



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE  
GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA**

**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR PRUEBAS DE  
CAPACIDAD DE CARGA EN ÁREAS CON SUELOS BLANDOS Y  
RESTRICCIONES AMBIENTALES**

**TUTOR**

**M.Sc. LINA ALBANIA AGUSTO AGUSTO**

**AUTOR**

**MANUEL FERNANDO GUAMÁN SAGÑAY**

**GUAYAQUIL**

**2022**

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b> Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales.		
<b>AUTOR/ES:</b> Guamán Sagñay Manuel Fernando	<b>REVISORES O TUTORES:</b> MsC. Augusto Augusto Lina Albania	
<b>INSTITUCIÓN:</b> Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<b>Grado obtenido:</b> Ingeniero Civil	
<b>FACULTAD:</b> FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	<b>CARRERA:</b> CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b> 2022	<b>N. DE PAGS:</b> 122	
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b> Arquitectura y Construcción		
<b>PALABRAS CLAVE:</b> Capacidad de carga, suelos blandos, restricciones ambientales, geotecnia, mecánica de suelos.		
<b>RESUMEN:</b> El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el principal objetivo de presentar un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga, que incluya además de lo estipulado en las respectivas normas en las que se sustenta cada uno de los ensayos, una serie de recomendaciones cuando el suelo de interés es blando y se encuentra ubicado en una zona con restricciones ambientales. Se realizó una investigación de tipo básica, con un enfoque cuantitativo – no experimental. La población de estudio fue finita, constituida por profesionales en Ingeniería Civil con experiencia en la rama de la geotecnia y mecánica de suelos de las empresas Borleti S.A., Cevaconsult Geotecnia y Fiscalización, Geocimientos S.A. y GEOCON S.A., de lo cual se desprende la muestra conformada por un total de 4 entrevistados, quienes gracias a su experiencia aportaron con valiosos conocimientos para la realización de este trabajo. Los resultados de la bibliografía consultada acorde al tema, así como del procesamiento de las entrevistas se presentan a manera de una serie de importantes recomendaciones en torno al tema de estudio. Concluyendo principalmente que, construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales en el territorio nacional, lo que incluye la realización de pruebas de capacidad de carga, no es imposible, siempre y cuando se conozcan las legislaciones y normas pertinentes y se sigan los procesos adecuados en cada caso, con el fin de garantizar la conservación de los recursos naturales para las generaciones futuras.		
<b>N. DE REGISTRO (en base de datos):</b>	<b>N. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<b>SI</b> <input checked="" type="checkbox"/>	<b>NO</b> <input type="checkbox"/>
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b> Guamán Sagñay Manuel Fernando	<b>Teléfono:</b> 0990332634	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:mguamans@ulvr.edu.ec">mguamans@ulvr.edu.ec</a>
<b>CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:</b>	Mae. Ing. Civ. Milton Gabriel Andrade Laborde Decano de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción. <b>Teléfono:</b> 2596500 Ext. 210 <b>E-mail:</b> <a href="mailto:mandradel@ulvr.edu.ec">mandradel@ulvr.edu.ec</a>	

## CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

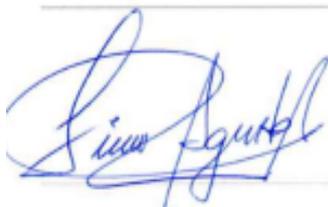
### DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR PRUEBAS DE CAPACIDAD DE CARGA EN ÁREAS CON SUELOS BLANDOS Y RESTRICCIONES AMBIENTALES

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>5%</b>	<b>6%</b>	<b>0%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>documentop.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>ri.ues.edu.sv</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>prezi.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>



Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 1%

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

El estudiante egresado MANUEL FERNANDO GUAMÁN SAGÑAY, declara bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales, corresponde totalmente al suscrito y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor



Firma:

MANUEL FERNANDO GUAMÁN SAGÑAY

C.I.0605292051

## **CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

### **CERTIFICO:**

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales, presentado por el estudiante MANUEL FERNANDO GUAMÁN SAGÑAY como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL encontrándose apto para su sustentación.

Firma:



MsC. LINA ALBANIA AGUSTO AGUSTO

C.C. 0907563886

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por darme la paciencia y la sabiduría para el desarrollo de este trabajo de investigación, a Jesucristo por darme la fortaleza en los momentos de debilidad y desorientación en el transcurso de mis estudios y elaboración de la tesis.

A mis padres y familia quienes permanentemente me apoyaban y daban impulso a continuar con mi objetivo de culminar mis estudios.

Agradezco a cada una de las personas quienes forman parte de la Facultad de Ingeniería, Industria y construcción de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, a todos los profesores quienes supieron brindarme sus conocimientos de manera incondicional. De todos me llevo algo muy especial y sé que lo aprendido jamás lo olvidaré.

A mis compañeros de promoción quienes siempre estuvimos unidos con el objetivo de culminar la carrera.

Muchas gracias a todos.

**Manuel Fernando Guamán Sagñay**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de tesis se lo dedico a Dios por darme la fortaleza y la sabiduría de no desvanecer en la fe e iluminarme en los momentos en que la adversidad no permitiría alcanzar mi objetivo trazado.

A mi Madre Eduarda Sagñay y mis Abuelitos Luis Sagñay y Petrona Gualli, a quienes debo lo que soy, con su apoyo incondicional y consejos no hubiera logrado culminar mis estudios.

A mis hermanos (as) quienes siempre me apoyaron a seguir adelante y confiaron en mí, a mis amigos que siempre estuvieron apoyándome moralmente a terminar y lograr mis objetivos. Dedico especialmente a mi sobrino Jonathan Guamán, quien con infinito amor me fortalece a seguir adelante y me da el impulso a superarme en la vida.

A mi Padre Mariano Guamán, el amigo incondicional que me enseñó a trabajar por mis sueños y quien tuvo fe en mí siempre. Aunque ya no está en este plano, quien desde el cielo guía mi camino, y quien estoy seguro me ha vigilado y me ha cuidado durante todo el camino recorrido.

**Manuel Fernando Guamán Sagñay.**

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.1. Tema.....	4
1.2. Planteamiento del Problema .....	4
1.3. Formulación del Problema.....	6
1.4. Sistematización del Problema.....	6
1.5. Objetivo General.....	6
1.6. Objetivos Específicos .....	7
1.7. Justificación .....	7
1.8. Delimitación del Problema .....	8
1.9. Hipótesis o Idea por defender .....	9
1.10. Línea de Investigación Institucional/Facultad .....	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Marco Teórico.....	10
2.1.1. Antecedentes.....	10
2.1.2. Capacidad de carga del suelo.....	16
2.1.3. Prueba de capacidad de carga en laboratorio y/o in situ.....	19
2.1.4. Suelos blandos .....	24
2.1.5. Restricciones ambientales.....	25

2.2.	Marco Conceptual.....	31
2.3.	Marco Legal.....	33
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....		35
3.1.	Metodología.....	35
3.2.	Tipo de investigación.....	35
3.3.	Enfoque .....	35
3.4.	Técnica e instrumentos .....	36
3.5.	Población .....	37
3.6.	Muestra.....	37
3.7.	Análisis de resultados .....	37
3.7.1.	Resultados de las entrevistas.....	38
CAPITULO IV INFORME FINAL .....		43
4.1.	Procedimientos para los ensayos de laboratorio .....	43
4.1.1.	Ensayo triaxial no consolidado no drenado ASTM D2850 .....	43
4.1.2.	Ensayo triaxial consolidado no drenado ASTM D4767 .....	50
4.1.3.	Ensayo de compresión no confinado ASTM D2166 .....	61
4.1.4.	Ensayo de corte directo ASTM D3080.....	65
4.2.	Procedimientos para los ensayos en campo.....	71
4.2.1.	Ensayo de penetración estándar ASTM D1586.....	71
4.2.2.	Ensayo de cono de penetración ASTM D3441 .....	75
4.2.3.	Ensayo de placa de carga o carga estática ASTM D1194 .....	78
4.4.	Restricciones ambientales de los suelos blandos dentro de las áreas protegidas y medidas preventivas.....	81
4.5.	Propuesta.....	84
CONCLUSIONES.....		85

RECOMENDACIONES .....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	88
ANEXOS .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Línea de investigación institucional .....	9
Tabla 2. Normas de referencia.....	19

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la prueba SPT .....	21
Figura 2. Tipos de martillos para la prueba SPT .....	21
Figura 3. Esquema del penetrómetro para la prueba CPT .....	23
Figura 4. Equipo para la prueba de placa de carga .....	24
Figura 5. Mapa del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador .....	30
Figura 6. Lista de áreas protegidas del Ecuador .....	31
Figura 7. Normativas utilizadas en los ensayos de capacidad de carga .....	38
Figura 8. Pruebas de caracterización en suelos blandos .....	39
Figura 9. Requisitos deseados en suelos blandos .....	40
Figura 10. Requisitos adicionales deseados en suelos blandos .....	41
Figura 11. Diferencia entre tomar una muestra de un suelo blando vs de un suelo duro .....	41
Figura 12. Muestreador estándar .....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Entrevistas.....	97
Anexo 2: Panel fotográfico.....	106

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo con el principal objetivo de presentar un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga, que incluya además de lo estipulado en las respectivas normas en las que se sustenta cada uno de los ensayos, una serie de recomendaciones cuando el suelo de interés es blando y se encuentra ubicado en una zona con restricciones ambientales. Se realizó una investigación de tipo básica, con un enfoque cuantitativo – no experimental. La población de estudio fue finita, constituida por profesionales en Ingeniería Civil con experiencia en la rama de la geotecnia y mecánica de suelos de las empresas Borleti S.A., Cevaconsult Geotecnia y Fiscalización, Geocimientos S.A. y GEOCON S.A., de lo cual se desprende la muestra conformada por un total de 4 entrevistados, quienes gracias a su experiencia aportaron con valiosos conocimientos para la realización de este trabajo. Los resultados de la bibliografía consultada acorde al tema, así como del procesamiento de las entrevistas se presentan a manera de una serie de importantes recomendaciones en torno al tema de estudio. Concluyendo principalmente que, construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales en el territorio nacional, lo que incluye la realización de pruebas de capacidad de carga, no es imposible, siempre y cuando se conozcan las legislaciones y normas pertinentes y se sigan los procesos adecuados en cada caso, con el fin de garantizar la conservación de los recursos naturales para las generaciones futuras.

**Palabras clave:** capacidad de carga, suelos blandos, restricciones ambientales, geotecnia, mecánica de suelos.

## **ABSTRACT**

The present research work was carried out with the main objective of presenting a procedure to carry out load capacity tests, which includes, in addition to what is stipulated in the respective standards on which each of the tests is based, a series of recommendations. when the soil of interest is soft and is in an area with environmental restrictions. A basic type of research was carried out, with a quantitative - non-experimental approach. The study population was finite, made up of professionals in Civil Engineering with experience in the field of geotechnics and soil mechanics from the companies Borleti S.A., Cevaconsult Geotecnia y Fiscalización, Geocimientos S.A. and GEOCON S.A., from which the sample is made up of a total of 4 interviewees, who, thanks to their experience, contributed valuable knowledge to carry out this work. The results of the bibliography consulted according to the topic, as well as the processing of the interviews, are presented as a series of important recommendations around the topic of study. Mainly concluding that building in areas with soft soils and environmental restrictions in the national territory, which includes carrying out load capacity tests, is not impossible, if the relevant legislation and regulations are known, and the appropriate processes are followed. in each case, to guarantee the conservation of natural resources for future generations.

**Keywords:** load capacity, soft soils, environmental restrictions, geotechnics, soil mechanics.

## INTRODUCCIÓN

Después del terremoto ocurrido en Ecuador el 16 de abril de 2016, uno de los sectores que presentaron más afectaciones fue el de las viviendas, por lo que se convirtió en uno de los principales ejes de trabajo de las autoridades de turno, para la reactivación de las personas afectadas. Una de las actividades que debía ser llevada a cabo para tal propósito era la evaluación de daños, para dar con las posibles fallencias que ocasionaron que la mayoría de estas estructuras colapsaron, encendiendo las alarmas de las autoridades, al descubrir que la gran mayoría de estas fueron construidas sin ningún estudio de suelos, a pesar de que se encontraban cimentadas sobre suelos blandos (arcillosos) que debían ser mejorados (Vallejo, 2018).

La capacidad de carga de un suelo no sólo depende de su tipo, sino también de la cimentación que se proyecta utilizar (superficiales, losas de cimentación, pilotes, pilas perforadas) y del factor de seguridad considerado. Los suelos blandos se caracterizan por ser altamente plásticos, debido a ello cuando se realizan pruebas de capacidad de carga in situ, la viscosidad del suelo puede generar un falso efecto de incremento de la resistencia, por lo que, al momento de interpretar los resultados de las pruebas realizadas, erróneamente se puede obtener resistencias muy altas y en los cálculos posteriores no se estarían considerando los adecuados valores de los factores de seguridad (Nij, 2017).

Existen procedimientos tanto en laboratorio (ensayo de compresión triaxial, ensayo de corte directo), como en sitio; de estos últimos el más comúnmente utilizado es el ensayo de penetración estándar (SPT), un procedimiento ideal para arenas ya que en suelos blandos (arcillosos) suele arrojar resultados bastante difíciles de interpretar, seguido por el ensayo de penetración de cono (CPT) y la prueba de placa de carga, que se pueden llevar a cabo para determinar la capacidad portante de un suelo siempre y

cuando se manejen los factores de corrección adecuados, para no sobreestimar o subestimar la verdadera capacidad resistente del suelo.

Aún en la actualidad la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) que es la encargada de proporcionar los criterios necesarios que habrán de utilizarse al momento de realizar estudios geotécnicos que garanticen la seguridad y estabilidad de las estructuras en el territorio nacional, no difiere en sus procesos de determinación de la capacidad de carga de suelos, si estos son arenas, arcillas, limos o turbas. Es por ello, que ante estos factores que muchas veces no se consideran en la realización de pruebas de carga en suelos blandos mediante las prácticas normales, es imperativo el desarrollo de manuales como este, que consideren la variable ambiental, además de los aspectos financieros y técnicos en el desarrollo de los ensayos preliminares que se deben desarrollar previo a la construcción de cualquier proyecto de ingeniería.

El presente trabajo de titulación está dividido en cuatro capítulos principales, los cuales están conformados de la siguiente manera:

**Capítulo I.** En este capítulo denominado Diseño de la Investigación, se describen: planteamiento, formulación y sistematización del problema, objetivo general y específicos, justificación, delimitación del problema, hipótesis, así como la línea de investigación a la que se sujeta este trabajo. Es decir, se explican los fundamentos que han llevado al desarrollo de este tema de investigación y lo que se busca defender.

**Capítulo II.** En este capítulo denominado Marco Teórico, se desarrolla a través de los marcos: teórico, conceptual y legal; lo referente a antecedentes nacionales e internacionales, así como las definiciones fundamentales en torno a suelos blandos, pruebas de capacidad de carga y restricciones ambientales, finalizando con la fundamentación legal, que sirven de base para la ejecución del presente trabajo.

**Capítulo III.** En este capítulo denominado Metodología de la Investigación, se describen: la metodología adoptada, tipo y enfoque de la investigación, técnicas e instrumentos de recolección de datos, población, muestra y análisis de resultados. Que explican los pasos que se han llevado a cabo para la consecución de la investigación, de manera que se pudiera dar respuesta a lo propuesto en el capítulo I.

**Capítulo IV.** En este capítulo finalmente se sintetizan los resultados en torno al tema investigado, presentando la información más relevante que se ha encontrado. Adicionalmente, se describen los resultados arrojados posterior a la depuración de las entrevistas y encuestas que se llevaron a cabo a profesionales de ingeniería civil especializados en el área de geotecnia y mecánica de suelos.

Finalmente, se presenta el planteamiento de las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron en este trabajo. Así como las referencias bibliográficas utilizadas, para que sean fuentes de consultas futuras.

# CAPÍTULO I

## DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1. Tema

Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales.

### 1.2. Planteamiento del Problema

En el sur del Distrito Metropolitano de Quito, se ubica la parroquia de Solanda, la cual comprende una extensión territorial de aproximadamente 720 m<sup>2</sup>. A pesar de que originalmente sus viviendas, construidas principalmente de materiales prefabricados (hormigón, bloques, madera, zinc.), fueron concebidas para tener únicamente uno o dos pisos, con los años han sido modificadas con más plantas debido a la densificación poblacional registrada en el barrio, en su mayoría para alquiler de departamentos o cuartos o incorporar un negocio, dándole al sector la condición de informal (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2018).

Este crecimiento no planificado de las infraestructuras ocasiona que estas no cumplan con los criterios mínimos de diseño esperados por las entidades de control, debido a la nula supervisión en los procesos constructivos. Aquello sumado al desconocimiento por parte de los propietarios, de las propiedades geomecánicas del suelo de cimentación, además de cambiar las solicitaciones estructurales iniciales de la estructura, provoca un incremento de carga en las cimentaciones y deformación en los estratos del suelo (consolidación y deformaciones a largo plazo), que con el paso de los años ha generado problemas en las viviendas tales como fisuras, grietas e importantes asentamientos (Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2018). Este es un claro

ejemplo de los problemas que se pueden originar cuando se construye sin considerar la importancia de la realización de estudios de mecánica de suelos.

El desarrollo de proyectos en zonas urbanas o rurales modifica la topografía y altera algunas propiedades de los suelos que son intervenidos. Sin embargo; debido a la necesidad de caracterizar y conocer los parámetros ingenieriles del subsuelo en el territorio de interés, requeridos para la planificación, conceptualización y construcción de las obras, es importante y necesario incluir en los planes operativos todas las medidas preventivas que garanticen la mínima afectación ambiental.

En la actualidad la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en su capítulo “Geotécnica y Cimentaciones” es la entidad encargada de proporcionar los criterios necesarios que habrán de utilizarse al momento de realizar estudios geotécnicos para diseñar y construir edificaciones, estos se basan tanto en la investigación del subsuelo, como en la geomorfología del sitio (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015).

Aquellos criterios están basados en la ejecución de ensayos que han de llevarse a cabo para la determinación de la capacidad de carga de un suelo, ya sea en laboratorio o en sitio, mismos que están sujetos a lo estipulado en las normas internacionales ASTM y AASHTO, siendo de interés para este trabajo las siguientes: ASTM D2850 (Ensayo triaxial no consolidado no drenado), AASHTO T297 o ASTM D4767 (Ensayo triaxial consolidado no drenado), AASHTO T208 o ASTM D2166 (Ensayo de compresión no confinado), AASHTO T236 o ASTM D3080 (Ensayo de corte directo), AASHTO T206 o ASTM D1586 (Ensayo de penetración estándar), ASTM D3441 (Ensayo de cono de penetración) y ASTM D1194 (Ensayo de placa de carga o carga estática). Sin embargo, estos manuales no consideran en sus procedimientos los factores asociados a cuando el suelo de interés es de naturaleza blanda o se encuentra localizado en una zona con restricciones ambientales.

### **1.3. Formulación del Problema**

¿El diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales va a mejorar la comprensión de cómo abordar la caracterización geotécnica de este tipo de suelos?

### **1.4. Sistematización del Problema**

Existen de manera general dos tipos de ensayos que se pueden realizar para la caracterización geotécnica de un suelo, los indirectos y los directos. Si bien los primeros también denominados no invasivos, como es el caso de los geofísicos, tienen las ventajas de ser aplicables a diferentes tipos de suelos, además de tener un bajo costo y que no perturban las condiciones naturales del entorno, no permiten obtener datos de manera directa, por lo que no se tiene contacto con el material y por ende no es posible determinar ciertas características importantes de este (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016).

En el caso de los ensayos directos, a pesar de que son muy útiles para llevar a cabo determinadas mediciones, el suelo experimenta a diferentes niveles una deformación cortante, la cual para el caso de la estimación de la capacidad de carga puede llegar a ser considerable (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016). Por lo que, si este suelo se encuentra localizado en una de las zonas del territorio nacional consideradas como protegidas y en las cuales se tiene diversas restricciones para su intervención y además es blando, son varios los aspectos que deben ser considerados de manera adicional.

### **1.5. Objetivo General**

Diseñar un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales.

## 1.6. Objetivos Específicos

- Determinar las características de los suelos blandos.
- Definir las restricciones ambientales de los suelos blandos dentro de las áreas consideradas como protegidas.
- Identificar los elementos que conforman el proceso operativo para la ejecución de pruebas de capacidad de carga de suelos.
- Elaborar un procedimiento para realizar pruebas de carga en suelos blandos con restricciones ambientales.

## 1.7. Justificación

La industria de la construcción es una de las que mayor ingresos reporta en la economía de un país, sin embargo; actualmente las construcciones se han vuelto un tema de preocupación para diferentes organismos, principalmente ambientales, tanto por su alta demanda de recursos naturales, como por la huella negativa que dejan sobre el medio ambiente las diversas actividades que deben llevarse a cabo, empezando por las etapas preliminares al proyecto, como es el caso de la determinación de la capacidad portante del suelo de cimentación.

Si bien existen zonas en el Ecuador que por sus características biodiversas son de especial interés y cuidado para las autoridades ambientales nacionales, eso no significa que no sea posible llevar a cabo diversos proyectos en estos territorios. Precisamente pensando en ello, el *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador* (2013) delega como una de las competencias de la *Unidad de Áreas Protegidas y Ecosistemas*, la realización de “Instructivos para la construcción y operación de infraestructura ecoturística en áreas protegidas”, así como de “Informes de análisis técnico para la realización de proyectos de desarrollo en áreas protegidas”.

Razón por la cual se justifica la elaboración de manuales como este que combinen las restricciones ambientales y la determinación de la capacidad de carga en suelos blandos, a fin de que los proyectos entren en los lineamientos de las entidades reguladoras y puedan ser concluidos de manera exitosa. Con este antecedente, esta investigación adquiere espacios relevantes debido a que profundiza aspectos teóricos importantes sobre las variables: suelos blandos, restricciones ambientales y procedimiento de prueba de capacidad carga.

La justificación metodológica se basa en que el desarrollo de esta tesis muestra el camino recorrido desde una investigación con paradigmas cuantitativos desde la metodología documental para establecer una guía procedimental en la obtención de la capacidad de carga en suelos blandos.

La justificación práctica está en que el presente trabajo servirá de guía para los ingenieros, para aquellos proyectos donde se requiere conocer de manera previa las características de los suelos de fundación y por su ubicación se espera encontrar depósitos de suelos blandos. Razón por la cual, se justifica el diseño de un plan para la realización de una prueba de carga en área con suelos blandos y restricciones ambientales, que implique la menor cantidad de impactos medioambientales en el entorno.

## **1.8. Delimitación del Problema**

<b>Área:</b>	Ingeniería Civil.
<b>Campo:</b>	Educación Superior. Tercer Nivel de Grado.
<b>Tema:</b>	Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales.
<b>Aspecto:</b>	Investigación Documental.
<b>Delimitación Espacial:</b>	Territorio ecuatoriano.

**Delimitación Temporal:** 6 meses

### 1.9. Hipótesis o Idea por defender

La guía obtenida de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales cumplirá con lo establecido con la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la cual se fundamenta en las normas internacionales ASTM.

### 1.10. Línea de Investigación Institucional/Facultad

**Tabla 1.**

*Línea de investigación FIIC*

Línea de investigación		
ULVR	FIIC	Sublínea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Territorio

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2020).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Marco Teórico**

##### **2.1.1. Antecedentes**

En Colombia, en la ciudad de Bogotá, Jiménez y Otálvaro (2020) llevaron a cabo una investigación para optar al título de Ingeniero Civil, debido a que la ciudad en mención cuenta con una variedad de suelos con propiedades diferentes y por ende amerita la realización de evaluaciones acerca de su efectividad en términos de capacidad portante. Por lo tanto, el objetivo principal fue realizar un análisis comparativo de la capacidad de carga de un suelo cuando ha sido sometido a dos tipos diferentes de rellenos granulares, con el fin de que su capacidad portante se incremente y pueda soportar cimentaciones superficiales, haciendo uso de dos metodologías; el método analítico tradicional (Meyerhof) y un análisis mediante elementos finitos (OPTUM G2).

Los resultados demostraron que se puede lograr un incremento de hasta un 40% en la capacidad de carga de cimentaciones si se utiliza un suelo tipo subbase C, lo que les permitió concluir que en aquellas zonas con suelos estratificados, es decir un suelo rígido sobre un suelo blando, el reemplazo de una parte del mismo por uno granular, incrementa la capacidad de carga de forma proporcional con el espesor reemplazado, sugiriendo además que sea en la subbase donde se realice este reemplazo, así como también concluyeron que el método de análisis mediante elementos finitos es el método más óptimo para este tipo de cálculos. Obteniendo como aporte para este proyecto un mayor conocimiento de un mecanismo para incrementar la capacidad de carga de un suelo blando.

En Brasil, en la ciudad de Foz de Iguazú, Anagua (2019) llevó a cabo su trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil de Infraestructura con el objetivo de investigar que tan viable resulta la utilización de zapatas cuando estas se encuentran asentadas sobre suelos limo arcillosos (blandos), para lo cual se realizaron pruebas de carga-asentamiento, dicha prueba también se llevó a cabo en un suelo reforzado con suelo-cemento compactado en dosificaciones de 0, 6, 9 y 12% de cemento con respecto al peso total de la mezcla. Los resultados demostraron que el porcentaje de adición óptimo fue 9%, puesto que se mejoraron de manera efectiva tanto la cohesión como el ángulo de fricción del suelo y por supuesto los asentamientos.

Dichos resultados permitieron concluir que resulta viable la utilización de este tipo de técnicas de refuerzo en los suelos blandos. En vista de la necesidad de tener que realizar pruebas de capacidad de carga-asentamiento en este tipo de suelos para poder conocer su capacidad portante, el conocimiento de este tipo de alternativas de reforzamiento, aporta a este trabajo con un mayor entendimiento procedimental acerca de este tipo de pruebas.

En Cuba, en la ciudad de Santa Clara, De la Cruz (2017) realizó su proyecto de titulación para optar por el título de Ingeniera Civil, con el principal objetivo de profundizar el estudio y comprensión de los suelos saturados y cómo esta condición influye en sus parámetros geotécnicos, dentro de los cuales se incluyen la capacidad portante o capacidad de carga y los asentamientos. Los resultados numéricos del estudio que se obtuvieron mediante elementos finitos permitieron determinar los aspectos de interés, concluyendo que es importante realizar actividades de drenaje cuando se descubre que los suelos sobre los cuales se desea cimentar se encuentran en este estado de saturación. El aporte de dicha tesis a esta investigación es precisamente tener conocimiento de considerar el estado de saturación de un suelo cuando se desee conocer

su capacidad de carga, así como, cuáles son las actividades que se deben cambiar en el protocolo de realización de pruebas de capacidad de carga ante tales escenarios.

En Perú, en la ciudad de Lima, Nieto y Tolentino (2021) desarrollaron su trabajo de pregrado para optar por el título de Ingeniero Civil, tomando en consideración la problemática acerca del comportamiento de los suelos blandos en cuanto a deformaciones, tensiones verticales y esfuerzos, por lo tanto con ese antecedente el objetivo fue presentar dos métodos de estudio del asentamiento de edificaciones que se encuentran soportadas sobre suelos blandos mejorados gracias a la técnica de inclusiones rígidas. Es por ello que mediante una metodología de análisis de elementos finitos se buscó verificar una serie de suposiciones, dividiendo al perfil del suelo en una serie de secciones horizontales y buscando un equilibrio entre las tensiones y deformaciones tanto horizontales como verticales.

Los resultados obtenidos en cuanto a asentamientos, demostraron que la utilización de PLAXIS para el desarrollo de la investigación, es muy dependiente tanto de las características geométricas de las inclusiones, como de las características en aspectos geotécnicos del suelo. Concluyendo principalmente que, cuando se va a llevar a cabo un proyecto, los propietarios generalmente por desconocimiento de ingeniería, optan por las soluciones geotécnicas más económicas, por lo que muchas veces no se conoce realmente de que estratos está compuesto el suelo de fundación y por consiguiente no se tiene noción de los asentamientos que se producirán, ante lo cual, como medida preventiva existen varios métodos de mejoría y refuerzo. Obteniendo como aporte para este proyecto un mayor conocimiento acerca de los suelos blandos y su problemática con las infraestructuras.

En Colombia, en la ciudad de Medellín, Vanegas (2020) llevó a cabo una investigación para optar al título de Ingeniero Sanitario, tomando como antecedente la problemática del constante deterioro al que se ven sometidos los recursos naturales ante la planificación y construcción de caminos y carreteras, por lo tanto el objetivo fue determinar a nivel experimental en laboratorio bajo condiciones controladas, los impactos generados por la inclusión de químicos en el proceso de estabilización de suelos que tendrán aplicaciones viales, así como caracterizar y evaluar mecánica y ambientalmente estos sistemas al ser expuestos a una situación de intemperismo acelerado. Para lo cual, se recurrió a la utilización de suelo arcilloso, el cual al ser un suelo blando posee una reducida capacidad de carga, lo que implica que en ocasiones sea necesario estabilizarlo para mejorar su comportamiento, dicho suelo se mezcló con siete productos químicos diferentes y se prepararon probetas cilíndricas para ser compactadas y posteriormente sometidas a intemperismo acelerado con una cámara QUV.

Los resultados permitieron evidenciar que la utilización de estabilizantes químicos no representa un peligro medioambiental en términos de toxicidad, biodegradabilidad o generación de material particulado. Por lo que se concluyó, que la estabilización de suelos blandos por medio de sustancias químicas no genera un impacto ambiental significativo si se compara con los procesos tradicionales. Obteniendo como aporte para esta investigación el conocimiento de un procedimiento alternativo para estabilizar suelos blandos y que a la vez demostró efectividad en cuanto a no generar un impacto ambiental significativo.

En Ecuador, en la ciudad de Quito, Chicaiza y Oña (2018) desarrollaron su trabajo de pregrado para optar por el título de Ingeniero Civil, con el objetivo de conocer el comportamiento físico y mecánico del suelo de la provincia de Manabí, el cual, por su naturaleza arcillosa, es decir blanda, es altamente plástico y expansivo. Se llevaron a cabo

pruebas experimentales de estabilización, con puzolana obtenida de la ceniza de la cascarilla de arroz obtenida mediante un proceso de incineración a una temperatura de 700 °C, para lo cual se elaboraron mezclas con inclusión del 10, 20 y 30% del estabilizante. Los resultados demostraron que el porcentaje óptimo de inclusión fue del 30% de puzolana, puesto que con ello se redujo en un 65% el potencial de expansión. Se concluyó entonces, que esta es una alternativa óptima de estabilización y que puede ser replicado para otras zonas con suelos de similares características. Aportando a esta investigación con conocimiento acerca de la realidad de los suelos blandos en el contexto nacional.

En Colombia, en la ciudad de Bogotá, Casto (2020) en su trabajo de grado, para optar por el título de Ingeniero Civil, buscó abordar el trasfondo ambiental del desarrollo de los proyectos de ingeniería civil, por lo tanto su investigación tuvo como objetivo principal mostrar de manera analítica cual es la situación en Colombia con respecto a los impactos ambientales negativos que son generados durante el desarrollo de diversas obras de infraestructura. Para lo cual mediante una metodología descriptiva abordó tres tópicos principales de estudio: la responsabilidad ambiental de la ingeniería civil, un recorrido a través de la historia de Colombia en cuanto a las regulaciones que se han aplicado al sector de la construcción y finalmente el estudio de casos en los que ciertas empresas fueron sancionadas por incumplir las normativas de protección y conservación del medio ambiente.

Concluyendo principalmente que la ingeniería civil debería ser una actividad con responsabilidad medioambiental, que fusione los principios éticos personales y profesionales de los responsables de las construcciones, para minimizar los cambios negativos en los ecosistemas. Aportando a este trabajo con información acerca de la realidad de la responsabilidad ambiental en otro país latinoamericano, a fin de tenerlo

como referencia al momento de establecer las restricciones ambientales en el tema de estudio.

En Colombia, en la ciudad de Medellín, Osorio (2017) llevó a cabo su trabajo de grado para optar por el título de Máster en Gerencia de Proyectos, con el objetivo de realizar una recopilación de los diferentes impactos sociales, ambientales y económicos que genera la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas, debido a que en este país no se había elaborado hasta ese momento un documento que sirviera de guía en cuanto a los impactos positivos y negativos de un proyecto de esa naturaleza. Para lo cual, mediante una metodología de revisión de la literatura disponible, se buscó abordar los temas mencionados y con ello impulsar la creación de más centrales hidroeléctricas en ese país.

Los resultados acerca del potencial hídrico del país dejaron en evidencia que Antioquia posee una riqueza hídrica tal, que con el 33% de la producción nacional de energía, podría ser un punto estratégico para la construcción de más centrales hidroeléctricas. Concluyendo que un adecuado y responsable aprovechamiento de las condiciones ambientales de una región, pueden hacer que un proyecto como una central hidroeléctrica resulte viable, puesto que el adecuado manejo del cauce de un río suple la necesidad de tener que inundar terrenos o trasladar a toda una comunidad para que pueda aprovechar dicho río. Aportando a este trabajo con información acerca de los diferentes impactos ambientales que podría acarrear un proyecto de este tipo.

En Colombia, en la ciudad de Bogotá, Galindo y Silva (2017) llevaron a cabo una investigación para optar por el título de Ingeniero Civil, tomando como motivación que debido a la responsabilidad de construir nueva infraestructura, una de las obligaciones de los profesionales en ingeniería civil debería ser garantizar la preservación del medio ambiente para las nuevas generaciones, por lo que su principal objetivo fue analizar cómo

impacta al medio ambiente la utilización de los diferentes equipos y maquinarias necesarios para llevar a cabo los proyectos de construcción. Mediante una revisión documental se clasificaron los impactos tanto en bióticos como abióticos, así como las áreas afectadas de estos. Los resultados permitieron describir las medidas de control, previsión y atenuación que se deberían aplicar a los impactos identificados.

Concluyendo finalmente, que la utilización tanto de maquinarias como vehículos durante el proceso constructivo de infraestructuras genera alteraciones en todos los recursos naturales; aire, agua y suelo, por lo que se plantearon recomendaciones en cuanto a actividades que se podrían llevar a cabo para el manejo, prevención y mitigación de este tipo de impactos. Ya que estos equipos y maquinaria están presentes desde las etapas preliminares de un proyecto en la ejecución de los ensayos de caracterización del sitio, el aporte personal obtenido es un mayor conocimiento de cómo estos instrumentos afectan a los ecosistemas.

### **2.1.2. *Capacidad de carga del suelo***

La capacidad de carga también denominada capacidad de carga última o capacidad de carga admisible, se define como el máximo esfuerzo que se puede aplicar a un suelo a través de una cimentación, la cual posteriormente deberá sostener de manera eficiente cualquier tipo de construcción, es decir que si se supera este valor es posible causar sobre el suelo una falla por resistencia al esfuerzo cortante (Quezada, 2017).

La capacidad de carga está en función del tipo de suelo, así como de las características geométricas de la cimentación que se va a utilizar y del coeficiente de seguridad adoptado. Adicionalmente, es necesario conocer el nivel de las aguas freáticas o si caso contrario no existe la presencia de estas, puesto que también tienen influencia en las condiciones de resistencia del suelo (Quezada, 2017).

**2.1.2.1. Teoría de Karl Terzaghi.** La teoría de Terzaghi presentada en 1983 adopta los resultados de la Mecánica del Medio Continuo; según los cuales se ignora la resistencia a los esfuerzos cortantes, razón por la cual el mecanismo de falla del suelo se localiza sobre el nivel de desplante de la cimentación, es decir que el mecanismo de falla se produce puntualmente por una carga excesiva que se encuentra actuando a dicha profundidad (Atencio & Angulo, 2020).

**2.1.2.2. Teoría de Meyerhof.** En esta teoría ya se consideró la presencia de los esfuerzos cortantes en el suelo de cimentación por encima de la profundidad de desplante, en contraposición a lo mencionado por Terzaghi. De acuerdo con ese principio, el suelo de recubrimiento por encima de dicho nivel es un medio de transmisión de superficie de deslizamiento. La teoría de Terzaghi era aplicable únicamente para cimentaciones con geometrías cuadradas y circulares, sin embargo, la teoría de Meyerhof ya se amplió para cimentaciones rectangulares (Atencio & Angulo, 2020).

**2.1.2.3. Teoría de Skempton.** La teoría de Skempton afirma que el incremento en la resistencia del factor de capacidad de carga es directamente proporcional al incremento en la profundidad de desplante, lo que significa que la capacidad de carga no es una medida independiente de la mencionada profundidad. Cabe recalcar que este crecimiento no es ilimitado, por lo tanto, la capacidad de carga permanecerá constante hasta cierta profundidad de desplante (Atencio & Angulo, 2020).

**2.1.2.4. Capacidad de carga en suelos estratificados.** De acuerdo con Quintero et al. (2021), se puede nombrar suelo estratificado a aquel cuya estructura está compuesta por un estrato de suelo fuerte sobre uno más débil. Si la profundidad a la que se localiza el estrato débil es relativamente pequeña en comparación con el ancho de la cimentación que se soporta sobre el suelo, el estrato fuerte fallará por punzonamiento y el estrato inferior fallará por corte.

**2.1.2.5. Capacidad de carga en suelos blandos.** Cuando se desea construir sobre suelos con baja capacidad portante como es el caso de los suelos blandos, estas infraestructuras pueden generar esfuerzos cortantes que pueden inclusive llegar a ser mayores que la resistencia natural del suelo, causando fallas en la base de la cimentación, por lo que es necesario recurrir a diferentes técnicas con el fin de aumentar la capacidad resistente del suelo. En la actualidad se cuenta con una serie de productos desarrollados con el fin de brindar refuerzo y estabilidad a los suelos blandos, como es el caso de los geotextiles o las geomallas, cuya correcta utilización es una buena alternativa para alargar la vida de las construcciones (Macías et al., 2018).

**2.1.2.6. Capacidad de carga afectada por el nivel freático.** Se conoce como nivel freático, a aquel en el cual, la presión del agua en los poros del suelo es igual a la de la atmósfera. La existencia de agua en el suelo del cual se quieren conocer sus características puede alterar de manera considerable las características de este y con ello su capacidad de carga última. Cuando los ensayos de laboratorio determinan la altura del nivel freático se deben adoptar medidas que dependerán de cada caso, sin embargo, una de las alternativas a las que se suele recurrir es emplear un sistema de drenaje que posteriormente evitará filtraciones en la construcción (Castillo, 2017). Si se da el caso de que el nivel freático se encuentra por debajo de la cimentación, los efectos del agua se pueden ignorar en los cálculos para calcular la capacidad de carga, caso contrario se deben realizar correcciones en el peso específico del suelo.

**2.1.2.7. Capacidad de carga afectada por sismo.** Cuando se produce un evento telúrico, las ondas sísmicas recorren el suelo y este soporta diferentes procesos en función de su tipo; es decir, que si se trata de un suelo rocoso las ondas se atenúan, mientras que en suelos blandos (arenas, arcillas y finos) se amplifican. De acuerdo con Bernal (2020) la amplificación de estas ondas en los suelos blandos puede causar los siguientes efectos:

- Licuefacción: implica que el suelo pasa de tener un estado sólido a uno semifluido y al volverse inestable las construcciones sobre este se hunden o colapsan fácilmente.
- Asentamientos diferenciales: es decir que, si el suelo tiene baja capacidad de carga, sus partículas se reacomodan y las bases de las edificaciones pierden apoyo quedando inestables.
- Resonancia: este efecto se produce cuando las edificaciones vibran al mismo ritmo que los suelos, aquello incrementa el nivel de movimiento y con ello los daños; se puede decir que este es el mayor peligro que se puede experimentar ante un sismo.

### 2.1.3. Prueba de capacidad de carga en laboratorio y/o in situ

2.1.3.1. Normas para los ensayos de laboratorio. La determinación de la capacidad de carga del suelo debe ser realizada bajo ensayos en laboratorio o in situ que siguen lo estipulado en las normas reglamentarias y vigentes de cada país, sin embargo, las ASTM y AASHTO al ser normas con validez internacional son las más utilizadas, aun cuando pudiese haber algunas diferencias de procedimientos entre unas y otras por las constantes actualizaciones realizadas por los investigadores. Por lo que en la Tabla 2 se recopilan los ensayos más utilizados y su norma de referencia.

**Tabla 2.**  
*Normas de referencia*

Ensayo	Norma	
	AASHTO	ASTM
Ensayo triaxial no consolidado no drenado	-	D 2850
Ensayo triaxial consolidado no drenado	T 297	D 4767
Ensayo de compresión no confinado	T 208	D 2166
Ensayo de corte directo	T 236	D 3080
Ensayo de penetración estándar	T 206	D 1586
Ensayo de cono de penetración	-	D 3441
Ensayo de placa de carga o carga estática	-	D 1194

Tomados de Braja M. Das (2011).

**2.1.3.2. Ensayo triaxial.** Este ensayo es el más común y puede ser llevado a cabo permitiendo la consolidación (es decir el drenaje) o no de la muestra, es óptimo para cualquier tipo de suelo excepto para las arcillas muy inestables (Nij, 2017).

**2.1.3.3. Ensayo de corte directo.** Este ensayo consiste en deslizar una muestra de suelo con respecto a otra a lo largo de un plano de falla previamente determinado gracias a la acción de una fuerza cortante horizontal, mientras al mismo tiempo se aplica una carga normal al plano de movimiento. La prueba de corte directo fue durante mucho tiempo la única utilizada para determinar la resistencia del suelo, sin embargo, durante los últimos años se la ha venido sustituyendo por la prueba de compresión triaxial (Fellenius, 2019).

**2.1.3.4. Ensayo de compresión triaxial.** El ensayo triaxial es una de las pruebas con menor margen de error para determinar la resistencia al corte del suelo. Para llevar a cabo la prueba es necesario extraer una muestra cilíndrica, la cual es revestida por una membrana de látex y colocada dentro de una cámara de presión, aislada en sus extremos por discos porosos, los mismos que se conectan a un sistema para saturar o drenar el espécimen. En esta prueba es posible variar la presión actuante en tres direcciones ortogonales (de allí su nombre), determinando de manera completa las características mecánicas del suelo (Rui, 2020).

**2.1.3.5. Ensayo de penetración estándar (SPT).** El Standard Penetration Test (SPT) es uno de los ensayos in situ más utilizados en ingeniería geotécnica, que consiste en hincar mediante golpes una punta metálica en el terreno, el ensayo registra el número de golpes necesarios para que un toma muestras de geometría tubular fabricado de acero y hueco, se introduzca en el terreno gracias a la caída repetida de una masa normalizada de 63.5 kg desde una altura de 76.2 cm. Dicho toma muestras se introduce una

profundidad de 60 cm en el terreno y los golpes se contabilizan en los intervalos de 15 cm (Muñoz, 2017).

Este ensayo se basa en un postulado de la física conocido como conservación de la cantidad de movimiento, además de que se asume que los impactos de la punta metálica en el terreno son completamente plásticos, por lo que no existen rebotes de esta masa y la energía de penetración dependerá de factores como: marca del martillo, su configuración y altura real de caída de este (Nij, 2017)

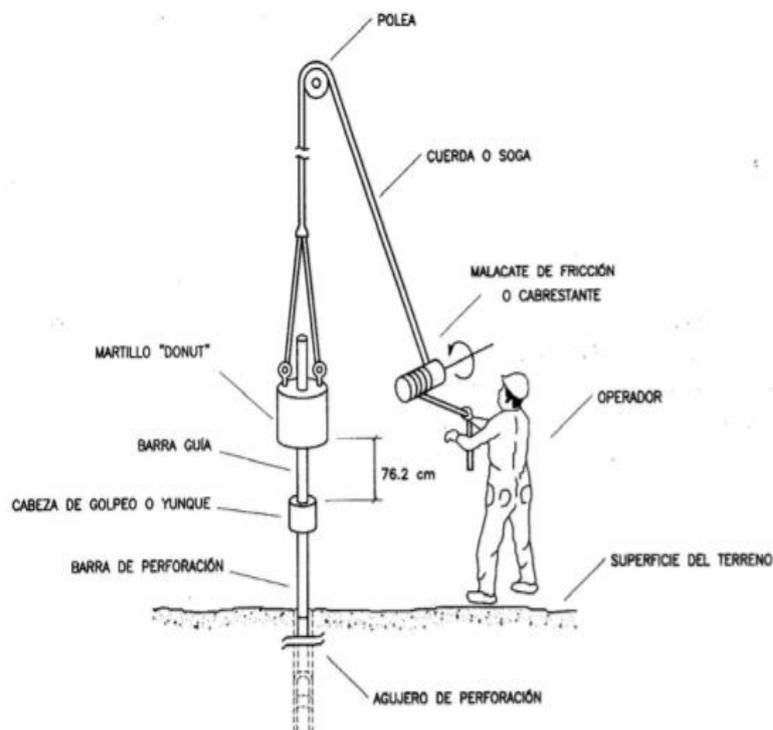


Figura 1. Esquema de la prueba SPT  
Fuente: Nij (2017)

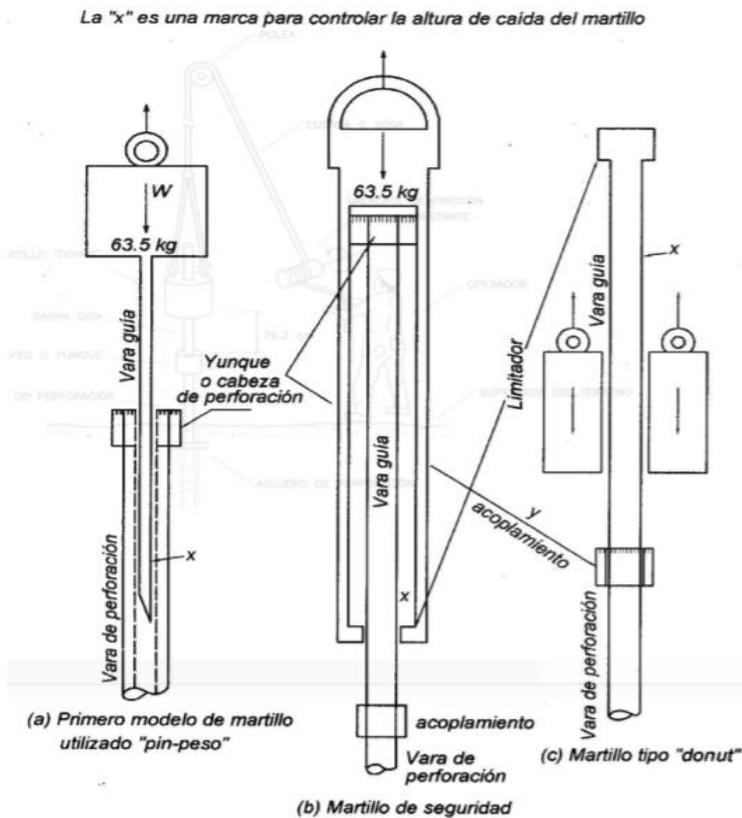
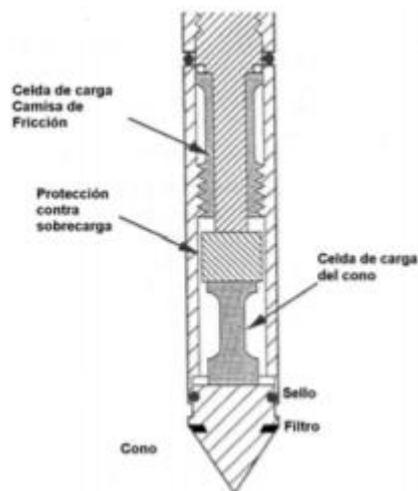


Figura 2. Tipos de martillos para la prueba SPT  
Fuente: Bowles (1988)

**2.1.3.6. Factores de corrección para el valor N.** El número de golpes (N) obtenido al realizar el ensayo SPT debe ser corregido multiplicándolo por unos coeficientes determinados por investigadores de mucha trayectoria. Actualmente existen algunas correcciones que deben ser consideradas para garantizar el apropiado uso del SPT, entre las cuales se pueden mencionar: factor por revestimiento, factor por energía del martillo, corrección por confinamiento efectivo, factor por longitud de la varilla y factor por diámetro de perforación (Rojas, 2017).

**2.1.3.7. Correlaciones de ensayo de penetración estándar.** Una vez que se ha determinado el valor N (número de golpes) del ensayo SPT, este valor puede ser utilizado para determinar los siguientes parámetros: el ángulo de fricción interna, la cohesión y la densidad de un suelo, cuyos valores son igualmente importantes para llevar a cabo cualquier proyecto ingenieril (Rojas, 2017).

**2.1.3.8. Ensayo de penetración de cono (CPT).** Este ensayo que en un principio se denominaba ensayo de penetración con cono holandés se utiliza para estimar in situ las propiedades ingenieriles de un suelo, otro nombre con el que se le conoce es el de prueba de penetración estática. Se realiza empujando en el suelo el cono de penetración estándar a una velocidad de 10 a 20 mm/s y periódicamente se detiene para agregar barras de 1 m. y con ello incrementar la profundidad del sondeo (Muñoz, 2017).



*Figura 3.* Esquema del penetrómetro para la prueba CPT  
Fuente: Gutiérrez y Lizcano (2017)

**2.1.3.9. Prueba de placa de carga.** Este método de ensayo también conocido como “Carga Estática para Suelos y Cimentaciones Superficiales”, es uno de los procedimientos que se realizan in situ para determinar la capacidad portante de un suelo, la información que se obtiene da una idea de las características del suelo hasta una profundidad de aproximadamente dos veces el diámetro de la placa de carga que se utiliza (Cifuentes & Iguavita, 2020).



*Figura 4.* Equipo para la prueba de placa de carga  
Fuente: Fuente y Iguavita (2020)

#### **2.1.4. Suelos blandos**

Se conoce como suelos blandos a aquellos compuestos por granos finos, que se caracterizan por su elevada compresibilidad, baja permeabilidad y principalmente porque son inestables a los cambios de humedad, razón por la cual presentan baja capacidad portante, así como a los esfuerzos de corte y por el contrario registran altos asentamientos, un aspecto crítico al momento de realizar un diseño sobre estos suelos (López et al., 2019). En esta categoría de suelos blandos entran los suelos arcillosos, que no sólo pueden provocar el colapso de las estructuras que se soportan sobre ellos por asentamiento, sino también por expansión debido a su naturaleza, ya que cambian de forma y volumen al recibir fuerzas externas, haciendo que sea poco factible incluso su compactación (Das, 2011).

Cuando se desea construir sobre suelos con baja capacidad portante como es el caso de los suelos blandos, estas infraestructuras pueden llegar a causar fallas en la base de la cimentación, por lo que es necesario recurrir a diferentes técnicas con el fin de aumentar la capacidad resistente del suelo (Campos et al., 2018). En la actualidad se cuenta con una serie de productos desarrollados con el fin de brindar refuerzo y

estabilidad a los suelos blandos, como es el caso de los geotextiles o las geomallas, cuya correcta utilización es una buena alternativa para alargar la vida de las construcciones (Macías et al., 2018).

La caracterización del suelo para un proyecto debe satisfacer varias necesidades entre las cuales se encuentra el aspecto económico; por lo que, para uno pequeño, en muchas ocasiones se realizan pruebas geotécnicas muy económicas pero que no aseguran la confiabilidad de los datos, mientras que si se trata de un proyecto más importante surge la necesidad de llevar a cabo estudios más detallados. Es por ello por lo que, en países como Colombia, cuya capital Bogotá posee un amplio margen de suelos blandos altamente compresibles, los profesionales se encuentran implementando nuevas técnicas de exploración y caracterización del suelo, que arrojen información más detallada y en menos tiempo (Ballesteros, 2018).

#### **2.1.5. Restricciones ambientales**

También denominados factores de restricción ambiental:

Son aquellos aspectos del ambiente que por sus características imposibilitan la viabilidad ambiental de un proyecto sobre un área geográfica, (...), debido a la alta fragilidad ambiental e irreversibilidad de efectos, determinantes legales, amenaza del ambiente al proyecto y complejidad técnica. (Martínez, 2010, p. 13)

Las restricciones ambientales presentadas a manera de un informe permiten conocer con antelación en que zonas, por sus características resulta imposible intervenir para llevar a cabo un proyecto, propiciando la búsqueda y selección de otra zona con un menor grado de complejidad en su intervención, tanto desde el punto ambiental, como técnico y económico (Subsecretaria de Infraestructura del Transporte. Dirección de Gestión Socio Ambiental, 2019).

La importancia que han ido adquiriendo en los últimos años los temas ambientales, debido a la preocupación asociada con los fenómenos relacionados al cambio climático, ha hecho que los organismos políticos encargados de legislar y emitir ordenanzas se involucren más con esta temática, a fin de asegurar que se cumplan ciertos lineamientos que garanticen la conservación del patrimonio natural principalmente en ciertos ecosistemas frágiles (Arias & Rodríguez, 2018).

Según Hernández et al. (2001) la incorporación de cualquier proyecto debe incluir una identificación de los impactos ambientales que este puede ocasionar sobre su entorno, cuya identificación puede realizarse mediante la aplicación de diversas técnicas; las cuales pueden evaluar de manera cualitativa el grado de afectación que se generará, tomando como referencia la experiencia de otros profesionales en evaluación de este tipo de impactos. Sea cual sea la técnica que se utilice, se debe considerar el entorno ambiental antes de la inserción del proyecto, para con ello establecer posibles alternativas de mitigación que permitan reducir los grados de afectación. Es así como dichos impactos se pueden agrupar de acuerdo con el medio afectado, clasificándolos en:

#### **2.1.5.1. Medio biótico.**

- Degradación de la vegetación
- Cambios en el hábitat
- Reducción de la fauna
- Variación en la distribución de la fauna

#### **2.1.5.2. Medio físico.**

- Erosión
- Acarreo de sólidos
- Sedimentación
- Modificación del drenaje natural

- Alteración del flujo normal del agua
- Acumulación de gases y polvo en el aire
- Acarreo de sedimentos en cuerpos de agua
- Contaminación del suelo
- Vibraciones y choques

#### **2.1.5.3. Medio humano.**

- Conflictos sociales
- Accidentes

#### **2.1.5.4. Calidad del paisaje.**

- Perturbación de los ecosistemas
- Deterioro de sitios de interés histórico
- Ruido
- Basura

**2.1.5.5. Permisos ambientales.** El Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), es un sitio WEB destinado para que la ciudadanía pueda llevar a cabo la gestión de cualquier trámite relacionado con el medio ambiente a nivel nacional (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2010). Precisamente a través de este portal, cualquier persona o empresa que desee realizar cualquier proyecto que involucre actividades de diferente grado de impacto ambiental y que pudieran afectar la calidad de los recursos naturales, como por ejemplo el suelo, deberá obtener la denominada “Licencia Ambiental”. Un proceso que deberá ser revisado y aprobado por la entidad competente, pudiendo ser el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica o el Gobierno Autónomo Descentralizado respectivo (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021).

Los principales requisitos que deben ser presentados de manera obligatoria para la solicitud de esta licencia, de acuerdo con el portal de trámites en línea del Ministerio del Ambiente (2021) son:

- Solicitud de Certificado de Intersección con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Bosques Protectores y Patrimonio Forestal del Estado.
- Solicitud de la aprobación de los Términos de Referencia TDR.
- Solicitud de la aprobación del Estudio de Impacto Ambiental.
- Informe de Sistematización del Proceso de Participación Ciudadana.
- Pago por Servicios Administrativos.
- Póliza o garantía por responsabilidades ambientales.
- Solicitud de la emisión de la Licencia Ambiental para la realización del proyecto

Adicionalmente, en aquellos casos en los que el proyecto se cruce con alguna zona dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, “se deberá obtener el Informe de Viabilidad Ambiental, emitido por la Administración del Área Protegida” (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2021, p. 1). Una vez reunidos todos los requisitos necesarios, toda la información relacionada con el procedimiento y costos que habrán de cubrirse puede ser consultada en el SUIA.

La legislación ambiental vigente no reconoce diferenciaciones entre proyectos, ya sean estos: viales, un puente, una florícola, etc., por lo tanto, las condiciones para que a un proyecto le sea otorgada la Licencia Ambiental (cualquiera que fuera su finalidad) son iguales. La experiencia internacional adoptada por el Ecuador desde aproximadamente el año 2012, demuestra que un proyecto se convierte en exitoso cuanto más pronto es integrada la variable ambiental en su ciclo de vida (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2013).

**2.1.5.6. Áreas protegidas del Ecuador.** En el Ecuador el Ministerio de Ambiente, por medio de la Dirección de Información, Seguimiento y Evaluación han desarrollado el *Mapa del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador*, el cual se puede observar en la Figura 5. Con este mapa que se ha publicado en el Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas del Ecuador, se espera por un lado, que sea de conocimiento de la ciudadanía cuales son aquellas zonas sensibles del Ecuador y por otro dotar a las autoridades o personas a cargo del manejo de estas áreas protegidas de las herramientas necesarias (aspectos conceptuales, marco normativo y fases de diseño, planificación e implementación de los planes de manejo), para la gestión efectiva de estas zonas del Ecuador y así garantizar su conservación (Columba, 2013).



<b>LEYENDA</b>	
<b>PATRIMONIO DE ÁREAS NATURALES DEL ESTADO</b>	
01, Parque Nacional, Cajas	25, Reserva de Producción de Fauna, Manglares El Salado
02, Parque Nacional, Cotopaxi	26, Refugio de Vida Silvestre, Pasochoa
03, Parque Nacional, Galápagos	27, Refugio de Vida Silvestre, Manglares Estuario del Río Muisne
04, Parque Nacional, LLanganates	28, Refugio de Vida Silvestre, Islas Corazón y Fragatas
05, Parque Nacional, Machalilla	29, Refugio de Vida Silvestre, Isla Santa Clara
06, Parque Nacional, Podocarpus	30, Refugio de Vida Silvestre, La Chiquita
07, Parque Nacional, Sangay	31, Área Nacional de Recreación, El Boliche
08, Parque Nacional, Sumaco Napo-Galeras	32, Área Nacional de Recreación, Parque Lago
09, Parque Nacional, Yasuní	33, Reserva Biológica, El Cóndor
10, Reserva Biológica, Limoncocha	34, Refugio de Vida Silvestre, El Zarza
11, Reserva Marina, Galápagos	35, Reserva Biológica, El Quimi
12, Reserva Ecológica, Antisana	36, Refugio de Vida Silvestre, Manglares El Morro
13, Reserva Ecológica, Arenillas	37, Refugio de Vida Silvestre, Manglares Estuario del Río Esmeraldas
14, Reserva Ecológica, El Ángel	38, Refugio de Vida Silvestre, Pacoche
15, Parque Nacional, Cayambe Coca	39, Reserva de Producción de Fauna, Puntilla de Santa Elena
16, Reserva Ecológica, Manglares Cayapas Mataje	40, Reserva Marina, Galera San Francisco
17, Reserva Ecológica, Cofán Bermejo	41, Parque Nacional, Yacurí
18, Reserva Ecológica, Cotacachi Cayapas	42, Área Nacional de Recreación, Isla Santay
19, Reserva Ecológica, Los Linizas	43, Refugio de Vida Silvestre, El Pambilar
20, Reserva Ecológica, Mache Chindul	44, Área Nacional de Recreación, Los Samanes
21, Reserva Ecológica, Manglares Churute	45, Reserva Biológica, Cerro Plateado
22, Reserva Geobotánica, Pulumahua	46, Área Nacional de Recreación, Playas de Villamil
23, Reserva de Producción de Fauna, Chimborazo	47, Área Nacional de Recreación, Quimsacocha
24, Reserva de Producción de Fauna, Cuyabeno	48, Reserva Marina, El Pelado
<b>SUBSISTEMA AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO</b>	
01, Área Ecológica de Conservación Municipal Siete Iglesias	
 División Provincial	 Colombia y Perú

Figura 6. Lista de áreas protegidas del Ecuador

Fuente: Columba (2013)

## 2.2. Marco Conceptual

**Arcilla.** Se conoce con este nombre a las partículas de suelo con tamaños menores a 0.075 mm, fácilmente distinguibles por su coloración café/amarillenta y de consistencia similar a la plastilina, cuya composición es un silicato hidratado ya sea de: aluminio, hierro o magnesio y cuya microestructura diminuta ocasiona que sea plástica y poco permeable (Archenti, 2018).

**Licuefacción.** implica que el suelo pasa de tener un estado sólido a uno semifluido y al volverse inestable las construcciones sobre este se hunden o colapsan fácilmente.

**Asentamientos diferenciales.** es decir que, si el suelo tiene baja capacidad de carga, sus partículas se reacomodan y las bases de las edificaciones pierden apoyo quedando inestables.

**Resonancia.** este efecto se produce cuando las edificaciones vibran al mismo ritmo que los suelos, aquello incrementa el nivel de movimiento y con ello los daños; se puede decir que este es el mayor peligro que se puede experimentar ante un sismo.

**Fallas por capacidad.** Estas ocurren cuando el suelo ha sido sometido a cargas o sollicitaciones mayores a su capacidad de carga, generalmente se presentan cuando la construcción se asienta sobre rellenos no compactados o cuyo nivel de compactación es bajo, así como cuando se recurre a pilotes que no alcanzan a sostenerse sobre terreno firme (Quezada, 2017). El tipo de fallas que pueden producirse son: falla general por corte, falla local por corte, falla por punzonamiento o también denominado aplastamiento.

**Falla general por corte.** Se trata de una falla súbita y catastrófica, en la que el terreno se desliza desde uno de los bordes de la cimentación hasta su extremo puesto en el terreno, el cimiento se inclina substancialmente y a su alrededor el suelo se expande, se presenta generalmente en las arenas compactas.

**Falla local por corte.** Ocurre un hinchamiento y asentamiento del suelo, se forma una cuña por debajo de la cimentación (similar a la de la falla general por corte), pero la superficie de falla no es completa.

**Falla por punzonamiento.** Esta falla se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación, el cual se produce por la compresión del suelo localizado debajo de esta, adicionalmente el suelo alrededor de la cimentación se rompe por cortante, dicho movimiento ocurre sin previo aviso ya que la superficie del suelo alrededor de la cimentación casi no se altera hasta el momento de la rotura.

**Presión neta de diseño del terreno:** Es la capacidad resistente que tiene el suelo para soportar las cargas netas que provienen de las columnas, después de haber considerado el peso propio de la cimentación y del suelo que cubre a esta.

**Presión de confinamiento:** Es la presión aplicada por medio del agua en la cámara dispuesta para llevar a cabo el ensayo triaxial, con la finalidad de simular bajo condiciones controladas el efecto del suelo que rodea la muestra cuando se encuentra en estado natural.

**Profundidad de desplante de la cimentación:** Es la profundidad del suelo a la que se encuentra una capa estable para la cimentación.

### **2.3. Marco Legal**

La constitución de la república del Ecuador con registro oficial 449 del 20 de octubre de 2008, en su capítulo séptimo: derechos de la naturaleza, explica claramente las obligaciones de los ecuatorianos y ecuatorianas en la defensa de la integridad del territorio nacional, así como de los recursos naturales, de modo que estos sean utilizados de una manera racional, sustentable y sostenible, sin afectar a las generaciones presentes y futuras. En ese contexto delega a gobiernos regionales, provinciales, municipales y parroquiales, así como a determinadas instituciones, las respectivas competencias que han de llevar a cabo para lograr este fin común (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Es así como el Ministerio de Ambiente, ha sido el organismo encargado de promulgar una Ley de Gestión Ambiental con el objetivo primordial de controlar y prevenir el impacto ambiental sobre el aire, agua y suelo; obligando con ello a todas las empresas interesadas en llevar a cabo cualquier proyecto a la inclusión en el presupuesto un rubro adicional para la protección del medio ambiente. Adicionalmente, esta normativa hace mención del Plan Nacional de Ordenamiento Territorial, el cual debe contener una zonificación económica, social y ecológica del país a fin de delimitar la capacidad y uso de los ecosistemas y con ello conservar el patrimonio natural (Ley de Gestión Ambiental, Codificación, 2004).

Por su parte el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) mediante La Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo “Geotécnica y Cimentaciones” (NEC-SE-CM) (2015) indica que en aquellos lugares en donde se encuentren o se espere encontrar depósitos de suelos blandos, lo óptimo es realizar sondeos a una profundidad que dependerá del tipo de cimentación que se desee utilizar, con la finalidad de definir “las fronteras drenantes y estratos de suelo compresibles que participen en los asentamientos” (p. 24). Sin embargo, no existe un manual que recopile todas las consideraciones que se deben adoptar cuando se pretenda realizar procedimientos de capacidad de carga en suelos blandos y más si estos están ubicados en zonas con restricciones ambientales por ser reconocidas como protegidas.

# CAPÍTULO III

## METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### **3.1. Metodología**

El marco metodológico de esta investigación se basará en la investigación documental, es decir consistirá en: la búsqueda, obtención, contraste e interpretación de información, con la premisa de aportar con conocimientos que pudieran derivar en nuevos temas de interés para futuros investigadores (Hernández et al., 2014).

### **3.2. Tipo de investigación**

Para el desarrollo del tema de estudio se recurrirá a una investigación de tipo básica. De acuerdo con Hernández et al. (2014) esta busca que el investigador profundice su comprensión en cualquier área de la ciencia, para que a futuro pueda aportar a la sociedad con nuevo conocimiento en torno a dicha área.

### **3.3. Enfoque**

Se empleará un enfoque de tipo cuantitativo, es decir no experimental, una investigación en la cual no se manipulan de manera directa las variables de estudio (Arias F. , 2016). Puesto que se aportará con el diseño de un procedimiento para la realización de pruebas de capacidad de carga en suelos blandos con restricciones ambientales, presentándolo además cifras numéricas en torno a la realidad de esta problemática de los impactos ambientales asociados con este tipo de ensayos necesarios en la ingeniería civil, pero no involucra la realización de ensayos o la aplicación práctica de dicho procedimiento.

### **3.4. Técnica e instrumentos**

Para la realización de esta investigación, uno de los principales criterios de selección de literatura será que la información contenida permita responder a la pregunta de investigación, así como solventar los objetivos e hipótesis planteados. Los documentos, artículos de revistas, manuales, normas, deberán tener una estructura IMRD (Introducción, Material/Métodos, Resultados y Discusión), lo que permitirá identificar más rápidamente si dicho documento aporta al desarrollo de la investigación.

Las fuentes consultadas serán Google Académico, SciELO, Redalyc, Dialnet y ScienceDirect, ya que al ser páginas reconocidas internacionalmente su información contará con la validez académica necesaria para sustentar el tema de investigación. El procedimiento de búsqueda de la información que se llevará a cabo será el siguiente:

- Formulación de una ecuación de búsqueda para los distintos motores previamente descritos,
- Planteamiento de criterios de inclusión y exclusión de la literatura tales como: título acorde al tema de estudio, antigüedad, idioma (reduciendo la búsqueda a documentos en español e inglés), así como contenido,
- Aplicación de la ecuación de búsqueda en las diferentes fuentes de información,
- Selección final de las investigaciones mediante los criterios preestablecidos,
- Realización de entrevistas a profesionales en el campo de la geotecnia y mecánica de suelos,
- Análisis de la información recopilada, procesamiento de las entrevistas y propuesta del manual, tomando como base los mejores resultados entre las investigaciones seleccionadas,
- Finalmente, presentación de discusión de resultados y conclusiones.

### **3.5. Población**

La población se define como “el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación” (López P. , 2004, p. 69). Por lo tanto, para el correcto desarrollo de este trabajo, la población de estudio está conformada por profesionales en Ingeniería Civil con experiencia en la rama de la geotecnia y mecánica de suelos de las empresas Borleti S.A., Cevaconsult Geotecnia y Fiscalización, Geocimientos S.A. y GEOCON S.A.

### **3.6. Muestra**

De acuerdo con López, P. (2004) la muestra “es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación, (...). La muestra es una parte representativa de la población” (p. 69). Es así como se tomó una muestra aleatoria conformada por 4 personas, que trabajan en las empresas antes mencionadas y quienes respondieron a una entrevista, cuyos resultados son de suma importancia para el desarrollo de esta investigación, dichas entrevistas se pueden encontrar en el apartado de Anexos.

### **3.7. Análisis de resultados**

Una vez realizada la búsqueda en los diferentes motores propuestos y aplicados los criterios de inclusión y exclusión para hacer una depuración más significativa de los resultados obtenidos, se recopilará los aspectos más relevantes de cada una de las investigaciones que por su contenido formen parte de la muestra de interés y finalmente se presentará la propuesta del manual acerca de los procedimientos para realizar pruebas de carga en suelos blandos con restricciones ambientales.

### 3.7.1. Resultados de las entrevistas

De acuerdo con los profesionales entrevistados, cuando se está deseando construir sobre un depósito de suelos blandos, se deben mantener las siguientes consideraciones:

1. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué normativas usa respecto a los estudios de suelo para la determinación de la capacidad de carga? y ¿qué considera que se les debe mejorar?

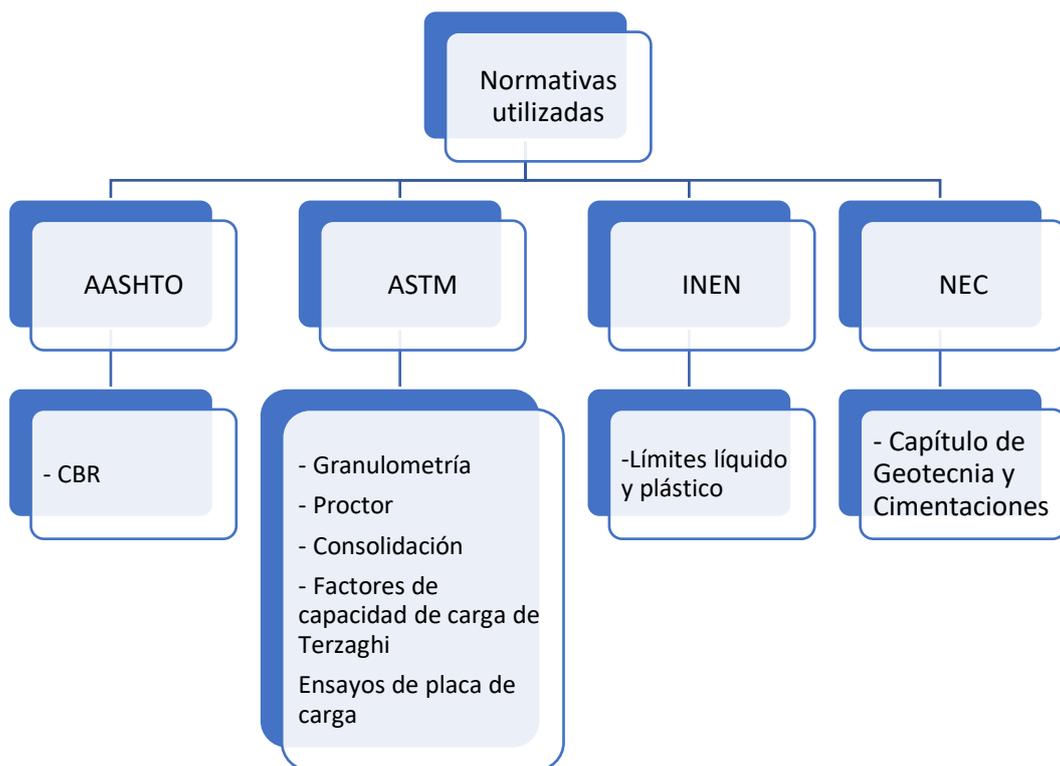


Figura 7. Normativas utilizadas en los ensayos de capacidad de carga  
Elaborado por: Guamán (2022)

**2. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué pruebas de caracterización se deben realizar a los suelos blandos?**

De acuerdo con el Ing. Blas Cruz, maestro en Ingeniería Mecánica de Suelos de la empresa Cevaconsult, Geotecnia y Fiscalización, cuando los suelos son finos (cohesivos) estos deben ser clasificados de acuerdo con lo estipulado en las normas AASHTO y a partir de esto se realizan correlaciones. Los otros tres profesionales entrevistados coinciden que para los suelos blandos los ensayos de caracterización que se les debe realizar son:



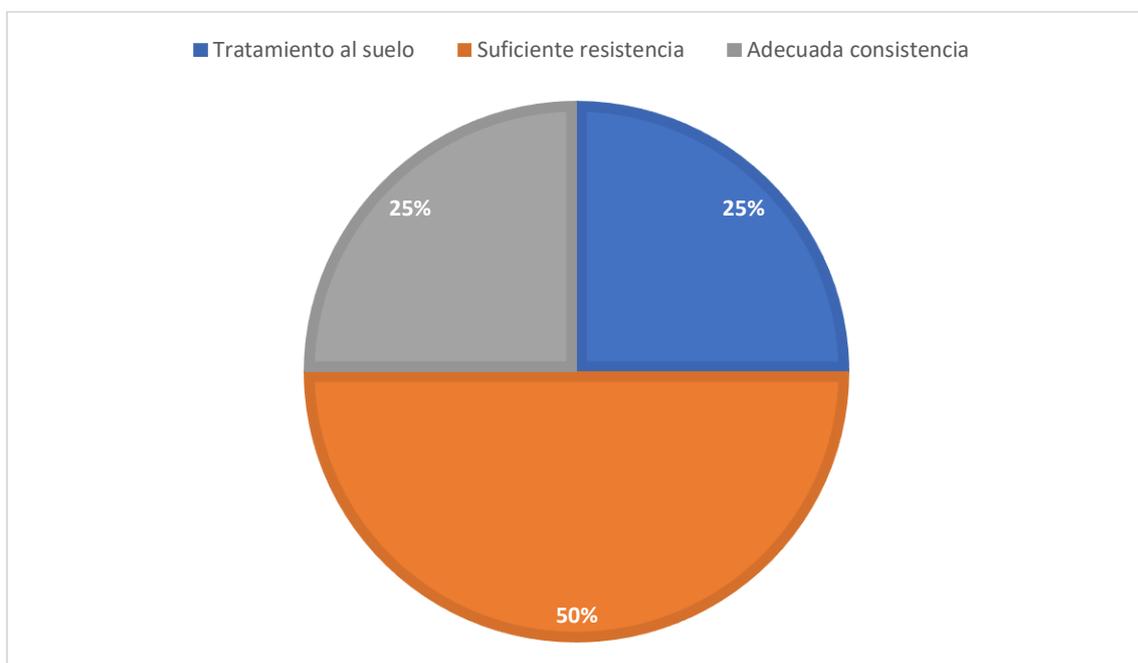
*Figura 8.* Pruebas de caracterización en suelos blandos  
Elaborado por: Guamán (2022)

**3. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué requisitos deben cumplir los suelos blandos para que se pueda construir sobre ellos?**

E1: Dependiendo de la carga que se les desee aplicar, se deberá realizar un tratamiento al suelo.

E2: Los suelos blandos deben tener suficiente resistencia, generalmente se les realiza una prueba rápida para medir esto, además de determinar su consistencia. La consistencia es el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas exteriores que tienden a deformar o destruir su estructura.

E3: Precarga, drenes verticales, pilotes, zapatas en dos direcciones.



*Figura 9.* Requisitos deseados en suelos blandos  
Elaborado por: Guamán (2022)

E4: Para que un suelo se pueda considerar apto para su construcción, se recomienda que cumpla los siguientes requisitos:

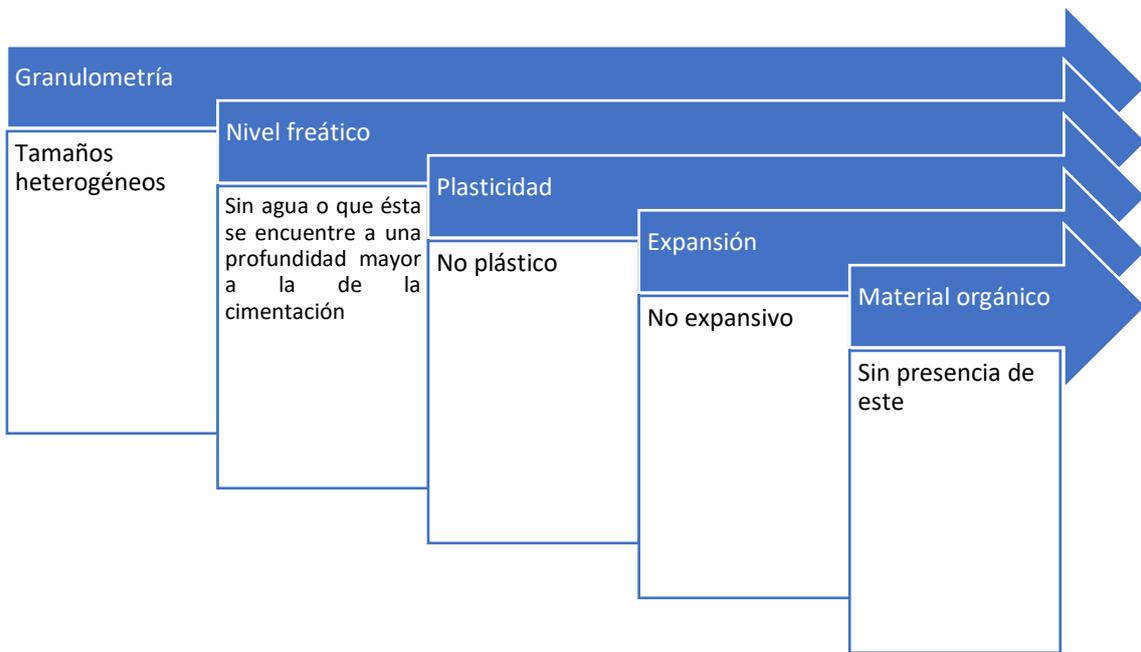


Figura 10. Requisitos deseados adicionales en suelos blandos  
Elaborado por: Guamán (2022)

**4. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuál es la diferencia entre tomar muestras para pruebas de capacidad de carga en suelos blandos y suelos duros?**

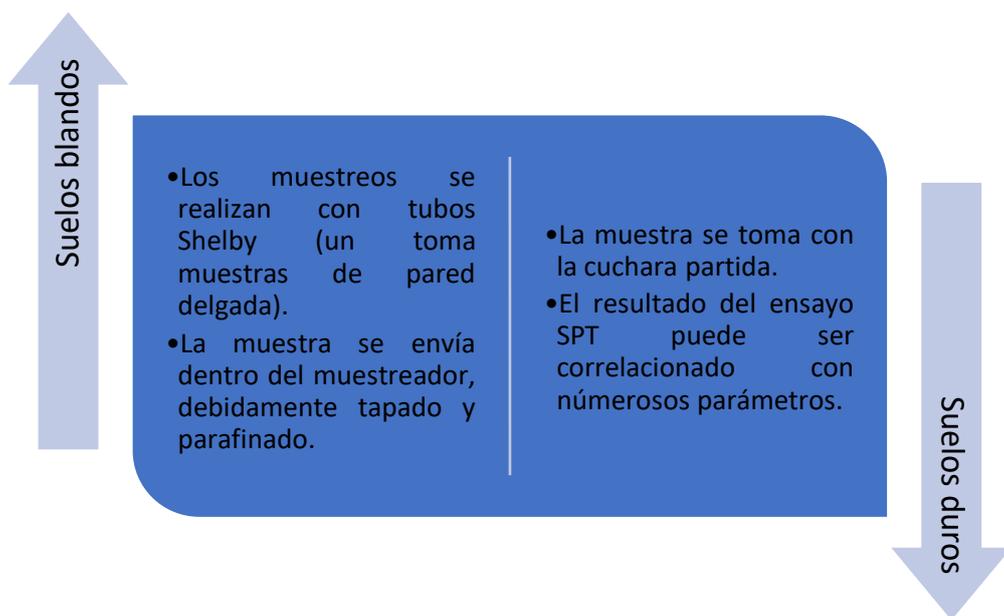


Figura 11. Diferencia entre tomar una muestra de un suelo blando vs de un suelo duro  
Elaborado por: Guamán (2022)

**5. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuáles son los permisos ambientales que se deben obtener para construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales?**

El Ing. Blas Cruz afirma que se debe manejar la denominada Geotecnia Ambiental, de acuerdo con la cual no se modifica mucho el entorno, además de que prohíbe la construcción de depósitos de relaves y obliga a la utilización de escombreras donde poner materiales de desechos.

Por su parte el Ing. Gustavo Giler menciona que, los permisos y restricciones ambientales requeridos se engloban propiamente en el Acuerdo Ministerial 140, Anexo 2 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Este anexo hace énfasis específicamente a las *NORMAS DE CALIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACIÓN PARA SUELOS CONTAMINADOS*. No obstante, para iniciar un proyecto de construcción es necesario disponer de un certificado de uso del suelo brindado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

## CAPITULO IV

### INFORME FINAL

#### 4.1. Procedimientos para los ensayos de laboratorio

##### 4.1.1. *Ensayo triaxial no consolidado no drenado ASTM D2850*

Es también denominado “Método estándar de prueba de compresión triaxial en suelos cohesivos no consolidados no drenados” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D2850 (2015), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Dispositivo de carga axial:** Consiste en cualquier dispositivo de compresión con la suficiente capacidad para proporcionarle carga de manera controlada al espécimen de ensayo; pudiendo ser este un gato de tornillo eléctrico, un dispositivo de carga hidráulico u otro similar. Cuando el dispositivo entre en funcionamiento, las vibraciones emitidas deberán ser lo suficientemente pequeñas para no alterar las dimensiones del espécimen.

**Dispositivo de medición de la carga axial:** Se trata de un dispositivo capaz de medir la carga axial con un nivel de exactitud de 1%; el cual puede ser un anillo, celda electrónica o celda hidráulica de carga.

**Cámara de compresión triaxial:** Consiste en dos platos, uno superior y otro inferior que se encuentran separados por un cilindro. Este cilindro puede ser de cualquier material que resista la presión que se le va a aplicar y de preferencia transparente, de manera que sea posible visualizar cómo se comporta el material. A su vez, el plato superior debe tener un sistema de válvulas para que el aire salga de la cámara cuando ésta se llene, mientras que el plato inferior deberá tener un conducto por donde ingresará el líquido de presión que contendrá la cámara.

**Pistón de carga axial:** El pistón atraviesa la parte superior de la cámara y debe ser diseñado de manera que la variación en la carga axial a la que se someterá al suelo no tenga una diferencia mayor al 0.1% con respecto a la carga axial de falla, además de que, si existe una flexión lateral del pistón, esta sea despreciable.

**Dispositivo de control de presión:** Para presiones menores a 200 kPa el dispositivo de control deberá aplicar y controlar la presión dentro de  $\pm 2$  kPa y para presiones mayores a dicho valor será dentro de  $\pm 1\%$ . Este dispositivo puede estar formado por un tanque de almacenamiento, conectado a una cámara de compresión y lleno de líquido (generalmente agua), con su parte superior conectada a un suministro de gas comprimido; la presión de este gas está a su vez controlada por un regulador y medida por un manómetro u otro similar que se ajuste a las tolerancias preestablecidas.

**Base y casco para el espécimen:** Estos se usan para evitar el drenaje en el espécimen (de allí el nombre del método). Deben ser elaborados de un material impermeable no corrosivo con una superficie plana circular, que será la que entre en contacto con la muestra, por lo que su diámetro debe ser el mismo al de la muestra y estar libre de rayaduras, además de una sección transversal también circular. Adicionalmente, este casco no deberá ejercer sobre el espécimen un esfuerzo axial mayor a  $1 \text{ kN/m}^2$ . El extremo inferior del espécimen se conecta a la cámara de compresión, mientras que el casco deberá ser diseñado de manera que su excentricidad pistón/casco no supere 1.3 mm.

**Indicador de deformación:** El indicador deberá tener una exactitud de medición de la deformación vertical mínima de 0.03% de la altura de la muestra, además de un rango mínimo del 20% de la altura de la muestra.

**Membrana de caucho:** Se utiliza para encajar al espécimen, por lo que debe proporcionarle a este una protección adecuada ante fugas y filtraciones en la cámara. Por lo que generalmente son revisadas con cuidado antes de su utilización, en busca de

imperfecciones que sean motivo de su desecho. Adicionalmente, su diámetro cuando no ha sido estirada deberá ser igual al 90% a 95% del diámetro del espécimen y su espesor igual o menor al 1% de dicho diámetro.

**Extractor de muestras:** Este deberá ser capaz de extraer el núcleo o corazón del suelo del tubo de muestreo, de manera que el movimiento se dé en la misma dirección en que el espécimen fue colocado en el tubo y con la menor perturbación posible. Esto debido a que caso contrario la muestra se torcerá o se le generarán esfuerzos adicionales.

**Dispositivo(s) de medición del espécimen:** Se trata de cualquier instrumento que permita medir el diámetro y altura del espécimen con una tolerancia dentro del 0.1% de su longitud real y de manera que no se perturbe al espécimen.

**Cronómetro:** Se utilizará para registrar el tiempo que toma la realización de la prueba al segundo más cercano.

**Balanza:** La balanza debe encontrarse equilibrada tal como indica la norma ASTM D4753, es decir al 0.1% de la masa de la muestra de prueba.

**Otros equipos:** Se trata de herramientas para cortar y tallar al espécimen de manera que alcance las condiciones necesarias para el ensayo, es decir, una sierra de alambre, regla de acero, etc., así como hojas de registro de datos.

- **Espécimen de prueba**

**Tamaño del espécimen:** El espécimen a ser ensayado consiste en un cilindro con un diámetro no menor a 3.3 cm y por ende con una relación altura/diámetro de entre 2 y 2.5, cuidando que el tamaño de la partícula más grande no sobrepase 1/6 del diámetro de la muestra. Sin embargo, cuando se dé el caso que esto último no se cumpla a simple vista, deberá ser reportado en el informe respectivo.

**Especímenes inalterados:** El ensayo puede llevarse a cabo en muestras conservadas y transportadas de manera que no tengan más arreglos que los cortes en los extremos de la superficie plana, por lo que se conservan las características del suelo, ya que no se lo ha sometido a ninguna perturbación importante. En aquellos casos en los que se percibiera que se está ocasionando una perturbación notoria a través del dispositivo de expulsión, se deberá separar el tubo de manera longitudinal o córtalo en las secciones convenientes, de modo que se facilite la remoción del espécimen. Posterior a esto, la preparación de los especímenes, es decir el tallado, deberá ser llevado a cabo en un cuarto con las condiciones de humedad idóneas, de manera que el cambio en el contenido de agua del suelo sea mínimo, además se deberá cuidar el proceso de remoción de piedras si fuera el caso (ver además las normas ASTM D1587 y ASTM D2216). Finalmente, registrar la masa y medidas de la muestra con los equipos anteriormente descritos, tomando un mínimo de tres valores para el diámetro y altura respectivamente (separados  $120^\circ$ ) ya que se trabajará con los valores promedio.

**Especímenes compactados:** Este procedimiento de compactación se lleva a cabo con la cantidad suficiente tanto de suelo como de agua para producir el contenido de humedad deseado, pero para ello el suelo debió ser previamente almacenado en un recipiente cerrado por un periodo no menor a 16 horas. El proceso suele llevarse a cabo en un molde partido de sección circular transversal, compactando por lo menos seis capas de material, cuidando escarificar cada capa previo a la incorporación de la siguiente y que el pisón de compactación tenga un diámetro igual o menor que la mitad del diámetro del molde. Finalmente, una vez preparado el espécimen, quitar el molde y determinar las medidas de la masa, así como los diámetros y alturas.

- **Procedimiento de ensayo**

1. Colocar la membrana en el extendedor o sobre el casco o la base cuando esta será enrollada en el espécimen. A continuación, poner la membrana alrededor del espécimen y sellar el casco y base con los seguros en cada extremo. La utilización de una capa delgada de grasa de silicona en las superficies tanto de la base como del casco permitirán que la membrana se selle de mejor manera.
2. Una vez colocado el espécimen en la membrana de caucho y sellado al casco y base, colocarlo en la cámara del triaxial. Poner el pistón de carga en contacto con el casco del espécimen de manera que se dé el asentamiento y alineación apropiados, por lo tanto, cuando el pistón entre en contacto por última vez, grabar la lectura reflejada en el indicador de deformación, siempre teniendo cuidado de no aplicar una presión axial que exceda en 0.5% a la fuerza compresiva estimada. Sin embargo, si esto sucede, cerrar el pistón en el sitio sobre el casco una vez verificado el asentamiento y la alineación y mantener así cerrado hasta que se haya aplicado la presión de la cámara.
3. Poner la cámara en posición, verificar el dispositivo medidor de carga axial y la cámara triaxial para evitar que el pistón sea sometido a una fuerza lateral. Acoplar el dispositivo medidor y llenar la cámara con el líquido de confinamiento, posterior a lo cual se deberá mantener la presión deseada en la cámara e ir aplicando presión. Esperar un tiempo aproximado de 10 minutos para que el espécimen se estabilice y así poder aplicar la carga axial.
4. Si el dispositivo que mide la carga axial está localizado fuera de la cámara, la presión producirá una fuerza en el pistón que hará que este reaccione contra el dispositivo de carga axial. Cuando eso ocurra, antes de que el pistón entre en contacto con la parte superior del espécimen, por un lado, medir y grabar la

fricción inicial y el empujón del pistón para corregir la medida de carga axial o bien ajustar el medidor de carga de manera que se compensen tanto la fricción como el empujón. Vale aclarar que si el medidor de carga se encuentra dentro de la cámara no será necesario adoptar ninguna de estas consideraciones, pero si en ambos casos se deberá apuntar la lectura inicial de deformación cuando el pistón entre en contacto con la parte superior de la muestra.

5. Aplicar la carga axial a una velocidad aproximada de 1%/min cuando se trata de suelos plásticos y a 0.3%/min cuando por el contrario el suelo es frágil, de modo que se logre la máxima deformación (aproximadamente 3 a 6%), por lo que la prueba debería tomar entre 15 y 20 minutos. Continuar con la aplicación de carga hasta conseguir un 15% de deformación; sin embargo, esta puede detenerse una vez que se registre un 20% o 5% más allá de la deformación pico.
6. Tanto los valores de carga como de deformación deben ser registrados al 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5% de deformación, a partir de allí se debe hacerlo a incrementos de entre el 0.5% a 3% de la deformación y finalmente a cada 1%. Todos estos valores definirán la curva esfuerzo-deformación, por lo que se deberá contar con el número de lecturas suficiente.
7. Completada la prueba retirar la muestra de la cámara de ensayos y determinar el contenido de humedad del espécimen completo de ser posible.
8. Previo a la determinación del contenido de humedad tomar una fotografía como evidencia del modo de falla del suelo, el cual puede ser: plano de corte, bombeo, etc.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. Al llevar a cabo el paso 3, la norma recomienda esperar un tiempo aproximado de 10 minutos. Sin embargo, cuando se trata de un suelo blando este tiempo puede necesitar ser prolongado, ya que por su naturaleza se dificulta su estabilización ante la presencia de presiones.
2. Este ensayo es ideal para determinar la estabilidad de un suelo cuando se planea llevar a cabo la obra en un corto plazo, ya que se asume que no pasará el tiempo suficiente para que se dé lugar a una disipación de la presión de poros en el subsuelo. Por lo que en el caso de un suelo blando se debería tener más en cuenta aquel detalle.
3. Si el suelo es arcilloso y se encuentra totalmente saturado, al aplicarle una tensión de confinamiento, esta se transmite al agua de los poros, por lo tanto, en el interior del espécimen de prueba se tendrá una presión neutra, lo que significa que no se produce un incremento de la tensión efectiva o en otras palabras los parámetros de corte que se obtendrán serán los mismos que los de una compresión simple.

#### **4.1.2. Ensayo triaxial consolidado no drenado ASTM D4767**

Es también denominado “Método estándar de prueba de compresión triaxial en suelos cohesivos consolidados no drenados” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D4767 (2004), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Dispositivo de carga axial:** Consiste en cualquier dispositivo de compresión con la suficiente capacidad para proporcionarle carga de manera controlada al espécimen de ensayo; pudiendo ser este un gato de tornillo eléctrico, un dispositivo de carga hidráulico u otro similar. Cuando el dispositivo entre en funcionamiento, las vibraciones emitidas deberán ser lo suficientemente pequeñas para no alterar las dimensiones del espécimen o en la presión del agua de poros cuando se hayan cerrado las válvulas de drenaje.

**Dispositivo de medición de la carga axial:** Se trata de un dispositivo capaz de medir la carga axial con un nivel de exactitud del 1% con respecto a la carga axial de falla; el cual puede ser un anillo, celda electrónica o celda hidráulica de carga. Se lo deberá localizar dentro de la cámara (descrita a continuación) de manera que sea insensible a las fuerzas horizontales y a la presión que se presenten.

**Cámara de compresión triaxial:** Consiste en dos platos, uno superior y otro inferior que se encuentran separados por un cilindro. Este cilindro puede ser de cualquier material que resista la presión que se le va a aplicar y de preferencia transparente, de manera que sea posible visualizar cómo se comporta el material. A su vez, el plato superior debe tener un sistema de válvulas para que el aire salga de la cámara cuando ésta se llene, mientras que el plato inferior deberá tener un conducto por donde ingresará el líquido de presión que contendrá la cámara, permitiendo la saturación y drenaje del

espécimen conforme se necesite. La presión de trabajo dentro de la cámara deberá ser igual a la suma de los esfuerzos efectivos de consolidación y contrapresión.

**Pistón de carga axial:** El pistón atraviesa la parte superior de la cámara y debe ser diseñado de manera que la variación en la carga axial a la que se someterá al suelo no tenga una diferencia mayor al 0.1% con respecto a la carga axial de falla, además de que, si existe una flexión lateral del pistón, esta sea despreciable.

**Dispositivos de control de presión y vacío:** Para presiones efectivas de consolidación menores a 200 kPa, los dispositivos de control deberán aplicar y controlar la presión y contrapresión dentro de  $\pm 2$  kPa y para presiones de consolidación mayores a dicho valor será dentro de  $\pm 1\%$ . Este dispositivo puede estar formado por vasijas con mercurio auto compensado, reguladores de presión neumáticos, presión neumática combinada y reguladores de vacío u otro similar que se ajuste a las tolerancias preestablecidas. Cabe resaltar que este ensayo puede tomar días, por lo que una interfaz de aire/agua no es recomendable en ningún caso.

**Dispositivos medidores de presión y vacío:** Se trata de equipos capaces de medir presiones o vacíos parciales con las mismas tolerancias que para los dispositivos de control de presión y vacío indicadas anteriormente, los cuales pueden ser manómetros de Bourdon, de presión u otro similar que se ajuste a las tolerancias preestablecidas. Si la presión y contrapresión (vacío) de la cámara se va a realizar por separado, los dispositivos deben ser calibrados de manera simultánea y con la misma fuente de presión.

**Dispositivo medidor de presión de agua dentro de los poros:** Es necesario medir la presión de agua de poros en el espécimen, la cual también deberá estar dentro de las tolerancias de las mediciones de presión y vacío. Adicionalmente, se deberá tener en cuenta que durante la realización del ensayo el agua que sale o entra al espécimen deberá ser mínima, por lo cual se deberá contar con el apoyo de un Transducir de Presión

Electrónica o de un Dispositivo de Indicación Neutro, en los cuales las lecturas de presión de agua de poros son directas y continuas.

**Dispositivo medidor de cambio de volumen:** Este dispositivo deberá medir la diferencia en el volumen de agua que entra y sale del espécimen que se está ensayando, con una exactitud de  $\pm 0.05\%$  con respecto al volumen total de la muestra. Por lo que generalmente se emplea una bureta conectada a contrapresión; sin embargo, si no se cuenta con una puede ser cualquier otro dispositivo que se ajuste al requerimiento descrito, además de tener la capacidad de soportar una contrapresión máxima.

**Indicador de deformación:** El indicador deberá tener una exactitud de medición de la deformación vertical mínima de  $0.03\%$  de la altura de la muestra, además de un rango mínimo del  $20\%$  de la altura de la muestra.

**Base y casco para el espécimen:** Estos se usan para evitar el drenaje en el espécimen (de allí el nombre del método). Deben ser elaborados de un material impermeable no corrosivo con una superficie plana circular, que será la que entre en contacto con la muestra, por lo que su diámetro debe ser el mismo al de la muestra y estar libre de rayaduras, además de una sección transversal también circular. Adicionalmente, este casco no deberá ejercer sobre el espécimen un esfuerzo axial mayor a  $1 \text{ kN/m}^2$ .

La base del espécimen se conecta a la cámara de compresión, mientras que el casco deberá ser diseñado de manera que su excentricidad pistón/casco no supere  $1.3 \text{ mm}$ .

**Discos porosos:** Estos discos deben ser rígidos para proporcionar el drenaje necesario a los extremos de la muestra de suelo, los cuales deberán tener un coeficiente de permeabilidad casi similar al de una arena fina (aprox.  $1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ )

**Tiras de papel filtro y discos:** Las tiras de papel generalmente son utilizadas para disminuir el tiempo que se requiere para llevar a cabo los ensayos, por lo tanto, no deben disolverse en el agua y tener la forma de discos con el mismo diámetro que el espécimen

para ser colocados entre los discos porosos detallados anteriormente, con un coeficiente de permeabilidad no menor a  $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  para presiones de 550 kPa.

**Membrana de caucho:** Se utiliza para encajar al espécimen, por lo que debe proporcionarle a este una protección adecuada ante fugas y filtraciones en la cámara. Por lo que generalmente son revisadas con cuidado antes de su utilización, en busca de imperfecciones que sean motivo de su desecho. Adicionalmente, su diámetro cuando no a sido estirada, deberá ser igual al 90% a 95% del diámetro del espécimen y su espesor igual o menor al 1% de dicho diámetro.

**Válvulas:** Durante la realización del ensayo será necesario abrir y cerrar las válvulas del sistema de drenaje, por lo que estas deberán ser de un tipo tal que produzcan los mínimos cambios en el volumen y presión de agua de poros, es decir, que induzcan cambios en la presión no mayores a 0.7 kPa, además de no permitir fugas.

**Extractor de muestras:** Este deberá ser capaz de extraer el núcleo o corazón del suelo del tubo de muestreo, de manera que el movimiento se dé en la misma dirección en que el espécimen fue colocado en el tubo y con la menor perturbación posible. Esto debido a que caso contrario la muestra se torcerá o se le generarán esfuerzos adicionales.

**Dispositivo(s) de medición del espécimen:** Se trata de cualquier instrumento que permita medir el diámetro y altura del espécimen con una tolerancia dentro del 0.1% de su longitud real y de manera que no se perturbe al espécimen.

**Registadores:** Estos dispositivos facilitan el registro del comportamiento de la muestra de suelo durante el ensayo, si es que no se desea grabar manualmente, por lo que previo a la utilización de estos que pueden ser por ejemplo grabadoras digitales electrónicas, será necesario calibrarlas de acuerdo con la norma respectiva.

**Cronómetro:** Se utilizará para registrar el tiempo que toma la realización de la prueba al segundo más cercano.

**Balanza:** La balanza debe encontrarse equilibrada tal como indica la norma ASTM D4753, es decir al 0.1% de la masa de la muestra de prueba.

**Dispositivo des aireador de agua:** “La cantidad de gas (aire) usado para saturar el espécimen se disminuirá hirviendo, calentando y rociando dentro de un vacío, o por cualquier otro método que satisfaga los requisitos para saturar el espécimen dentro de los límites impuestos” (p. 6).

**Otros equipos:** Se trata de herramientas para cortar y tallar al espécimen de manera que alcance las condiciones necesarias para el ensayo, es decir, una sierra de alambre, regla de acero, etc., así como hojas de registro de datos.

- **Espécimen de prueba**

**Tamaño del espécimen:** El espécimen a ser ensayado consiste en un cilindro con un diámetro no menor a 3.3 cm y por ende con una relación altura/diámetro de entre 2 y 2.5, cuidando que el tamaño de la partícula más grande no sobrepase 1/6 del diámetro de la muestra. Sin embargo, cuando se dé el caso que esto último no se cumpla a simple vista, deberá ser reportado en el informe respectivo.

**Especímenes inalterados:** El ensayo puede llevarse a cabo en muestras conservadas y transportadas de manera que no tengan más arreglos que los cortes en los extremos de la superficie plana, por lo que se conservan las características del suelo, ya que no se lo ha sometido a ninguna perturbación importante. En aquellos casos en los que se percibiera que se está ocasionando una perturbación notoria a través del dispositivo de expulsión, se deberá separar el tubo de manera longitudinal o cortarlo en las secciones convenientes, de modo que se facilite la remoción del espécimen.

Posterior a esto, la preparación de los especímenes, es decir el tallado, deberá ser llevado a cabo en un cuarto con las condiciones de humedad idóneas, de manera que el cambio en el contenido de agua del suelo sea mínimo, además se deberá cuidar el proceso

de remoción de piedras si fuera el caso (ver además las normas ASTM D1587 y ASTM D2216). Finalmente, registrar la masa y medidas de la muestra con los equipos anteriormente descritos, tomando un mínimo de tres valores para el diámetro y altura respectivamente (separados 120°) ya que se trabajará con los valores promedio.

**Especímenes compactados:** Este procedimiento de compactación se lleva a cabo con la cantidad suficiente tanto de suelo como de agua para producir el contenido de humedad deseado, pero para ello el suelo debió ser previamente almacenado en un recipiente cerrado por un periodo no menor a 16 horas. El proceso suele llevarse a cabo en un molde partido de sección circular transversal, compactando por lo menos seis capas de material, cuidando escarificar cada capa previo a la incorporación de la siguiente y que el pisón de compactación tenga un diámetro igual o menor que la mitad del diámetro del molde. Finalmente, una vez preparado el espécimen, quitar el molde y determinar las medidas de la masa, así como los diámetros y alturas.

- **Procedimiento de ensayo**

- **Montaje**

Cómo paso previo al ensayo, inspeccionar la membrana para revisar que no contenga fallas o huecos, además verificar que los discos porosos y las tuberías de drenaje no se encuentren obstruidos para que sea fácil el paso del aire o agua según sea el caso. Juntar el sistema de control de presión, el medidor de volumen y el dispositivo medidor de presión a la base de la cámara y finalmente colocar la membrana en el extendedor o sobre el casco o la base cuando esta será enrollada en el espécimen. Si la parte del ensayo concerniente a la saturación será llevada a cabo con el sistema de drenaje húmedo o seco, el procedimiento difiere un poco, aquello se describirá a continuación; sin embargo, el método de montaje seco es el más recomendado cuando se tiene una muestra con una saturación inicial menor al 90%.

**Método de montaje húmedo:** Cuando se lleva a cabo este método, será necesario medir al espécimen después de haber sido montado, además será necesario considerar un doble espesor de la membrana o de las tiras de papel de filtro, así como de la altura del casquete, base y discos porosos para posteriormente realizar las restas apropiadas.

1. Llenar las líneas de drenaje tanto del dispositivo medidor de presión como del espécimen con agua des aireada.
2. Hervir los discos porosos un tiempo aproximado de 10 minutos, para que estos se saturen y posteriormente dejarlos enfriar al ambiente.
3. Colocar los discos porosos tanto en la base como en la parte superior del espécimen, de manera que todo se encuentre bien centrado.
4. Si se utilizan tiras de papel filtro, al igual que los discos estos deberán ser previamente saturados en agua. Para evitar la ocurrencia de esfuerzos tangenciales no se deberá cubrir el espécimen en más del 50% de su superficie con estas tiras.

**Método de montaje seco:** Este procedimiento es recomendado para suelos que se expanden mucho cuando entran en contacto con el agua.

1. Permitir el flujo de aire seco al momento de montar el espécimen, de manera que se seque el sistema de drenaje.
2. Meter los discos porosos al horno para ser secados y posteriormente dejarlos enfriar a temperatura ambiente.
3. Colocar los discos porosos tanto en la base como en la parte superior del espécimen, de manera que todo se encuentre bien centrado.
4. Si se utilizan tiras de papel filtro o una caja, colocarlos en pedazos pequeños en la parte inferior y superior del espécimen.

## **Procedimiento**

**Previo a la saturación:** Una vez que se ha ensamblado la cámara triaxial, se debe realizar lo siguiente:

1. Poner en contacto el pistón de carga con el casquete del espécimen, pero de forma gradual, de manera que este pistón se alinee apropiadamente con el casquete. Adicionalmente, se debe cuidar que la carga axial que se le aplique al espécimen no exceda en 0.5% a la carga axial estimada de falla. Finalmente, anotar el valor mostrado en el indicador de deformación.
2. A continuación, se debe llenar la cámara con líquido, un proceso que se efectuará con mucho cuidado para evitar atrapar aire o dejar un espacio vacío en la cámara.

**Saturación:** El objetivo de esta fase es llenar todos los orificios de la muestra de ensayo con agua para que esta se expanda. Normalmente en esta etapa se aplica una contrapresión al agua dentro de los poros de la muestra, logrando con ello la saturación, gracias a la conducción de aire interior en el sistema. Pueden presentarse dos escenarios: 1) al aplicar vacío al espécimen y al sistema de drenaje, que el agua desaireada fluya por estos dos, pero manteniendo el vacío; o 2) saturación del sistema por la ebullición de los discos porosos en el agua y permitiendo el flujo de agua en el sistema previo al montaje del espécimen. Vale resaltar que el ingreso de aire en la solución está dependerá del tiempo, así como de la presión, por lo que también se puede utilizar agua desaireada para disminuir el tiempo y la contrapresión necesaria para lograr la saturación. Puede consultarse la normativa para conocer más acerca de los procedimientos de saturación.

**Consolidación:** El objetivo de esta fase es lograr en la muestra un equilibrio en un estado drenado al esfuerzo efectivo de consolidación, por lo que será necesaria una determinada fuerza. Los datos registrados serán utilizados para calcular la velocidad de

deformación a ser usados en la parte de corte de la prueba. El procedimiento es el siguiente:

1. Una vez se ha cumplido la fase de saturación, poner en contacto el pistón de carga con el casquete del espécimen y apuntar la lectura del indicador, se debe cuidar que la carga axial que se le aplique al espécimen no exceda en 0.5% a la carga axial estimada de falla. Finalmente, levantar el pistón una pequeña distancia sobre el casquete y asegurar el pistón en su lugar.
2. Cerrar las válvulas de drenaje del espécimen, mantener constante la máxima contrapresión e ir aumentando la presión de la cámara axial hasta que la diferencia entre estas dos sea similar a la presión efectiva de consolidación que se desea. Sin embargo, vale aclarar que la consolidación es requerida si es que se utilizaron tiras de filtro para el drenaje radial y el incremento de la proporción de carga no excede a dos.
3. Registrar el valor inicial indicado en la bureta e ir abriendo las válvulas de drenaje para que la muestra drene por ambos extremos de la bureta. Observar y grabar las lecturas de la bureta a determinados intervalos en un tiempo total de 15 min, posterior a lo cual se debe acompañar las lecturas del indicador de deformación. Los intervalos de tiempo pueden cambiarse en función del tipo de suelo, de manera que se logre un adecuado cambio de volumen en el tiempo. Finalmente graficar las lecturas de la bureta y del indicador de deformación vs logaritmos o raíz cuadrada del tiempo transcurrido y determinar el tiempo necesario para lograr el 50% de consolidación primaria conforme lo indicado por la norma ASTM D2435.

**Corte:** El objetivo de esta fase es lograr que la presión de la cámara se mantenga constante mientras el pistón de carga axial avanza contra el casquete del espécimen, para lo cual se utiliza el criterio de carga de la deformación axial controlada y no se permite el drenaje del espécimen.

1. Aislar el espécimen abriendo o cerrando las válvulas apropiadas, de manera que la presión de agua de poros pueda ser medida por el dispositivo dispuesto para el efecto y no se dé ninguna clase de drenaje.
2. Colocar la cámara en posición en el dispositivo de carga axial, alineando el dispositivo de carga, el medidor y la cámara, evitando la aplicación de una fuerza lateral al pistón durante el corte.
3. Poner en contacto el pistón de carga con el casquete del espécimen, pero de forma gradual, de manera que se logre un asentamiento adecuado y se realíen el pistón con el casquete. Cuidar que la carga axial que se le aplique al espécimen no exceda en 0.5% a la carga axial estimada de falla. Tener en cuenta que si el dispositivo medidor de carga está ubicado fuera de la cámara del triaxial, la presión en la cámara generará una fuerza ascendente sobre el pistón y esta a su vez reaccionará contra el dispositivo de carga, por lo que el corte se debería iniciar con el pistón ubicado un poco más arriba que el casquete del espécimen y previo a que estos dos entren en contacto, tomar cualquiera de las dos siguientes consideraciones: 1) medir y grabar la fricción inicial del pistón y el empuje ascendente de este ocasionado por la presión de la cámara y corregir la carga axial medida, o bien 2) realizar un ajuste al medidor de carga axial para compensar la fricción y el empuje.

4. Chequear la estabilización de la presión de poros y aplicar carga axial al espécimen usando relación de deformación axial que produzca una similar presión de poros por toda la muestra cuando esta falla, teniendo cuidado de anotar tanto la carga, deformación y la presión de agua de poros en incrementos de 0.1 al 1%. Finalmente, quitar la carga, reducir la presión y retirar el espécimen de la cámara.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. Este ensayo es ideal para el análisis sísmico de terraplenes cuando estos se van a cimentar sobre suelos blandos.
2. Durante el proceso de saturación, si el suelo de estudio es una arcilla saturada no es necesaria la percolación y el agua puede agregarse de manera simultánea por los dos extremos del espécimen de ensayo.
3. Si la prueba se lleva a cabo ante diferentes presiones de confinamiento y relaciones de vacíos iniciales, la variación en la velocidad de corte consecuentemente conllevará a cambios en el comportamiento del suelo, por lo que podría evidenciarse la presencia de picos de resistencia cortante o cambios en la presión de poros.

#### **4.1.3. Ensayo de compresión no confinado ASTM D2166**

Es también denominado “Método estándar de prueba para resistencia a compresión simple no confinada de suelos cohesivos” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D2166 (2016), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Aparato de compresión:** Consiste en cualquier aparato de compresión con la capacidad y control suficiente como para proporcionar una adecuada velocidad de carga, pudiendo ser este: una balanza de plataforma equipada con un yugo de carga que se active de manera similar a una gata, un aparato de carga hidráulico u otro similar. Si el suelo en estudio posee una resistencia a la compresión no confinada menor a 100 kPa, el equipo debe tener una precisión de medición de 1 kPa, mientras que si su resistencia a la compresión es igual o mayor a dicho valor el aparato utilizado debe tener una precisión de hasta 5 kPa.

**Extractor de muestras:** Este deberá ser capaz de extraer el núcleo o corazón del suelo del tubo de muestreo, de manera que el movimiento se dé en la misma dirección en que el espécimen fue colocado en el tubo, a una velocidad razonable y con la menor perturbación posible. Esto debido a que caso contrario la muestra se torcerá o se le generarán esfuerzos adicionales.

**Indicador de deformación:** El indicador deberá tener una exactitud de medición de la deformación vertical mínima de 0.03% de la altura de la muestra, además de un rango mínimo del 20% de la altura de la muestra.

**Comparador de dial:** Consiste en cualquier aparato que permita medir las dimensiones del espécimen con una precisión del 0.1% de la dimensión medida.

**Cronómetro:** Se utilizará para registrar el tiempo que toma la realización de la prueba al segundo más cercano.

**Balanza:** La balanza debe encontrarse equilibrada tal como indica la norma ASTM D4753, es decir al 0.1% de la masa de la muestra de prueba.

**Aparatos varios:** Se trata de herramientas para cortar y tallar al espécimen de manera que alcance las condiciones necesarias para el ensayo, es decir, una sierra de alambre, regla de acero, etc., así como hojas de registro de datos.

- **Espécimen de prueba**

**Tamaño del espécimen:** El espécimen a ser ensayado consiste en un cilindro con un diámetro no menor a 3 cm y por ende con una relación altura/diámetro de entre 2 y 2.5, cuidando que el tamaño de la partícula más grande no sobrepase 1/6 del diámetro de la muestra. Sin embargo, cuando se dé el caso que esto último no se cumpla a simple vista, deberá ser reportado en el informe respectivo.

**Especímenes inalterados:** El ensayo puede llevarse a cabo en muestras conservadas y transportadas de manera que no tengan más arreglos que los cortes en los extremos de la superficie plana, por lo que se conservan las características del suelo como su contenido de humedad, ya que no se lo ha sometido a ninguna perturbación importante. En aquellos casos en los que se percibiera que se está ocasionando una perturbación notoria a través del dispositivo de expulsión, se deberá separar el tubo de manera longitudinal o cortarlo en las secciones convenientes, de modo que se facilite la remoción del espécimen.

Si se desea prevenir la resistencia capilar apreciable será necesario sellar la muestra con una membrana de goma, plástico delgado o una cubierta de grasa inmediatamente después de la preparación. Además, se deberá cuidar el proceso de remoción de piedras y relleno de huecos si fuera el caso (ver además las normas ASTM

D1587 y ASTM D4220). Finalmente, registrar la masa y medidas de la muestra con los equipos anteriormente descritos, tomando un mínimo de tres valores para el diámetro y altura respectivamente (separados 120°) ya que se trabajará con los valores promedio, así como el contenido de agua.

**Especímenes remoldeados:** Las muestras de suelo se pueden preparar desde suelos tallados intactos o desde suelos perturbados, siempre y cuando la cantidad de suelo sea representativa del espécimen tallado intacto. Para lo cual se deberá envolver al material en una delgada membrana de goma y trabajarlo con los dedos, de manera cuidadosa, pero asegurándose de que el remoldeado se está llevando a cabo exitosamente, con una densidad uniforme y de preferencia evitando que quede aire atrapado en la muestra, para manejar el mismo coeficiente de vacío del espécimen sin perturbar y conservando su contenido de agua natural. Finalmente, registrar la masa y medidas de la muestra con los equipos anteriormente descritos, tomando un mínimo de tres valores para el diámetro y altura respectivamente (separados 120°) ya que se trabajará con los valores promedio.

**Especímenes reconstituidos:** Este tipo de muestras son preparadas de acuerdo con el contenido de agua y densidad deseados por la persona encargada del ensayo, posterior a lo cual se deberá recortar los bordes de manera perpendicular al eje longitudinal, retirarla del molde y al igual que en los otros dos casos obtener su masa y dimensiones.

- **Procedimiento de ensayo**

1. Colocar la muestra en el aparato de carga, adecuadamente centrado con respecto al plato inferior y ajustar el equipo de manera que el plato superior de este apenas toque la parte superior del espécimen. Encerar el indicador de deformaciones y aplicar la carga, de manera que se produzca una deformación axial a

aproximadamente 2%/minuto. Registrar los valores de carga, deformación y tiempo a adecuados intervalos, para que sea posible graficar la curva esfuerzo-deformación; sin embargo, el tiempo del ensayo no debería excederse de 15 minutos con alrededor de 15% de deformación. Adicionalmente, tener en cuenta si el contenido de humedad se obtendrá antes o después del ensayo, ya que esto deberá ser reportado en el informe respectivo.

2. Registrar ya sea mediante un bosquejo o una fotografía del espécimen, el momento de la falla, mostrando el ángulo de la superficie de falla claro si es que este se puede medir.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. La realización de un ensayo de compresión consolidado drenado específicamente en limos y arcillas es uno de los procedimientos más costosos cuando se habla de ensayos para determinar la capacidad de carga de un suelo para cimentaciones, por lo que, para pequeños proyectos en los cuales un gasto de este tipo no se justifica, el ensayo recomendado para determinar la capacidad de carga del suelo es el de compresión no confinada.
2. Este ensayo no puede llevarse a cabo si el suelo se trata de una arcilla fisurada o con una cohesión muy baja.
3. El esfuerzo efectivo en este tipo de suelo es único, así como su ángulo de fricción, por lo que el resultado obtenido en el ensayo de compresión es independiente de las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo la prueba.
4. Este tipo de ensayo se facilita cuando es aplicado a suelos cohesivos, puesto que durante la etapa de carga y una vez retirada la presión de confinamiento, estos mantienen su resistencia intrínseca, además de que no expulsan agua por sus

paredes. Por lo que, si se trata de un suelo muy blando, se obtienen mejores resultados si el ensayo se realiza controlando las deformaciones o los esfuerzos.

#### **4.1.4. *Ensayo de corte directo ASTM D3080***

Es también denominado “Método estándar de prueba de corte directo de suelos bajo condición consolidada y drenada” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D3080 (2011), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Equipo de corte:** Consiste en un equipo capaz de contener a la muestra de suelo sin que le sea ejercido un torque, pero sí una tensión normal a las caras del espécimen, además de permitir el drenaje. El marco que sostenga al espécimen debe ser lo suficientemente rígido para que este no se distorsione durante el corte, además de estar elaborado de un material tal que no se corroa por la humedad, como es el caso del acero inoxidable, bronce, aluminio, entre otros.

**Caja de corte:** Esta puede ser circular o cuadrada, de un material inoxidable y con las provisiones necesarias para permitir el drenaje en ambos extremos. Consiste en una caja dividida por un plano recto en dos mitades de igual ancho que se encajan con tornillos de alineación, con superficies suficientemente resistentes para el espécimen durante el desplazamiento lateral relativo. Cabe resaltar que el peso de la parte superior de la caja de corte que es soportada por el espécimen no debe superar el 1% de la fuerza normal aplicada durante el corte.

**Insertos porosos:** Estos tienen la función de transmitir la tensión de corte por los extremos del espécimen de ensayo y pueden ser de: silicona carburada, óxido de aluminio o un metal anticorrosivo. Adicionalmente, estos deben poseer una conductividad hidráulica considerablemente mayor que la del suelo, pero con una textura lo

suficientemente fina para que el suelo no se cuele por los poros y lo suficientemente rugosa para generar una trabazón. Su diámetro debe ser de 0.2 a 0.5mm menor que la parte interior de la caja de corte y deben ser revisados de manera regular para evitar inconvenientes o taponamientos.

**Aparato de carga:** La carga que será aplicada de manera normal, generalmente es proporcionada por pesos muertos, un brazo de carga, un cilindro neumático de fuerza o un aplicar manejado por un tornillo o cualquier otro similar, siempre y cuando este mantenga la fuerza normal entre el  $\pm 1\%$  de la fuerza especificada. Adicionalmente, se deberá contar con indicador de la fuerza aplicada tal como un anillo de carga o un sensor de presión.

**Aparato de corte de la probeta:** Consiste en un equipo para cortar la muestra de ensayo a una velocidad uniforme de desplazamiento y con una precisión de  $\pm 5\%$ .

**Aparato para medir la fuerza normal y la fuerza de corte:** Se trata de un anillo de carga o un sensor de presión calibrado, con una precisión del 1% de la fuerza normal aplicada durante la carga.

**Indicador de deformación:** Puede utilizarse diales de carga o transductores de desplazamiento, pero con la condición de que sean capaces de medir el cambio en el espesor del espécimen con una precisión de al menos 0.002mm y el desplazamiento lateral relativo con una precisión de al menos 0.02mm.

**Tazón para la caja de corte:** Consiste en una caja metálica que dé soporte a la caja de corte, además de contener el agua que se utilizará para sumergir al espécimen.

**Agua:** El agua será utilizada para saturar las piedras porosas y sumergir al espécimen. Esta puede ser agua potable, desmineralizada o salina, pero de no haber especificaciones del tipo de agua requerido bastará con agua potable de cañería.

**Tallador o anillo de corte:** Equipo para enrasar el espécimen de ensayo a las dimensiones interiores de la caja de corte, una sierra de alambre, regla de acero, etc. En ocasiones debe recurrirse a un fijador externo para mantener la caja de corte alineada.

**Balanza:** La balanza debe encontrarse equilibrada tal como indica la norma ASTM D4753, es decir al 0.1% de la masa de la muestra de prueba.

**Aparatos varios:** Se trata de herramientas adicionales como: un cronómetro, espátulas y lo que se necesite para preparar el espécimen.

- **Especímen de prueba**

**Especímenes intactos:** Cuando se van a ensayar probetas intactas, estas deben ser aseguradas conforme lo indicado en la norma ASTM D1587, en la cual se especifica como preparar muestras de tubo, las cuales a su vez deben ser transportadas conforme lo indicado en la norma ASTM D4220; puesto que se debe garantizar la menor alteración del suelo, como cambios en la sección transversal, o pérdidas en el contenido de agua. La muestra seleccionada de suelo debe ser lo suficientemente grande para que del mismo material puedan ser preparados al menos tres especímenes de ensayo. A continuación, armar las mitades de la caja de corte y pesarla, tallar el lateral del espécimen para que alcance de manera justa en la caja y una vez dentro tallar los extremos hasta dejarlos planos y paralelos. Finalmente determinar las dimensiones del espécimen, así como su masa dentro de la caja, para posteriormente calcular el contenido de humedad y la densidad del material.

**Especímenes fabricados en laboratorio:** Este tipo de muestras pueden ser elaboradas por reconstrucción o compactación y su proceso consiste en esperar un tiempo de acuerdo con el tipo de suelo que se tenga, mezclar la cantidad necesaria de material hasta dejarlo uniforme, así como con el contenido de agua deseado y proceder a realizar los ensayos requeridos.

**Especímenes reconstituidos:** El proceso es similar a los especímenes fabricados en laboratorio, con la única diferencia que en este caso el material se apisona o amasa dentro de la caja de corte hasta que esté reconstituido a un volumen conocido o se ajuste a un determinado número de capas, de golpes por capa y a la fuerza por cada golpe. Se utiliza un pisón con un área en contacto con el suelo que sea igual o menor a la mitad del área de la caja de corte. Finalmente, registrar los datos de altura y masa inicial de la muestra y colocar el inserto poroso en el extremo superior de esta.

**Especímenes compactados:** La compactación se lleva a cabo mediante los procedimientos indicados en las normas ASTM D698 Y ASTM D1557, posterior a lo cual se debe tallar directamente el espécimen de suelo desde el espécimen más grande y se lo trata como si se tratara de un espécimen intacto. Se debe cuidar que el plano de corte no esté alineado con las capas de compactación.

- **Procedimiento de ensayo**

**Calibración:** Previo al ensayo se debe realizar una calibración para determinar cómo se deformará el aparato cuando se aplique una carga de consolidación, esto con el objetivo de que, ante cada ciclo de carga, se reste la deformación del aparato de la deformación observada. Vale aclarar que esta calibración que se lleva a cabo mediante un disco metálico de calibración o una placa con un espesor similar al de un espécimen de ensayo, se realiza solo si el aparato recién se va a poner en marcha o cuando se le han cambiado partes.

A continuación, el procedimiento de ensayo se lleva de la siguiente manera:

1. Se colocan los insertos porosos húmedos en las superficies expuestas de este en la caja de corte, colocar esta caja dentro del tazón de corte y alinear el conjunto en la línea de carga.

2. Conectar y ajustar la posición del sistema de fuerza de corte, de manera que ninguna fuerza sea aplicada sobre este y encerar el equipo de medición de carga.
3. Colocar y ajustar el dispositivo de medición del desplazamiento en corte del espécimen y obtener la lectura inicial, la cual debería ser cero.
4. Colocar la placa de transferencia de carga en el extremo superior de los insertos porosos. A continuación, colocar el brazo de aplicación de carga en su adecuada posición y ajustarlo, de manera que la barra de carga se encuentre alineada. Aplicar una carga normal al espécimen y verificar que el movimiento del plato de transferencia de carga a la caja de carga no tenga ninguna restricción, además que durante esta etapa la muestra no debe registrar ningún asentamiento.
5. Aplicar carga de consolidación al espécimen ya sea en uno o varios incrementos intermedios; sin embargo, estos deben ser lo suficientemente pequeños para que el material que se encuentra alrededor de los insertos porosos no se salga, pero si se trata de suelos duros un único incremento de carga se acepta. Cuidar además que, si el material muestra una tendencia al hinchamiento bajo la aplicación de la carga normal máxima, este debe ser inundado con agua para lograr un equilibrio antes de continuar el ensayo.
6. Una vez que el suelo se haya consolidado producto del último incremento de carga, registrar el desplazamiento normal generado y retirar los tornillos o pasadores de alineación de la caja de corte. Finalmente, determinar la razón de corte del espécimen cortándolo a una velocidad muy baja para generar una presión de poros insignificante, esta velocidad realmente dependerá del tipo de material. Obtener una curva de deformación normal vs log del tiempo en el cual se ha llevado a cabo la consolidación.

7. A continuación, registrar el tiempo inicial, desplazamiento normal y lateral, así como las fuerzas normales y de corte, activar el aparato y llevar a cabo el corte. Obtener mediciones a determinados intervalos de tiempo según como se desee, pero con la suficiente continuidad para realizar una adecuada gráfica tensión de corte vs desplazamiento. Tener en cuenta que el espécimen debe ser cortado hasta al menos un 10% del desplazamiento lateral a menos que se indique lo contrario. Finalmente remover el espécimen y desarmar el aparato de carga.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. Cuando se realiza el ensayo drenado específicamente en suelos blandos, resulta conveniente colocar discos de papel filtro entre el espécimen de ensayo y las piedras porosas, con ello se evitará que éstas se obturen y sea posible la recuperación del espécimen completo una vez se finalice la prueba.
2. Al variar la presión de confinamiento a la que se somete al espécimen en tres valores diferentes, además de facilitar el dibujo de la envolvente de falla para los diferentes círculos de Mohr que se generan, también se elimina el efecto de variabilidad de suelo en los resultados finales, puesto que no se necesita ensayar más de una probeta.
3. El equipamiento especificado para llevar a cabo esta prueba (ensayo consolidado drenado), no debe utilizarse si se lleva a cabo un ensayo de corte no drenado, puesto que, si se aplica una velocidad de corte muy rápida y además no se controla apropiadamente el volumen del espécimen, se puede generar un drenaje parcial y finalmente se arrojarán resultados incorrectos.

## 4.2. Procedimientos para los ensayos en campo

### 4.2.1. *Ensayo de penetración estándar ASTM D1586*

Es también denominado “Método de Prueba estándar para prueba de penetración estándar (SPT) y Muestreo de Suelos con Tubo Partido” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D1586 (2018), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Equipo de perforación:** Consiste en cualquier equipo de perforación que permita obtener aberturas adecuadas y limpias, previo a la introducción del muestreador.

**Broca de arrastre, corte y perforación:** Su diámetro debe estar comprendido entre 0.056 y 0.162 m, además de que para evitar perturbaciones que alteren el subsuelo, no se permite la utilización de brocas de descarga inferiores, sólo laterales.

**Broca de cono-rotación:** Se debe tener en cuenta las mismas consideraciones que para la broca de arrastre, corte y perforación.

**Barrena hueca de raspado continuo:** Su diámetro debe estar comprendido entre 0.056 y 0.162 m, además de que se acepta la utilización de barrenas con o sin ensamble de broca central.

**Barrena de mano, posteadora, sólida y continua:** Su diámetro debe estar comprendido entre 0.056 y 0.162 m, si es que el suelo de análisis no cabe dentro del muestreador o las barras de muestreo durante el proceso de perforación.

**Barras de muestreo:** Se trata de barras de acero unidas con juntas, cuya principal función es conectar el tubo partido con el ensamble de dirección-peso, para lo cual su diámetro externo debe ser aproximadamente 0.0412m y un diámetro interno de 0.0285m.

**Muestreador de tubo partido:** En la Figura 12 se muestra un esquema de cómo debe ser construido el muestreador. La zapata debe estar elaborada con acero templado y se deberá reemplazar cada cierto tiempo, específicamente cuando se note la presencia de torceduras o similares.

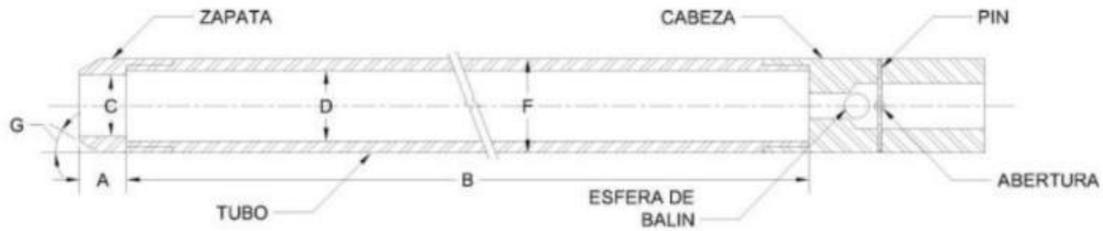


Figura 12. Muestreador estándar  
Fuente: ASTM D1586 (2018)

**Martillo y yunque:** El martillo que se utilizará debe pesar  $63.5 \text{ kg} \pm 1 \text{ kg}$ , además de ser metálico sólido y rígido. Cuando se lo deja caer este debe golpear directamente al yunque, por lo que debe ser un contacto metal contra metal, por lo que se recomienda revisar previamente una guía para la caída libre del martillo, que generalmente suelen ser una de las siguientes: cabestrante-cuerda, viaje, semiautomática y automática.

**Accesorios:** Adicional a los equipos ya mencionados se necesitará de etiquetas, contenedores de muestras, hojas de registro de datos y por supuesto aparatos para la medición del nivel freático del suelo.

- **Procedimiento de ensayo**

1. Se procede a hacer avanzar al barreno en incrementos continuos, de manera que sea posible llevar a cabo un muestreo intermitente, estos intervalos generalmente se dan cada 0.15m más o menos cuando el suelo es homogéneo y con ensayos y muestreos por cada cambio de estrato.
2. Existen diferentes procedimientos de perforación que pueden adoptarse, entre los cuales es posible mencionar: método de perforación a rotación de agujero abierto,

método de barrena de raspado continuo, método de agujero lavado o método de barrena sólida continua. Cualquiera que se lleve a cabo debe garantizar la obtención de un agujero adecuado y estable antes de la inserción del muestreador, de manera que el ensayo en su totalidad se lleve de una manera aceptable. Además, se debe tener en cuenta que no es aceptable la inyección de un chorro de agua a través del tubo abierto de un muestreador para después muestrear a la profundidad deseada.

3. Una vez que se ha avanzado con el barreno hasta la elevación deseada, se retiran los excesos. A continuación, acoplar el muestreador a las barras y bajarlas dentro del agujero cuidando que estas no caigan sobre el suelo.
4. Colocar el martillo en la parte superior y fijar el yunque a la parte superior de las barras de muestrear. Dejar que el peso muerto de todo el conjunto descansa sobre la parte inferior del barreno y aplicar golpes de asiento, limpiando siempre los residuos de la parte inferior de este.
5. Realizar tres marcas en las barras de perforación con separaciones de 0.15m entre sí, de manera que sea más fácil observar el avance del muestreador por acción del martillo.
6. Guiar adecuadamente al muestreador dentro de la perforación y contar el número de golpes llevados a cabo para cada incremento de 0.15m hasta que se presente alguno de los siguientes escenarios: se han aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los incrementos, se han aplicado un total de 100 golpes o no se observa avance alguno del muestreador después de aplicar 10 golpes. Es importante resaltar que los golpes del primer avance son considerados como de asentamiento de la dirección, mientras que la suma del número de golpes en el

segundo y tercer avance es conocida propiamente como la “resistencia de penetración estándar”.

7. Finalmente, se levanta y retira el martillo, además de recoger el muestreador, anotar datos del suelo como: composición, color, estratificación y condición y guardar la muestra adecuadamente junto con etiquetas que indiquen a que trabajo pertenece para ser transportada.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. Al momento de realizar el ensayo en suelos blandos, debe cuidarse que no se trate de arcillas consolidadas, puesto que al introducir el equipo de perforación en dicho estrato podría sufrir daños considerables.
2. Previo a la realización del ensayo se debe tener la seguridad de que las paredes del pozo de perforación se encuentran estables, por lo que, las mismas deben ser entibadas ya sea mediante tubos, lodo producto de la perforación o cualquier otro método que se estime conveniente para el efecto.
3. Si el suelo de estudio se trata de un arcilloso potencialmente expansivo, debe tenerse en cuenta que adicionalmente a este ensayo deberá llevarse a cabo un estudio especial, para prevenir posibles accidentes en las futuras cimentaciones que se construirán sobre este.

#### 4.2.2. *Ensayo de cono de penetración ASTM D3441*

Es también denominado “Método de prueba estándar para pruebas mecánicas de penetración de cono en suelos” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D3441 (2016), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Cono:** Este deberá tener un ángulo en la punta de 60 a 65° y un diámetro en la base de  $35.7 \pm 0.4$  mm, lo que da como resultado un área proyectada de  $10 \text{ cm}^2$ , mientras que la punta del cono deberá tener un radio menor a 3mm. Deberá estar elaborado de acero con una dureza adecuada para resistir el desgaste producto de la abrasión del suelo.

**Mango de fricción:** Esta pieza posee como diámetro exterior el mismo diámetro de la base del cono y un área superficial de  $150 \text{ cm}^2 \pm 2\%$ . Deberá estar elaborado de acero con una dureza adecuada para resistir el desgaste producto de la abrasión del suelo. Adicionalmente, deberá tener una rugosidad de  $1.6 \mu\text{m} \pm 50\%$ .

**Varillas de empuje:** Deberán estar elaboradas con un acero y una sección adecuadas para soportar sin pandearse el empuje necesario para hacer avanzar la punta del penetrómetro. Su diámetro exterior no debe sobrepasar el diámetro de la base del cono y una longitud de por lo menos 0.4m por encima de la base, pero cuando se trata del penetrómetro de cono de fricción, aquella longitud debe ser al menos 0.3m por encima de la parte superior del mango de fricción. Cada una de las varillas debe tener el mismo diámetro y deberán estar atornilladas o algo similar para que se soporten una contra la otra, formando una sola articulación rígida con un eje recto continuo.

**Varillas internas:** Cuando se utiliza un penetrómetro mecánico, este necesita un juego separado de varillas internas, las cuales deben ser de acero u otro metal; con un diámetro exterior constante, una rugosidad inferior a  $3.2 \mu\text{m}$  y la misma longitud que las varillas de empuje. Adicionalmente, la sección transversal debe ser adecuada para

soportar sin pandearse el empuje necesario para hacer avanzar la punta del penetrómetro. Entre las varillas de empuje y las varillas internas deberá existir un espacio libre de entre 0.5 y 1.0 mm.

**Precisión de la medición:** La instrumentación se debe calibrar y manejar de manera adecuada, tal que la precisión en las mediciones debe ser de  $\pm 5 \%$ .

**Penetrómetro:** Este puede ser uno de tipo cono mecánico o cono de fricción mecánica.

**Equipo de medición:** Consiste en un equipo para medir la resistencia a la penetración en la superficie del suelo, por lo que puede tratarse de una celda de carga hidráulica, eléctrica o un anillo de prueba.

**Máquina de empuje:** Esta debe ser capaz de proporcionar un empuje de manera continua, preferiblemente una distancia mayor que la longitud de una varilla de empuje. Su mecanismo consistirá en hacer avanzar la punta del penetrómetro a una tasa constante mientras que la magnitud del empuje requerido fluctúa.

**Equipo de reacción:** El desempeño adecuado de la máquina de empuje estático requiere una reacción estática estable.

- **Procedimiento de ensayo**

1. El primer paso consistirá en configurar la máquina de empuje en una dirección de empuje lo más vertical como sea posible.
2. Tener en cuenta que la velocidad de penetración deberá mantenerse constante a aproximadamente 10 a 20 mm/s  $\pm 25 \%$ .
3. Si se trata de un penetrómetro de cono: avanzar la punta de este hasta la profundidad requerida, aplicando el suficiente empuje en las varillas de empuje, así como en las varillas internas para extender la punta del penetrómetro e ir

obteniendo de la resistencia del cono a determinados incrementos de profundidad, que valga aclarar no debe superar los 203mm.

4. Por el contrario, si se trata de un penetrómetro de cono de fricción: Adoptar el procedimiento descrito en (3) pero con la única diferencia que se deben obtener no una sino dos resistencias durante la extensión de la punta. La primera durante la fase inicial de extensión, cuando la parte inferior de la punta se acopla y tira hacia abajo del mango de fricción y la segunda de la resistencia total del cono más el mango, por lo que deberá efectuarse la resta respectiva de la resistencia del mango.
5. Cuando se utilice una punta de cono de fricción, registrar sólo las lecturas de empuje que ocurran en un punto bien definido durante el movimiento hacia debajo de la parte superior de las varillas internas en relación con la parte superior de las varillas de empuje, este punto normalmente es de 25 mm.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. De ser posible también puede recurrirse a la utilización de geófonos para la recopilación de ondas de corte sísmico y velocidades de ondas de compresión, debido a que la obtención de estos datos facilita el estudio del fenómeno de licuefacción.
2. Si al momento de realizar el ensayo se utiliza el cuerpo de un penetrómetro en cono estándar y una esfera o una barra en T en reemplazo de la punta cónica, es posible obtener fuerzas de celda de carga más altas en suelos muy blandos, por lo que aumenta la calidad de los resultados obtenidos.
3. Para suelos blandos altamente compresibles, este tipo de ensayo significa el aumento en la precisión en la obtención de datos para la elaboración de su perfil geotécnico, así como ahorro de tiempo.

#### **4.2.3. Ensayo de placa de carga o carga estática ASTM D1194**

Es también denominado “Método de prueba estándar para la determinación de capacidad de carga del suelo por zapatas de carga estática y dispersión” y se sujeta a lo indicado en la norma ASTM D1194 (2017), conforme a la cual, este ensayo se lleva a cabo siguiendo las indicaciones a continuación:

- **Equipo**

**Placa de carga:** Existen diferentes tipos de placas que se pueden utilizar para llevar a cabo este ensayo, entre las cuales se puede mencionar las placas: rígidas, semirrígidas y ligeras. Sin embargo, se debe disponer de tres placas de acero, ya sean circulares o cuadradas con espesores no menores a 1 pulgada.

**Carga de reacción:** Puede tratarse de un remolque equipado o un camión lastrado, con el tamaño y peso suficientes para aportar la carga requerida al terreno, este último debe ser mayor o igual a 20 TM.

**Gata hidráulica:** La gata a ser utilizado debe tener una potencia acorde con la carga de reacción y la tensión máxima que se desea utilizar, pero con una carga no menor a 50 toneladas. Adicionalmente, se deberá disponer de un dispositivo para registrar la fuerza aplicada por la gata, el cual puede ser un manómetro (medidor de presión), un anillo de carga o una celda de carga electrónica, en cualquier caso, el margen de error de medición no debe ser mayor de  $\pm 2\%$  del incremento de carga.

**Vigas de referencia:** Consiste en un sistema de vigas ligeras pero que deben ser rígidas e indeformables. Puede tratarse de una sola viga soportada sobre dos apoyos, o bien tratarse de un triángulo con tres apoyos o un marco rectangular de cuatro apoyos.

**Deformímetro:** Se lo fija sobre el sistema de vigas, por lo que en ocasiones se requiere de dos o tres y se lo (s) apoya sobre la placa de ensayo. Estos deben registrar sus mediciones con una precisión de por lo menos 0.25 mm.

**Otros:** Adicionalmente se necesita de un cronómetro, pico, pala, nivel y arena fina o yeso.

- **Procedimiento de ensayo**

1. Previo a la realización del ensayo, se selecciona la superficie de ensayo en función de los resultados de los sondajes de exploración que se han llevado a cabo previamente y de los requerimientos de la estructura que se construirá, puesto que la profundidad del ensayo deberá ser la misma a la que se encontrará la cimentación y bajo las mismas condiciones a las que esta se sujetará. Adicionalmente, se requiere la preparación de al menos tres pozos de prueba, con una separación igual a 5 veces el diámetro mayor de las placas usadas.
2. La superficie donde se apoyará a la placa deberá ser nivelada con arena fina apisonada o yeso. A continuación, se coloca la placa en puntos tan distantes del área de ensayo como sea posible (aprox. 2.4 m), seguido de la adecuación del dispositivo de medida y la aplicación de una primera carga durante un lapso de 30 segundos para dejar lista la placa de ensayo. Finalmente se descarga la placa y se encera los deformímetros.
3. Una vez realizados los trabajos previos indicados anteriormente; se aplica una presión de  $1 \text{ kg/cm}^2$  y se apunta la deformación total registrada, se retira la presión y se mide la deformación permanente. Se repite el procedimiento varias veces, pero con cargas de 2, 3, 4 y  $5 \text{ kg/cm}^2$ . Asegurarse de que el suelo esté siendo cargado de manera estática, sin impactos, fluctuaciones o excentricidades.
4. Después de cada incremento de carga, esta debe mantenerse constante por un intervalo de tiempo no menor a 15 minutos hasta que el asentamiento cese o sea uniforme. Llevar un adecuado registro de asentamientos, para lo cual se deberán tomar por lo menos 6 medidas entre aplicaciones de carga.

5. El ensayo termina cuando se presente uno de los siguientes escenarios: se ha alcanzado la carga pico o la relación incremento de carga/ incremento de asentamiento resulta mínima. Si existe la suficiente carga disponible se podrá continuar con el ensayo, hasta que el asentamiento sea igual a por lo menos el 10% del diámetro de la placa.

- **Recomendaciones cuando se trata de un suelo blando**

1. En suelos blandos, al momento de realizar el ensayo, de ser posible disponer de una pared o una construcción al lado del ensayo para utilizar un dispositivo de amplificación con palanca, esto como una manera alternativa para no aplicar la carga directamente sobre el suelo. Una vigueta metálica se apoya sobre el fuste a través de un rodillo metálico, si el fuste es de madera adicionalmente habrá que acoplarle una placa de acero. Uno de los extremos de la vigueta se soporta sobre una ranura en la pared y en el otro extremo se depositan las cargas.
2. Al interpretar los datos obtenidos en el ensayo deben guardarse las reservas respectivas, puesto que las medidas de la placa utilizada son diferentes a las medidas de la cimentación que se estará proyectando.

#### **4.4. Restricciones ambientales de los suelos blandos dentro de las áreas protegidas y medidas preventivas**

De acuerdo con el Anexo 2 del *Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente* (2017) y el Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador (2013), existen diversas restricciones dentro de las áreas protegidas que deben tomarse en cuenta:

- Reducir la generación de residuos sólidos durante los procesos de determinación de la capacidad de carga, lo que involucra la incorporación de técnicas y procedimientos apropiados, tanto para su minimización como reutilización y reciclaje.
- Se prohíbe la descarga directa al suelo de cualquier efluente que pudiera alterar la calidad u ocasionar daños físicos, químicos o biológicos en este.
- Se prohíbe el depósito descontrolado de desechos que por su naturaleza pudieran ser considerados peligrosos y/o especiales, por lo que la autoridad ambiental competente tiene la potestad de vigilar que existan zonas destinadas almacenar este tipo de desechos.
- Si por diversos motivos se generaran desechos peligrosos y/o especiales, en las zonas destinadas a su almacenamiento como se mencionó en el inciso anterior, se deberán realizar muestreos previo establecimiento de un protocolo que esté acorde al plan de manejo ambiental respectivo, con el fin de monitorear al menos una vez al año el nivel de afectación del suelo y sus resultados deberán ser presentados en un informe, posterior al cual, la autoridad competente decidirá si es necesario que se tomen más muestras o se cambie la frecuencia en el muestreo.

- Cualquier daño que se realice al ambiente, además de acarrear las sanciones respectivas, obliga a los responsables a restaurar de manera integral el o los ecosistemas afectados e indemnizar a las personas y/o comunidades que resultaron afectadas.
- En las zonas consideradas como protegidas no se permite: la poda, talado o cualquier forma de destrucción o alteración de los bosques sin la respectiva licencia o autorización, pero si no se cuenta con ello o el titular se excede de lo autorizado, se le sancionará con una multa comprendida entre uno a diez salarios mínimos vitales y se le retendrán sus herramientas e inclusive medios de transporte. Por lo que, todos los procedimientos deben manejarse siempre bajo lo estipulado por la ley.
- El agua asociada al lavado de máquinas y equipos utilizados en los diferentes procesos de caracterización, suelen contener sólidos suspendidos que pueden alterar los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento, por lo que se deben revisar las normas respectivas para no exceder los límites máximos permitidos de sólidos de alta densidad en los recursos hídricos de estas zonas protegidas.
- El polvo y la arena que se genera producto del movimiento de la tierra, pueden ocasionar destrucción celular, bloqueo de estomas y/o afectación a los procesos de fotosíntesis de las plantas. Por lo que, es altamente importante la protección de las plantas que estarán expuestas a estos agentes, sobre todo porque en las áreas protegidas existe una diversidad de flora muchas veces considerada endémica de cada zona.
- Evitar ocasionar excesivo ruido, puesto que esto puede ocasionar el ahuyentamiento de mamíferos o aves y la alteración del ecosistema.

- Es importante reconocer a partir de reuniones con la comunidad, las malas prácticas que hayan sido llevadas a cabo en ocasiones anteriores, con respecto al manejo del suelo, que a su vez pudieran haber ocasionado pérdidas en los ecosistemas.
- A menos que se cuente con la autorización debidamente justificada, en áreas protegidas se prohíbe el ingreso de dragas, retroexcavadoras, buldóceres y otras maquinarias similares, puesto que estas pueden ser mal utilizadas y dañar los ecosistemas. Por lo que, estas además de contar con sus documentos de movilización, también deberán portar la respectiva licencia ambiental.
- En el caso de suelos blandos el muestreo generalmente se realiza con tubos Shelby (tubos de pared delgada), se debe tener especial cuidado de que estos no se encuentren corroídos, ya sea por una reacción galvánica o química, debido a que esta corrosión no sólo destruye al equipo sino también puede alterar las condiciones naturales del suelo, por lo que estos tubos deben contar con algún tipo de protección como: una capa ligera de aceite, lubricante, barniz epóxico, laca, teflón, pintura anticorrosiva, etc., la cual se escogerá dependiendo el tipo de suelo que se muestreará.
- Se recomienda procurar que el tiempo que entran en contacto los equipos de caracterización y/o perforación y el suelo sea el menor posible, para alterar en la menor medida posible sus condiciones naturales de estabilidad en estas áreas protegidas. Por lo tanto, las barras de perforación deben cumplir con las longitudes establecidas por las normativas de control, a fin de que la profundidad del sondeo no se dé más allá de lo permitido.

#### **4.5. Propuesta**

Una vez presentados los diferentes procedimientos de ensayo que se pueden llevar a cabo para la determinación de la capacidad de carga de un suelo y después de haber analizado los beneficios y limitaciones de cada uno de los métodos, asociadas a su aplicación en un suelo blando, a criterio personal se sugiere que los ensayos que deben ser aplicados en suelos de estas características son los siguientes:

- **Ensayo de compresión no confinado (ASTM D2166):**

Cuando se trata de un suelo no cohesivo, generalmente se escoge el ensayo de corte directo; sin embargo, en limos y arcillas el procedimiento de aplicación se dificulta, por lo que, su costo en el mercado es elevado y si se trata de un proyecto pequeño como una residencia familiar el gasto no se justifica y, por el contrario, el ensayo de compresión no confinado es el más económico.

Adicionalmente, si se considera que la naturaleza de los suelos cohesivos permite que al ser sometidos a procesos de aplicación de presión de confinamiento conserven su resistencia intrínseca, se puede tener un mejor control en las deformaciones y esfuerzos, por lo que los resultados de laboratorio serán mejores, es así que, si se analiza el costo-beneficio el ensayo de compresión no confinado resulta el procedimiento ideal.

- **Ensayo de cono de penetración (ASTM D3441):**

Si bien entre el ensayo de cono de penetración y el de penetración estándar, éste último es uno de los más realizados en el campo de la ingeniería geotécnica, se propone que cuando se tenga un suelo blando se considere recurrir al ensayo de cono de penetración, ya que mediante la implementación de una esfera o una barra T en el cuerpo del penetrómetro es posible potenciar el ensayo y así aumentar la calidad de los resultados obtenidos y no sólo en cuanto a la determinación de la capacidad de carga, sino también en la elaboración de su perfil geotécnico, por lo que se ahorraría tiempo en campo.

## CONCLUSIONES

- El comportamiento mecánico de los suelos blandos está estrechamente ligado con diferentes factores, como su estructura o historia geológica. Es por ello por lo que cuando se les somete a los diversos ensayos mencionados para determinar su capacidad de carga, se pueden apreciar una serie de características propias de este material, como son: reajuste y rigidización del esqueleto granular, picos de resistencia cortante y/o fluencia bajo un esfuerzo cortante.
- La capacidad de carga de un suelo dependerá además de lo antes mencionado, de cómo se extraiga la muestra, puesto que el comportamiento de este no es exactamente el mismo en laboratorio que en el sitio en su estado natural. Por lo que, dependiendo del tipo de ensayo que se lleve a cabo deberán realizarse las correcciones respectivas a los resultados obtenidos.
- En el Ecuador, el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica tiene muy bien definidos los protocolos a seguir en caso de que se desee intervenir en una de las áreas del territorio nacional catalogadas como protegidas; por lo que, cuando se tenga interés en construir en uno de estos sitios se deberá seguir los procesos respectivos, así como justificar con la documentación adecuada que tal inmueble será compatible con la zona de interés, esto a fin de garantizar el mínimo impacto sobre el sitio, sus habitantes y recursos naturales.
- Si bien los procesos operativos para la ejecución de pruebas de capacidad de carga en suelos se encuentran debidamente normados, en este trabajo de investigación se ha recopilado más de una consideración que podría ser adoptada a futuro cuando el suelo de estudio sea uno de tipo blando, a fin de mejorar los resultados obtenidos y con ello construir edificaciones más seguras.

- Una vez procesadas las entrevistas llevadas a cabo a profesionales de ingeniería civil especializados en geotecnia y mecánica de suelos, se puede concluir que construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales, lo que incluye la realización de pruebas de capacidad de carga, no es imposible, siempre y cuando se conozcan las legislaciones y normas pertinentes y se sigan los procesos adecuados en cada caso.
- Cada una de las zonas dentro del mapa de áreas protegidas del Ecuador cuenta con un protocolo de manejo para su adecuada conservación, por lo que es importante tener conocimiento de las restricciones ambientales asociadas a cada lugar, principalmente para evitar sanciones que pueden ir desde lo económico, el retiro de los permisos de operación e inclusive el decomiso de equipos y medios de transporte, que pudieran perturbar los trabajos de determinación de la capacidad de carga del suelo en este tipo de zonas.
- La realización de trabajos de determinación de capacidad de carga, así como cualquier actividad de construcción en áreas con restricciones ambientales, en muchas ocasiones trae consigo afectaciones en el entorno, animales y/o comunidades, por lo que, cualquier daño que se realice directa o indirectamente al medio debe ser corregido de manera integral.
- Revisar siempre el estado de los equipos que se utilizarán, así como que sus dimensiones se encuentren conforme al estándar, de manera que los ensayos se lleven a cabo con las menores afectaciones posibles sobre el suelo.

## RECOMENDACIONES

- La variable ambiental debe ser integrada desde las primeras fases de planeación de un proyecto, con el fin de escoger la mejor alternativa que beneficie a todas las partes involucradas en este, aquello incluye la realización de procedimientos para la determinación de la capacidad de carga de suelos, a fin de entre otras cosas no afectar la naturaleza del suelo y el entorno.
- En caso de querer construir en una de las denominadas áreas protegidas del Ecuador, informarse adecuadamente en las plataformas virtuales de las diferentes entidades competentes sobre los procesos a seguir, para no incurrir en las denominadas construcciones informales y evitar con ello problemas tanto a corto como largo plazo.
- La realización de este trabajo de investigación ha incluido una exhaustiva investigación sobre la legislación y reglamentos nacionales, por lo que se recomienda que, si se desea adoptar uno o más de los criterios aquí emitidos en otros países, se realice las consultas respectivas en las páginas oficiales de cada país.
- En el presente trabajo de investigación se ha tomado en cuenta la opinión de profesionales con mucha experiencia y trayectoria en el campo de la geotecnia y mecánica de suelos; sin embargo, se recomienda siempre consultar primero las normas oficiales que respaldan la realización de cada uno de los ensayos para la determinación de la capacidad de carga de suelos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anagua, R. (2019). *Evaluación del comportamiento carga-asentamiento en escala completa de zapatas sobre limo arcillo blando y limo arcilloso reforzado por columnas de suelo-cemento compactado*. [Tesis de pregrado, Universidad Federal de Integración Latino-Americana], DSpace UNILA. <http://dspace.unila.edu.br/123456789/6074>
- Archenti, J. (2018). *Zonificación de la capacidad portante del suelo en la localidad de Lagunas distrito de Lagunas, Alto Amazonas - región de Loreto*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio UNSM. <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3139/CIVIL%20-%20Joel%20Felipe%20Archenti%20Zegarra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arias, F. (2016). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (7ma edición ed.). Caracas, Venezuela: Ediciones El Pasillo 2011. <https://bit.ly/3tJh8O6>
- Arias, R., & Rodríguez, J. (2018). Criterios ambientales y socioeconómicos para priorizar inversiones en la red vial de Costa Rica. *Infraestructura Vial*, 20(35), 12-19. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/iv.v20i35.34830>
- ASTM International. (2004). *ASTM D4767-04 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*. <https://doi.org/10.1520/D4767-04>
- ASTM International. (2011). *ASTM D3080/D3080M-11 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*.
- ASTM International. (2015). *ASTM D2850-15 Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils*. <https://doi.org/10.1520/D2850-15>

- ASTM International. (2016). *ASTM D2166/D2166M-16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*.  
[https://doi.org/10.1520/D2166\\_D2166M-16](https://doi.org/10.1520/D2166_D2166M-16)
- ASTM International. (2016). *ASTM D3441-16 Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Testing of Soils*. <https://doi.org/10.1520/D3441-16>
- ASTM International. (2017). *ASTM D1194-94 Standard Test Method for Bearing Capacity of Soil for Static Load and Spread Footings*.
- ASTM International. (2018). *ASTM D1586/D1586M-18 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*.  
[https://doi.org/10.1520/D1586\\_D1586M-18](https://doi.org/10.1520/D1586_D1586M-18)
- Atencio, V., & Angulo, R. (2020). *Determinación de la capacidad de carga admisible para las cimentaciones superficiales del sector 12 San Antonio, Distrito G. Albarracín, Provincia Tacna - 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna], Tacna, Perú. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1758>
- Ballesteros, R. (2018). Obtención de parámetros del modelo Hardening Soil mediante ensayo CPTu en suelos blandos de Bogotá. *Revista Politécnica*, 14(26), 89-97.  
<https://doi.org/http://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a8>
- Bernal, I. (20 de Octubre de 2020). *Los efectos de los sismos en los tipos de suelo*. Opinión: <https://diariocorreo.pe/opinion/los-efectos-de-los-sismos-en-los-tipos-de-suelo-noticia/?ref=dcr>
- Bowles, J. (1988). *Foundation analysis and design* (4ta Edición ed.). Estados Unidos: McGraw Hill.
- Campos, D., Ramos, A., & Prada, L. (2018). Evaluation of bearing capacity in Bimsoil under a shallow foundation using FEM. *Revista Técnica de la Facultad de*

<https://www.redalyc.org/journal/6057/605765712004/605765712004.pdf>

- Castillo, M. F. (2017). *Estudio de zonificación en base a la determinación de la capacidad portante del suelo en las cimentaciones de las viviendas del casco urbano de la parroquia La Matriz del cantón Patate provincia de Tungurahua*. Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25755>
- Casto, S. (2020). *Responsabilidad de la ingeniería civil frente al impacto ambiental negativo por la ejecución de obras de infraestructura*. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada], Repositorio Institucional UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36950/CastroVargasSergioGiovanny2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chicaiza, E., & Oña, F. (2018). *Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional], Repositorio institucional EPN. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19624>
- Cifuentes, D., & Iguavita, J. (2020). *Diseño y construcción de un prototipo para ensayos de placa de carga in situ*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás], Repository USTA. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/28338/2020jennyiguavita.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Columba, K. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Ministerio del Ambiente. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Manual-para-la-Gestio%CC%81n-Operativa-de-las-A%CC%81reas-Protegidas-de-Ecuador-finalr.pdf>

- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Reformas en Registro Oficial-Suplemento de 13 de julio de 2011.*  
[https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf)
- Das, B. M. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima Edición ed.). Cengage Learning.
- De la Cruz, M. (2017). *Estudio del comportamiento tenso-deformacional y de capacidad de carga en suelos parcialmente saturados, por métodos analíticos y modelación en bases de cimentaciones.* [Tesis de pregrado, Universidad Central Marta Abreu], Repositorio Institucional UCLV.  
<http://dspace.uclv.edu.cu:8089/handle/123456789/8675>
- Fellenius, B. (2019). *Bases para el Diseño de Fundaciones.* Pile Buck International, Inc.  
[www.Fellenius.net](http://www.Fellenius.net)
- Galindo, J., & Silva, H. (2017). *Impactos ambientales producidos por el uso de maquinaria en el sector de la construcción.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia], Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia - RIUCaC.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/12566/4/IMPACTOS%20AMBIENTALES%20PRODUCIDOS%20POR%20EL%20USO%20DE%20MAQUINARIA%20EN%20EL%20SECTOR%20DE%20LA%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf>
- Gutiérrez, A., & Lizcano, A. (2017). *Metodología con redes neuronales para la clasificación de suelos por medio de sondeos con CPT.*  
[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42342325/Metodologa\\_con\\_redes\\_neuronales\\_para\\_la\\_20160207-22620-yxc3xw-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637527386&Signature=Kv2Xjv2yW2o3B1Lzq~V5oj9Jk5DbS](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/42342325/Metodologa_con_redes_neuronales_para_la_20160207-22620-yxc3xw-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637527386&Signature=Kv2Xjv2yW2o3B1Lzq~V5oj9Jk5DbS)

Z023UtUs59kEZjX4pxpVC6FzXLJWbJLc3xEMYv8w1XZrIsSm7UkosGQP5  
DEMCx-Jx

Hernández, J., Sánchez, V., Castillo, I., Damián, S., & Téllez, R. (2001). Impacto ambiental de proyectos carreteros. Efectos por la construcción y conservación de superficies de rodamiento: II pavimentos rígidos. *Publicación Técnica*(173).  
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt173.pdf>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). (M. Rocha, Ed.) Distrito Federal, México: McGRAW-HILL.  
<https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Jimenez, M., & Otálvaro, G. (2020). *Estudio comparativo del comportamiento de cimentaciones superficiales en suelos blandos, al implementar rellenos granulares como técnica de mejoramiento*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia], Repositorio Institucional Univesidad Católica de Colombia - RIUCaC. <https://hdl.handle.net/10983/24797>

López, L., Quevedo, G., & Rodríguez, C. (2019). Análisis de tratamientos de suelos blandos bajo terraplenes. *II Convención Científica Internacional 2019 UCLV*, 1(1), 1-14.  
<https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/12478/Liudys%20Y.%20SIMPOSIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

López, P. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Punto Cero*, 9(8), 69-74.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-02762004000100012#:~:text=a\)%20Poblaci%C3%B3n,los%20accidentes%20viales%20entre%20otros%22](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012#:~:text=a)%20Poblaci%C3%B3n,los%20accidentes%20viales%20entre%20otros%22).

- Macías, A., Carvajal, D., Cobos, D., Fienco, B., Peralta, J., & Zambrano, J. (2018). *Mecánica de suelo: Tomo I*. Alicante, España: Área de Innovación y Desarrollo, S.L. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17993/IngyTec.2018.33>
- Martínez, G. (2010). Análisis de restricciones ambientales de la interconexión eléctrica Colombia - Panamá. Tramo colombiano. *Revista CIER*, 1(54), 10-20. [http://sg.cier.org.uy/Publicaciones/revista.nsf/0a293b20eacdf8a903257133003ea67d/498376b810d5c69a832576ef0061a1ce/\\$FILE/AnalisisDeRestricAmb\\_02.pdf](http://sg.cier.org.uy/Publicaciones/revista.nsf/0a293b20eacdf8a903257133003ea67d/498376b810d5c69a832576ef0061a1ce/$FILE/AnalisisDeRestricAmb_02.pdf)
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Geotécnia y Cimentaciones*.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Secretaría de Gestión de Riesgos. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-6-GEOTECNICA.pdf>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). *Volumen N°4, Manual de guía y criterios para estudios ambientales en obra de infraestructura del transporte terrestre*. Subsecretaría de Infraestructura del Transporte. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_4.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_4.pdf)
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (10 de septiembre de 2004). Ley de Gestión Ambiental, Codificación. *Codificación 19. Registro Oficial Suplemento 418. Estado: Vigente*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-GESTION-AMBIENTAL.pdf>

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2010). *Sistema Único de Información Ambiental SUIA. Manual del ciudadano(a). Licenciamiento ambiental por categorización (categoría I, II, III y IV)*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Manual-de-Regularizacion-Ambiental.pdf>
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2021, Noviembre 28). *Emisión de licencia ambiental para proyectos, obras o actividades considerados de mediano o alto impacto y riesgo ambiental siendo de carácter obligatorio*. Trámites en línea: <https://www.gob.ec/maae/tramites/emision-licencia-ambiental-proyectos-obras-actividades-considerados-mediano-alto-impacto-riesgo-ambiental-caracter-obligatorio>
- Muñoz, J. C. (2017). *Procesos de trazados de carreteras y vías urbanas*. España: ELEARNING S.L. <https://doi.org/www.books.google.com.ec>
- Nieto, J., & Tolentino, M. (2021). *Análisis del comportamiento de los suelos blandos aplicando la técnica de inclusiones rígidas por los métodos numérico y analítico*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas], Repositorio Académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/654720>
- Nij, J. (2017). *Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala], Biblioteca USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3004\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3004_C.pdf)
- Osorio, I. (2017). *Impactos ambientales, sociales y económicos de las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) en Antioquia*. [Tesis de maestría, Universidad EAFIT], Repositorio EAFIT.

[https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11732/OsorioLondo%C3%BAIo\\_Iverson\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/11732/OsorioLondo%C3%BAIo_Iverson_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2018). *Estudio de Diagnóstico - Preliminar “Asentamientos de viviendas en el Barrio de Solanda, en la ciudad de Quito de la provincia de Pichincha”*. [Informe de diagnóstico - preliminar, Pontificia Universidad Católica del Ecuador], Área de Mecánica de Suelos y Geotécnica. <https://www.metrodequito.gob.ec/wp-content/uploads/PUCE-DIAGNOSTICO-SOLANDA.pdf>

Quezada, M. F. (2017). *Capacidad de carga del suelo*. Loja, Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-particular-de-loja/suelos-y-rocas/capacidad-de-carga-del-suelo/4880499>

Quintero, J., Martínez, B., & Cruz, L. (2021). Evaluación de capacidad de carga de suelos estratificados (2 estratos) mediante comparativa analítica-numérica. *Facultad de Ingeniería*, 30(55). <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.12080>

Rojas, L. (2017). *Determinación de la variación en los valores del numero de golpes del ensayo SPT debido a la perdida de energía causada por diferentes diámetros de tubería*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional UCC. <http://hdl.handle.net/10983/14537>

Rui, J. (2020). *Teoría unificada de estructuras y cimientos: Una mirada transversal*. Barcelona, España: Reverté. [www.books.google.com](http://www.books.google.com)

Subsecretaria de Infraestructura del Transporte. Dirección de Gestión Socio Ambiental. (2019). *Guía de buenas prácticas ambientales*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/11/LO\\_CAF\\_ESMERALDAS\\_5\\_PLAN-DE-MANEJO-AMBIENTAL.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/11/LO_CAF_ESMERALDAS_5_PLAN-DE-MANEJO-AMBIENTAL.pdf)

- Vallejo, V. (2018). *Impacto del terremoto del 16 de abril del 2016 en la vivienda y análisis del primer reasentamiento humano Si Mi CASA en la ciudad de Manta*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador], Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14854>
- Vanegas, D. (2020). *Evaluación ambiental del efecto del uso de aditivos químicos en la estabilización de suelos viales*. [Tesis de pregrado, Universidad de Antioquia], Repositorio Institucional Universidad de Antioquia. [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15145/4/VanegasDairo\\_2020\\_EvaluacionAmbientalefectos.pdf](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/15145/4/VanegasDairo_2020_EvaluacionAmbientalefectos.pdf)

# ANEXOS

## Anexo 1: Entrevistas

UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TÍTULO:** Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales

**Parte A: Datos del experto**

- Apellidos y Nombres: Horacio Jimenez
- Grado académico: Tercer Nivel
- Título profesional: Ing. Civil
- Empresa en la que trabaja: Borlet

**Parte B: Entrevista**

1. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué normativas usa respecto a los estudios de suelo para la determinación de la capacidad de carga? y ¿qué considera que se les debe mejorar?

Limites, Granulometria, INEN, ASTM  
Proctor, CBR, ASTM, AASTHO  
Consolidacion - ASTM  
Factores de capacidad de carga de Terzaghi

2. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué pruebas de caracterización se deben realizar a los suelos blandos?

Granulometria, limite liquido, Compresion simpl.  
y Consolidacion

3. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué requisitos deben cumplir los suelos blandos para que se pueda construir sobre ellos?

Se realiza los tratamientos correspondientes a suelos  
los tratamientos de los suelos dependi de la  
carga que debe implementarse para poder  
construir sobre este tipos de suelos

4. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuál es la diferencia entre tomar muestras para pruebas de capacidad de carga en suelos blandos y suelos duros?

Son las mismas ya que los del procedimiento  
para toma de muestra para pruebas de capacidad  
de carga en suelos en general tienen el mismo  
proceso, la única diferencia para suelos blandos  
se toma la muestra con tubos Shelby para muestras intactas

5. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuáles son los permisos ambientales que se deben obtener para construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales?

No manejar la parte Ambiental

  
Firma

**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:** Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales

**Parte A: Datos del experto**

- Apellidos y Nombres: *... Cruz... Caspio... Blas... Porfirio.*
- Grado académico: *... Cuarto... Nivel.....*
- Título profesional: *... Maestro... en... Ingeniería... Mecánica... de Suelos*
- Empresa en la que trabaja: *... Cevaconsult, Geotecnia y Fisualización*

**Parte B: Entrevista**

1. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué normativas usa respecto a los estudios de suelo para la determinación de la capacidad de carga? y ¿qué considera que se les debe mejorar?

*Practica... CBR - ASTM - AASHTO.....*

*Ensayo de Placa => ASTM.....*

*Consideración => ASTM.....*

*Límites, Geomecánica - INEN - ASTM.....*

2. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué pruebas de caracterización se deben realizar a los suelos blandos?

*Las... pruebas... normales... generalmente... para... la... clasificación... de... los... suelos... blandos... límites... de... consistencia... en... los... suelos... finos... (cohesivos).....*

*Se... clasifican... los... suelos... blandos... según... las... normas... AASHTO... a... partir... de... esta... propiedad... de... consistencia... .*

3. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué requisitos deben cumplir los suelos blandos para que se pueda construir sobre ellos?

Deben tener suficiente resistencia, generalmente la prueba rápida si se realiza. Consistencia. Que la consistencia es el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a aquellas fuerzas externas que tienden a deformar o destruir su estructura.

4. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuál es la diferencia entre tomar muestras para pruebas de capacidad de carga en suelos blandos y suelos duros?

Las herramientas que usan para suelo blando tubo de Shelby, Barrel, dinison, para arcillas rígidas las arenas duras con número de golpes que se alcanzan 50 golpes con ensayo S.P.T. Generalmente se utiliza la echera partida y otro tipos de herramientas. Las arenas no se puede tomar muestra no hay herramienta

5. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuáles son los permisos ambientales que se deben obtener para construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales?

Geotecnia Ambiental, No modifica mucha el entorno, prohíbe la construcción de depósito de relaves, escombreras donde se puede poner materiales de desechos.



Firma

0999317808  
buhoblas@hotmail.com

**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:** Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales

**Parte A: Datos del experto**

- Apellidos y Nombres: Arévalo Mendoza Jean Carlos
- Grado académico: Tercer nivel
- Título profesional: Ing. Civil
- Empresa en la que trabaja: Geocimientos

**Parte B: Entrevista**

1. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué normativas usa respecto a los estudios de suelo para la determinación de la capacidad de carga? y ¿qué considera que se les debe mejorar?

Proctor, CBR → ASTM, AASTHO  
Ensayo de placa → ASTM  
Consolidación → ASTM  
Límites, Granulometría, IVEIN, ASTM

2. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué pruebas de caracterización se deben realizar a los suelos blandos?

- Límites, granulometría y clas. F. org.  
- Consolidación  
- Hidrometro

3. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué requisitos deben cumplir los suelos blandos para que se pueda construir sobre ellos?

- Precarga
- Drenes verticales
- Pilotes
- Zapatas en dos direcciones

4. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuál es la diferencia entre tomar muestras para pruebas de capacidad de carga en suelos blandos y suelos duros?

Se hacen muestras con tubos Shelby para suelos finos.  
Las Arenas densas se hace ensayo S.P.T, básicamente  
consiste en la hincada en el terreno de una puntaza metálica  
mediante golpes necesarios para clavar el ensayo pero debido  
a su amplio uso, este ensayo puede correlacionarse con numerosos parámetros.

5. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuáles son los permisos ambientales que se deben obtener para construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales?

N.R. Conocen y no aplican los permisos ambientales en sus procesos.

  
Firma

**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCION**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TITULO:** Diseño de un procedimiento para realizar pruebas de capacidad de carga en áreas de suelos blandos y restricciones ambientales

**Parte A: Datos del experto**

- **Apellidos y Nombre:** GILER ZAMBRANO GUSTAVO XAVIER
- **Grado Académico:** TERCER NIVEL DE GRADO
- **Título profesional:** INGENIERO CIVIL
- **Empresa en la que trabaja:** GEOCON S.A.

**Parte B: Entrevista**

1. **De acuerdo con su experiencia profesional, ¿Qué normativas usa respecto a los estudios de suelo para la determinación de la capacidad de carga? Y ¿que considera que se les debe mejorar?**

Las normativas del cual rijo mis cálculos serian

- ✓ ASTM - D
- ✓ NEC – Geotecnia y Cimentaciones
- ✓ En las investigaciones y recomendaciones regidas por Terzhagi, Meyerhof y Stroud

2. **De acuerdo con su experiencia profesional, ¿Qué pruebas de caracterización se deben realizar a los suelos blandos?**

A continuación denotaremos los ensayos necesarios junto al valor específico necesario para su posterior análisis

- ✓ **Ensayo SPT** = Se deberá de obtener el Numero de golpes en campo
- ✓ **Ensayo de Granulometría, Límites de Attenberg, Humedad Natural** = Estos ensayos nos permitirán determinan los parámetros requeridos para clasificar el suelo blando por el método SUCS
- ✓ **Ensayo de Compresión Simple** = Este ensayo ayudara a determinar la densidad de la muestra

**3. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿qué requisitos deben cumplir los suelos blandos para que se puedan construir sobre ellos?**

Para que un suelo se pueda considerar apto para su construcción, se recomienda que cumpla estos requisitos:

- ✓ **Granulometría:** Tamaños heterogéneos
- ✓ **Nivel freático:** Sin agua o que este se encuentre a una profundidad mayor al de la cimentación
- ✓ **Plasticidad:** No plástico
- ✓ **Expansión:** No expansiva
- ✓ **Material Orgánico:** Sin la presencia de material orgánico

**4. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿cuál es la diferencia entre tomar muestras para prueba de capacidad de carga en suelos blandos y suelos duros?**

La diferencia más clara la presentan en sus nombres debido a que como estos indican, los parámetros del suelo en condiciones “blandas” radican en un problema para los análisis, criterios y metodologías de cálculos debido al comportamiento que poseen a diferencia de su contraparte.

Pero aplicando la metodología de extracción de muestras aportado del ensayo SPT, la diferencia se podría radicar en que al tomar las muestras en suelos blandos se utiliza un toma muestras de pared delgada denominado Shelby, este método de tomar muestras se destaca en que la muestra se envía al laboratorio dentro del mismo tubo Shelby, convenientemente tapado y parafinado. En cambio para tomar muestras de Suelo Duro se toman muestras insertando un tubo toma muestras de pared gruesa en los cuales se extrae la muestras mediante percusión hasta cumplir un espesor de extracción reglamentado en el ASTM 1586

**5. De acuerdo con su experiencia profesional, ¿Cuáles son los permisos ambientales que se deben obtener para construir en áreas con suelos blandos y restricciones ambientales?**

Los permisos y restricciones ambientales requeridas se engloban propiamente en el acuerdo ministerial 140, ANEXO 2 del libro VI del texto unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente; este anexo hace énfasis específicamente en las NORMAS DE CALIDAD

AMBIENTAL DEL RECURSO SUELO Y CRITERIOS DE REMEDIACION PARA SUELOS  
CONTAMINADOS

No obstante, para iniciar un proyecto de construcción es necesario disponer de un certificado de uso del Suelo brindado por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transacción Ecológicas.

**GEOCON S.A.**  
FIRMA AUTORIZADA

---

**FIRMA**

## Anexo 2: Panel fotográfico



