo de fundación puede resistir.

Tabla 7. Cálculo capacidad portante por el método de Meyerhof.

CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE PARA PROYECTO DE GRADO "PROTOTIPO PARA ENSAYOS DE PLACA DE CARGA IN SITU"										
NC (m)	B (m)	L (m)	B/L	Fcs	Fqs	Fgs	Fcd	Fqd	Fgd	qu KN/m2
11,63	0,1	0,1	1,00	1,37	1,29	0,60	1,59	1,44	1,0	170,25

qu T/m2
17,03

Fuente: Autor

7 CONCLUSIONES

- El diseño del prototipo para ensayos de placa de carga in situ se realizó teniendo en cuenta los sistemas con los que debe disponer según la normatividad disponible para este ensayo. De esta manera se diseñó y se construyó un prototipo innovador, portátil, económico y que cumpliera con aspectos de seguridad y calidad. Por ende, se realizaron análisis de los factores de seguridad obteniendo resultados oportunos ya que estos cumplían con el mínimo factor de seguridad de 1.5, por lo que se puede manifestar que el prototipo es seguro y no presentará ningún tipo de falla.
- El diseño de este prototipo es de hasta 10 toneladas, aunque se utilizará una celda de 5 toneladas debido al factor de seguridad lo que quiere decir que el prototipo trabajará aproximadamente al 50% de su capacidad.
- Para el prototipo de placa de carga in situ se diseñaron placas de 10 hasta 15 centímetros, aunque se pueden usar otro tipo de placas dependiendo del tipo suelo.
- Con el diseño y construcción del prototipo para ensayos de placa de carga in situ se generará un impacto en cuanto al desarrollo y producción de estos equipos en la región. Además, se beneficiará la comunidad educativa de la Universidad Santo Tomás, ya que los estudiantes de la seccional Tunja como de las demás seccionales profundizarán los conocimientos en el área de fundaciones realizando prácticas académicas utilizando el prototipo realizado. Es importante mencionar que la Universidad Santo Tomás sede Tunja podrá prestar servicios a los profesionales acordes que necesiten hacer uso de este prototipo logrando perfeccionar su labor en el área de geotecnia creando un impacto en la sociedad. Cabe resaltar que con este prototipo se pueden correlacionar ensayos como lo es el módulo de balastro y resistencia al cono estándar.
- En el proceso constructivo se llevó a cabo las técnicas de control de calidad para dar cumplimiento a los diseños de cada una de las piezas del prototipo de placa de carga in situ. De igual forma, para la construcción del equipo se contó tanto con equipos, máquinas y herramientas como de instalaciones adecuadas y personal calificado.
- Por medio de la ficha técnica, guía del ensayo y manual de operación del prototipo, se presentó información relevante del prototipo diseñado y construido con el fin de que este se use adecuadamente y se ejecuten los ensayos de buena manera, teniendo presente los elementos de protección personal. Puesto que si no se tienen en cuenta los anteriores documentos se generarán errores que alterarán la obtención de datos o se presentarán daños y/o accidentes.

- Según los resultados encontrados para los diferentes ensayos de laboratorio se evidencia que se presentan condiciones favorables para estabilidad del suelo. Además, presento condiciones para ser clasificado como normalmente consolidado. Y de acuerdo con los resultados del cálculo con la capacidad portante última del suelo se encuentra que para la zona de estudio se puede tomar un valor hasta de $17,03 \text{ T/m}^2$.
- Los ensayos que se pretenden realizar con el prototipo permitirán conocer las características de resistencia y deformación del suelo. En este caso, el de la zona donde se realizó la exploración geotécnica, para posteriormente hacer una correlación entre los resultados de dicho ensayo y los que se obtuvieron de la exploración. Cabe aclarar que el prototipo se puede utilizar para realizar otros laboratorios como se menciona anteriormente. Además, el prototipo para ensayos de placa de carga in situ cuenta con la ventaja de analizar a mayor profundidad en relación al método que es utilizado actualmente debido a que el prototipo es más pequeño.

8 RECOMENDACIONES

- El prototipo para ensayos de placa de carga in situ fue finalizado con éxito. Por motivos de la pandemia mundial que se vive actualmente no fue posible realizar los ensayos de campo con este. Por lo que se sugiere que nuevos estudiantes investigadores realicen dichos ensayos y análisis de resultados.
- Se recomienda a los estudiantes que se interesen en este trabajo de grado, continúen con el desarrollo de los ensayos de campo con el prototipo diseñado y construido en la misma zona donde se realizó el estudio geotécnico con el fin de correlacionar los resultados obtenidos por el prototipo de placa de carga in situ y de la exploración.
- Al utilizar el prototipo o tener contacto con él, es importante que se tenga en cuenta la información suministrada en la ficha técnica, guía del ensayo y manual de operación del prototipo de placa de carga in situ con el fin de que este sea utilizado correctamente y se realicen los ensayos oportunos en base al procedimiento presentado en la guía del ensayo, evitando de igual manera daños o accidentes.
- Posteriormente al hacer uso del prototipo se debe realizar limpieza o mantenimiento si este lo requiere.
- En los sondeos efectuados, se puede evidenciar la presencia de materiales con las mismas características de depositación geológica. Por ende, el área de estudio se clasificó como una zona geotécnicamente definida.
- Se realizó la clasificación del suelo mediante el método de “clasificación unificada”. Obteniendo materiales como arcillas ligeras y limos.

9 GLOSARIO

- ASTM: Organización Internacional de Desarrollo de Normas más grande del mundo. American Section of the International Association for Testing Materials.
- CALIDAD: Conjunto de rasgos y características de un material, producto, servicio, sistema o ambiente que tienen relación con su capacidad para satisfacer una necesidad particular.
- CAPACIDAD ADMISIBLE DE SOPORTE: Valor máximo del esfuerzo de contacto aplicable al diseño y construcción de una cimentación. La capacidad admisible de soporte es sólo una fracción de la capacidad última de soporte, y se calcula aplicando a esta última un factor de seguridad apropiado. Los valores de factor de seguridad más corrientes se encuentran en el intervalo de 3 a 5.
- CARGA: Fuerza total que actúa sobre el terreno o sobre una estructura.
- CARTA DE PLASTICIDAD AASHTO: Gráfico auxiliar para la discriminación de los diferentes grupos de suelos finogranulares en la clasificación de la AASHTO, a partir de la relación entre su límite líquido y su índice de plasticidad.
- CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE: Gráfico en el que se representan los valores del límite líquido y del índice de plasticidad en un campo de coordenadas cartesianas para discriminar las arcillas y los limos de acuerdo con la relación entre dichos valores. Esta carta es utilizada sistemáticamente en la clasificación unificada de suelos.
- CH: Símbolo utilizado para designar la arcilla con un límite líquido mayor de 50, llamada también arcilla de alta plasticidad.
- CLASIFICACIÓN: Distribución o división sistemática en grupos homogéneos de materiales, productos, servicios o sistemas, con base en características similares como su composición, origen, propiedades o uso.
- COMPACTACIÓN: Consiste en compactar material de relleno en un terreno determinado.

- **COMPRESIÓN SIMPLE:** La debida a la aplicación de un esfuerzo normal sobre un cuerpo en una sola dirección.
- **CONSOLIDACIÓN PRIMARIA** (compresión primaria, efecto temporal primario): Reducción de volumen de una masa de suelo por la aplicación continua de una carga externa; dicha reducción es debida principalmente a la expulsión de agua de sus espacios vacíos. La consolidación primaria está asociada a una transferencia de los esfuerzos del agua a los sólidos del suelo, con lo cual aumenta la presión efectiva y se reduce la presión intersticial. (Normas ASTM D2435 y D4186).
- **CONTRACCIÓN:** Cambio de volumen de un suelo asociado a la pérdida de humedad. (Normas D427 y D4943). Cf. Expansión.
- **CUCHARA:** Término utilizado por los operadores de equipos de perforación y los obreros para designar los taladros Auger y el muestreador de tubo partido.
- **DEFORMACIÓN:** Cambio de tamaño o de forma de un cuerpo sólido.
- **ESFUERZO:** Fuerza por unidad de área sobre la que se aplica dicha fuerza. Los esfuerzos pueden ser normales, cortantes o torsionales. En algunos medios se prefiere utilizar el término tensión para este concepto.
- **EXPLORACIÓN:** Acción que se realiza con la finalidad de determinar las condiciones del subsuelo y sus propiedades físicas, índice y mecánicas.
- **GEOTECNIA:** Técnicas de evaluación del comportamiento de los suelos, bajo la sollicitación de cargas y bajo el ataque de los agentes atmosféricos. Aplicación de los métodos científicos y de los principios de ingeniería a la generación, interpretación y utilización del conocimiento de los materiales y procesos que ocurran en la corteza terrestre para la solución de problemas de ingeniería. Para su cabal desarrollo requiere la aplicación de diferentes campos del conocimiento, entre ellos, la mecánica de suelos, la mecánica de rocas, la geología, la geofísica, la hidrología, la hidrogeología y las ciencias relacionadas.
- **GRADO DE CONSOLIDACIÓN:** Porcentaje de las sobrepresiones intersticiales disipadas después de la aplicación de una carga sobre un suelo con respecto a la totalidad de las generadas por la aplicación de dicha carga.
- **GRADO DE SATURACIÓN:** Porcentaje de poros que están ocupados por el agua.

- **GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO:** Relación numérica entre el peso en el aire de los sólidos de un espécimen de suelo a una temperatura dada, y el peso en el aire de un volumen igual (al de los sólidos) de agua destilada a la misma temperatura.
- **HUMEDAD:** Cociente entre el peso de agua contenido en una determinada muestra y el peso del terreno seco.
- **LÍMITE DE RETRACCIÓN:** Contenido de agua en un suelo a partir del cual la disminución de humedad no da lugar a una reducción de volumen de la masa de suelo.
- **LÍMITE LÍQUIDO:** Contenido de agua de un suelo remoldeado correspondiente al límite entre sus estados plástico y líquido de consistencia. Contenido de agua con el cual una masa de suelo remoldeada y cortada con un ranurador de dimensiones estándar fluye hasta unirse en una distancia de 13 mm bajo el impacto de 25 golpes en un aparato normalizado para la determinación del límite líquido.
- **LÍMITE PLÁSTICO:** El contenido de agua de un suelo remoldeado que corresponde al límite entre sus estados de consistencia plástico y rígido. 2. Contenido de agua con el que un suelo comienza a desmoronarse cuando se forma con él un cilindro de 3 mm de diámetro.
- **LÍMITES DE CONSISTENCIA (También Límites Atterberg):** Se le denomina al conjunto de estados de consistencia de los materiales plásticos, provocados por el contenido de agua.
- **MECÁNICA DE SUELOS:** Aplicación de los principios de la mecánica y de la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan de la naturaleza y el comportamiento de los suelos, sedimentos y otras acumulaciones de partículas sólidas. Estudio detallado y sistemático de las propiedades físicas y la utilización de los suelos, especialmente en relación con la ingeniería de carreteras y de cimentaciones y con el estudio de los problemas asociados a la estabilidad de taludes y laderas.
- **MUESTRA:** Porción de material que se toma para determinar las características o propiedades de una parte o de la totalidad del mismo.
- **MUESTRA REMOLDEADA:** Muestra cuya estructura interna ha sido alterada por manipulación durante el proceso de muestreo y transporte al laboratorio.
- **PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS:** Las propiedades físicas de los materiales son las que describen el estado que guarda las partículas componentes del suelo, que definen su apariencia. Las mecánicas son las

que describen el comportamiento de los suelos bajo esfuerzos inducidos y cambios del medio ambiente.

- SONDEO: Perforación profunda de pequeño diámetro, con extracción de testigo.
- SUELO: Parte de la corteza terrestre formada por materiales que pueden ser disgregados en partículas individuales, mediante la acción del agua.
- TAMIZ: Instrumento utilizado para separar las partículas de suelo según su tamaño. Consiste en un recipiente cilíndrico cuyo fondo lo forma una malla de alambre de cobre o de acero inoxidable.
- TUBO SHELBY: Herramienta para muestreo inalterado mediante el hincado de gatos hidráulicos.
- CUÑA: Grieta u orificio utilizada para inmovilizar o afirmar un cuerpo.
- CHAVETA: Orificio donde encaja la cuña.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSHTO T 222-81. Ensayo de placa de carga in situ. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://www.cuevadecivil.com/2017/04/ensayo-de-placa-de-carga.html>

CORTÉS MENA, Jonathan. Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos. Costa Rica, 2010, p. 118. Trabajo de grado (Estudio exploratorio para la determinación del coeficiente de balasto a partir de ensayos en laboratorio para suelos cohesivos). Instituto Tecnológico de Costa Rica. Facultad de Ingeniería en Construcción.

CRUZ MENDEZ, Yuri Jesús. Estimación de deformaciones de rellenos técnicos bajo los cimientos a partir de la correlación de pruebas “IN SITU”. {En línea}. Junio 15 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2011_Cruz_Mendez_GEO5-P2.pdf

DAS, Braja. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cuarta Edición. México. Editorial Cengage Learning, 2013. P. 280.

DEVINCENZI, Marcelo; POWELL, John; CRUZ, Nuno y ARROYO ÁLVAREZ, Marcos. Actualidad en el uso de los Ensayos Geotécnicos in situ. En: Revista Digital Del Cedex. N°145 (Enero, 2007); p. 31.

GIL LABLANCA, Rafael. Pruebas de carga en cimentaciones profundas. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://fernandeztadeo.com/Adobe/PRUEBAS%20DE%20CARGA%20EN%20CIMENTACIONES%20PROFUNDAS%20RODIO%20KRONSA.pdf>

INGEOMINAS. Mapa Geológico del Departamento de Boyacá. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010040020044/documento/pdf/0101200441101000.pdf>

INVIAS. Ensayo de placa con carga estática no repetida, para emplear en la evaluación y diseño de pavimentos. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

PANTOJA ARBOLEDA, Paola Viviana y SUÁREZ SUÁREZ, Jorge Andrés. Estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (k) para suelos derivados de cenizas volcánicas en la zona de expansión urbana de Cerritos – Pereira. Pereira, 2015, p. 99. Trabajo de grado (Estudio sobre la relación entre el ensayo de penetración estándar y el coeficiente de balasto (k) para suelos

derivados de cenizas volcánicas en la zona de expansión urbana de Cerritos – Pereira). Universidad Libre. Facultad de Ingeniería Civil.

REYES, Italo. Observaciones sobre el Cuaternario del altiplano Tunja-Sogamoso. {En línea}. Diciembre 20 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/31488/1/30666-111049-1-PB.pdf>

RICALDONI, Julio. Ensayo de Placa Estático. {En línea}. Junio 16 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://www.fing.edu.uy/ensayo-de-placa-est%C3%A1tico>

RUIZ ÁLVAREZ, Jaime Alberto. Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas. Medellín, 2010, p. 66. Trabajo de grado (Diseño, construcción y prueba de un equipo para la ejecución del ensayo de carga estático axial con placa en excavaciones para cimentaciones profundas). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de minas. Escuela de Ingeniería Civil.

SALAZAR DONIS, Sergio Alfredo. Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática. Guatemala, 2008, p. 85. Trabajo de grado (Propuesta de mejorar la productividad, automatizando el proceso de ensayo de carga con placa estática). Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería.

VALENCIA GONZÁLEZ, Yamile; LARA VALENCIA, Luis Augusto y CAMAPUM DE CARVALHO, Jose. Aplicaciones adicionales de los resultados de pruebas de carga estáticas en el diseño geotécnico de cimentaciones. En: Revista DYNA. Vol.79, N° 175 (Agosto, 2011); p. 182-190.

YEPES PIQUERAS, Víctor. Ensayo de placa de carga. {En línea}. Junio 15 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/02/07/ensayo-de-placa-de-carga/>

INVIAS. Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo en suelos con tubo partido. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

INVIAS. Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo en suelos con tubo partido. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

INVIAS. Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y de la llenante mineral empleando un picnómetro con agua. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

INVIAS. Análisis granulométrico de suelos por tamizado. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

INVIAS. Determinación del límite líquido de los suelos. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

INVIAS. Límite plástico e índice de plasticidad de los suelos. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

INVIAS. Ensayo de corte directo en condición consolidada. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>.

INVIAS. Consolidación unidimensional de los suelos. {En línea}. Diciembre 21 de 2019. {Fecha de consulta}. Disponible en <http://www.erosion.com.co/>

11 ANEXOS

Anexo 1. Planos del diseño prototipo de placa de carga in situ.

Anexo 2. Presupuesto del prototipo de placa de carga in situ

Anexo 3. Ficha técnica del prototipo de placa de carga in situ.

Anexo 4. Manual de operación del prototipo placa de carga in situ.

Anexo 5. Guía para la realización de ensayos de con el prototipo placa de carga in situ.

Anexo 6. Memoria de cálculo ensayos de exploración geotécnica.

Anexo 7. Registro fotográfico.

Anexo 8. Diseño del prototipo de placa de carga in situ en 3D.

Estos se encuentran en medio magnético.