

2020

## Construcción de la estructura placa pilote a escala 1:30 para un suelo limo arenoso ubicado en la sabana de Bogotá

Sergio Alejandro Gómez Sosa  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Angélica Yineth Romero Lizarazo  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil)



Part of the [Civil Engineering Commons](#), and the [Construction Engineering and Management Commons](#)

---

### Citación recomendada

Gómez Sosa, S. A., & Romero Lizarazo, A. Y. (2020). Construcción de la estructura placa pilote a escala 1:30 para un suelo limo arenoso ubicado en la sabana de Bogotá. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/559](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/559)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Civil by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

**CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA PLACA – PILOTE A ESCALA 1:30 PARA  
UN SUELO LIMO – ARENOSO UBICADO EN LA SABANA DE BOGOTÁ**

**SERGIO ALEJANDRO GÓMEZ SOSA**

**ANGÉLICA YINETH ROMERO LIZARAZO**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C**

**2020**

**Construcción de la estructura placa – pilote a escala 1:30 para un suelo limo – arenoso  
ubicado en la sabana de Bogotá**

**Sergio Alejandro Gómez sosa**

**Angélica Yineth Romero Lizarazo**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil**

**Director temático**

**Ing. Fernando Alberto Nieto Castañeda**

**Universidad de La Salle  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Civil  
Bogotá D.C**

**2020**

## **Agradecimientos**

Los autores expresan su agradecimiento

Al ingeniero Fernando Alberto Nieto Castañeda, docente de la Universidad de La Salle, por ser el gestor de este trabajo de grado, por su aporte, enseñanza y ayuda en la elaboración de esta investigación, por su paciencia, tiempo y excelente orientación, porque siempre creyó en esta idea.

Al ingeniero Edgar Alexander Padilla, docente de la Universidad de La Salle y a los demás docentes de la línea de estructuras, suelos y geotecnia que hicieron parte de nuestra carrera universitaria, los cuales inculcaron sus conocimientos aportando a nuestra formación profesional en la temática de esta investigación.

Marlene Cubillos Romero magister en Lingüística Hispánica por su asesoría en la organización metodológica del trabajo de investigación.

A nuestros padres por el apoyo incondicional, amor y confianza que depositaron en nosotros con el fin de impulsar este sueño. Con cariño, apoyo y motivación.

A los laboratoristas que intervinieron en este proyecto brindando el apoyo y el tiempo con el fin de obtener los resultados necesarios de esta investigación.

## Dedicatoria

*Este trabajo de grado está dedicado a mi familia especialmente a Ana, Martha, Ramon y Andrés, a mi mamá que sin ella no hubiera podido llegar a lograr esto, mi papá y a mis hermanos que siempre me apoyaron, aunque estuvieran lejos, a mis abuelos y mi tía que siempre estuvieron para cualquier cosa que necesitara.*

*A mis compañeros con los que compartí muchos momentos felices durante toda la universidad y siempre estuvieron dispuestos en ayudarme en cualquier momento.*

*Sergio Alejandro Gómez Sosa*

## **Dedicatoria**

*Este trabajo de grado está dedicado a Dios por ser ese ayudador, brindador de bendiciones que han permitido emprender con éxito la culminación de esta carrera y por ser mi guía en todos los aspectos de mi vida demostrando su amor en cada uno de ellos.*

*A mi familia por el apoyo incondicional. A mi padre Fredy Romero y mi madre Mónica Lizarazo por ser el motor de mi vida y por haber formado a una mujer con carácter, honesta, responsable, disciplinada y paciente, brindando apoyo, cariño, paciencia y comprensión. A mi hermana Natalia Romero por acompañarme en esta aventura, compartiendo momentos inolvidables en este proceso.*

*A los ingenieros de la Universidad de La Salle quienes me brindaron todos los conocimientos necesarios para ser una profesional con una amplia visión estratégica y una vocación de servicio.*

*A mis compañeros con los que compartí diversas vivencias en este proceso de formación.*

*Angélica Yineth Romero Lizarazo*

## Tabla de contenido

Capítulo 1. Introducción .....	9
Capítulo 2. Aspectos generales del proyecto .....	12
2.1 Descripción del problema.....	12
Capítulo 3. Objetivos .....	13
3.1 Objetivo general .....	13
3.2 Objetivos específicos.....	13
Capítulo 4. Marco referencial .....	14
4.1 Marco teórico .....	14
4.2 Marco conceptual .....	18
4.3 Marco Normativo .....	20
Capítulo 5. Antecedentes .....	21
Capítulo 6. Metodología .....	29
6.1 Armado de formaletas .....	30
6.1.1 Pilotes .....	30
6.1.2 Placa.....	31
6.2 Preparación de la mezcla del suelo .....	32
6.3 Mezcla de Yeso .....	34
6.4 Construcción de los elementos.....	35
6.5 Unión placa – pilote .....	42
6.6 Interacción entre el yeso y el suelo .....	43
Capítulo 7. Resultados .....	45
7.1 Ensayo de corte directo de la simulación de suelo limo – arenoso .....	45
7.2 Ensayo de corte directo entre la interacción del yeso con el suelo limo – arenoso .....	48
7.3 Comportamiento del modelo de la estructura placa – pilote en ensayo de compresión.....	51
Capítulo 8. Conclusiones .....	56
Capítulo 9. Recomendaciones.....	57
Referencias.....	58
Anexos .....	61

## Lista de tablas

Tabla 1. Marco legal utilizado en el proyecto.....	20
Tabla 2. Dimensionamiento del modelo de cimentación placa - pilote.....	29
Tabla 3. Esfuerzos máximos del corte directo suelo – suelo.....	46
Tabla 4. Valores típicos del ángulo de fricción para arenas y limos.....	48
Tabla 5. Esfuerzos máximos del corte directo suelo – yeso.....	49

## Lista de figuras

Figura 1. Sistema de cimentación Placa – Pilote.....	15
Figura 2. Clasificación de modelos y métodos.....	17
Figura 3. Construcción de las formaletas de los pilotes.....	30
Figura 4. Formaleta de los pilotes.....	31
Figura 5. Formaleta de la placa.....	32
Figura 6. Resultados de ensayo corte directo en la mezcla de suelo seleccionada.....	34
Figura 7. Mezcla de yeso para la construcción de la estructura.....	34
Figura 8. Construcción de los pilotes.....	35
Figura 9. Construcción de la placa.....	36
Figura 10. Construcción de la caja para la simulación del modelo.....	37
Figura 11. Mezcla del material para la simulación del suelo.....	38
Figura 12. Posición de los pilotes en la caja de simulación.....	40
Figura 13. Compactación del suelo con verticalidad de pilotes.....	41
Figura 14. Unión entre los pilotes y la placa.....	42
Figura 15. Interacción entre placa – pilotes en la caja de simulación.....	42
Figura 16. Resultados de ensayo corte directo. Interacción yeso – suelo.....	44
Figura 17. Curva esfuerzo normal vs deformación horizontal del suelo simulado.....	46
Figura 18. Esfuerzo vertical vs Resistencia al corte del suelo simulado.....	47
Figura 19. Curva esfuerzo normal vs deformación horizontal interacción suelo - yeso.....	49
Figura 20. Esfuerzo vertical vs Resistencia al corte interacción suelo – yeso.....	50
Figura 21. Ubicación del contenedor en la caja de simulación.....	52
Figura 22. Ubicación de la caja de simulación para el ensayo de compresión.....	52
Figura 23. Instrumento para la toma de datos de carga de falla.....	53
Figura 24. Falla del sistema placa – pilote.....	53
Figura 25. Evidencia de falla de la placa.....	54
Figura 26. Excavación del sistema de placa – pilote.....	54
Figura 27. Evidencia de falla de los pilotes.....	55
Figura 28. Dosificación de los materiales para suelo simulado.....	68
Figura 29. Mezcla de suelo simulado. Interacción suelo – suelo.....	68
Figura 30. Colocación del material en la caja circular de corte. Interacción suelo – suelo.....	69
Figura 31. Ubicación de la caja de corte en la máquina. Interacción suelo – suelo.....	69
Figura 32. Carga en el brazo de la máquina. Interacción suelo – suelo.....	70
Figura 33. Resultados por cada esfuerzo normal inicial. Interacción suelo – suelo.....	71
Figura 34. Preparación de la placa circular de yeso.....	77
Figura 35. Mezcla de suelo simulado. Interacción suelo – yeso.....	78
Figura 36. Colocación del material en la caja circular de corte. Interacción suelo – yeso.....	78
Figura 37. Ubicación de la caja de corte en la máquina. Interacción suelo – yeso.....	79
Figura 38. Carga en el brazo de la máquina. Interacción suelo – yeso.....	79
Figura 39. Resultados por cada esfuerzo normal inicial. Interacción suelo – yeso.....	80

## Capítulo 1. Introducción

Este proyecto tiene como finalidad la construcción de la parte estructural de un modelo físico de una cimentación placa – pilote en yeso a escala 1:30 para un suelo limo – arenoso. Teniendo en cuenta que este sistema de cimentación especial tiene escasa información teórica sobre su funcionamiento y su adecuada construcción hace que su realización sea de manera empírica, debido a esto su costo de diseño, construcción y seguimiento se elevan considerablemente. El objetivo del proyecto es determinar el proceso constructivo para el levantamiento físico del modelo a escala reducida 1:30 que cumpla con las leyes de equivalencia y realizar su adecuada construcción de la fundación especial placa – pilote con un suelo limo – arenoso, en donde se desea tener mas información acerca del tipo interacción entre el suelo y la cimentación placa – pilote ocasionando un impacto positivo en la distribución del peso de las estructuras en el suelo y ayudando a densificar mejor las ciudades.

Al momento de elaborar este modelo físico se recopiló información previa del proyecto general que se está realizando en la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, tal como la interacción existente entre la placa y el grupo de pilotes sometidos en un suelo limo – arenoso, verificar bajo que parámetros se desea simular el suelo limo – arenoso y las medidas calculadas a escala reducida de la placa y de cada uno de los pilotes con la respectiva cantidad de estos, con la finalidad de mostrar de manera física los indicadores ya mencionados.

En el presente trabajo de grado se realizó la construcción de un modelo físico por medio de la simulación a escala reducida con materiales equivalentes analizando de una manera eficiente el comportamiento del tipo de cimentación placa – pilote. Teniendo en cuenta que este proyecto hace parte de un proyecto de investigación que tienen como finalidad la construcción de un modelo

físico en la pared de prueba del modelo geotécnico en el laboratorio GeoLab de la Universidad de La Salle, con el propósito de conocer todos los parámetros necesarios para la adecuada construcción del modelo definitivo.

Este estudio de investigación aportará beneficios en las grandes construcciones, mediante el diseño de cimentaciones en suelos limo – arenosos como los que se encuentran en la ciudad de Bogotá D.C, teniendo en cuenta que en la actualidad Colombia posee una gran variedad de suelos como lo son limosos, arenosos y arcillosos con variación en las propiedades que tienen bajas características mecánicas para la elaboración de una cimentación superficial; por conveniencia, la realización de la investigación permitiría a los ingenieros una herramienta para la implementación de este tipo de cimentaciones de una manera adecuada y eficiente.

La cimentación en cualquier tipo de estructura de construcción es la parte más importante, debido a que transmite la carga de la estructura al suelo y en caso de los pilotes, transmite la carga a sub – estratos más resistentes mecánicamente. El sistema de cimentación placa – pilote es un ejemplo de una cimentación especial que mejora la transmisión de la carga de la estructura al subsuelo y reduce los asentamientos.

En la actualidad, aunque se sabe que el sistema de cimentación es beneficioso para la construcción, no se tienen establecidos conocimientos previos que introduzcan al ingeniero a realizar un diseño de cimentación con este sistema debido a su alto nivel de incertidumbre y a la complicación al realizar el diseño y por consecuencia su alto costo de elaboración. Por estos motivos es importante realizar investigaciones para reducir los factores mencionados.

Para lo cual se procederá a construir el modelo a escala reducida 1:30 en yeso, con la finalidad de realizar al modelo un ensayo de compresión, ensayos de corte directo al material

simulado y a la interacción entre yeso – suelo que permitirán conocer más a fondo el comportamiento mecánico de este tipo de estructuras y como este interactúa con un suelo limo – arenoso, para que esta investigación sirva de referencia para futuras investigaciones sobre el tema.

## Capítulo 2. Aspectos generales del proyecto

### 2.1 Descripción del problema

El tipo de cimentación placa – pilote es utilizado cuando los soportes de las estructuras son especiales, es decir cuando el sistema de cimentación como pilotes, zapatas, etc., no es capaz de resistir el diseño de la estructura, las condiciones del suelo no lo permiten o la realización de esta es demasiado costosa para el proyecto a desarrollar. Es importante determinar cómo actúa este modelo con el suelo simulado, el cual se acomoda a suelos blandos como los de la ciudad de Bogotá. Teniendo en cuenta que este sistema no tiene los estudios suficientes para guiarse de manera eficiente haciendo que esta se considere una estructura empírica, generando un elevado margen de incertidumbre y error ya que se unen dos tipos diferentes de cimentaciones.

Por tanto, mediante la construcción de la estructura de cimentación placa- pilote se desea mejorar la calidad de las cimentaciones profundizando en el conocimiento de este tipo de estructuras y generando un impacto positivo en la reducción de los asentamientos que se generan en el suelo por el peso de las diferentes edificaciones mediante la ejecución de cimentaciones eficientes.

Teniendo en cuenta que hay pocos modelos con un estudio profundo del comportamiento de la cimentación placa – pilote, dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Salle en el programa de Ingeniería Civil existe un gran proyecto de investigación que incluye varios aspectos del comportamiento de cimentación placa – pilote, dentro de los cuales está la modelación física, modelación matemática, entre otras. Una de las ramas de dicho proyecto de investigación es la modelación de la parte física de la estructura placa – pilote realizando un modelo a escala en materiales reducidos.

## Capítulo 3. Objetivos

### 3.1 Objetivo general

Construir la estructura de la placa y pilotes para un modelo físico de cimentación placa – pilote de manera que cumpla con las leyes de equivalencia para la escala 1:30.

### 3.2 Objetivos específicos

- Demostrar como interactúa el yeso con el suelo limo – arenoso mediante el ensayo de corte directo.
- Analizar el comportamiento del modelo de la estructura placa – pilote cuando esta es sometida al ensayo de compresión.
- Determinar el método más adecuado para colocar la estructura placa – pilote en un suelo limo – arenoso con el fin de garantizar el mayor contacto entre suelo – estructura.

## Capítulo 4. Marco referencial

### 4.1 Marco teórico

Para el desarrollo de este trabajo de grado fue indispensable tener en cuenta los conceptos básicos de modelación física a escala reducida, los cuales son necesarios para la adecuada construcción del modelo a escala 1:30, teniendo en cuenta el tipo de suelo y el material de la estructura.

“Toda edificación debe soportarse sobre el terreno en forma adecuada para sus fines de diseño, construcción y funcionamiento. La cimentación se debe colocar sobre los materiales que presenten propiedades mecánicas adecuadas en términos de resistencia y rigidez, o sobre rellenos artificiales, que no incluyan materiales degradables, debidamente compactados.” (NSR – 10, p. H-13).

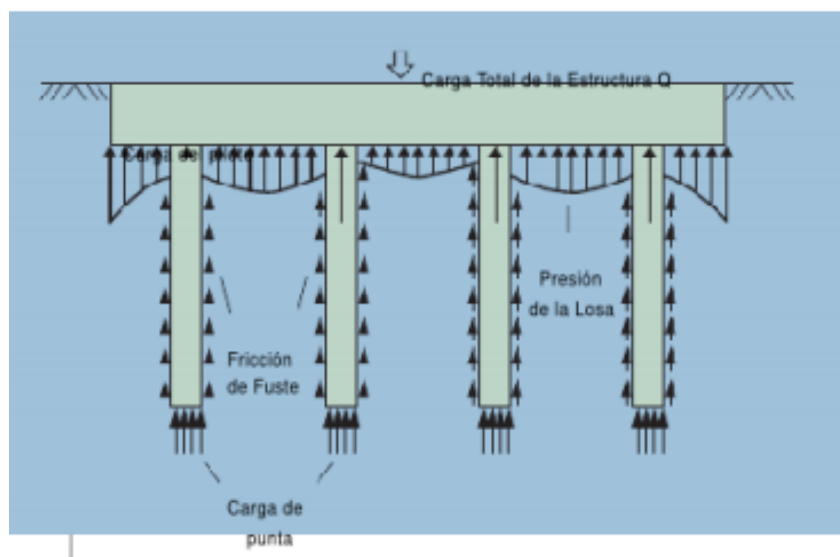
“La principal función de una cimentación es transmitir la acción de las cargas, concentradas o repartidas, sobre el suelo o roca de soporte en condiciones de seguridad y asentamientos tolerables. En el contacto del suelo y la base del elemento estructural de fundación se movilizan presiones que constituyen la reacción del suelo a las cargas transmitidas. Esta presión de reacción del suelo genera asentamientos al mismo, generando acciones internas como momentos flectores, cortantes y deflexiones; variables en el tiempo debido a la compresibilidad del suelo.” (Moreno Silva, 2014).

“La finalidad de los sistemas de cimentación es la de transmitir de manera uniforme, las cargas propias de la edificación o superestructuras sin llegar a superar el esfuerzo admisible del terreno y asentamientos admisibles. De igual manera, las cimentaciones también se encargan de garantizar la estabilidad y equilibrio de cada una de las piezas que conforman la globalidad de la

estructura, con lo que se evitan daños indeseados a la misma ocasionados por la deformación del suelo.” (Crespo, 2004).

“Bogotá es una ciudad que en su mayoría se aprecian suelos de baja capacidad portante conformados principalmente por arcillas, limos y remanentes de arenas y areniscas, suelos para los cuales son necesarios sistemas de cimentaciones que además de cumplir eficientemente la función de transmisión de cargas, proporcionen una mayor estabilidad a las superestructuras y sean económicamente viables. Los sistemas de placa – pilote son un tipo de cimentación alternativo a los tradicionales, transmiten de una manera semejante las cargas de la estructura al suelo mediante el contacto placa – suelo, rozamiento entre pilote – suelo y la resistencia por punta del pilote. Al ser una estructura compuesta, poseen un mejor comportamiento mecánico, mejorando la interacción de las estructuras que se sustenten sobre ellos, lo que disminuye la posibilidad de asentamientos indeseados que puedan afectar la conformación de toda estructura.” (Alfonso & Murcia, 2016).

“El sistema de cimentación placa – pilote es un sistema combinado de cimentación en el cual las cargas se transmiten de la estructura al subsuelo por medio del conjunto placa – pilote. La placa o losa de cimentación, transfiere las cargas al suelo subyacente por la presión generada en el contacto del suelo con la estructura y los pilotes mediante la resistencia que genera el fuste y la punta con el suelo. Este tipo de cimentación se utiliza como una alternativa de fundación cuando la estructura en obra presenta grandes solicitaciones y el suelo de cimentación tiene baja capacidad portante; además, ofrece una ventaja económica en comparación con una fundación única de pilotes, ya que esta no tiene que perforar la totalidad del estrato y presenta menores asentamientos en comparación de las producidas por una losa de cimentación.” (Bustos & Gómez, 2018). En la figura 1, se evidencia una representación gráfica de un sistema de cimentación placa – pilote.



*Figura 1.* Sistema de cimentación Placa – Pilote.

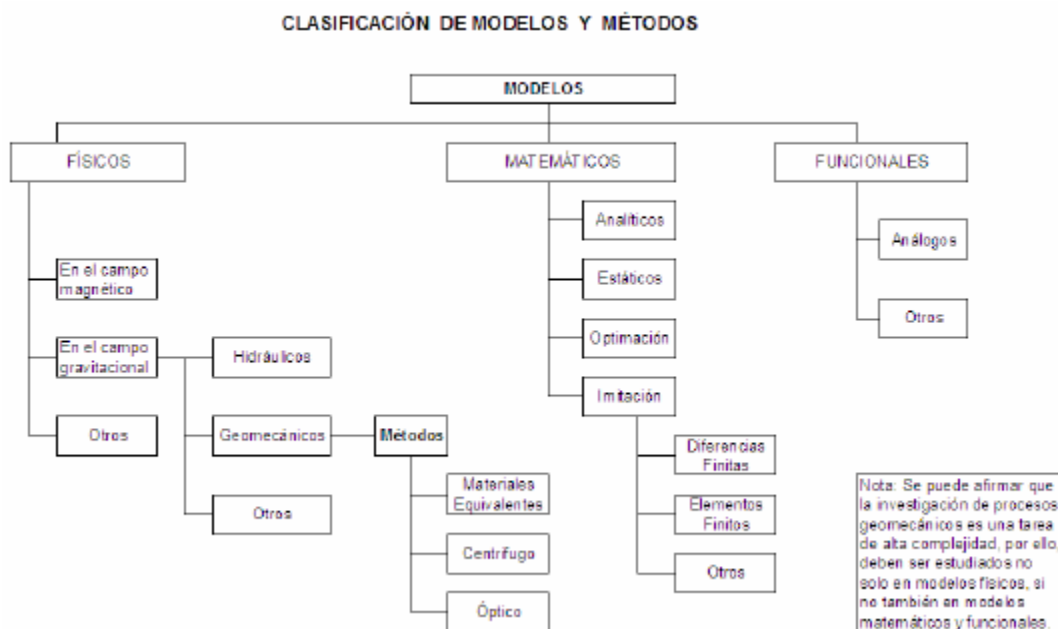
Fuente: Alfonso, D., & Murcia, M. (2016). Interacción suelo pilote en cimentaciones placa – pilote en la ciudad de Bogotá. Universidad Piloto de Colombia.

“El aspecto principal de una cimentación placa – pilote, es la interacción que existe entre la placa de cimentación y el grupo de pilotes que se alojan directamente debajo de ella.” (Alfonso & Murcia, 2016).

La modelación física en el campo de la Ingeniería Civil ha permitido la determinación de diferentes características, tanto físicas como mecánicas de un elemento estructural, el comportamiento del modelo a escala reducida hace referencia al prototipo real, por lo tanto se debe tener en cuenta que la modelación física adquiere ventajas enfatizándose en los datos, ya que permite simular ciertas condiciones que en la realidad podrían generar altos costos o que debido a su dificultad no se habrían podido estudiar. Otra ventaja de mayor influencia es que las variables a modelar pueden ser modificadas según los estudios que se requieran en la investigación. Estos datos ayudan en la comprensión y la capacidad que tiene el comportamiento a escala real del modelo, siendo este un gran aporte para la mitigación de riesgos o impactos en la construcción de obras civiles. “El empleo de un modelo físico hace necesario tener en cuenta las variables

seleccionadas que intervienen en el fenómeno, estos aspectos son necesarios para establecer las relaciones entre las soluciones analíticas de un problema dado o determinar las leyes que relacionan las variables que extrapoladas al modelo permitan optimizar la eficiencia de cada elemento del sistema modelo – prototipo.” (González & Lombana, 2009). Los modelos físicos en la actualidad se han convertido en parte fundamental del diseño de estructuras y análisis en el comportamiento del suelo. Por tal motivo se requiere entender los procesos de modelación y aplicarlos de manera eficiente en el país.

La técnica de materiales equivalentes consiste en utilizar materiales artificiales que en escala reducida tengan un comportamiento mecánico similar al del suelo en escala real, para poder analizar su comportamiento. En la figura 2 se presenta el cuadro con la clasificación de los modelos con los respectivos métodos a utilizar en cada uno de ellos.



*Figura 2.* Clasificación de modelos y métodos.

Fuente: Sarmiento, C., & Vidal, H. (2007). Caracterización geomecánica de mezclas de suelos para modelos físicos por el método de materiales equivalentes. Universidad de La Salle.

## 4.2 Marco conceptual

**Ángulo de fricción:** “El ángulo de fricción es uno de los parámetros más comunes en la mecánica de suelos y es utilizado para numerosos procedimientos de diseño de fundaciones y otras estructuras geotécnicas. Hace referencia a la medida de la resistencia cortante debida a la fricción mecánica entre las partículas del suelo.” (Nieto, Camacho, & Blanco, p. 82)

**Cimentación:** “Parte de la estructura que transmite las cargas al suelo. Cada edificación demanda la necesidad de resolver un problema de cimentación.” (Vásquez, p.12). “Dado que la resistencia y rigidez del terreno son, salvo raros casos, muy inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de las áreas de todos los soportes y muros de carga.” (Calavera, 1991, p.7)

**Cimentaciones profundas:** “Es un tipo de cimentación que trasmite los esfuerzos y cargas principalmente verticales de las edificaciones a un suelo o estrato de sustentación a profundidades comprendidas comúnmente entre los 4 y 40 metros, comúnmente pilotes.” (Alfonso & Murcia, 2016). “La cimentación profunda puede estar sometida a momentos y fuerzas horizontales, en cuyo caso, no solo se desarrollará una distribución de esfuerzos en el extremo inferior del elemento, sino también lateralmente, de modo que se equilibren las fuerzas aplicadas. En consecuencia, el comportamiento estructural de una cimentación profunda se asimila al de una columna.” (Vásquez, p. 12)

**Cimentaciones superficiales:** “Son un tipo de estructura que por lo general posee una sección transversal de dimensiones mucho mayores con respecto a su sección longitudinal o altura. Se caracterizan por tener profundidades entre 0.5 m y 4.0 m aproximadamente. Abarcan los diferentes tipos de zapatas y placas de cimentación.” (Jiménez & Mercado, 2010, p. 19). “Los parámetros que se deben tener en cuenta para el adecuado trabajo de una cimentación superficial

son: Brindar seguridad frente a una falla por corte general del suelo portante; El suelo y la cimentación no deberán experimentar asentamientos o desplazamientos excesivos.” (Braja, 2001, p. 152)

**Cohesión:** “La resistencia por cohesión es definida como la medida de las fuerzas que cementan las partículas del suelo.” (Nieto, Camacho, & Blanco, p. 83)

**Ensayo de corte directo:** “Ensayo utilizado para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada.” (Nieto, Camacho, & Blanco, p. 84)

**Modelo físico:** “Es una representación material de un objeto o un proceso para entender mejor su origen, formación o funcionamiento.” (Pérez & Briceño, 2013, p. 17). “Un modelo físico es una herramienta básica para comprender los procesos geotécnicos de un suelo. Además, son utilizados para validar teórica y empíricamente una hipótesis, teniendo como objetivo central, el recrear un ambiente real observando las posibles falencias y desventajas con respecto al modelo en escala real.” (González & Lombana, 2009, p. 23)

**Pilotes:** “La función de los pilotes es de reducir la magnitud de los asentamientos, su capacidad resistente es caracterizada por la interacción suelo – estructura y consta de varios factores que influyen en ella, como espesor de la placa, diámetro del pilote, longitud de pilote.” (Bustos & Gómez, 2018)

**Zapatas:** “Son elementos estructurales, por lo general de forma cuadrada o rectangular, a veces circular, que se construyen para poder transmitir la carga de las columnas hacia el suelo por medio de una mayor área para disminuir la presión.” (Nij Patzán, J. 2009)

### 4.3 Marco Normativo

Las exigencias y procedimientos que debe cumplir la estructura a estudiar se encuentran en la tabla 1 donde se evidencia la normatividad aplicada.

Tabla 1.  
*Marco legal utilizado en el proyecto.*

Normativa	Título	Uso en el proyecto
NSR - 10 Título C	Reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR 10 – Concreto estructural.	Examinar la normativa,
NSR – 10 Título H	Reglamento colombiano de construcción sismorresistente NSR 10 – Estudios geotécnicos.	parámetros y requisitos para la construcción de la estructura.
I.N.V.E – 415 - 13	Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en el punto central.	
I.N.V.E – 410 - 13	Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.	Examinar la normativa, parámetros y requisitos para la construcción de la estructura.
I.N.V.E – 154 - 13	Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (Consolidado drenado)	

Nota: No se encontraron normas existentes para el yeso, por consiguiente, se aplicarán los ensayos para concreto.

Fuente: Autores.

## Capítulo 5. Antecedentes

Mediante la adecuada revisión bibliográfica se encontraron los siguientes estudios, artículos y trabajos de grado de modelación física, modelación analítica, caracterización del suelo y la interacción entre el suelo – estructura.

### **Estado del arte de la modelación física en ingeniería civil (Pérez, J & Briceño, B., 2013)**

“El desarrollo de un país depende de forma esencial de la evolución en su infraestructura, razón por la cual la Ingeniería Civil durante el paso de los años ha desempeñado un papel fundamental para mejorar la calidad de vida de las personas. Así mismo, ha cambiado la forma y la metodología para la solución de diferentes problemas, bien sea que se deban por fenómenos naturales o por otros incidentes, permitiendo así generar más beneficios económicos y constructivos, una de estas técnicas es la Modelación Física, la cual permite tener la posibilidad de establecer la incidencia del objeto a construir en el lugar en el cual será construido, o determinar cuáles fueron los factores que obligaron a la infraestructura a responder de la manera que lo hizo, así se ha llegado a resolver problemas en Ingeniería Civil mediante la Modelación Física pero el conocimiento está basado en la práctica, es decir proviene de origen empírico.” (Pérez & Briceño, 2013, p. 10). En la búsqueda de modelos físicos que ayuden a la ingeniería civil se destacan en 3 áreas las cuales son estructuras, hidráulica y geotecnia en estas se han hecho modelos físicos para saber más sobre el comportamiento de las diferentes obras civiles, encontrado unos modelos de cimentaciones los cuales se encuentran entre el área de estructuras y geotecnia.

El primero se realizó para determinar el comportamiento de una serie de pilotes en suelos blandos, las pruebas de capacidad de momento sobre pilotes cortos se realizaron en la centrifuga

geotécnica de la Universidad de Liverpool. Una arena fina y seca con un coeficiente de uniformidad de 1.5 y con tamaños de grano que van desde 0.125 hasta 0.25 mm fueron utilizados en todo el programa de pruebas. Algunos modelos fueron incorporados en envases con arena densa y suelta con pesos unitarios 40 efectivos  $g = 16.4 \text{ kN/m}^3$  (Id índice de densidad = 85%) y  $g = 14.4 \text{ kN/m}^3$  (Id = 37%), respectivamente. Cinco modelos con diámetros de 20, 25, 30, 40 y 50 mm fueron probados en las aceleraciones apropiadas de 50, 40, 33.3, 25 y 20 g, respectivamente. La relación entre la circunferencia de la pila y el tamaño medio de grano varió de aproximadamente 300 a 600. (Edward A. Dickens - Rali Bien Nazi. (1999). Moment- Carrying capacity of short pile foundations in cohesionless soil.)

Modelación Física para la investigación del comportamiento de la interacción suelo estructura mediante un modelo físico (Zapatas Aisladas): Este estudio realiza la comparación de las deformaciones sufridas por un modelo físico de micro concreto de una cimentación superficial, conformada por 4 zapatas aisladas unidas mediante una viga de amarre orientada sobre un suelo de relleno, con los resultados obtenidos al analizar dicha estructura con el programa SAP 2000, considerando la interacción suelo – estructura, se construyó un modelo a escala de un pórtico plano de 1.20m de largo distribuidos en 3 pisos de 0.30m de altura, este modelo consistía únicamente en la cimentación con sus respectivos pedestales amarrados con una viga de enlace, las cuales recibirían la carga. Se escaló la cimentación de un edificio de 5 pisos con un sistema estructural de pórticos de concreto, cuatro zapatas aisladas de concreto de 0.30 x 0.30m unidas entre sí por una viga de amarre de 0.10 x 0.10m cada zapata tiene un pedestal de concreto de sección 0.10 x 0.10m y una  $h=0.20\text{m}$  separación entre pedestales 1m en un suelo de fundación de recebo común. (Arteaga C. (2008). Evaluación interacción suelo estructura mediante un modelo físico (Zapatas Aisladas))

### **Modelación física en centrífuga (Caicedo, B., 2003)**

En este proyecto se quería demostrar la importancia de la modelación física centrífuga geotécnica a través de los modelos físicos de una cimentación de placa y otra cimentación de tres pilotes para observar cómo estas se relacionaban con el suelo, comparando los valores de esta con una modelación matemática. El suelo escogido para el proyecto fue caolinita pasa tamiz #400 y una pequeña capa de arcilla blanda plástica, la dimensión de la placa para el modelo fue de 20 x 16 x 2 centímetros, se colocaron unos medidores de desplazamiento en tres de las esquinas de la placa y otra en el centro de la estructura ya montado el modelo físico se llevó a vuelo en la centrífuga a 50 gravedades durante un periodo de 10 minutos; para la estructura de pilotes se utilizaron de una longitud de 35 centímetros y un radio externo de 1.895 centímetros y se colocaron medidores de desplazamiento en cada uno de los tres pilotes y se llevó al vuelo en la centrífuga con las mismas condiciones de la placa.

Como resultados se obtuvieron que alrededor de la placa se encontraron grietas y un desplazamiento del suelo debajo del modelo de 2.14 centímetros que en la escala 1:1 sería de 1.07 metros, en los pilotes se vio que el desplazamiento de estos fue alrededor del pilote que se le ejerció la carga y los otros dos sus movimientos fueron mínimos. De la misma manera que las otras metodologías de simulación utilizadas en otras disciplinas, la modelación en centrífuga no es una técnica de simulación perfecta.

### **Interacción Suelo Pilote En Cimentaciones Placa – Pilote En La Ciudad de Bogotá (Alfonso, D & Murcia, M., 2016)**

En este trabajo se presenta el sistema de placa-pilote para el suelo que se encuentra en la ciudad de Bogotá y comparar este con otros sistemas de cimentación más comunes como lo son

los pilotes y la placa de cimentación, se proponen cinco modelos de cimentación que son una placa en concreto, pilotes en concreto y madera, una placa pilote en concreto y una placa de concreto con pilotes de madera; a los cuales se calcularon en el programa PLAXIS sus resistencias máximas que cada cimentación puede resistir sin tener mayores problemas, aplicándoles diferentes tipos de cargas y como estas se deforman. Se propusieron 3 tipos diferentes de condiciones de suelo arenas o gravas arenosas rígidas superpuestas a suelos cohesivos, arcillas suaves o limos rígidos superpuestos a suelos cohesivos y suelos cohesivos rígidos a cohesivos muy rígidos sin estratos superpuestos ya con estos datos se calcularon las cargas últimas de los 5 tipos de cimentación siendo las de tipo placa-pilote ya que estas al tener más contacto con el suelo y su transferencia de cargas hacia el suelo es mayor.

#### **Caracterización Geomecánica de mezclas de suelos para modelos físicos por el método de materiales equivalentes (Sarmiento C, Vidal H, 2007)**

El proyecto tuvo como objetivo determinar los cambios en las propiedades físico-mecánicas de mezclas de suelos artificiales en dependencia con la proporción de los materiales que las constituyen para anteceder la investigación del grupo CIROC en modelos físicos de procesos geotécnicos en donde los suelos artificiales se asemejen a las características mecánicas de un suelo real para su modelación física. Respetando las leyes de semejanza en el campo gravitacional de 1g (una gravedad). Los materiales usados fueron Arena Sikadur 506, Aceite Shell Omala 220, Ripio de llanta.

Se realizaron los ensayos de peso específico, densidades, granulometría, compactación, corte directo y triaxial, donde se obtuvieron los siguientes datos la densidad de la arena de 1.53 gr/cm<sup>3</sup>; densidad del aceite de 0.89 gr/cm<sup>3</sup> y densidad del ripio de llanta de 1.045 gr/cm<sup>3</sup>, un

ángulo de fricción interna entre  $15^\circ$  a  $45^\circ$ , cohesión de 0kPa a 3kPa. Se realizó un análisis óptico donde la arena Sikadur 506 fue clasificada como arena cuarzosa.

**Caracterización físico – mecánica de mezclas artificiales para modelación geofísica de un suelo areno limoso (sm). (Ramírez W, Preciado L, 2017)**

En el proyecto de investigación se determina mediante ensayos de laboratorio las propiedades físico-mecánicas de ocho mezclas artificiales compuestas por materiales equivalentes, cada una de ellas con diferentes porcentajes de material constituyente, éstos son; bentonita (sódica), aceite Meropa 220 y arena Sikadur 506; buscando con ello simular un suelo de comportamiento areno limoso. Como resultados cuatro de las ocho mezclas diferentes cumplieron con los parámetros físico-mecánicos del ángulo de fricción y cohesión que se encontraban en un rango de  $31^\circ$  a  $35^\circ$  y 0 a 5 Kpa respectivamente, de estos solo dos cumplieron los parámetros de elasticidad esperados, para que estos cumplieran con las características de un suelo areno limoso (sm).

**Modelación analítica y numérica de un sistema de cimentación placa – pilote en suelo limo – arenoso ubicado en la sabana de Bogotá. (Bustos D, Gómez J, 2018)**

En este trabajo de investigación su objetivo principal fue el análisis de la interacción de la cimentación placa-pilote con el suelo, para ello se emplea modelación numérica y analítica; para la modelación numérica en 3D se utilizó la metodología del método de elementos finitos, Mohr - Coulomb (modelos que trabaja el Software Plaxis 3D Foundation ®). Se realizaron dos modelos con la misma área de placa de cimentación, pero variando la forma de la placa en una rectangular (23 m x 10 m) y la otra cuadrada (16 m x 16 m). Para cada área realizada se modificó la profundidad de los pilotes (15, 20 y 25 metros) y para cada profundidad se cambiará el porcentaje de carga

(30%,50% y 70 %) que reciben los pilotes. Por medio de la modelación del método de elementos finitos del sistema de cimentación placa – pilote, en donde se obtuvieron como resultados esfuerzos y deformaciones. Después se realizó un análisis de la modelación analítica, para finalizar con la comparación entre el modelo analítico y la modelación numérica.

El proyecto determinó que la forma de la placa (cuadrada o rectangular) incide de manera significativa en los asentamientos, con una diferencia en promedio de los valores de asentamientos de aproximadamente 22%, de los cuales la placa cuadrada presenta menores asentamientos que la placa rectangular, siendo la diferencia de promedio de 0.035 m cuando los pilotes trabajan al 70% de la carga, de 0.028 m cuando los pilotes trabajan al 50% de la carga y de 0.031 m cuando los pilotes trabajan a 30% de la carga. La variación de longitud en los pilotes afecta directamente a los asentamientos generados por el sistema de cimentación placa- pilotes, ya que a mayor longitud de pilote menores son las deformaciones máximas que se generan en la estructura del suelo con unas diferencias entre 0.017 m a 0.043 m, lo que representa 3.5% y el 20% de disminución entre longitudes. La utilización de un sistema placa – pilote puede reducir los asentamientos desde 33% hasta más del 59% del asentamiento generado en su totalidad por la placa, lo que genera que sea un sistema alternativo confiable para la reducción de asentamientos del suelo.

### **Caracterización mecánica del yeso como material de simulación experimental del concreto para ser empleado en un sistema placa – pilote. (Cortes, A., Moreno, O., 2017)**

En la investigación se realizó la caracterización mecánica del yeso como material de simulación experimental del concreto para ser empleado en un sistema placa-pilote, los elementos estructurales de esta cimentación fueron construidos a escala (1:30) para ser fallados a compresión los pilotes y el sistema placa-pilote; para obtener los parámetros necesarios para introducir en el modelamiento del pilote sobre suelo en SAP 2000, observando en el programa si las deformaciones

son parecidas a las obtenidas con los strain gages. El proyecto empezó con la caracterización del yeso para ver su comportamiento ante cargas variando la cantidad de agua e incluyendo arena y sin incluirla. A partir de estos resultados se escogió la mejor mezcla y la cantidad de agua adecuada para los modelos se estudiaron dos mezclas: con fibras de acero Dramix Malla en bolsa y sin 23 fibras. Para cada mezcla se realizaron tres pilotes por cada longitud manteniendo el mismo diámetro, también se realizaron dos sistemas de unión placa-pilote que fueron con fundido monolítico y el otro pegado con epóxido.

Esto dio como recomendaciones que es mejor hacer los elementos por separado y unirlos con el epóxico, el uso de las fibras dentro de los elementos ayuda a aumentar la resistencia del modelo, pero este al ser fabricado con yeso no requiere del mismo tratamiento de curado que el cemento ya que este para adquirir su resistencia final necesita estar al aire libre.

**Determinación de las propiedades mecánicas de mezclas de un suelo para su aplicación en modelos físicos a escala reducida. (Guevara, L & Velandia, Y., 2017)**

La finalidad de este proyecto fue la elaboración de diferentes mezclas de suelo artificial simulando un suelo específico y realizar pruebas de caracterización físico – mecánica para obtener los parámetros de resistencia y elasticidad. Para el desarrollo de la investigación se procedió con la selección y caracterización de materiales los cuales fueron arena de rio Guamo, bentonita sódica y aceite Shell Omala 220. Se caracterizó la arena mediante el ensayo de granulometría, gravedad específica, masas unitarias y análisis mineralógico; la caracterización de la bentonita se realizó por medio de ensayos de límites, gravedad específica e hidrometría, como también se tuvo en cuenta las especificaciones de su ficha técnica; para el aceite no realizaron ensayos de caracterización puesto que tomaron las propiedades descritas en su ficha técnica. Se continuó con la selección de

mezclas con variación de porcentajes en los materiales que las conformaban, teniendo en cuenta el método heurístico, ensayo y error, hasta obtener los valores que cumplan con el rango deseado.

Finalmente se concluye que mezclando arena del río Guamo y bentonita sódica con aceite Shell Omala 220, se puede llegar a modelar un suelo artificial que logre representar un suelo natural areno limoso con porcentajes entre 5% al 50% de bentonita, 65% al 95% de arena y 5% a 35% de aceite; además la cantidad de bentonita para las mezclas debe ser aproximadamente el doble de la cantidad del aceite. Como recomendación, se enfatiza que para la obtención de valores más acertados en el ángulo de fricción se plantea trabajar con un rango de bentonita entre el 10% a 50%, ya que este fue el que presentó mejor comportamiento para el suelo de esta investigación.

**Parámetros de resistencia al corte para interfases de arena – concreto: Propuesta de investigación. (Pineda, J., Adames, C. & Rodriguez, C., 2014)**

Para la ingeniería civil es de gran importancia comprender la naturaleza de la resistencia al corte en suelos y entre estos materiales y el concreto, especialmente para aplicaciones prácticas. Por tal motivo, el propósito de esta investigación es presentar una propuesta acerca de la determinación de parámetros de resistencia al corte en interfases concreto – arena, las cuales son comunes en obras geotécnicas. El estudio consiste en obtener los parámetros de resistencia al corte máximo en la interacción de interfaces concreto – arena. En primera medida se realizó la selección de materiales, en donde el material utilizado fue arena de densidad uniforme cuyas partículas pasen el tamiz No. 10. Una vez caracterizado el material se procede a realizar los ensayos de corte directo con la finalidad de la determinación de los parámetros de cortante para la interacción de las interfaces y compararlas con la teoría existente cuyo ángulo de fricción se estima como  $1/2$  o  $2/3$  del ángulo de fricción de falla de la arena.

## Capítulo 6. Metodología

Inicialmente se procedió con la formulación del problema en donde se recopiló información y se analizó todos los antecedentes del sistema placa – pilote y el suelo, teniendo en cuenta la interacción entre estas y finalmente determinar la mejor opción para el proceso constructivo del modelo. Posteriormente se llevó a cabo una consulta de la normatividad vigente para la realización de los ensayos. Esta investigación se realizó en una serie de pasos para el adecuado desarrollo de este trabajo teniendo en cuenta que para la construcción del modelo a escala 1:30, a este se le reducirán las medidas del sistema placa – pilote a la mitad ya que al ser una estructura simétrica esta presentara el mismo comportamiento en sus dos mitades.

Para empezar con la construcción del modelo se inició estableciendo las medidas de este, tomando como referencia los datos obtenidos a escala real del trabajo de grado (Bustos D., & Gómez J., 2018), posteriormente se aproximaron las medidas del modelo original para que estas puedan ser construibles en un modelo a escala 1:30, siendo esta escala la más apropiada para el cumplimiento de los requisitos de modelación de elementos estructurales. En la tabla 2, se evidencia en detalle el dimensionamiento de la placa rígida y los pilotes a escala real y el dimensionamiento del modelo a construir a escala reducida.

Tabla 2.  
*Dimensionamiento del modelo de cimentación placa - pilote.*

Parámetros	Longitud real (m)	Modelo (cm)
B	16	53
L	16	53
P <sub>longitud</sub>	15	50
D <sub>pilote</sub>	0.6	2.0
e <sub>placa</sub>	0.25	5.1

Fuente: Autores.

## 6.1 Armado de formaletas

### 6.1.1 Pilotes

Para el armado de las formaletas de los pilotes se siguió el siguiente procedimiento:

- a. Se utilizó tubería PVC de 1", el cual proporciona un diámetro interno de 2.54 cm.
- b. Los tubos fueron cortados a la mitad con un espesor de aproximadamente 1.0 mm, con el propósito de cumplir con las medidas del prototipo correspondiente a la relación que se encontró entre el modelo original y la simulación a escala 1:30.
- c. Realizado el corte se le aplicó una capa de aceite Shell Omala 220 para facilitar el desencofrado de cada pilote como se evidencia en la figura 3.



*Figura 3.* Construcción de las formaletas de los pilotes.

Fuente: Autores.

- d. Para unir las dos piezas del tubo de PVC se utilizó cinta aislante, para garantizar que no existiera ningún tipo de escape de la mezcla de yeso en las uniones.
- e. Se verificó, con un calibrador, que se cumpliera con el diámetro de los pilotes de 2.0 cm a escala 1:30.
- f. Para la parte inferior del tubo se utilizaron tapones de tubería PVC sin rosca al cual también se le aplicó una capa de aceite Shell Omala 220 para evitar desperdicios de la mezcla y facilitar

el adecuado desencofrado de los elementos como se muestra en la figura 4, siendo 15 pilotes los de se deben fundir para la construcción del modelo.



*Figura 4.* Formaleta de los pilotes.

Fuente: Autores.

### 6.1.2 Placa

Para la construcción de la placa se optó por utilizar las medidas de media placa puesto que el diseño original será de manera simétrica y por consiguiente se va a comportar de la misma forma en sus dos divisiones exactas. En la figura 5 se muestra la construcción de la formaleta la cual se fabricó de la siguiente manera:

- a. Mediante el uso de madera MDF y tornillos autoenroscables, la madera fue cortada y armada de tal forma que se cumpliera con las medidas correspondiente a la relación que se encontró entre el modelo original y el modelo simulado.
- b. Se procede a la aplicación de una capa de aceite Shell Omala 220 en cada una de las partes internas con el propósito de facilitar el desencofrado de la placa.



*Figura 5.* Formaleta de la placa.

Fuente: Autores.

## 6.2 Preparación de la mezcla del suelo

Para la descripción de los parámetros del suelo, se debe enfatizar que el suelo en el cual se realiza el modelo es un suelo limo – arenoso. Para la adecuada simulación de este tipo de suelo se tuvo como referencia los parámetros que se establecieron del trabajo de grado “Determinación de las propiedades mecánicas de mezclas de un suelo para su aplicación en modelos físicos a escala reducida de (Guevara & Velandia, 2017)”, en el cual para la creación de esta simulación se utilizaron los siguientes materiales:

- a. Arena del río Guamo, en el caso de la preparación de la mezcla en la presente investigación, se modificó la arena del río Guamo por arena de río normalizada, motivo por el cual se puede ver una pequeña variación entre los resultados del ángulo de fricción de la mezcla trabajada.
- b. Bentonita sódica.
- c. Aceite Shell Omala 220.

A continuación, se describe el procedimiento para la preparación del suelo:

1. Para establecer el porcentaje de participación de cada material, se tomó como base los resultados de dicho trabajo de grado, con la finalidad de elegir la mejor opción.

2. Los porcentajes elegidos de los materiales para la simulación del suelo fue los proporcionados por la mezcla 24 del trabajo de grado “Determinación de las propiedades mecánicas de mezclas de un suelo para su aplicación en modelos físicos a escala reducida de (Guevara & Velandia, 2017)”, los cuales aportan un 35% de bentonita, 45.5% de arena y 19.5% de aceite.
3. Con esta selección se procedió a realizar el ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD) con una velocidad lenta para evitar posibles presiones de poros que pueden ser generadas por la presencia de aceite, teniendo en cuenta que esta será la condición real del material y que se va a comportar de la misma manera en el terreno del modelo.
4. Un aspecto importante es la determinación de la densidad de la mezcla, puesto que tanto en la muestra de los ensayos como en la preparación del terreno simulado para la construcción del modelo en la caja se debe obtener una densidad similar.
5. El dato de la densidad del suelo se obtuvo mediante el método convencional, con el volumen conocido de la caja de corte circular de  $42.22 \text{ cm}^3$  y el peso de una muestra del suelo simulado, se determinó que la densidad de la mezcla de suelo es de  $1.74 \text{ g/cm}^3$ . Juárez (1978), citado por Guevara & Velandia (2017, p. 46), escribió que en el ensayo CD el corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo el esfuerzo normal (vertical), donde las cargas que producen la falla se aplican sobre la muestra de suelo a una velocidad superior a la del drenaje del suelo. Teniendo en cuenta que los factores fundamentales de este tipo de ensayo es el ángulo de fricción, cohesión, resistencia estructural y velocidad de corte.
6. Para la comprobación de los porcentajes de cada material en la máquina del ensayo se trabajó con una velocidad de corte de  $0,1 \text{ mm/min}$  con la caja de corte circular y con celdas de carga, se debe tener en cuenta que esta máquina arroja los resultados de desplazamiento horizontal y vertical de manera directa sin la necesidad de hacer corrección por carga.

7. Después de la elección de los porcentajes de la participación de los materiales, se realiza el ensayo según la norma INV E 154 – 13 para la verificación de que la mezcla seleccionada se acerque a la simulación de un suelo limo – arenoso mediante el ángulo de fricción. El procedimiento que se llevó a cabo en el laboratorio se muestra en el anexo B.
8. Terminado el ensayo, se desmontó la muestra mediante la separación de la caja de corte con la maquina y soltando los tornillos de ajuste para retirar el resultado de la muestra puesto que dichos tornillos controlan el espaciamiento entre el marco superior y el inferior. Posteriormente se procede a dejar registro fotográfico.



*Figura 6.* Resultados de ensayo corte directo en la mezcla de suelo seleccionada.

Fuente: Autores.

### 6.3 Mezcla de Yeso

Para la mezcla de yeso se tomó como referencia el estudio de la investigación de trabajo de grado (Cortés & Moreno, 2017), en donde ellos especifican que entre menor sea la cantidad de agua mayor será la resistencia del material, motivo por el cual la relación de agua/yeso que se eligió para la fabricación de los elementos es de 1:4, sin tener en cuenta el uso de arena puesto que no favorece a la resistencia de los elementos y el uso de fibras en la construcción de los elementos puesto que los resultados de resistencia son similares al compararlos con el material sin fibras.



*Figura 7.* Mezcla de yeso para la construcción de la estructura.

Fuente: Autores.

#### **6.4 Construcción de los elementos**

Una vez realizados los estudios mecánicos del suelo, verificar las medidas de las formaletas y definir la mezcla de yeso, se procede a realizar la mejor alternativa para la construcción de los elementos que componen el sistema placa – pilote, mediante el siguiente procedimiento:

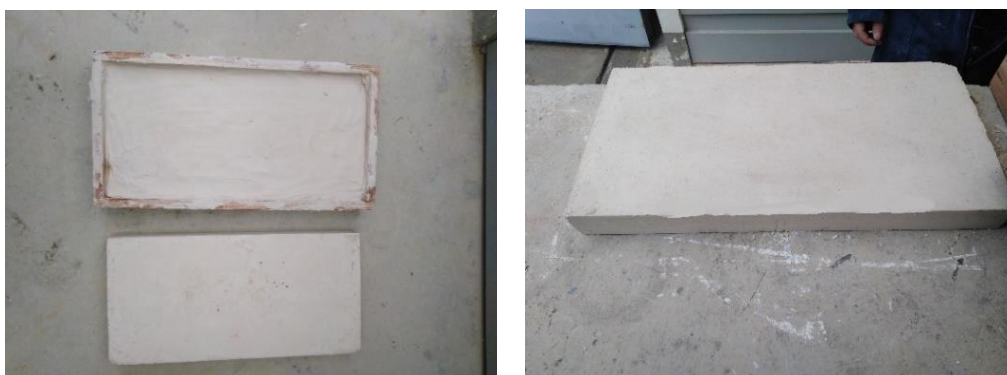
1. Los elementos del sistema placa-pilote se fundieron de manera separada por medio de dos fases, las cuales son:
  - a. La primera fase corresponde a los 15 pilotes los cuales se fundieron uno a uno, ya que para tener una mejor manejabilidad de la mezcla se tenía que limpiar todas las herramientas que se utilizaban para la fundición y así poder avanzar al siguiente pilote. Posteriormente, los pilotes se dejaron fraguar por una semana al aire libre siguiendo las recomendaciones del trabajo de grado de Cortés & Moreno (2017), con el propósito de que todos los pilotes alcancen su resistencia máxima y se procede a desencofrar cada uno como se muestra en la figura 8.



*Figura 8. Construcción de los pilotes.*

Fuente: Autores.

- b. La segunda fase correspondió a la fundición de la placa, la cual fue fundida en una sola capa, para generar un solo tiempo de fraguado y que su resistencia no se vea afectada por un tiempo distinto entre capas, finalmente se enrasó la placa con una regla en acero para garantizar la altura exacta de la placa. (Ver figura 9)

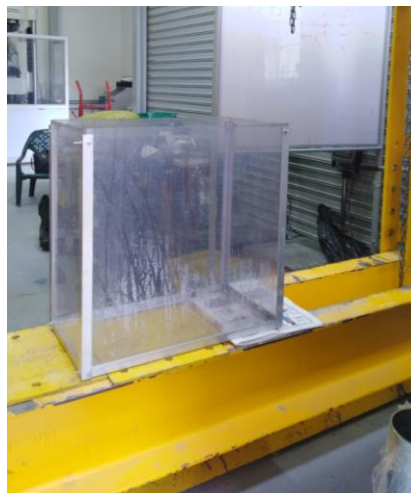


*Figura 9. Construcción de la placa.*

Fuente: Autores.

Teniendo en cuenta que el tipo de cimentación que se está trabajando es poco común en la mayoría de proyectos, se planteó un procedimiento constructivo en donde se requería tener una caja con la finalidad de simular el modelo con el suelo limo – arenoso y la cimentación placa –

pilote. Motivo por el cual, se construyó una caja con policarbonato transparente unida con ángulos de aluminio para poder darle consistencia y resistencia como se muestra en la figura 10.



*Figura 10.* Construcción de la caja para la simulación del modelo.

Fuente: Autores.

A continuación, se inició con el proceso constructivo de la simulación del sistema placa – pilote a escala 1:30 para un suelo limo – arenoso, en donde se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. La caja de simulación es colocada en el marco de carga de los laboratorios de estructuras de la Universidad de La Salle y se verificó que se encuentre con una nivelación adecuada con el propósito de evitar errores en el transcurso de la construcción.
2. Antes de dar inicio al llenado de la caja con el suelo simulado, se verificó la densidad de la mezcla del suelo con la finalidad de que el valor coincida con la densidad del suelo de los ensayos de corte directo, motivo por el cual, al momento de realizar la mezcla con ayuda de la mezcladora de cemento como se evidencia en la figura 11, se determinó la densidad de la mezcla mediante el método convencional, en donde después de mezclar toda la cantidad necesaria para el llenado de la caja, se establece un volumen conocido y se extrae el peso de la

cantidad de material del suelo simulado, determinando que la densidad de la mezcla del suelo para el modelo es de  $1.738 \text{ g/cm}^3$ , concluyendo que cumple con la densidad determinada en el laboratorio para el ensayo de corte directo. De igual manera, para conseguir un mejor control de la densidad del suelo simulado en el procedimiento de llenado de la caja, se determinó la densidad capa a capa, donde los resultados oscilaban entre  $1.735 \text{ g/cm}^3$  y  $1.75 \text{ g/cm}^3$  cumpliendo con los requerimientos establecidos en el ensayo de corte directo.



*Figura 11.* Mezcla del material para la simulación del suelo.

Fuente: Autores.

3. Se debe tener en cuenta la teoría sobre el espacio mínimo que debe existir entre la base de la caja y la base de los pilotes, el cual es cinco veces el diámetro, es decir  $5 \times 2.0 \text{ cm} = 10.0 \text{ cm}$ . Por tal motivo se decide dejar los pilotes a una altura de 10 cm con respecto a la base de la caja, este volumen es ocupado por el suelo simulado mediante una compactación con ayuda del martillo Marshall (dispositivo con una base circular de 98.4 mm de diámetro y un pisón deslizante de  $4536 \pm 9 \text{ g}$  de peso total, con una altura de caída de  $457.2 \pm 1.524 \text{ mm}$ ), en puntos específicos establecidos en el momento de la construcción con un número de golpes de 20, dando una energía de compactación de  $0.2303 \text{ kg.cm/cm}^3$ , no obstante, si se presentan vacíos

en la compactación se procede a aplicar golpes con un martillo de goma en la parte externa de la caja de simulación. La densidad en este estrato de suelo dio como resultado  $1.75 \text{ g/cm}^3$ .

4. Se verificó que la primera capa de compactación del suelo estuviera totalmente nivelada mediante el uso de un nivel de mano, en donde la burbuja de aire se encuentre exactamente centrada dentro de la marca.
5. Posteriormente, se realizó un trazado para la adecuada ubicación de los pilotes cumpliendo con la separación de los bordes, donde la teoría específica que es de seis veces el diámetro, es decir  $6 \times 2.0 \text{ cm} = 12.0 \text{ cm}$ . Dicho trazado se llevó a cabo, mediante la utilización de los siguientes elementos:
  - a. Cinta métrica de acero, según la dimensión requerida.
  - b. Cordel de polipropileno con un diámetro de  $5/16''$ .
  - c. Nivel de burbuja.
  - d. Escuadra de mano.

Para marcar la ubicación de los pilotes, se establece un eje conocido en la caja de simulación, en donde, mediante el uso de la cinta métrica se mide la separación que deben tener los pilotes tanto en el sentido horizontal como en el sentido vertical. Al mismo tiempo, que se iba realizando las medidas con la cinta métrica se ubicó el cordel de polipropileno a la distancia requerida formando un rectángulo con longitudes similares a las medidas de la placa. Se procedió a rodear el perímetro lateral y frontal de la caja, formando una distribución de 3X5. Se debe tener en cuenta que, para la adecuada medición del trazado, con el uso de la escuadra de mano se iba verificando la perpendicularidad en cada intersección del trazado. Finalmente se marcó en el terreno la posición final que tendrá cada pilote mediante el uso de yeso.

6. A continuación, se ubicaron los pilotes de acuerdo con la distribución mencionada anteriormente, de tal manera que abarcaran toda el área de la placa, garantizando la separación adecuada entre cada uno de ellos (Ver figura 12). Para el llenado de la segunda capa de suelo se procedió a vaciar todo el suelo necesario para cubrir una altura de 5.0 cm sin realizar la compactación, con el propósito de ir ajustando la posición de los pilotes. Después de garantizar la ubicación correcta de los pilotes se procede a compactar el suelo con ayuda del martillo Marshall para los bordes de la caja y con un trozo de madera para la separación entre pilotes.



*Figura 12.* Posición de los pilotes en la caja de simulación.

Fuente: Autores.

7. Se garantizó la verticalidad de los pilotes mediante el uso de un nivel de burbuja, en donde después de la segunda capa de suelo compactada se hacía uso de este tipo de nivelación colocándolo de manera vertical en cada pilote, en el cual, la burbuja de aire se debía encontrar dentro del rango de nivelación del aparato.
8. Las capas de llenado del suelo fueron de 5.0 cm de altura para tener un adecuado control de la verticalidad y la respectiva posición de los pilotes como se muestra en la figura 13. Teniendo

en cuenta que se quitaba el volumen de los pilotes para colocar la cantidad de suelo necesario para cubrir con la altura propuesta.



*Figura 13.* Compactación del suelo con verticalidad de pilotes.

Fuente: Autores.

9. La compactación de cada capa de suelo, se hizo mediante el martillo Marshall para los bordes de la caja y para la separación entre pilotes se realizó mediante el uso de un trozo de madera golpeándolo 7 veces en cada uno de las distancias de separación con el propósito de evitar posibles fracturas en los pilotes, la energía de compactación de cada capa entre los pilotes fue de  $0.4606 \text{ kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^3$ . Como se mencionó anteriormente, en caso de que se evidencien vacíos aplicar golpes en la parte externa de la caja de simulación con un martillo de goma. La densidad del suelo en las capas que componen los pilotes fue de  $1.745 \text{ g}/\text{cm}^3$ .
10. Se tuvo en cuenta que los pilotes y el suelo simulado se deben encontrar a la misma altura y uniforme entre sí para garantizar que entre los pilotes y la colocación de la placa exista un ángulo de  $90^\circ$ , además de la adecuada interacción entre la placa y la mezcla del suelo simulado. Por tal motivo se debió enrasar el suelo de manera óptima mediante el uso de una llana y se verificó la nivelación entre los pilotes y el suelo mediante el nivel de burbuja.

## 6.5 Unión placa – pilote

Una vez se verificó la verticalidad de los pilotes y la nivelación de la caja de simulación, se procedió a unir los respectivos pilotes con la placa por medio de un epóxico de la marca “Loctite Epoxi Bonder” como se muestra en la figura 14, siguiendo las recomendaciones del trabajo de grado (Cortés & Moreno, 2017)



*Figura 14.* Unión entre los pilotes y la placa.

Fuente: Autores.

El empaque de este epóxico es tipo jeringa y bicomponente cuya ficha técnica está en el anexo A, se debe tener en cuenta que la superficie de los pilotes y la placa deben estar limpias y sin ninguna interferencia por lo que al aplicarlo este se debe mezclar los dos componentes *in situ* para unir los pilotes a la placa como se evidencia en la figura 15, el tiempo de secado del epóxico es de 24 horas para lograr la mayor adherencia posible entre los pilotes y la placa.



*Figura 15.* Interacción entre placa – pilotes en la caja de simulación.

Fuente: Autores.

## 6.6 Interacción entre el yeso y el suelo

En el caso de la interacción entre el yeso y el suelo, se procedió a realizar un ensayo de corte directo según la norma INV E 154 – 13 con la finalidad de simular el contacto entre la cimentación con el suelo y comprender la resistencia al corte entre estas. Teniendo en cuenta el título H del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, en la sección H.4.7 de factores de seguridad indirectos en los incisos de “Capacidad portante por fricción de cimentaciones profundas, el factor de seguridad está definido por la ecuación 1.

$$F_{SL} = \frac{\tau_L}{\tau_A} \quad (1)$$

En donde,  $\tau_L$  es la resistencia al cortante en la interfaz suelo/elemento de cimentación, si este valor no se demuestra en los resultados de los ensayos de laboratorio, la resistencia se asume por medio de la ecuación 2.

$$\tau_L = \frac{2}{3\tau_F} \quad (2)$$

En donde,  $\tau_F$  es el esfuerzo cortante de falla.” (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título H. 2010, p. H-16 – H-17). Lo que significa que mediante la teoría existente se acostumbra a tomar como ángulo de fricción  $\delta = \frac{1}{2}\phi$  o  $\delta = \frac{2}{3}\phi$ , siendo  $\phi$  el ángulo de fricción del suelo simulado. En 2014 Pineda, Adames & Rodríguez determinan que los parámetros de resistencia al corte del suelo son muy utilizados en el análisis de problemas geotécnicos que impliquen fenómenos de interacción suelo – estructura. El procedimiento que se llevó a cabo en el laboratorio se muestra en el anexo C.

Terminado el ensayo se desmontó la muestra mediante el retiro de la caja de corte de la máquina y soltando los tornillos de ajuste para retirarla y proceder a dejar registro fotográfico que se muestra en la figura 16.



*Figura 16.* Resultados de ensayo corte directo. Interacción yeso – suelo.

Fuente: Autores.

## Capítulo 7. Resultados

### 7.1 Ensayo de corte directo de la simulación de suelo limo – arenoso

Para la ejecución de este ensayo se utilizó la caja circular de corte, con un diámetro de 5.00 cm y una altura de 2.15 cm. Se procede a determinar el área y el volumen los cuales fueron de  $19.63 \text{ cm}^2$  y  $42.22 \text{ cm}^3$  respectivamente. Con la práctica de este ensayo se pudo obtener lecturas de desplazamiento horizontal, desplazamiento vertical, la carga aplicada y un intervalo de tiempo, los cuales permiten determinar el delta de desplazamiento, deformación unitaria, esfuerzo cortante y esfuerzo normal.

Mediante la obtención de los cálculos se realizan tres gráficas diferentes, esfuerzo cortante vs deformación unitaria, esfuerzo cortante vs esfuerzo normal y desplazamiento vertical vs desplazamiento vertical con el propósito de obtener el ángulo de fricción y la cohesión, parámetros que definen las propiedades mecánicas de la mezcla de suelo elegida.

A continuación, se evidencia las curvas de esfuerzo cortante vs deformación unitaria para cada uno de los esfuerzos aplicados a la muestra.

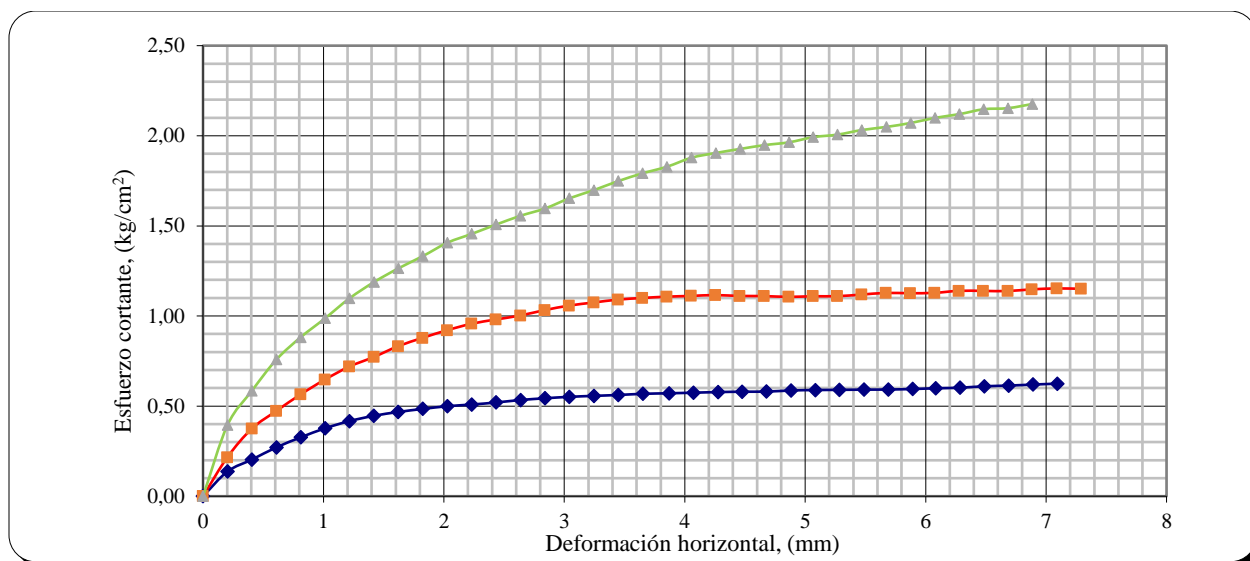


Figura 17. Curva esfuerzo normal vs deformación horizontal del suelo simulado. Ensayo de corte directo.  
Fuente: Autores.

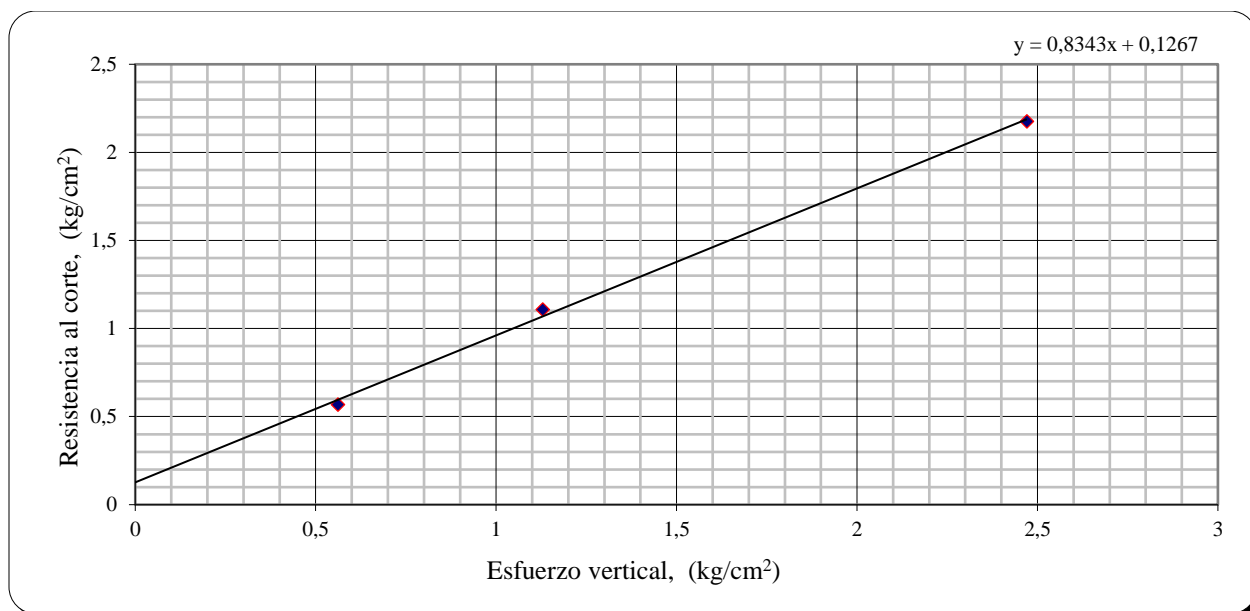
Posteriormente, se grafican los valores máximos de los esfuerzos cortantes y los esfuerzos normales para cada carga normal aplicada en las muestras con el propósito de determinar el ángulo de fricción y la cohesión del suelo mediante la línea de tendencia lineal.

Tabla 3.  
*Esfuerzos máximos del corte directo suelo – suelo.*

Esfuerzos máximos (KPa)	Prueba N°		
	1	2	3
<b>Esfuerzo, <math>\sigma</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.5615	1.1292	2.4704
<b>Esfuerzo, <math>\tau</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.5682	1.1072	2.1764

Fuente: Autores.

La mezcla elegida del trabajo de grado (Guevara & Velandia, 2017) fue la número 24, en donde se obtuvo un ángulo de fricción de 39.8° siendo un valor alto para el tipo de suelo que se está simulando y presenta una cohesión mínima de 0.127 kg/cm<sup>2</sup>. La densidad que presenta cada una de las muestras se evidencia en el anexo B en condición compacta.



*Figura 18.* Esfuerzo vertical vs Resistencia al corte del suelo simulado.

Fuente: Autores.

Se debe tener en cuenta que el ángulo de fricción fue calculado mediante la función inversa de la tangente del valor de la pendiente de la ecuación que presento el gráfico, la intersección de la línea de tendencia con el eje Y evidenció el valor de la cohesión del suelo. La mezcla elegida cumple con el comportamiento de los parámetros de un suelo limo – arenoso, en donde aporta un 35% de bentonita, 45.5% de arena y 19.5% de aceite.

Con respecto al resultado del ángulo de fricción del suelo simulado, se comparó con los valores típicos del material usado en este ensayo, en donde este valor se encuentra un poco alto al rango establecido para un suelo limo – arenoso según el autor Braja, M. Das (Ver tabla 4), teniendo en cuenta que se realizaron 3 ensayos de corte directo para validar la veracidad de los resultados, de los cuales 2 se realizaron en los laboratorios de la Universidad de La Salle y el último se realizó en un laboratorio externo. No obstante, el suelo al no ser la base de este trabajo de grado se opta por utilizar esta mezcla de suelo con los resultados proporcionados por el ensayo de corte directo que se realizó en un laboratorio externo de la Universidad.

Tabla 4.  
Valores típicos del ángulo de fricción para arenas y limos.

Suelo	$\phi$ Suelto	$\phi$ Denso
Arena triturada (angular)	32 – 36	35 – 45
Arena de depósitos (sub – angular)	30 – 34	34 – 40
Grava triturada	36 – 40	40 – 50
Grava de depósitos	34 – 38	38 – 42
Arena limosa	25 – 35	30 – 36
Limo inorgánico	35 – 35	30 – 35

Fuente: Propiedades geofísicas de los suelos. Bowles, J. E. (1982)

Se debe tener en cuenta que el suelo al no ser una arena pura, puede presentar una cohesión al tener presencia de limos. Por lo tanto los parámetros que influyen en el ensayo es la fricción existente entre las partículas del suelo simulado y la cohesión del mismo, teniendo en cuenta lo que afirman los autores Guevara & Velandia (2017) “el aceite hace perder las propiedades friccionantes a la arena y vuelve cohesiva la bentonita por sus características de material arcilloso” (p. 63), sin embargo el suelo simulado presenta una cohesión menor la cual se tendrá en cuenta para el análisis al comparar la interacción suelo – suelo y suelo – yeso.

Los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo de la mezcla elegida del suelo simulado se encuentran en el anexo B.

## 7.2 Ensayo de corte directo entre la interacción del yeso con el suelo limo – arenoso

Para la ejecución de este ensayo se utilizaron las mismas medidas de la caja circular de corte, con un diámetro de 5.00 cm y una altura de 2.15 cm. Se procede a determinar el área y el volumen los cuales fueron de 19.63 cm<sup>2</sup> y un volumen para la placa de yeso y el suelo limo – arenoso de 21.60 cm<sup>3</sup> respectivamente. Con la práctica de este ensayo se pudo obtener lecturas de desplazamiento horizontal, desplazamiento vertical, la carga aplicada y un intervalo de tiempo, los cuales permiten determinar el delta de desplazamiento, deformación unitaria, esfuerzo cortante y esfuerzo normal.

Mediante la obtención de los cálculos se realizaron tres graficas diferentes, esfuerzo cortante vs deformación unitaria, esfuerzo cortante vs esfuerzo normal y desplazamiento vertical vs desplazamiento vertical con el propósito de obtener el ángulo de fricción y la cohesión, parámetros que definen como interactúan el suelo limo – arenoso y el yeso.

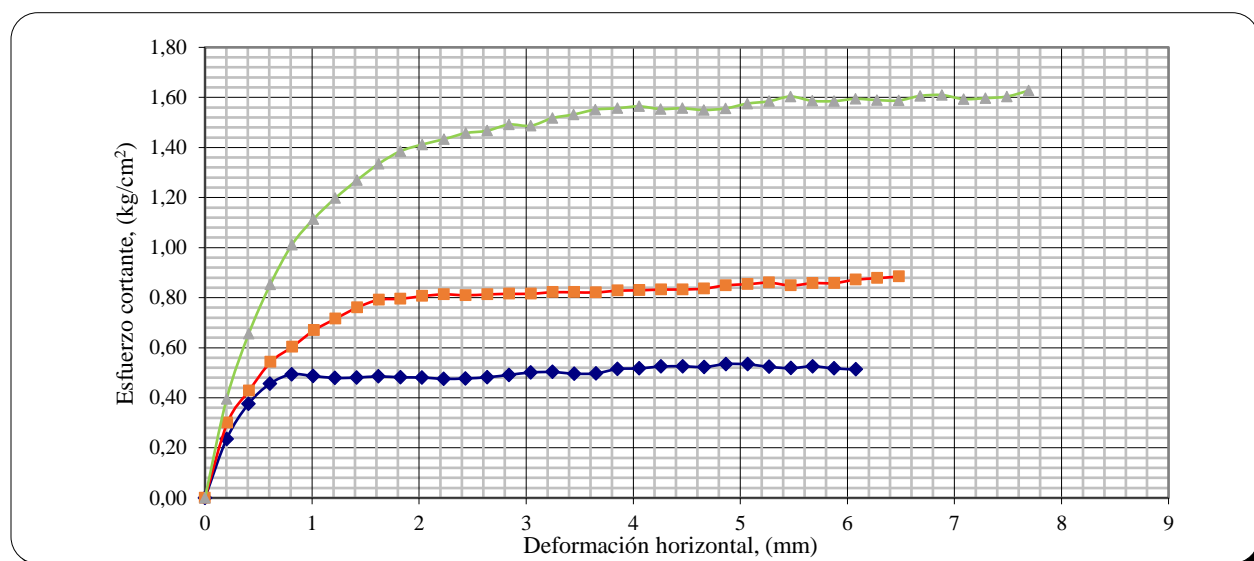


Figura 19. Curva esfuerzo normal vs deformación horizontal interacción suelo - yeso. Ensayo de corte directo.

Fuente: Autores.

Posteriormente, se grafican los valores máximos de los esfuerzos cortantes y los esfuerzos normales para cada carga normal aplicada en el suelo – estructura con el propósito de determinar el ángulo de fricción y la cohesión del suelo mediante la línea de tendencial lineal.

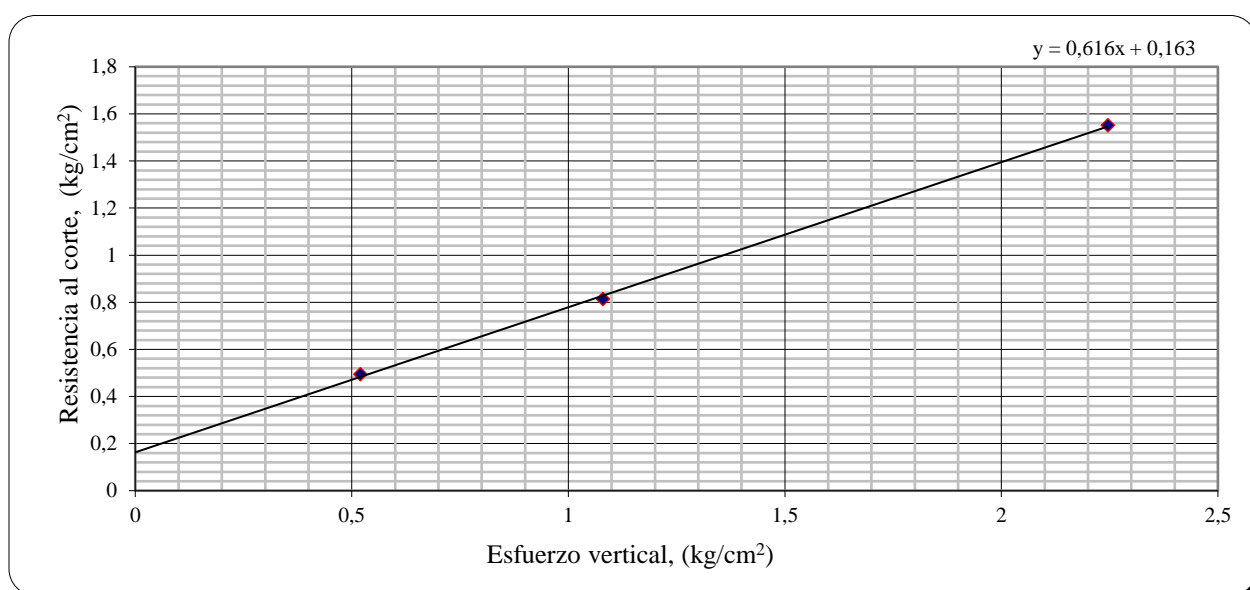
Tabla 5.

*Esfuerzos máximos del corte directo suelo – yeso.*

Esfuerzos máximos (KPa)	Prueba N°		
	1	2	3
<b>Esfuerzo, <math>\sigma</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.5199	1.0799	2.245
<b>Esfuerzo, <math>\tau</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	0.4934	0.8131	1.551162

Fuente: Autores.

En la interacción del yeso y el suelo limo – arenoso simulado por la mezcla 24 del trabajo de grado (Guevara & Velandia, 2017), se obtuvo un ángulo de fricción de  $31.6^\circ$  y una cohesión de  $0.163 \text{ kg/cm}^2$ . La densidad que presenta cada una de las muestras para la interacción entre el yeso y el suelo simulado se evidencia en el anexo C en condición compacta. De igual manera, se realizaron 3 ensayos de corte directo para validar la veracidad de los resultados, de los cuales 2 se realizaron en los laboratorios de la Universidad de La Salle y el último se realizó en un laboratorio externo. Se utilizaron los resultados que se obtuvieron del laboratorio externo.



*Figura 20.* Esfuerzo vertical vs Resistencia al corte interacción suelo – yeso.

Fuente: Autores.

Con el resultado del ángulo de fricción de la interacción entre la estructura y el suelo, se puede evidenciar que no se cumple con las relaciones planteadas por los estudios previos que se tiene sobre este tipo de interacción, teniendo en cuenta los materiales que se están estudiando en este trabajo de grado. En donde, la relación de  $\delta = \frac{1}{2}\varphi$  da como resultado  $19.9^\circ$  y la relación de  $\delta = \frac{2}{3}\varphi$  da como resultado  $26.5^\circ$ , teniendo en cuenta que uno de los principales mecanismos de la

conexión física y funcional del sistema planteado es la adhesión. El estudio de este ensayo evidenció los siguientes parámetros:

El resultado que se obtuvo en el ángulo de fricción de la conexión entre el suelo y el yeso presenta una variación de  $8.2^\circ$  por debajo que el resultado del ángulo de fricción entre la interfaz del suelo – suelo. Motivo por el cual, “se establece que el material empleado en esta investigación no es puramente friccionantes, sino que por el contrario posee una fuerza más denominada cohesión que ayuda al material a oponer resistencia frente a la aplicación de fuerzas cortantes” (Montoya, G., 2013, p. 67). Se analizó la relación que existe entre el ángulo de fricción y la rugosidad del material de la estructura que se está estudiando, es que entre mayor sea la rugosidad del material mayor será el ángulo de fricción entre la interfaz del suelo y el yeso.

La cohesión entre el suelo – yeso era superior a la cohesión de la interacción entre suelo – suelo, con una variación de este dato que está en el orden de  $0.036 \text{ kg/cm}^2$  estando este resultado por encima al obtenido en la interacción entre suelo – suelo. Teniendo en cuenta que dado el tipo de suelo que se está modelando, es coherente que el suelo este presentando cohesión al presentar un porcentaje de limos. La relación existente entre la cohesión y la rugosidad, refleja una proporción inversa puesto que a mayor sea la rugosidad menor será la cohesión, esto se debe principalmente a que el material desarrolla con mayor proporción el componente friccionantes al tener mejor adherencia  $c \text{ g/cm}^3$ .on el material que se encuentra en contacto en este caso el yeso, y al tener menor adherencia a la superficie desarrolla más su componente cohesivo al estar sometido a la fuerza de corte (Montoya, G., 2013, p. 67).

### **7.3 Comportamiento del modelo de la estructura placa – pilote en ensayo de compresión**

El ensayo fue realizado a los 28 días de la construcción de los elementos que componen el sistema de cimentación placa – pilote. Como se evidencia en la figura 21, después de cumplir con

todos los parámetros de llenado de la caja y de ubicación de los elementos, se procede a la ubicación del sistema de simulación de la cimentación placa – pilote en el marco de carga que suministra los laboratorios de la Universidad de La Salle para su posterior falla y observar cómo se comporta el proceso constructivo que se optó en este trabajo de grado bajo las recomendaciones de las investigaciones ya trabajadas en esta área con las condiciones del terreno, teniendo en cuenta que en el sistema placa – pilote se colocó una placa de madera con las medidas de la placa de yeso con la finalidad de garantizar la uniformidad en la distribución de la carga aplicada.



*Figura 21.* Ubicación del contenedor en la caja de simulación.

Fuente: Autores.

En la figura 22 se evidencia como se procedió a fallar el sistema en el marco de carga de la Universidad de La Salle, Sede Candelaria.



*Figura 22.* Ubicación de la caja de simulación para el ensayo de compresión.

Fuente: Autores.

Al iniciar con el ensayo de compresión se contaba con unos manómetros digitales que proporcionaban la carga de aplicación a la caja de simulación, como se muestra en la figura 23.



*Figura 23.* Instrumento para la toma de datos de carga de falla.  
Fuente: Autores.

La falla estructural de los pilotes registro una carga promedio de 5 Mpa siendo estos los primeros en presentar la falla y posteriormente se registró el fallo estructural del conjunto placa – pilote con una carga de 6.04 Mpa, desde el punto de vista del suelo. En la figura 24, se evidencia el resultado del comportamiento que tuvo el sistema en general en el ensayo y en la figura 25 se evidencia la falla estructural sometida a compresión que obtuvo la placa por deformaciones permanentes.



*Figura 24.* Falla del sistema placa – pilote.  
Fuente: Autores.



*Figura 25.* Evidencia de falla de la placa.

Fuente: Autores.

En el momento de la terminación del ensayo, al fallar todo el sistema se logró separar la placa de los pilotes, para observar el comportamiento que estos tuvieron, en la figura 26 se evidencia una pequeña excavación que se le realizó al sistema. La placa evidencia una falla por compresión a causa de una deformación permanente en el sistema.



*Figura 26.* Excavación del sistema de placa – pilote.

Fuente: Autores.

En el caso de los pilotes se evidenció que no presentan mayores deformaciones debido a la longitud que se escogió para la construcción del sistema, llegando a trabajar de manera óptima en el sistema, como se evidencia en la figura 27. De igual manera, se evidenció que los pilotes presentaron su falla a los  $2/3$  del largo con respecto a la base de estos.



*Figura 27.* Evidencia de falla de los pilotes.

Fuente: Autores.

En el sistema placa – pilote, la idea fundamental es que los pilotes trabajen en conjunto con la placa con el propósito de que los asentamientos se produzcan de forma pareja, permitiendo que la placa genere los asentamientos que los pilotes le permitan.

## Capítulo 8. Conclusiones

En la interacción suelo – yeso la conexión presente nos indica que el material empleado no es puramente friccionante. Se analizó que a pesar de que el material tiene una rugosidad baja el ángulo de fricción es alto para la característica que presenta. La cohesión entre el suelo – yeso es superior a la cohesión de la interacción entre suelo – suelo, teniendo en cuenta que el suelo simulado presenta cohesión al tener un porcentaje de limos.

Nivelar de la mejor manera el suelo para que exista la adecuada interacción entre el suelo y la placa, con la finalidad de garantizar que el sistema de placa – pilote tenga un índice de trabajo óptimo en conjunto.

El modelo de la estructura placa – pilote presentó una falla por compresión en conjunto generando pocos asentamientos y una rotura por partes, en donde la primera falla estructural se produjo en los pilotes y posteriormente se produjo del sistema en conjunto placa – pilote.

En la construcción del modelo, se observó que los elementos tenían que ser elaborados uno a uno ya que con la relación agua-yeso de la mezcla seleccionada, se reduce el tiempo de manejabilidad de la mezcla. Los elementos tuvieron que ser fundidos en una sola mezcla ya que al realizarlo con dos o más al desencofrar se notaba espacios entre las mezclas notándose una clara separación entre ellas. La utilización del proceso constructivo que se planteó en este trabajo de grado permite tener una mejora en la calidad de futuras obras del sistema placa - pilote a escalas mayores, mediante una planeación oportuna y real, demostrando la manera más eficaz de garantizar la adecuada interacción entre el sistema placa – pilote y el suelo limo – arenoso, con la finalidad de disminuir los asentamientos y generar una falla estructural en conjunto.

## Capítulo 9. Recomendaciones

La mezcla del yeso se realizó en recipientes plásticos para que no se desperdiciará demasiado material, ya que este no se adhería tan fácilmente en el plástico. Además, se debe tener una limpieza de estos recipientes después de cada mezcla porque al dejar residuos de las anteriores mezclas, estos absorbían parte del agua y la mezcla resultante estaba más seca, por lo cual su manejabilidad disminuía.

Las formaletas de los elementos deben ser desarmables, puesto que el yeso al ser un material frágil no puede ser golpeado ya que el elemento sufre daños superficiales los cuales afectan el resultado de los ensayos.

Para la construcción de los pilotes y la placa se debe seguir el procedimiento que se evidenció en la sección 6.4 del presente documento con la finalidad de generar una facilidad al momento de construir el modelo a una mayor escala.

Para garantizar el máximo contacto ente suelo y la estructura es necesario colocar el suelo con una compactación adecuada para que estos no pierdan su posición y verticalidad, con la finalidad de obtener una nivelación óptima entre los pilotes y el suelo, con el propósito de que la placa tenga la adecuada interacción con el suelo.

Con el propósito de conocer la carga de falla para cada pilote, se recomienda para futuras investigaciones emplear en el modelo, sensores que permitan establecer el porcentaje de carga a la cual esta sometido cada estructura del sistema placa – pilote.

## Referencias

### Libros

Bowles, J. (1982). Manual de laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. (2<sup>da</sup> ed.). Bogotá D.C

Braja, D. (2001). Principios de Ingeniería de Cimentaciones. (4<sup>a</sup> ed.). México: International Thomson Editores.

Calavera, J. (1991). Calculo de estructuras de cimentación. Madrid: INTEMAC.

Crespo, C. (2004). Mecánica de Suelos y Cimentaciones. (5<sup>a</sup> ed.). México: Limusa.

### Revistas

Alfonso, D., & Murcia, M. (2016). Interacción suelo pilote en cimentaciones placa – pilote en la ciudad de Bogotá. Universidad Piloto de Colombia.

Bustos, D., & Gómez, J. (2018). Modelación analítica y numérica de un sistema de cimentación placa – pilote en suelo limo – arenoso ubicado en la sabana de Bogotá. Tesis Pregrado, Facultad de Ingeniería Universidad de la Salle.

Caicedo, B. (2003). Modelación física en centrífuga. Universidad de Los Andes. Bogotá. Colombia

Cortés, A., & Moreno, O. (2017). Caracterización mecánica del yeso como material de simulación experimental del concreto para ser empleado en un sistema placa – pilote. Tesis Pregrado, Facultad de Ingeniería. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.

- González, D., & Lombana, J. (2009). Construcción de un modelo físico para el estudio experimental de los efectos en superficie del avance de túneles con una tuneladora TBM-EPB en suelos blandos. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Guevara, L., & Velandia, Y. (2017). Determinación de las propiedades mecánicas de mezclas de un suelo para su aplicación en modelos físicos a escala reducida. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
- Jiménez, D., & Mercado, J. (2010). Evaluación del comportamiento estructural de cimentaciones placa – pilote. Tesis Pregrado, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil Universidad Industrial de Santander.
- Montoya, G. (2013). Parámetros de resistencia al corte en la interfaz suelo concreto. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Moreno, J. M. (2014). Sistema de cimentación en placa – pilote. Análisis de interacción suelo – estructura, para un edificio de 12 pisos y sótano en la ciudad de Bogotá. Bogotá D.C, Colombia.
- Nieto Leal, A., Camacho Tauta, J., & Ruiz Blanco, E. (2009). Determinación de parámetros para los modelos elastoplásticos Mohr – Coulomb y hardening soil en suelos arcillosos. *REVISTA INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN*, 75 – 91. Recuperado a partir de: <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/63>
- Nij Patzán, J. (2009). Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas. Universidad de San Carlos. Guatemala.

- Pérez, J., & Briceño, C. (2013). Estado del arte de la modelación física en Ingeniería Civil. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Pineda, J., Adames, C., & Rodríguez, C. (2014). Parámetros de resistencia al corte para interfaces de arena – concreto: Propuesta de investigación. Universidad Santo Tomás. Bogotá, Colombia.
- Sarmiento C., & Vidal, H. (2007). Caracterización Geo mecánica de mezclas de suelos para modelos físicos por el método de materiales equivalentes.
- Vásquez, L. Diseño de estructuras de cimentación de acuerdo con NSR-10. Medellín, Colombia.

## **Anexos**

### **Anexo A: Fichas técnicas**

## Aceite Shell Omala 220



Nombre Antiguo: Shell Omala

# Shell Omala S2 G

*Aceites de alta calidad para rodamientos y engranajes industriales.*

## Hoja de Datos Técnicos

- PROTECCIÓN EXTRA
- APLICACIONES ESTÁNDAR

El aceite Shell Omala S2 G es un lubricante de extrema presión de calidad premium desarrollado para la lubricación de engranajes industriales sometidos a servicios severos. Su alta capacidad de carga y sus características antifricción se combinan para ofrecer un desempeño superior en engranajes y otras aplicaciones industriales.

### Beneficios

- **Larga vida del aceite – ahorros de mantenimiento**

Shell Omala S2 G ha sido formulado para resistir la degradación térmica y química durante su vida de servicio. Soporta altas cargas térmicas y resiste la formación de barros y otros productos de oxidación peligrosos. De larga vida, aún con temperaturas de hasta 100°C en ciertas aplicaciones.

- **Excelente protección antidesgaste y anticorrosiva**

Sus excelentes características para soportar cargas y una efectiva capacidad de inhibición de la corrosión permiten reducir el desgaste y proteger los dientes de los engranajes, ya sean estos de acero o de bronce.

Sus características anticorrosivas son efectivas aún en presencia de agua y sólidos.

- **Mantiene la eficiencia del sistema**

Los aceites Shell Omala S2 G cuentan con una excelente capacidad para separarse del agua, facilitando el drenaje del exceso de agua en los sistemas de lubricación, contribuyendo así a prolongar la vida útil de los engranajes y a asegurar una lubricación eficiente en las áreas de contacto.

La presencia de agua puede acelerar los efectos de fatiga superficial en los sistemas de engranajes y rodamientos, como así también promover la formación de óxidos ferrosos en las superficies internas, y por lo tanto la contaminación con agua debe ser

evitada o se debe eliminar tan rápido como sea posible.

### Aplicaciones

- **Sistemas de engranajes cerrados de uso industrial**

Shell Omala S2 G ha sido formulado utilizando un paquete de aditivos en base a azufre-fósforo que proporcionan un rendimiento a situaciones de extrema presión que permite una aplicación sin problemas en la mayoría de los reductores industriales cerrados que utilizan engranajes de acero rectos o helicoidales.

- **Engranajes altamente cargados**

Shell Omala S2 G cuentan con un nivel de protección superior debido al renovado sistema de aditivos lo que permite operar en condiciones de muy altas cargas.

- **Otras aplicaciones**

Los aceites Shell Omala S2 G son adecuados para la lubricación de cojinetes, rodamientos y demás componentes en sistemas lubricados por circulación o salpicado.

Para los engranajes hipoidales de vehículos se recomienda utilizar el aceite Shell Spirax correspondiente.



## Hoja de Datos Técnicos

### Especificaciones y Aprobaciones

- Cumple la norma ISO 12925-1 Type CKD, (excepto grados ISO 680)
- Cumple la norma DIN 51517- Part 3 (CLP), (excepto grados ISO 680)
- Cumple la norma AGMA 9005- EO2 (EP)
- Cumple la norma US Steel 224
- Cumple la norma David Brown S1.53.101,102,103,104
- Cumple la norma Cincinatti Machine P34,35,59,63, 74, 76-78

### Salud y Seguridad

Los aceites Shell Omala S2 G no presentan riesgo para la salud cuando son usados en las aplicaciones recomendadas y se observan los niveles adecuados de higiene personal e industrial.

Para una información más detallada sobre higiene y seguridad, solicite la Hoja de Seguridad de Producto a Servicios Técnicos Shell.

### Proteja el Ambiente

Lleve el aceite usado a un punto de recolección autorizado; no lo vierta en drenajes, ni en suelos, o espejos de agua.

### Recomendaciones

Antes de utilizar verifique su compatibilidad con otros productos. Su Representante Shell puede ofrecer recomendaciones sobre las aplicaciones no cubiertas en esta Hoja Técnica.

### Soporte técnico

Para aplicaciones no contenidas en esta aplicación, consulte al Centro Técnico Shell.

### Características Típicas

Shell Omala S2 G		68	100	150	220	320	460	680
Grado de Viscosidad ISO	ISO 3448	68	100	150	220	320	460	680
Viscosidad Cinemática	ISO 3104							
@ 40°C	mm <sup>2</sup> /s	68	100	150	220	320	460	680
@ 100°C	mm <sup>2</sup> /s	8.7	11.4	15.0	19.4	25.0	30.8	38.0
Índice de Viscosidad	ISO 2909	99	100	100	100	100	97	92
Flash Point (PMCC)	°C ISO 2592	236	240	240	240	255	260	272
Punto de Escorrimento	°C ISO 3016	-24	-24	-24	-18	-15	-12	-9
Densidad @ 15°C	kg/m <sup>3</sup> ISO 12185	887	891	897	899	903	904	912

Los valores indicados son representativos de la producción actual y no constituyen una especificación. La producción del producto se realiza conforme a las especificaciones de Shell.

## Bentonita Sódica



IMPORTADORES

Sede Principal  
Calle 13 No. 13-27  
PBX: 2 834 315  
PBX VENTAS: 2 824 146  
FAX: 2 834 604  
[zona.calle13@quimicoscampota.com](mailto:zona.calle13@quimicoscampota.com)

Sucursal  
Calle 12 No.50-92  
TEL: 2 814 316 -3 710 698 -  
2 473 929  
FAX: 2 475 077  
[zona.industrial@quimicoscampota.com](mailto:zona.industrial@quimicoscampota.com)

Sucursal  
Calle 09 No.14-15  
TEL: 2 126 705 - 2 178 161  
FAX: 2 172 613  
[zona.chapinero@quimicoscampota.com](mailto:zona.chapinero@quimicoscampota.com)  
[ventasexternas1@quimicoscampota.com](mailto:ventasexternas1@quimicoscampota.com)

Producto: BENTONITA SODICA

### HOJA DE SEGURIDAD E INFORMACION GENERAL

Condición: Polvo

Color: En polvo de crema a marrón claro  
En piedra de amarillento a negro

Propiedades: la formación de suspensiones altamente viscosas o geles con no menos de 10 veces su peso en agua.

Usos industriales: Tierras Fuller, emulsificante para aceites, fundiciones, yesos, entre otros.

Precauciones de estibado:


Mantener las bolsas sobre tarimas, alejada de suelos, para evitar el contacto con humedad.

Mantener fuera del alcance de los niños y animales domésticos.

Análisis químico:

Hinchamiento:	32 ml
Resistencia compresión seco:	2100 gr/cm <sup>2</sup>
Compactabilidad:	46%
R. T. H:	32,8 gr/cm <sup>2</sup>
Azul de metileno:	48 ml
L. E. T:	78%
PH al 7%:	8,7
Humedad:	8,3%
Impurezas:	1,7%
Gravedad específica:	2.45 - 2.55
Retenido malla 100:	0%
Retenido malla 200:	13%
Pasante malla 200:	87%
Densidad:	1,49 gr/cm <sup>3</sup>
Solubilidad:	No es soluble en agua

## Epóxico Loctite EpoxiBonder


Jamás te abandona

# EPOXI BONDER






## TRANSPARENTE

### JERINGA DE FÁCIL DOSIFICACIÓN CON Y ESPÁTULA

**Pegamento epóxico de alto desempeño de dos componentes con utensilio para lograr una fácil aplicación. Su fórmula única pega, rellena, y resana una gran variedad de materiales\* con acabado transparente en tan solo 5 minutos! Es resistente al clima, agua, aceites, grasas y solventes.**

**PREPARACIÓN DE SUPERFICIE**  
 Proteja el área de trabajo. Las superficies deberán estar limpias, secas y libres de grasa o aceite. Se recomienda lijar las superficies para una mejor adhesión.

**INSTRUCCIONES DE USO**

1. Retire el tapón del émbolo de la jeringa empujándolo con los dedos.
2. Coloque la jeringa en posición vertical permitiendo que las burbujas de aire lleguen a la punta de la misma. Corte las puntas de la jeringa con cuidado utilizando una navaja y presione ligeramente el émbolo hasta vaciar el aire de la jeringa.
3. Presione el émbolo procurando obtener iguales cantidades de la parte A como de la parte B.
4. Mezcle completamente con la espátula hasta lograr una mezcla homogénea (1 minuto). Es muy importante que la mezcla quede homogénea.
5. Aplique la mezcla obtenida en las superficies a unir garantizando una capa en toda la superficie y deje secar por 24 horas.
6. El tiempo de manejo será de 4 minutos después de haber iniciado la mezcla.
7. Limpie la punta de la jeringa y retraiga ligeramente el émbolo colocando el tapón que retiró anteriormente. Limpie los excedentes con alcohol.



Cerámica, porcelana, cristal, vidrio, fibra de vidrio, madera, mármol, piedra, metales en general, muchos más. \* No sugerido para: Poliétileno y Polipropileno.

**APLICACIONES:**  
 Reparación de estufas, refrigeradores, motocicletas, lavadoras, patines, carros eléctricos, bombas de agua, raquetas, ventanas, artesanías, fugas de agua, fugas de gas, tinacos de agua, fugas de cisternas y muchos más.

**CARACTERÍSTICAS:**  
 - Resistente al agua, aceite, solventes, aceites y grasas. - Resistente a temperaturas de -20 °C a +80 °C - Fuerza final 130 kg/cm<sup>2</sup> - Acabado transparente.


Evite el contacto prolongado con la piel, puede producir irritación en la piel sensible y en los ojos, contiene resina epóxica, mercaptanos y aminas alifáticas. En caso de contacto con la piel, lave con agua y jabón. En caso de contacto con los ojos, lave durante 15 minutos con agua limpia y busque ayuda médica. No ingerir. Úsese con ventilación adecuada. No induzca al vómito. Manténgase fuera del alcance de los niños. Utilice guantes de seguridad y proteja sus ojos. No tire el producto en el desagüe. EN CASO DE INTOXICACIÓN LLEVE AL PACIENTE AL MÉDICO Y APORTE ESTA ETIQUETA.

Composición: Resina de epilclorhidrina, isopropilidendifenol

Hecho en México para Henkel Capital S.A. de C.V.  
 R.F.C.: HCA-000314-ICO Tel. 01800 705 9200  
 Comercializado y Distribuido por: Henkel Centroamericana S.A.  
 Tel. 502-2421-1834 502-2384-3088 - Henkel Costa Rica Ltda Heredia,  
 Costa Rica, Tel (506) 2277-4800 Fax (506) 2277-4876 Reg. San.: Q-42232-9  
 Q-42224-8 Teléfono Centro Nacional de Intoxicaciones (506) 2223-1028  
 Teléfono de Emergencias 911. EN CASO DE INTOXICACIÓN LLEVE AL  
 PACIENTE AL MÉDICO Y APORTE ESTA ETIQUETA - Henkel Colombiana S.A.  
 Tel. 01 800 011 5440 - L. Henríquez & CIA S. A. (Ecuador), Tel. 1 800345474 -  
 Henkel Dominicana Tel. 809 242 1111

IDH: 2119707



7 501199 416717 >

**Anexo B: Corte directo suelo – suelo**

## Procedimiento de la realización del ensayo de corte directo entre suelo - suelo

### 1. Dosificación de materiales

El primero paso a seguir es el peso de las cantidades designadas en gramos de arena de río, bentonita sódica y aceite Shell Omala 220.



*Figura 28.* Dosificación de los materiales para suelo simulado.

Fuente: Autores.

### 2. Mezcla de los materiales para la preparación de la muestra de estudio

Se mezcla de manera homogénea la arena de río y la bentonita sódica, posteriormente se agrega el aceite Shell Omala 220 hasta conseguir una consistencia uniforme en la mezcla con ayuda de una espátula.



*Figura 29.* Mezcla de suelo simulado. Interacción suelo – suelo.

Fuente: Autores.

### 3. Ubicación de la muestra en la respectiva caja de corte

A continuación, se realiza el llenado de la caja con la mezcla en tres capas aproximadamente iguales, teniendo en cuenta que en cada capa se compacta con un pistón para proceder a ejecutar el ensayo respectivo.



*Figura 30.* Colocación del material en la caja circular de corte. Interacción suelo – suelo.  
Fuente: Autores.

### 4. Asegurar la caja de corte en la maquina

En seguida, se fija la caja de corte en la máquina, ajustando los tornillos para que esta quede fija y no represente alguna alteración en los datos obtenidos.



*Figura 31.* Ubicación de la caja de corte en la máquina. Interacción suelo – suelo.  
Fuente: Autores.

### 5. Instalar la carga respectiva en el brazo de la maquina

Se coloca la carga correspondiente según el esfuerzo normal inicial de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.0 \text{ kg/cm}^2$ . Se aplica dicha carga en la caja de corte con la muestra estudiada.



*Figura 32.* Carga en el brazo de la máquina. Interacción suelo – suelo.

Fuente: Autores.

6. Adecuar el deformímetro vertical y horizontal

Con la finalidad de evitar cargas negativas, se ajusta de manera manual el deformímetro de tal forma que quede fija y evite estos errores en los datos.

7. Se procede a dar inicio al ensayo de corte directo

8. Toma de datos obtenidos registrados en la máquina

Después de terminado el ensayo, se procede a registrar los datos mediante fotografías para procesarlos en una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

9. Separación de la muestra de ensayo de la caja de corte



*Figura 33.* Resultados por cada esfuerzo normal inicial. Interacción suelo – suelo.  
Fuente: Autores.

<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)</b>		CODIGO	PER-FT-03
		VERSION	0
		FECHA	1/11/2015

<b>CLIENTE:</b> Angelica Yineh Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa	<b>FECHA:</b> 01/14/2020
<b>PROYECTO:</b> Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá	<b>SONDEO:</b>
<b>LOCALIZACIÓN:</b> Bogotá D.C	<b>MUESTRA:</b> 24
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Simulación de suelo limo - arenoso mediante la mezcla de arena, bentonita sódica y aceite Shell Omala 220.	<b>PROFUNDIDAD (m):</b>

DIMENSIONES			CONTENIDO DE HUMEDAD			CARACTERÍSTICAS INICIALES		
Diámetro, D	(cm)	5.000	HUMEDAD	INICIAL	FINAL	Peso Unit. Total, $g_T$	( $g/cm^3$ )	1.74
Altura, H	(cm)	2.15	Recip. No			Peso Unit. Seco, $g_d$	( $g/cm^3$ )	
Área, A	( $cm^2$ )	19.63	$W_{r=mb}$ (g)			<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>		
Volumen, V	( $cm^3$ )	42.22	$W_{r=ms}$ (g)			Tipo de muestra	Inalterada	
Peso del anillo, $W_a$	(g)	134.55	$W_{r=ms}$ (g)			Compactada	X	
Peso del anillo+Suelo, W	(g)	207.82	$W_{r=ms}$ (g)			Fallado en condición	Humedad natural	X
Peso del Suelo, W	(g)	73.27	$W_{r=ms}$ (g)			Inundado		
Carga Normal, $P_n$	(kg)	10.00	w (%)			Velocidad del ensayo(mm/min)	0.100	
Esfuerzo Normal, $s$	( $kg/cm^2$ )	0.51	ETAPA CONSOLIDACION			Tipo de ensayo		
			Def. Inicial (mm)	0.000		No consolidado no drenado (UU)		
			Def. final (mm)	0.000		Consolidado no drenado (CU)		
						Consolidado drenado (CD)	X	

Tiempo	Lectura de celda (kg)	Deformímetro Horizontal (mm)	Deformímetro Vertical (mm)	Fuerza Cortante (kg)	Área corregida ( $cm^2$ )	Esfuerzo Normal, s ( $kg/cm^2$ )	Esfuerzo Cortante, t ( $kg/cm^2$ )	t/s	Def. Vert. DV/V (%)
0:00	0	0	0.000	0.00	19.63	0.51	0.00	0.00	0.00
0:01:05	2.68	0.203		2.68	19.53	0.51	0.14	0.27	
0:02:01	3.96	0.407		3.96	19.43	0.51	0.20	0.40	
0:02:53	5.24	0.609		5.24	19.33	0.52	0.27	0.52	
0:03:44	6.28	0.811		6.28	19.23	0.52	0.33	0.63	
0:04:36	7.21	1.013		7.21	19.13	0.52	0.38	0.72	
0:05:28	7.93	1.215		7.93	19.03	0.53	0.42	0.79	
0:06:20	8.44	1.417		8.44	18.93	0.53	0.45	0.84	
0:07:13	8.80	1.621		8.80	18.82	0.53	0.47	0.88	
0:08:03	9.07	1.825		9.07	18.72	0.53	0.48	0.91	
0:08:54	9.30	2.028		9.30	18.62	0.54	0.50	0.93	
0:09:44	9.42	2.231		9.42	18.52	0.54	0.51	0.94	
0:10:35	9.58	2.434		9.58	18.42	0.54	0.52	0.96	
0:11:25	9.78	2.637		9.78	18.32	0.55	0.53	0.98	
0:12:17	9.90	2.839		9.90	18.22	0.55	0.54	0.99	
0:13:09	9.99	3.042		9.99	18.11	0.55	0.55	1.00	
0:14:01	10.03	3.245		10.03	18.01	0.56	0.56	1.00	
0:14:53	10.06	3.447		10.06	17.91	0.56	0.56	1.01	
0:15:46	10.12	3.652		10.12	17.81	0.56	0.57	1.01	
0:16:43	10.11	3.871		10.11	17.70	0.56	0.57	1.01	
0:17:35	10.11	4.073		10.11	17.60	0.57	0.57	1.01	
0:18:27	10.11	4.276		10.11	17.50	0.57	0.58	1.01	
0:19:17	10.09	4.477		10.09	17.40	0.57	0.58	1.01	
0:20:08	10.04	4.679		10.04	17.30	0.58	0.58	1.00	
0:20:59	10.09	4.882		10.09	17.19	0.58	0.59	1.01	
0:21:51	10.07	5.084		10.07	17.09	0.59	0.59	1.01	
0:22:43	10.03	5.285		10.03	16.99	0.59	0.59	1.00	
0:23:35	9.99	5.488		9.99	16.89	0.59	0.59	1.00	
0:24:27	9.94	5.69		9.94	16.79	0.60	0.59	0.99	
0:25:18	9.93	5.892		9.93	16.69	0.60	0.60	0.99	
0:00:00	9.94	6.083		9.94	16.59	0.60	0.60	0.99	
0:00:50	9.93	6.285		9.93	16.49	0.61	0.60	0.99	
0:01:40	10.00	6.487		10.00	16.39	0.61	0.61	1.00	
0:02:29	10.00	6.69		10.00	16.29	0.61	0.61	1.00	
0:03:19	10.03	6.892		10.03	16.19	0.62	0.62	1.00	
0:04:09	10.05	7.094		10.05	16.09	0.62	0.62	1.01	

## OBSERVACIONES

---



---



---

ELABORÓ	REVISÓ
Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA	Nombre:
Cargo: TECNICO LABORATORISTA	Cargo: ING GEOTECNISTA

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)

CODIGO	PER-FT-03
VERSION	0
FECHA	1/11/2015

CLIENTE:	Angélica Yineh Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa	FECHA:	01/14/2020
PROYECTO:	Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá	SONDEO:	
LOCALIZACIÓN:	Bogotá D.C	MUESTRA:	24
DESCRIPCIÓN:	Simulación de suelo limo - arenoso mediante la mezcla de arena, bentonita sódica y aceite Shell Omala 220.	PROFUNDIDAD (m):	

DIMENSIONES		CONTENIDO DE HUMEDAD			CARACTERÍSTICAS INICIALES			
Diámetro, D	(cm)	5.00	HUMEDAD INICIAL	FINAL	Peso Unit. Total, $\gamma_T$	( $g/cm^3$ )	1.74	
Altura, H	(cm)	2.15	Recip. No		Peso Unit. Seco, $\gamma_d$	( $g/cm^3$ )		
Área, A	( $cm^2$ )	19.63	$W_{r+mh}$ (g)		CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO			
Volumen, V	( $cm^3$ )	42.22	$W_{r+ms}$ (g)		Tipo de muestra:	Inalterada		
Peso del anillo, $W_a$	(g)	134.55	$W_{rd}$ (g)			Compactada	X	
Peso del anillo+Suelo, W	(g)	207.82	w (%)		Fallado en condición	Humedad natural	X	
Peso del Suelo, W	(g)	73.27				Inundado		
Carga Normal, $P_n$	(kg)	20.00			Velocidad del ensayo (mm/min)			0.100
Esfuerzo Normal, $s$	( $kg/cm^2$ )	1.02				No consolidado no drenado (UU)		
			ETAPA CONSOLIDACION	Def. Inicial (mm)		Consolidado no drenado (CU)		
			N	Def. final (mm)		Consolidado drenado (CD)	X	

Tiempo	Lectura de celda (kg)	Deformímetro Horizontal (mm)	Deformímetro Vertical (mm)	Fuerza Cortante (kg)	Área corregida ( $cm^2$ )	Esfuerzo Normal, s ( $kg/cm^2$ )	Esfuerzo Cortante, t ( $kg/cm^2$ )	t/s	Def. Vert. DV/V (%)
0:00	0	0	0.000	0.00	19.63	1.02	0.00	0.00	0.00
0:01:14	4.22	0.202		4.22	19.53	1.02	0.22	0.21	
0:02:10	7.28	0.405		7.28	19.43	1.03	0.37	0.36	
0:03:06	9.14	0.608		9.14	19.33	1.03	0.47	0.46	
0:04:01	10.86	0.81		10.86	19.23	1.04	0.56	0.54	
0:04:54	12.38	1.012		12.38	19.13	1.05	0.65	0.62	
0:05:49	13.68	1.214		13.68	19.03	1.05	0.72	0.68	
0:06:45	14.62	1.418		14.62	18.93	1.06	0.77	0.73	
0:07:39	15.67	1.62		15.67	18.82	1.06	0.83	0.78	
0:08:34	16.45	1.823		16.45	18.72	1.07	0.88	0.82	
0:09:29	17.15	2.026		17.15	18.62	1.07	0.92	0.86	
0:10:23	17.72	2.228		17.72	18.52	1.08	0.96	0.89	
0:11:18	18.06	2.431		18.06	18.42	1.09	0.98	0.90	
0:12:12	18.37	2.634		18.37	18.32	1.09	1.00	0.92	
0:13:05	18.81	2.837		18.81	18.22	1.10	1.03	0.94	
0:13:58	19.16	3.039		19.16	18.12	1.10	1.06	0.96	
0:14:48	19.36	3.242		19.36	18.01	1.11	1.07	0.97	
0:15:39	19.54	3.444		19.54	17.91	1.12	1.09	0.98	
0:16:28	19.59	3.646		19.59	17.81	1.12	1.10	0.98	
0:17:18	19.61	3.849		19.61	17.71	1.13	1.11	0.98	
0:18:07	19.57	4.052		19.57	17.61	1.14	1.11	0.98	
0:18:58	19.54	4.253		19.54	17.51	1.14	1.12	0.98	
0:19:48	19.34	4.456		19.34	17.41	1.15	1.11	0.97	
0:20:40	19.22	4.658		19.22	17.31	1.16	1.11	0.96	
0:21:31	19.03	4.86		19.03	17.20	1.16	1.11	0.95	
0:22:22	18.98	5.063		18.98	17.10	1.17	1.11	0.95	
0:23:12	18.87	5.264		18.87	17.00	1.18	1.11	0.94	
0:24:01	18.91	5.466		18.91	16.90	1.18	1.12	0.95	
0:24:51	18.95	5.668		18.95	16.80	1.19	1.13	0.95	
0:25:41	18.81	5.87		18.81	16.70	1.20	1.13	0.94	
0:26:25	18.73	6.074		18.73	16.60	1.20	1.13	0.94	
0:27:14	18.80	6.276		18.80	16.50	1.21	1.14	0.94	
0:28:04	18.68	6.477		18.68	16.40	1.22	1.14	0.93	
0:28:54	18.55	6.68		18.55	16.29	1.23	1.14	0.93	
0:29:45	18.59	6.881		18.59	16.19	1.23	1.15	0.93	
0:00:24	18.55	7.089		18.55	16.09	1.24	1.15	0.93	
0:01:11	18.40	7.291		18.40	15.99	1.25	1.15	0.92	

## OBSERVACIONES

---



---



---

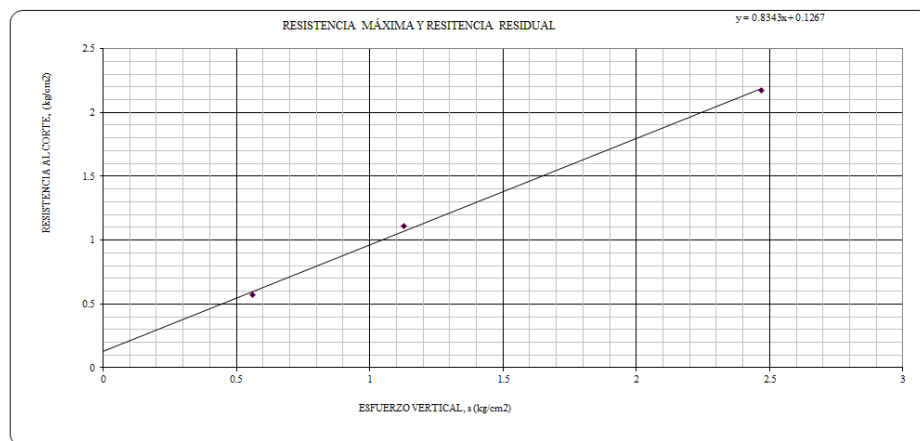
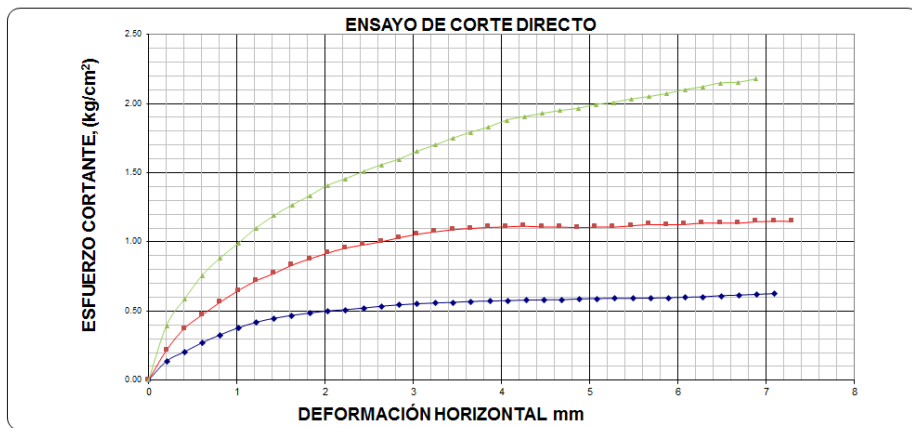
ELABORÓ	REVISÓ
Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA	Nombre:
Cargo: TECNICO LABORATORISTA	Cargo: ING GEOTECNISTA



## ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)

CODIGO	PER-FT-03
VERSION	0
FECHA	1/11/2015

<b>CLIENTE:</b> Angélica Yineith Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa <b>PROYECTO:</b> Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá <b>LOCALIZACIÓN:</b> Bogotá D.C.	<b>FECHA:</b> 01/14/2020 <b>SONDEO:</b> <b>MUESTRA:</b> 24 <b>PROFUNDIDAD (m):</b>
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Simulación de suelo limo - arenoso mediante la mezcla de arena, bentonita sódica y aceite Shell Omala 220.	



ÁNGULO DE FRICCIÓN,  $\phi$  39.8 °
COHESIÓN , C' 0.127 kg/cm<sup>2</sup>  
 ÁNGULO DE FRICCIÓN RESIDUAL,  $\phi_r$  \_\_\_\_\_ °
COHESIÓN RESIDUAL , C'r \_\_\_\_\_ kg/cm<sup>2</sup>

**OBSERVACIONES**

---



---



---

<b>ELABORÓ</b>	<b>REVISÓ</b>
Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA	Nombre:
Cargo: TECNICO LABORATORISTA	Cargo: ING GEOTECNISTA
Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.	

**Anexo C: Corte directo suelo - yeso**

## Procedimiento de la realización del ensayo de corte directo entre el suelo – yeso

### 1. Construcción de las placas de yeso

Para la construcción de las placas de yeso se inició con el diseño de las formaletas de las placas circulares, en donde se decidió que se fundiría en la caja de corte de la máquina, considerando la mitad del espesor de esta. En seguida se procedió a realizar la mezcla con la relación más favorable de agua/yeso la cual es de 0.4 y se construyeron tres placas de yeso para cada esfuerzo normal inicial de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.0 \text{ kg/cm}^2$ .



*Figura 34.* Preparación de la placa circular de yeso.

Fuente: Autores.

### 2. Mezcla de materiales para preparación del suelo

Como se indicó anteriormente en el ensayo de corte directo en el suelo se mezcla de manera homogénea la arena de río y la bentonita sódica, posteriormente se agrega el aceite Shell Omala 220 hasta conseguir una consistencia uniforme en la mezcla con ayuda de una espátula. Teniendo en cuenta que el suelo está en condiciones similares al utilizado en el modelo que se construye en la caja.

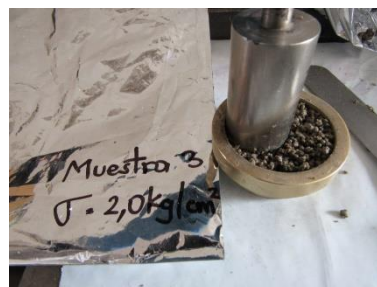
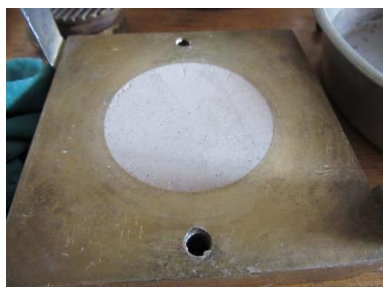


*Figura 35.* Mezcla de suelo simulado. Interacción suelo – yeso.

Fuente: Autores.

### 3. Ubicación de los elementos en la caja de corte

A continuación, El primer elemento para ubicar en la caja de corte es la placa de yeso que se debe lijar adecuadamente para no generar errores y posibles fallas técnicas en la máquina al no generar la adecuada fricción entre el yeso y el suelo. Posteriormente, se realiza el llenado de la mitad restante del espesor de la caja con la mezcla en dos capas aproximadamente iguales, teniendo en cuenta que en cada capa se compacta con un pistón para proceder a ejecutar el ensayo respectivo.



*Figura 36.* Colocación del material en la caja circular de corte. Interacción suelo – yeso.

Fuente: Autores.

### 4. Asegurar la caja de corte en la máquina

En seguida, se fija la caja de corte en la máquina, ajustando los tornillos para que esta quede fija y no represente alguna alteración en los datos obtenidos.



*Figura 37.* Ubicación de la caja de corte en la máquina. Interacción suelo – yeso.

Fuente: Autores.

5. Instalar la carga respectiva en el brazo de la maquina

Se coloca la carga correspondiente según el esfuerzo normal inicial de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.0 \text{ kg/cm}^2$ , las cuales son las mismas cargas que el ensayo de corte directo del suelo. Se aplica dicha carga en la caja de corte con la interacción existente entre el suelo y la estructura.



*Figura 38.* Carga en el brazo de la máquina. Interacción suelo – yeso.

Fuente: Autores.

6. Adecuar el deformímetro vertical y horizontal

Con la finalidad de evitar cargas negativas, se ajusta de manera manual el deformímetro de tal forma que quede fija y evite estos errores en los datos.

7. Se procede a dar inicio al ensayo de corte directo
8. Toma de datos obtenidos registrados en la maquina

Después de terminado el ensayo, se procede a registrar los datos mediante fotografías para procesarlos en una hoja de cálculo en Microsoft Excel.

9. Separación de la muestra de ensayo de la caja de corte



---

*Figura 39.* Resultados por cada esfuerzo normal inicial. Interacción suelo – yeso.  
Fuente: Autores.

<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)</b>		CODIGO	PER-FT-03
		VERSION	0
		FECHA	1/11/2015
<b>CLIENTE:</b> Angélica Yimeth Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa		<b>FECHA:</b> 01/14/2020	
<b>PROYECTO:</b> Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá		<b>SONDEO:</b>	
<b>LOCALIZACIÓN:</b> Bogotá D.C		<b>MUESTRA:</b> 24	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Interacción entre la simulación de suelo limo - arenoso y el yeso.		<b>PROFUNDIDAD (m):</b>	

DIMENSIONES		
Diámetro, D	(cm)	5.000
Altura, H	(cm)	1.10
Área, A	(cm <sup>2</sup> )	<u>19.63</u>
Volumen, V	(cm <sup>3</sup> )	<u>21.60</u>
Peso del anillo, Wa	(g)	134.55
Peso del anillo+Suelo, W	(g)	172.19
Peso del Suelo, W	(g)	37.64
Carga Normal, P <sub>n</sub>	(kg)	10.00
Esfuerzo Normal, s	(kg/cm <sup>2</sup> )	<u>0.51</u>

CONTENIDO DE HUMEDAD		
HUMEDAD	INICIAL	FINAL
Recip. No		
W <sub>±mh</sub> , (g)		
W <sub>±ms</sub> , (g)		
W <sub>ti</sub> , (g)		
w (%)		

CARACTERÍSTICAS INICIALES		
Peso Unit. Total, g <sub>T</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	<u>1.74</u>
Peso Unit. Seco, g <sub>d</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO		
Tipo de muestra	Inalterada	
	Compactada	X
Fallado en condición	Humedad natural	X
	Inundado	
Velocidad del ensayo(mm/min)		0.100
Tipo de ensayo	No consolidado no drenado (UU)	
	Consolidado no drenado (CU)	
	Consolidado drenado (CD)	X

ETAPA CONSOLIDACION	Def. Inicial (mm)	0.000
N	Def. final (mm)	0.000

Tiempo	Lectura de celda (kg)	Deformimetro Horizontal (mm)	Deformimetro Vertical (mm)	Fuerza Cortante (kg)	Área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal, s (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Cortante, t (kg/cm <sup>2</sup> )	t/s	Def. Vert. DV/V (%)
0:00	0	0	0.000	<u>0.00</u>	<u>19.63</u>	<u>0.51</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
0:01:30	4.60	0.202		<u>4.60</u>	<u>19.53</u>	<u>0.51</u>	<u>0.24</u>	<u>0.46</u>	
0:02:26	7.29	0.405		<u>7.29</u>	<u>19.43</u>	<u>0.51</u>	<u>0.38</u>	<u>0.73</u>	
0:03:21	8.82	0.607		<u>8.82</u>	<u>19.33</u>	<u>0.52</u>	<u>0.46</u>	<u>0.88</u>	
0:04:16	9.49	0.808		<u>9.49</u>	<u>19.23</u>	<u>0.52</u>	<u>0.49</u>	<u>0.95</u>	
0:05:07	9.32	1.01		<u>9.32</u>	<u>19.13</u>	<u>0.52</u>	<u>0.49</u>	<u>0.93</u>	
0:06:00	9.12	1.213		<u>9.12</u>	<u>19.03</u>	<u>0.53</u>	<u>0.48</u>	<u>0.91</u>	
0:06:51	9.10	1.417		<u>9.10</u>	<u>18.93</u>	<u>0.53</u>	<u>0.48</u>	<u>0.91</u>	
0:07:41	9.14	1.62		<u>9.14</u>	<u>18.82</u>	<u>0.53</u>	<u>0.49</u>	<u>0.91</u>	
0:08:32	9.02	1.824		<u>9.02</u>	<u>18.72</u>	<u>0.53</u>	<u>0.48</u>	<u>0.90</u>	
0:09:21	8.96	2.027		<u>8.96</u>	<u>18.62</u>	<u>0.54</u>	<u>0.48</u>	<u>0.90</u>	
0:10:10	8.81	2.23		<u>8.81</u>	<u>18.52</u>	<u>0.54</u>	<u>0.48</u>	<u>0.88</u>	
0:10:59	8.79	2.433		<u>8.79</u>	<u>18.42</u>	<u>0.54</u>	<u>0.48</u>	<u>0.88</u>	
0:11:50	8.83	2.636		<u>8.83</u>	<u>18.32</u>	<u>0.55</u>	<u>0.48</u>	<u>0.88</u>	
0:12:41	8.95	2.839		<u>8.95</u>	<u>18.22</u>	<u>0.55</u>	<u>0.49</u>	<u>0.90</u>	
0:13:33	9.08	3.042		<u>9.08</u>	<u>18.11</u>	<u>0.55</u>	<u>0.50</u>	<u>0.91</u>	
0:14:24	9.06	3.245		<u>9.06</u>	<u>18.01</u>	<u>0.56</u>	<u>0.50</u>	<u>0.91</u>	
0:15:16	8.89	3.449		<u>8.89</u>	<u>17.91</u>	<u>0.56</u>	<u>0.50</u>	<u>0.89</u>	
0:16:07	8.86	3.651		<u>8.86</u>	<u>17.81</u>	<u>0.56</u>	<u>0.50</u>	<u>0.89</u>	
0:16:58	9.12	3.853		<u>9.12</u>	<u>17.71</u>	<u>0.56</u>	<u>0.52</u>	<u>0.91</u>	
0:17:49	9.11	4.056		<u>9.11</u>	<u>17.61</u>	<u>0.57</u>	<u>0.52</u>	<u>0.91</u>	
0:18:39	9.19	4.258		<u>9.19</u>	<u>17.51</u>	<u>0.57</u>	<u>0.52</u>	<u>0.92</u>	
0:19:29	9.15	4.461		<u>9.15</u>	<u>17.40</u>	<u>0.57</u>	<u>0.53</u>	<u>0.92</u>	
0:20:19	9.05	4.663		<u>9.05</u>	<u>17.30</u>	<u>0.58</u>	<u>0.52</u>	<u>0.91</u>	
0:21:09	9.20	4.865		<u>9.20</u>	<u>17.20</u>	<u>0.58</u>	<u>0.53</u>	<u>0.92</u>	
0:22:00	9.13	5.068		<u>9.13</u>	<u>17.10</u>	<u>0.58</u>	<u>0.53</u>	<u>0.91</u>	
0:22:50	8.90	5.27		<u>8.90</u>	<u>17.00</u>	<u>0.59</u>	<u>0.52</u>	<u>0.89</u>	
0:23:41	8.76	5.472		<u>8.76</u>	<u>16.90</u>	<u>0.59</u>	<u>0.52</u>	<u>0.88</u>	
0:24:33	8.83	5.675		<u>8.83</u>	<u>16.80</u>	<u>0.60</u>	<u>0.53</u>	<u>0.88</u>	
0:25:23	8.64	5.876		<u>8.64</u>	<u>16.70</u>	<u>0.60</u>	<u>0.52</u>	<u>0.86</u>	
0:26:13	8.52	6.078		<u>8.52</u>	<u>16.60</u>	<u>0.60</u>	<u>0.51</u>	<u>0.85</u>	

**OBSERVACIONES**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ELABORÓ	REVISÓ
Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA	Nombre:
Cargo: TECNICO LABORATORISTA	Cargo: ING GEOTECNISTA

<b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)</b>		CODIGO	PER-FT-03
		VERSION	0
		FECHA	1/11/2015
CLIENTE:	Angélica Yineh Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa		FECHA: 01/14/2020
PROYECTO:	Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá		SONDEO: 0
LOCALIZACIÓN:	Bogotá D.C		MUESTRA: 24
DESCRIPCIÓN:	Interacción entre la simulación de suelo limo - arenoso y el yeso.		PROFUNDIDAD (m): 0

DIMENSIONES		CONTENIDO DE HUMEDAD		CARACTERÍSTICAS INICIALES		
Diámetro, D	(cm)	5.00		Peso Unit. Total, $\rho_r$	(g/cm <sup>3</sup> )	1.75
Altura, H	(cm)	1.10		Peso Unit. Seco, $\rho_d$	(g/cm <sup>3</sup> )	
Área, A	(cm <sup>2</sup> )	19.63		<b>CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO</b>		
Volumen, V	(cm <sup>3</sup> )	21.60		Tipo de muestra	Inalterada	
Peso del anillo, $W_a$	(g)	134.55			Compactada	X
Peso del anillo+Suelo, W	(g)	172.34		Fallado en condición	Humedad natural	X
Peso del Suelo, W	(g)	37.79			Inundado	
Carga Normal, $P_n$	(kg)	20.00		Velocidad del ensayo (mm/min)		0.100
Esfuerzo Normal, s	(kg/cm <sup>2</sup> )	1.02		Tipo de ensayo	No consolidado no drenado (UU)	
					Consolidado no drenado (CU)	
					Consolidado drenado (CD)	X

ETAPA CONSOLIDACION	Def. Inicial (mm)	Def. final (mm)										
N			Tempo	Lectura de celda (kg)	Deformimetro Horizontal (mm)	Deformimetro Vertical (mm)	Fuerza Cortante (kg)	Área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal, s (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Cortante, t (kg/cm <sup>2</sup> )	t/s	Def. Vert. Dv/V (%)
0:00	0	0.000	0:00	0	0	0.000	0.00	19.63	1.02	0.00	0.00	0.00
0:00:33	5.86	0.209	0:00:33	5.86	0.209		5.86	19.53	1.02	0.30	0.29	
0:01:33	8.32	0.411	0:01:33	8.32	0.411		8.32	19.43	1.03	0.43	0.42	
0:02:29	10.49	0.613	0:02:29	10.49	0.613		10.49	19.33	1.03	0.54	0.52	
0:03:22	11.61	0.816	0:03:22	11.61	0.816		11.61	19.23	1.04	0.60	0.58	
0:04:14	12.80	1.017	0:04:14	12.80	1.017		12.80	19.13	1.05	0.67	0.64	
0:05:06	13.62	1.219	0:05:06	13.62	1.219		13.62	19.03	1.05	0.72	0.68	
0:06:01	14.39	1.421	0:06:01	14.39	1.421		14.39	18.92	1.06	0.76	0.72	
0:06:54	14.90	1.624	0:06:54	14.90	1.624		14.90	18.82	1.06	0.79	0.75	
0:07:46	14.89	1.826	0:07:46	14.89	1.826		14.89	18.72	1.07	0.80	0.74	
0:08:39	15.01	2.029	0:08:39	15.01	2.029		15.01	18.62	1.07	0.81	0.75	
0:09:29	15.06	2.231	0:09:29	15.06	2.231		15.06	18.52	1.08	0.81	0.75	
0:10:20	14.91	2.434	0:10:20	14.91	2.434		14.91	18.42	1.09	0.81	0.75	
0:11:10	14.89	2.638	0:11:10	14.89	2.638		14.89	18.32	1.09	0.81	0.74	
0:12:00	14.85	2.841	0:12:00	14.85	2.841		14.85	18.21	1.10	0.82	0.74	
0:12:51	14.77	3.044	0:12:51	14.77	3.044		14.77	18.11	1.10	0.82	0.74	
0:13:41	14.80	3.247	0:13:41	14.80	3.247		14.80	18.01	1.11	0.82	0.74	
0:14:33	14.71	3.449	0:14:33	14.71	3.449		14.71	17.91	1.12	0.82	0.74	
0:15:23	14.62	3.651	0:15:23	14.62	3.651		14.62	17.81	1.12	0.82	0.73	
0:16:14	14.66	3.854	0:16:14	14.66	3.854		14.66	17.71	1.13	0.83	0.73	
0:17:05	14.60	4.057	0:17:05	14.60	4.057		14.60	17.61	1.14	0.83	0.73	
0:17:57	14.57	4.26	0:17:57	14.57	4.26		14.57	17.50	1.14	0.83	0.73	
0:18:48	14.49	4.462	0:18:48	14.49	4.462		14.49	17.40	1.15	0.83	0.72	
0:19:39	14.47	4.663	0:19:39	14.47	4.663		14.47	17.30	1.16	0.84	0.72	
0:20:29	14.61	4.866	0:20:29	14.61	4.866		14.61	17.20	1.16	0.85	0.73	
0:21:18	14.60	5.067	0:21:18	14.60	5.067		14.60	17.10	1.17	0.85	0.73	
0:22:08	14.62	5.269	0:22:08	14.62	5.269		14.62	17.00	1.18	0.86	0.73	
0:22:59	14.34	5.473	0:22:59	14.34	5.473		14.34	16.90	1.18	0.85	0.72	
0:23:51	14.41	5.674	0:23:51	14.41	5.674		14.41	16.80	1.19	0.86	0.72	
0:24:43	14.33	5.877	0:24:43	14.33	5.877		14.33	16.70	1.20	0.86	0.72	
0:25:36	14.47	6.078	0:25:36	14.47	6.078		14.47	16.60	1.21	0.87	0.72	
0:26:29	14.48	6.28	0:26:29	14.48	6.28		14.48	16.49	1.21	0.88	0.72	
0:27:21	14.50	6.482	0:27:21	14.50	6.482		14.50	16.39	1.22	0.88	0.73	

## OBSERVACIONES

---



---



---

ELABORÓ	REVISÓ
Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA	Nombre:
Cargo: TECNICO LABORATORISTA	Cargo: ING GEOTECNISTA

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)

CODIGO

PER-FT-03

VERSION

0

FECHA

1/11/2015

**CLIENTE:** Angélica Yineth Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa

**PROYECTO:** Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá

**FECHA:** 01/14/2020

**LOCALIZACIÓN:** Bogotá D.C

**SONDEO:**
**DESCRIPCIÓN:** Interacción entre la simulación de suelo limo - arenoso y el yeso.

**MUESTRA:** 24

**PROFUNDIDAD (m):**

DIMENSIONES		
Diámetro, D	(cm)	5.00
Altura, H	(cm)	1.10
Área, A	(cm <sup>2</sup> )	<u>19.63</u>
Volumen, V	(cm <sup>3</sup> )	<u>21.60</u>
Peso del anillo, W <sub>a</sub>	(g)	134.55
Peso del anillo+Suelo, W	(g)	172.27
Peso del Suelo, W <sub>s</sub>	(g)	37.72
Carga Normal, P <sub>n</sub>	(kg)	40.00
Esfuerzo Normal, s	(kg/cm <sup>2</sup> )	<u>2.04</u>

CONTENIDO DE HUMEDAD		
HUMEDAD	INICIAL	FINAL
Recip. No		
W <sub>r+mh</sub> (g)		
W <sub>r+ms</sub> (g)		
W <sub>d1</sub> (g)		
w (%)		
ETAPA CONSOLIDACION		
N	Def. Inicial (mm)	
	Def. final (mm)	

CARACTERÍSTICAS INICIALES		
Peso Unit. Total, g <sub>T</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	<u>1.75</u>
Peso Unit. Seco, g <sub>d</sub>	(g/cm <sup>3</sup> )	
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO		
Tipo de muestra	Inalterada	
	Compactada	X
Fallado en condición	Humedad natural	X
	Inundado	
Velocidad del ensayo (mm/min)		0.1000
Tipo de ensayo	No consolidado no drenado (UU)	
	Consolidado no drenado (CU)	
	Consolidado drenado (CD)	X

Tiempo	Lectura de celda (kg)	Deformímetro Horizontal (mm)	Deformímetro Vertical (mm)	Fuerza Cortante (kg)	Área corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal, s (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Cortante, t (kg/cm <sup>2</sup> )	t/s	Def. Vert. DV/V (%)
0:00	0	0	0.000	<u>0.00</u>	<u>19.63</u>	<u>2.04</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>	<u>0.00</u>
0:01:03	7.72	0.202		<u>7.72</u>	<u>19.53</u>	<u>2.05</u>	<u>0.40</u>	<u>0.19</u>	
0:02:02	12.73	0.408		<u>12.73</u>	<u>19.43</u>	<u>2.06</u>	<u>0.66</u>	<u>0.32</u>	
0:03:03	16.48	0.61		<u>16.48</u>	<u>19.33</u>	<u>2.07</u>	<u>0.85</u>	<u>0.41</u>	
0:03:58	19.44	0.811		<u>19.44</u>	<u>19.23</u>	<u>2.08</u>	<u>1.01</u>	<u>0.49</u>	
0:04:52	21.30	1.013		<u>21.30</u>	<u>19.13</u>	<u>2.09</u>	<u>1.11</u>	<u>0.53</u>	
0:05:44	22.78	1.216		<u>22.78</u>	<u>19.03</u>	<u>2.10</u>	<u>1.20</u>	<u>0.57</u>	
0:06:36	24.02	1.42		<u>24.02</u>	<u>18.92</u>	<u>2.11</u>	<u>1.27</u>	<u>0.60</u>	
0:07:27	25.13	1.623		<u>25.13</u>	<u>18.82</u>	<u>2.13</u>	<u>1.34</u>	<u>0.63</u>	
0:08:19	25.93	1.825		<u>25.93</u>	<u>18.72</u>	<u>2.14</u>	<u>1.38</u>	<u>0.65</u>	
0:09:10	26.29	2.028		<u>26.29</u>	<u>18.62</u>	<u>2.15</u>	<u>1.41</u>	<u>0.66</u>	
0:10:02	26.54	2.232		<u>26.54</u>	<u>18.52</u>	<u>2.16</u>	<u>1.43</u>	<u>0.66</u>	
0:10:54	26.84	2.434		<u>26.84</u>	<u>18.42</u>	<u>2.17</u>	<u>1.46</u>	<u>0.67</u>	
0:11:45	26.87	2.636		<u>26.87</u>	<u>18.32</u>	<u>2.18</u>	<u>1.47</u>	<u>0.67</u>	
0:12:36	27.17	2.839		<u>27.17</u>	<u>18.22</u>	<u>2.20</u>	<u>1.49</u>	<u>0.68</u>	
0:13:27	26.93	3.042		<u>26.93</u>	<u>18.11</u>	<u>2.21</u>	<u>1.49</u>	<u>0.67</u>	
0:14:19	27.33	3.244		<u>27.33</u>	<u>18.01</u>	<u>2.22</u>	<u>1.52</u>	<u>0.68</u>	
0:00:00	27.44	3.443		<u>27.44</u>	<u>17.91</u>	<u>2.23</u>	<u>1.53</u>	<u>0.69</u>	
0:00:51	27.63	3.645		<u>27.63</u>	<u>17.81</u>	<u>2.25</u>	<u>1.55</u>	<u>0.69</u>	
0:01:43	27.57	3.852		<u>27.57</u>	<u>17.71</u>	<u>2.26</u>	<u>1.56</u>	<u>0.69</u>	
0:02:32	27.54	4.055		<u>27.54</u>	<u>17.61</u>	<u>2.27</u>	<u>1.56</u>	<u>0.69</u>	
0:03:21	27.20	4.256		<u>27.20</u>	<u>17.51</u>	<u>2.28</u>	<u>1.55</u>	<u>0.68</u>	
0:04:11	27.09	4.458		<u>27.09</u>	<u>17.41</u>	<u>2.30</u>	<u>1.56</u>	<u>0.68</u>	
0:05:02	26.82	4.66		<u>26.82</u>	<u>17.30</u>	<u>2.31</u>	<u>1.55</u>	<u>0.67</u>	
0:05:53	26.77	4.863		<u>26.77</u>	<u>17.20</u>	<u>2.33</u>	<u>1.56</u>	<u>0.67</u>	
0:06:44	26.94	5.065		<u>26.94</u>	<u>17.10</u>	<u>2.34</u>	<u>1.58</u>	<u>0.67</u>	
0:07:34	26.94	5.268		<u>26.94</u>	<u>17.00</u>	<u>2.35</u>	<u>1.58</u>	<u>0.67</u>	
0:08:25	27.10	5.469		<u>27.10</u>	<u>16.90</u>	<u>2.37</u>	<u>1.60</u>	<u>0.68</u>	
0:09:13	26.65	5.671		<u>26.65</u>	<u>16.80</u>	<u>2.38</u>	<u>1.59</u>	<u>0.67</u>	
0:10:02	26.47	5.874		<u>26.47</u>	<u>16.70</u>	<u>2.40</u>	<u>1.59</u>	<u>0.66</u>	
0:10:52	26.46	6.075		<u>26.46</u>	<u>16.60</u>	<u>2.41</u>	<u>1.59</u>	<u>0.66</u>	
0:11:42	26.22	6.277		<u>26.22</u>	<u>16.50</u>	<u>2.42</u>	<u>1.59</u>	<u>0.66</u>	
0:12:32	26.03	6.479		<u>26.03</u>	<u>16.40</u>	<u>2.44</u>	<u>1.59</u>	<u>0.65</u>	
0:13:23	26.17	6.681		<u>26.17</u>	<u>16.29</u>	<u>2.45</u>	<u>1.61</u>	<u>0.65</u>	
0:14:14	26.06	6.884		<u>26.06</u>	<u>16.19</u>	<u>2.47</u>	<u>1.61</u>	<u>0.65</u>	
0:15:03	25.64	7.086		<u>25.64</u>	<u>16.09</u>	<u>2.49</u>	<u>1.59</u>	<u>0.64</u>	
0:15:52	25.54	7.288		<u>25.54</u>	<u>15.99</u>	<u>2.50</u>	<u>1.60</u>	<u>0.64</u>	
0:16:42	25.48	7.49		<u>25.48</u>	<u>15.89</u>	<u>2.52</u>	<u>1.60</u>	<u>0.64</u>	
0:17:31	25.69	7.692		<u>25.69</u>	<u>15.79</u>	<u>2.53</u>	<u>1.63</u>	<u>0.64</u>	

ELABORÓ

Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA

REVISÓ

Nombre:

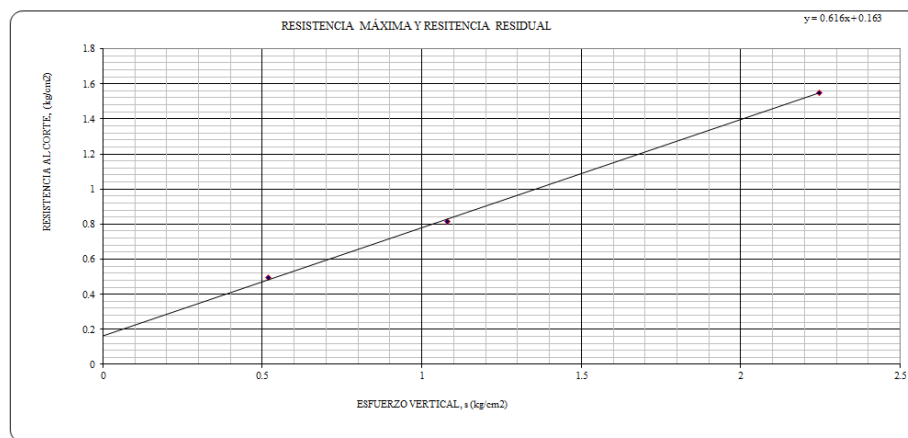
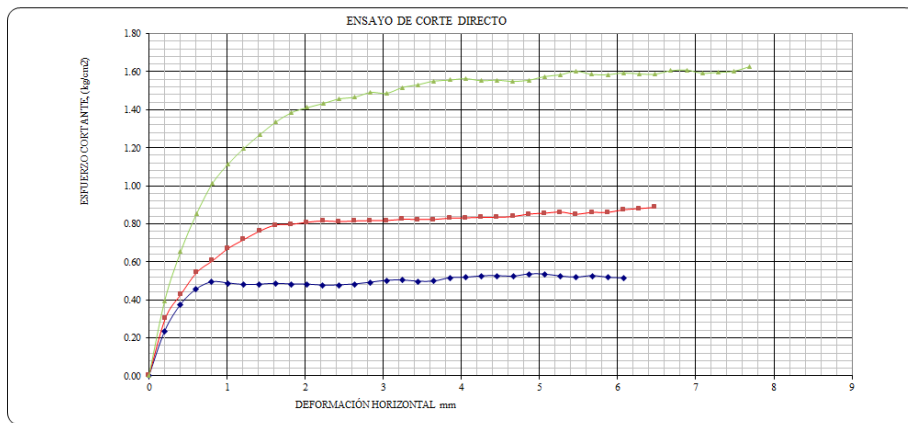
Cargo: TECNICO LABORATORISTA

Cargo: ING GEOTECNISTA

## ENSAYO DE CORTE DIRECTO - (NTC 1917-NTC 1967)

CODIGO	PER-FT-03
VERSION	0
FECHA	1/11/2015

<b>CLIENTE:</b> Angélica Yineth Romero Lizarazo - Sergio Alejandro Gómez Sosa <b>PROYECTO:</b> Construcción de la estructura placa - pilote a escala 1:30 para un suelo limo - arenoso ubicado en la sabana de Bogotá <b>LOCALIZACIÓN:</b> Bogotá D.C <b>DESCRIPCIÓN:</b> Interacción entre la simulación de suelo limo - arenoso y el yeso.	<b>FECHA:</b> 01/14/2020 <b>SONDEO:</b> <b>MUESTRA:</b> 24 <b>PROFUNDIDAD (m):</b>
---	---



ÁNGULO DE FRICCIÓN,  $\phi'$  31.6 °
COHESIÓN ,  $C'$  0.163  $\text{kg/cm}^2$   
 ÁNGULO DE FRICCIÓN RESIDUAL,  $\phi_r$  \_\_\_\_\_ °
COHESIÓN RESIDUAL ,  $C'_r$  \_\_\_\_\_  $\text{kg/cm}^2$

**OBSERVACIONES**

---



---



---

<b>ELABORÓ</b>	<b>REVISÓ</b>
Nombre: JUAN CARLOS SANCHEZ ZAPATA	Nombre: _____
Cargo: TECNICO LABORATORISTA	Cargo: ING GEOTECNISTA
Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.	