

EFFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN  
SUELOS ARENO – ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,  
NORTE DE SANTANDER



DANNA YARITZA FUENTES PEREZ  
DIANA SILEYDY SOLER ORTIZ

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL

2018

EFFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN  
SUELOS ARENO – ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,  
NORTE DE SANTANDER

DANNA YARITZA FUENTES PEREZ  
DIANA SILEYDY SOLER ORTIZ

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar por el título de: Ingeniero Civil

DIRECTOR  
ING. ELVING OLIVER NOGUERA ANDRADE

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS  
INGENIERÍA CIVIL

2018

NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

---

---

FIRMA PRESIDENTE DE JURADO

---

FIRMA DE JURADO

---

FIRMA DE JURADO

## Dedicatoria

A Dios. Por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado sabiduría y fortaleza para lograr cada objetivo, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Zoraida Pérez por ser la amiga y compañera que me ha ayudado a crecer, gracias por estar en todo momento conmigo. Quien con su hermoso ejemplo de honestidad y fortaleza me alienta siempre a ser una mejor persona, por su consejo y su apoyo incondicional que me fortalecieron y encaminaron mi vida, todo esto te lo debo a ti, te doy las gracias madre mía te amo.

A mi hermano Orlando por su apoyo y por ser parte de mi formación profesional por su comprensión y compañía, esto también te lo debo a ti.

A Cristian Prada, gracias por permitirme formar parte de tu vida, por apoyarme en cada momento, gracias por aguantarme, por ser mi compañero de estudio, pero sobre todo gracias por enseñarme a creer en mí y motivarme a hacer las cosas de la mejor manera, gracias amor.

A nuestro asesor el ingeniero Oliver Noguera por brindarnos su apoyo y conocimientos, para la realización de esta investigación.

A mí misma, por superar con valor y esfuerzo cada uno de los momentos difíciles que se me presentaron a lo largo de este proceso y lograr este tan anhelado y deseado sueño de ser un Ingeniero Civil.

A nuestros compañeros, baluarte especial en cada cátedra y testigos silenciosos de nuestra formación.

DANNA FUENTES

A mi madre Socorro Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor y dedicación constante para que todos mis objetivos se puedan cumplir.

A mi padre Luciano. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante, por enseñarme que todo lo queremos se puede lograr con responsabilidad y dedicación

A mis hermanos y hermanas, Les agradezco no sólo por estar presente aportando buenas cosas a mi vida, sino por los grandes momentos de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado

A mi novio Javier Buelvas Por acompañarme a construir nuestros sueños por ser mi compañero de estudio, por ayudarme brindándome su apoyo incondicional en todo momento.

A nuestro asesor el ingeniero Oliver Noguera por brindarnos su apoyo y conocimientos, para la realización de esta investigación.

A mí misma, por superar con valor y esfuerzo cada uno de los momentos difíciles que se me presentaron a lo largo de este proceso y lograr este tan anhelado y deseado sueño de ser un Ingeniero Civil.

A nuestros compañeros, baluarte especial en cada catedra y testigos silenciosos de nuestra formación.

DIANA SOLER

## Agradecimientos

ING Manuel Contreras. (Director De Programa) Por su apoyo indirecto en el proceso de aprendizaje, sus correcciones, consejos y palabras, que en su momento fueron necesarias.

ING Víctor Hugo Vergel. (Director De Programa) Por su apoyo indirecto en el proceso de aprendizaje, consejos y palabras, que en su momento fueron necesarias.

ING. Oliver Noguera. Por ser nuestro director, Pues sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de esta investigación.

Al Batallón García Rovira por brindarnos el apoyo de realizar la investigación en sus instalaciones, al Sargento Galvis y el Sargento Ramírez, por su colaboración y apoyo para la realización de las prácticas de campo.

A la Universidad Francisco de Paula Santander por brindarnos las herramientas necesarias para ejecutar esta investigación, al ING Oscar Dallos por el inmenso apoyo y aportar gran parte de sus conocimientos.

Al ING de Francisco Geraldino Por su dirección en el área de sistematización de procesos informáticos en el producto de este documento.

A nuestros compañeros por ser parte fundamental de nuestra formación, por su apoyo y colaboración durante el desarrollo de la investigación.

A todos los profesores que contribuyeron a nuestra formación académica y profesional.

## Contenido

	<b>Págs.</b>
Resumen .....	I
Abstract .....	II
Introducción .....	III
Capítulo 1 Título .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
<i>1.1.1 Objetivo General</i> .....	<i>1</i>
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i> .....	<i>1</i>
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.4 GENERALIDADES DEL ESTUDIO .....	3
<i>1.4.1 Alcance y Condiciones del Estudio</i> .....	<i>3</i>
1.4.1.1 Alcance.....	3
1.4.1.2 Condiciones.....	3
Capítulo 2 Marco Referencial .....	4
2.1 ANTECEDENTES.....	4
2.2 MARCO TEÓRICO .....	5
2.3 MARCO CONTEXTUAL.....	6
<i>2.3.1 Ubicación del Estudio</i> .....	<i>6</i>
2.3.1.1 Extencion y altura sobre el nivel del mar.....	7
<i>2.3.2 Geología del Municipio</i> .....	<i>7</i>
2.3.2.1 Geología General .....	8
2.3.2.2 Precipitaciones. ....	9
2.3.2.3 Clima .....	10
2.3.2.4 Temperatura. ....	10
2.3.2.5 Humedad Relativa.....	11
2.3.2.6 Evaporación.....	11

2.4 MARCO LEGAL .....	12
2.5 MARCO CONCEPTUAL .....	13
Capítulo 3 Metodología.....	16
3.1 FASE 1. INVESTIGACIONES BIBLIOGRÁFICAS .....	16
3.2 FASE 2. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	16
3.3 ESTUDIO GEOTÉCNICO .....	17
3.3.1 <i>Elaboración de Apiques</i> .....	17
3.3.2 <i>Toma de muestras</i> .....	19
3.3.3 <i>Ensayos de Laboratorio</i> .....	19
3.4 ANÁLISIS DE DATOS.....	20
3.4.1 <i>Condiciones de humedad</i> .....	20
Capítulo 4 Cálculos, Resultados e Interpretación .....	22
4.1 ENSAYOS DE LABORATORIO .....	22
4.1.1 <i>Cálculos</i> .....	23
4.1.1.1 <i>Limites de Atterberg.</i> .....	23
4.1.1.2 <i>Relaciones gravimétricas y volumétricas.</i> .....	24
4.1.1.3 <i>Cálculos para obtener resultados de ensayo de contenido de humedad.</i> .....	26
4.1.1.4 <i>Cálculos para la obtención de datos del ensayo de permeabilidad cabeza</i> <i>constante.</i> .....	27
4.1.1.5 <i>Cálculos para la obtención de datos del ensayo de permeabilidad cabeza</i> <i>variable.</i> .....	28
4.1.1.6 <i>Cálculos para obtener los resultados de corte directo.</i> .....	30
4.2 RESULTADOS.....	30
4.2.1 <i>Ensayos Granulometría y Clasificación.</i> .....	30
4.2.2 <i>Ensayo Límites de Atterberg.</i> .....	30
4.2.3 <i>Ensayo Contenido de humedad.</i> .....	31
4.2.4 <i>Ensayo de Relaciones Gravimétricas y Volumétricas</i> .....	31
4.2.5 <i>Ensayo de permeabilidad cabeza constante, cabeza variable.</i> .....	32
4.2.6 <i>Ensayos de Corte Directo.</i> .....	33
4.2.6.1 <i>Ensayo de corte directo no drenado.</i> .....	33

4.2.6.2 Ensayo de corte directo drenado. ....	33
4.2.6.3 Obtención de la Resistencia .....	38
4.3 CONDICIONES DE HUMEDAD. ....	39
4.3.1 <i>Condiciones de Humedad Apique 1</i> .....	39
4.3.2 <i>Condiciones de Humedad Apique 2</i> .....	40
4.3.3 <i>Condiciones de Humedad Apique 3</i> .....	42
4.3.4 <i>Condiciones de Humedad Apique 4.</i> .....	43
Conclusiones y Recomendaciones .....	45
Referencias Bibliográficas .....	47
Apéndices .....	49

## Listado de Tablas

	Págs.
Tabla 1. Ensayos Realizados.....	19
Tabla 2. Coordenadas Cartesianas. ....	22
Tabla 3. Tipos de muestras.....	23
Tabla 4. Datos necesarios para determinar el limite líquido. ....	23
Tabla 5. Datos para determinar el límite plástico. ....	24
Tabla 6. Datos para determinar las relaciones gravimétricas y volumétricas. ....	25
Tabla 7. Datos para determinar el contenido de húmeda. ....	26
Tabla 8. Datos para determinar el coeficiente de permeabilidad. ....	27
Tabla 9. Datos a tener en cuenta para hallar el coeficiente de permeabilidad. ....	28
Tabla 10. Ensayo de Granulometría y Clasificación USCS.....	30
Tabla 11. Ensayo de límites de Atterberg .....	30
Tabla 12. Ensayo de contenido de humedad.....	31
Tabla 13. Ensayo de relaciones gravimétricas y volumétricas .....	31
Tabla 14. Ensayo de relaciones gravimétricas y volumétricas .....	32
Tabla 15. Ensayo de permeabilidad cabeza constante .....	32
Tabla 16. Ensayo de permeabilidad cabeza variable.....	32
Tabla 17. Ensayo de corte directo no drenado .....	33
Tabla 18. Ensayo de corte directo no drenado .....	33
Tabla 19. Ensayo de corte directo drenado. ....	34
Tabla 20. Ensayo de corte directo drenado .....	34
Tabla 21. Ensayo de corte directo no drenado .....	38
Tabla 22. Ensayo de corte directo drenado .....	38
Tabla 23. Condiciones de humedad Apique 1 .....	39
Tabla 24. Condiciones de humedad Apique 2 .....	40
Tabla 25. Condiciones de humedad Apique 3 .....	42
Tabla 26. Condiciones de humedad Apique 4 .....	43

## Listado de Figuras

	Págs.
Figura 1. Localización del Municipio de Pamplona .....	7
Figura 2. Municipio de Pamplona.....	7
Figura 3. Mapa Geológico y estructural del Municipio de Pamplona (Escala 1:25000) .....	8
Figura 4. Variación anual de la precipitación en la estación Iser Pamplona.....	9
Figura 5. Variaciones anuales de la temperatura en el Municipio de Pamplona. ....	10
Figura 6. Evaporación Promedio.....	11
Figura 7 Zona de Estudio. ....	17
Figura 8. Distribución de Apiques. ....	18
Figura 9. Elaboración de apiques en el área de estudio. ....	18
Figura 10. Fase del suelo.....	20
Figura 11. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 1 No drenado.....	34
Figura 12. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 2 No drenado.....	35
Figura 13. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 3 No drenado.....	35
Figura 14. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 4 No drenado.....	36
Figura 15. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 1 Drenado.....	36
Figura 16. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 2 Drenado.....	37
Figura 17. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 3 Drenado.....	37
Figura 18. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 4 Drenado.....	38
Figura 19. Condición de humedad apique 1.....	40
Figura 20, Condición de humedad apique 2.....	41
Figura 21. Condición de humedad apique 3.....	42
Figura 22. Condición de humedad apique 3.....	43

## Listado de apéndices

	Págs.
Apéndice A. Resultados USCS, Granulometría, Límites de Atterberg, Relaciones gravimétricas y volumétricas y permeabilidad. ....	50
Apéndice B. Ensayo Corte Directo .....	54
Apéndice C. Condiciones de Humedad .....	62
Apéndice D. Evidencia Fotográfico .....	66
Apéndice E. Certificado de calibración de la máquina de corte directo. ....	68

## Acrónimos

Wn: Contenido de Humedad

Ws: Peso del Suelo Seco

Ww: Peso del agua

Wl: Limite Líquido

Wp: Limite Plástico

Ip: Índice de Plasticidad

A: Área de la Muestra

L: Longitud Transversal de la Muestra

Q: Caudal

h: Cabeza Hidráulica

t: Tiempo Transcurrido

$K_{20}$ : Coeficiente de Permeabilidad

$h_1$ : Altura de la cabeza hidráulica en tiempo  
cero.

$h_2$ : Altura de la cabeza hidráulica en tiempo  
final.

Ln: Logaritmo natural

$\sigma$ : Esfuerzo nominal

Yd: Densidad

Ysat: Peso Unitario Saturado

Vs: Relación de Vacíos

e: Relación de Vacíos

Gs: Gravedad específica

K: Coeficiente de Permeabilidad

V: Velocidad

i: Gradiente Hidráulico.

q: Velocidad de Flujo

a: Área Transversal de la Muestra de la  
tubería de entrada del fluido

C: Cohesión

$\emptyset$ : Angulo de fricción

Ysec: Peso Seco

$\tau$ : Esfuerzo Horizontal de corte

## Resumen

El presente documento muestra el desarrollado del trabajo de investigación llevado a cabo en el municipio de Pamplona departamento, Norte de Santander en el Batallón de infantería N°13 Gr Custodio García Rovira en las coordenadas  $7^{\circ}21'59.03''N - 72^{\circ}39'2.02''O$  a  $7^{\circ}21'57.24''N - 72^{\circ}39'9.67''O$ , con una longitud aproximadamente de 240 metros, para la investigación se tomaron zonas a criterio buscando puntos estratégicos, se observó homogeneidad en el terreno por lo que se realizaron cuatro apiques de una profundidad de 1.60 metros en el cual se tomaron muestras de suelo para contenido de humedad, además se recolectó muestra alterada para la realización de los ensayos de granulometría, límites de atterberg, relaciones gravimétricas y volumétricas y permeabilidad, las muestras para los ensayos de corte directo se obtuvieron según la norma NLT 203 que indica la toma de muestras de suelo de tipo inalterado, y finalmente indicando los resultados de cada uno de los ensayos desarrollados.

Con esta investigación se determinó la resistencia al esfuerzo cortante en el suelo debido a componentes como la cohesión, aportada por la fricción del suelo, responsable de su deformación y comportamiento plástico, también el rozamiento interno entre las partículas granulares o fricción. (Burgos, 2015)

El documento se divide en cuatro capítulos, el primero contempla todo lo relacionado con los preliminares (Introducción, Objetivos, justificación, etc.), el segundo capítulo nos muestra las bases teóricas tenidas en cuenta para el proyecto, el capítulo tercero presenta la información recolectada en campo para la realización del estudio, por último el capítulo cuatro representa los datos obtenidos en la investigación y su debido análisis.

**Palabras Claves:** Resistencia, Cohesión, Esfuerzo Cortante, Humedad.

## Abstract

This document shows the development of the research work carried out in the municipality of Pamplona department, Norte de Santander in Infantry Battalion No. 13 Gr Custodio García Rovira at coordinates  $7^{\circ} 21'59.03''\text{N} - 72^{\circ} 39' 2.02''\text{W}$  to  $7^{\circ} 21'57.24''\text{N} - 72^{\circ} 39'9.67''\text{W}$ , with a length of approximately 240 meters, for the investigation were taken areas to criterion looking for strategic points, homogeneity was observed in the field for which four apique of a depth of 1.60 meters in which soil samples were taken for moisture content, in addition an altered sample was collected to perform the granulometry tests, limits of atterberg, gravimetric and volumetric relations and permeability, the samples for direct shear tests were obtained according to the NLT 203 standard that indicates the taking of soil samples of unaltered type , and finally indicating the results of each of the tests developed.

With this research the shear strength in the soil was determined due to components such as cohesion, contributed by the friction of the soil, responsible for its deformation and plastic behavior, also the internal friction between the granular particles or friction

(Burgos, 2015)

The document is divided into four chapters, the first includes everything related to the preliminaries (Introduction, Objectives, justification, etc.), the second chapter shows the theoretical bases taken into account for the project, the third chapter presents the information collected in field for the realization of the study, finally chapter four represents the data obtained in the investigation and its due analysis

**Keywords:** Resistance, Cohesion, shear strength, Dampness.

## Introducción

Un suelo puede encontrarse en diferentes condiciones ya sea compactado y húmedo o seco y suelto sin que por ello se vea alterado el material que lo constituye, las propiedades del suelo determinan la naturaleza y su condición. El suelo y el agua tienen vínculos estrechos y tanto la ausencia de agua dentro de la estructura cuando esta seca o el exceso de esta hasta la saturación ejerce control sobre su peso, alterando la resistencia y cambiando su volumen. (Escobar & Escobar, 2002)

Los valores de resistencia pueden variar dependiendo de varios factores como son el contenido de humedad el tamaño de las partículas, forma de los agregados y el grado de consolidación alcanzado por el suelo. (Ashburner & Sims, 1984)

La necesidad de profundizar en varios factores nos lleva a la necesidad de observar el comportamiento que presenta el suelo a la variación de humedad lo que se ve en el día a día con los cambios medio ambientales.

La presente investigación se llevó a cabo en Pamplona, Norte de Santander en el Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira, donde se realizó un reconocimiento del terreno, realizando cuatro apique de una profundidad de 1.60 metros en el cual se tomaron las muestras, para determinar el tipo de suelo mediante la Unified Soil Classification System (USCS), resultando un suelo Areno – Arcilloso, con el objetivo de analizar la resistencia que el suelo presenta sometándolo a ensayos de corte directo, se generaron condiciones de humedad y secado para analizar el comportamiento que presenta el suelo. También se presenta la metodología con los datos de cada uno de los ensayos laborados, siguiendo los lineamientos presentados en las normas INVIAS y por el libro Joseph Bowles proporcionando un informe de cada uno.

Al realizar las condiciones de humedad para identificar el proceso de desecación se observa la formación de grietas en el suelo compactado al perder agua y humedad en periodos de humectación y secado, las grietas que se presentan por la desecación del suelo afectan mayormente a los suelos arcillosos es por esta razón que se analiza el comportamiento del suelo al ser sometido a variaciones de humedad.

A lo largo de este escrito se presentan algunos conceptos básicos de mecánica de suelos, permeabilidad, cohesión, grado de saturación, fricción, porosidad.

## **Capítulo 1 Título**

### **EFFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO – ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA**

#### **1.1 Objetivos**

##### **1.1.1 Objetivo General**

Analizar la resistencia en la humectación y secado en los suelos areno – arcillosos en la zona del Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira del municipio de Pamplona, Norte de Santander.

##### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Determinar la clasificación del suelo teniendo en cuenta las características granulométricas y límites de Atterberg.

Observar las características que presenta el suelo al someterlo a cargas horizontales y verticales mediante el ensayo de corte directo.

Analizar e interpretar los resultados de los ensayos obtenidos en la investigación realizada.

Modelar mediante un Software ensayos de laboratorios de suelos según manual Joseph Bowles que simplifique el proceso para la clasificación.

#### **1.2 Justificación**

La evapotranspiración y los procesos climáticos crean variaciones en la distribución de humedad de los materiales térreos parcialmente saturados, que a su vez pueden generar variaciones en la condición de esfuerzos e incluso la falla de dichos materiales" (González, 2011)

La investigación busca identificar el comportamiento que sufre el suelo a los cambios de humedad, clasificándolo por medio de ensayos y comparando mediante la teoría ya establecida; sabiendo que Pamplona es un municipio que presenta variaciones climáticas, alterando la conducta del suelo, provocando de forma intermitente la posible saturación del mismo, teniendo en cuenta que el Municipio de Pamplona se han realizado estudios de suelos los cuales no se enfocan en el comportamiento que este presenta a las variaciones de humedad, es por esta razón

que es necesario realizar una investigación al cual se someterá e suelo a ciertas condiciones de humedad para así conocer su capacidad portante.

Este estudio se realizó con el fin de conocer las características de resistencia que presenta el suelo en la zona sur en el Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira del municipio, y así ser un punto de partida para la posterior realización de estudios que nos permitan realizar una base de datos que contenga la resistencia de los terrenos en las diferentes áreas del Municipio, también para estudios a diferentes profundidades.

### **1.3 Planteamiento del problema**

En Colombia se presentan casos de anomalías donde en las regiones del Pacífico y de la Guajira en las que se muestran condiciones de máximas y mínimas precipitaciones que se salen de la variación normal del país mientras que en la región de la Orinoquia, Andina y Norte las precipitación mantienen un promedio entre los 3000mm, expuestas estas circunstancias se encuentra que el Municipio de Pamplona presenta precipitaciones de alrededor de 1000mm, esto combinado con la temperatura del Municipio que normalmente oscila de 8 °C a 17 °C y rara vez baja a menos de 6 °C o sube a más de 18 °C, causa que se sature el suelo debido a la falta de evaporación ya que en los meses de Mayo y Octubre las precipitaciones son más altas.

En el Municipio se presenta un clima variado en los que hay muchos fenómenos que determinan el comportamiento de los suelos provocando una conducta singular del terreno, en donde hay meses que se presenta un aumento en el contenido de humedad, provocando una disminución del volumen del terreno, esto sin necesidad de alguna presión aplicada.

“Al presentarse los cambios de humedad en desecación, las fuerzas capilares controlan la respuesta volumétrica del material contracciones que modifican propiedades tales como la resistencia al corte y la rigidez” (Jaimes & López, 2014). De acuerdo con la anterior es que surgen las siguientes preguntas de investigación.

¿Qué características geotécnicas y mecánicas posee el suelo?

¿Cómo se comporta el suelo a someterlo a diferentes cambios de humedad?

¿Qué resistencia presenta el suelo al ser sometido a cargas verticales y horizontales en estado natural y saturado?

## **1.4 Generalidades del Estudio**

### **1.4.1 Alcance y Condiciones del Estudio**

#### ***1.4.1.1 Alcance***

Se estimó la resistencia de los suelos areno-arcillosos ubicados en la zona sur del Municipio de Pamplona en el Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira, para tal fin se utilizó información obtenida en ensayos de laboratorio aplicados a las muestras obtenidas mediante la realización de cuatro apiques de 1.60 metros de profundidad tomadas entre las profundidades de 0.3 a 1.6 metros, este suelo fue sometido a fuerzas tanto horizontales y verticales a ensayos que fueron realizados al suelo en su estado consolidado drenado y consolidado no drenado, encontrando de esta manera las variaciones que la humedad causa en la resistencia del terreno.

#### ***1.4.1.2 Condiciones***

Al realizar una investigación a documentos existentes, no se encontró estudios de suelos del Municipio de Pamplona que evalúen la capacidad de carga y la correlación de la saturación con esta, por lo tanto no se contó con datos comparativos. De esta manera el estudio presentado se basa en una combinación de metodologías existentes y laboratorios para el cumplimiento de los objetivos.

## Capítulo 2 Marco Referencial

### 2.1 Antecedentes

Se le atribuye al físico e ingeniero francés C.A. Coulomb, haber realizado la primera investigación orientada al estudio de la resistencia en los suelos. Entre sus hallazgos está en deducir que el corte de los suelos está directamente relacionado con el coeficiente de fricción entre las partículas. En la investigación Coulomb encontró que en primer lugar los suelos fallan por esfuerzo cortante a lo largo de un plano de deslizamiento, esto basado en la teoría de la mecánica en donde se sabe que sobre un cuerpo actúa una fuerza normal y si es deslizado sobre una superficie con rugosidad sobre el cuerpo actúa una fuerza en contra proporcional a la fuerza aplicada para el deslizamiento. En este caso tuvo que encontrar el coeficiente de fricción entre las superficies de contacto.

Automáticamente encontró la ley de la resistencia sobre la cual rige que se produce la falla cuando el esfuerzo cortante alcanza su máximo valor, y la constante de proporcionalidad la definió en términos de ángulo de fricción interna del material. (Villalaz, 2004)

En el caso de las arcillas presentan resistencia al esfuerzo cortante incluso en situaciones en que el esfuerzo normal exterior es nulo, a los materiales con características Coulomb estableció otro principio de resistencia al corte al cual designo Cohesión y determino también una constante para esos materiales. Los materiales que presentan características mixtas, es decir, cohesión y fricción están determinados en la ley de Coulomb y los llamo suelos intermedios o cohesivos y friccionan té. En cuanto a la desecación los procesos en arcillas involucran la pérdida gradual de humedad inducida por la evaporación de agua contenida desde la superficie del suelo. Estos fenómenos son muy complejos debido a la interacción que tienen lugar entre las variables mecánicas e hidráulicas.

A nivel Internacional se han realizado estudios basados en la desecación, en la Universidad Politécnica de Cataluña de Barcelona en el año 2015, desarrollo una investigación sobre el “Estudio experimental y análisis numéricos de la desecación en suelos arcillosos”, haciendo énfasis en el estudio de un semi-ciclo de secado, es decir, se parte de un suelo en apariencia sano y saturado para observar, estudiar y simular el proceso de desecación y agrietamiento característico en los suelos con alto contenido de arcilla.

En Colombia se han realizado estudios similares como lo es en la Universidad Pontificia Javeriana en el año 2011, realizando un estudio sobre las “Herramientas conceptuales para el estudio del proceso de evaporación acoplado con el comportamiento mecánico de los suelos”, en donde se enfocan en una discusión sobre el estado del conocimiento que constituye un mapa conceptual para el estudio y desarrollo de protocolos de modelación acoplada de procesos de interacción suelo atmosfera. Finalmente se incluyen lineamientos para el desarrollo de modelos conceptuales aplicados al efecto de la evaporación en el comportamiento mecánico de suelos.

También se cuenta con “Correlación entre los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo y el ensayo de triaxial del suelo arcilloso típico de la zona occidental de Bogotá”, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas donde el objetivo es establecer la correlación entre los resultados de los parámetros de cohesión y ángulo de fricción obtenidos en el ensayo triaxial con el fin de aplicarlo en el ensayo de corte directo y obtener los resultados de los parámetros mencionados en condiciones consolidadas y drenadas.

Efectos de los ciclos de carga – descarga y humedecimiento – secado en el comportamiento geo mecánico de rocas lodosas de los andes colombianos, donde se busca dilucidar parte de la fenomenología de degradación de las rocas lodosas laminadas de los Andes colombianos.

En pamplona, no se han realizado estudios similares donde se tenga como finalidad el comportamiento del suelo respecto a la humedad que este tiene o a la resistencia que este pierde cuando se encuentra saturado, es por esto que esta investigación tiene como finalidad el conocimiento del comportamiento del suelo debido a estos factores.

## **2.2 Marco teórico**

“La mecánica de suelos brinda las herramientas necesarias que permiten dar solución a muchos problemas de la ingeniería de suelos, el origen y la formación del suelo es el primer análisis para sectorizar o inferir sobre la presencia de formaciones litológicas diferentes, también permite identificar los diferentes comportamientos que se presentan entre ellos; además con la relación de fase permite conocer los pesos, volumen y sus respectivas variaciones cuando se presentan cambios de humedad. (Escobar & Escobar, 2002)

El suelo es un material que se define por la capacidad de soporte que este aporta a la cimentación en donde el esfuerzo cortante es el aspecto más relevante que se usa generalmente en las diferentes actividades de la ingeniería civil, por lo tanto ningún ensayo será suficiente para

determinar el comportamiento esfuerzo-deformación que el suelo contribuye al estudiar los aspectos de su comportamiento.

Existen diversos ensayos para determinar el esfuerzo cortante entre los cuales encontramos el ensayo de penetración estándar-SPT (ASTM D 1586), ensayo de la resistencia a la compresión uniaxial (ASTM D 2166), ensayo de corte directo (ASTM D 3080 Y ASTM D 6528) y el ensayos de compresión triaxial (ASTM D 4767 Y ASTM D 2850). El usado en esta investigación es el ensayo de corte directo el cual es un ensayo típico para determinar la resistencia de una muestra sometida a deformaciones realizándose en estado natural y saturado.

El ensayo de corte directo al igual que el triaxial, permite obtener parámetros de corte necesarios para calcular en forma más aproximada la resistencia de una muestra de suelo. Este equipo generalmente se limita a ensayo bajo condiciones consolidado drenado. Cuando se hace referencia a si un suelo es consolidado, no consolidado, drenado y no drenado, quiere decir que el suelo tiene permitido consolidar y drenar en el campo, bajo unas condiciones de carga que le ocasionen la falla.

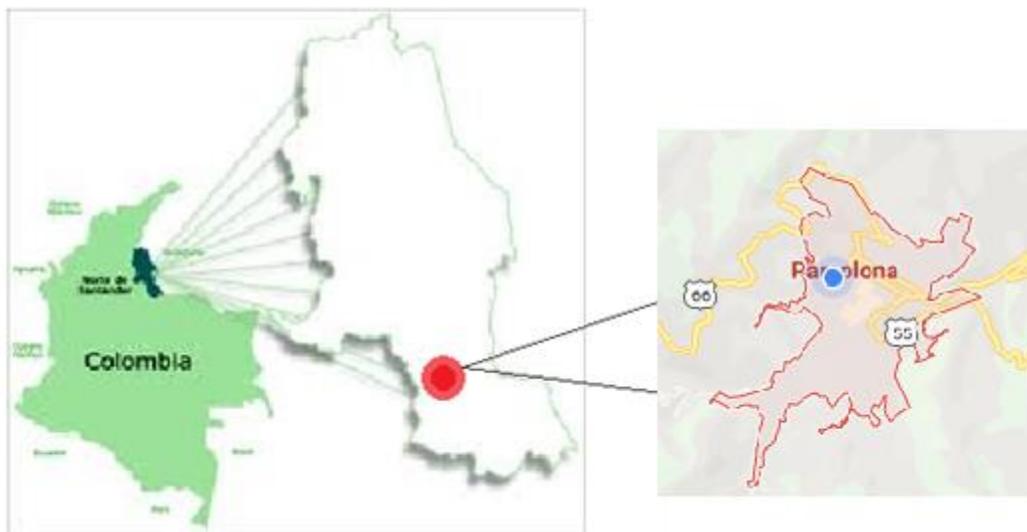
El proceso de desecación gobernado principalmente por propiedades altamente no lineales, influyen sobre el comportamiento mecánico del suelo haciendo que este se contraiga, se deforme o eventualmente se agriete dependiendo de las condiciones de contorno, del grado de heterogeneidad en su interior y de la relación de dimensiones de la porción de suelo sometida a dicho proceso. En este documento también se presentan condiciones de desecación, esto con el fin de observar el comportamiento del suelo al someterlo a cambios de humedad.

## **2.3 Marco Contextual**

### **2.3.1 Ubicación del Estudio**

El estudio del presente documento se encuentra en el departamento de Norte de Santander en el municipio de Pamplona, el cual se localiza en la cordillera Oriental de los Andes Colombianos y limita al norte con Pamplonita y Cucutilla, al Sur con Cacota y Mutiscua, al Oriente con LaBateca y al Occidente con Cucutilla, y la zona de estudio se sitúa en la zona sur del Municipio en el Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira.

*Figura 1. Localización del Municipio de Pamplona*



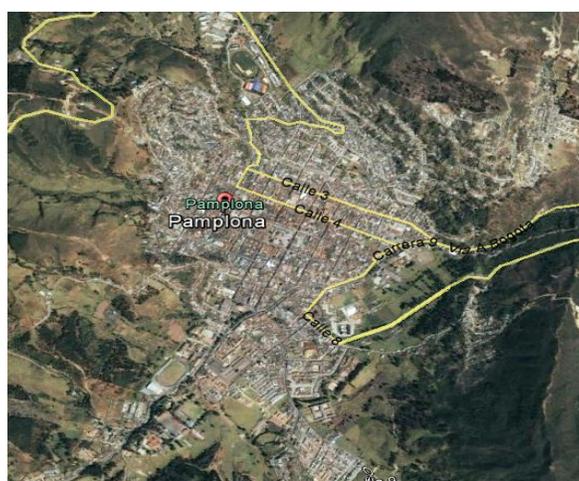
*Fuente: Nortedesantanderpamplona.blogspot*

### **2.3.1.1 Extencion y altura sobre el nivel del mar.**

La zona de estudio de la investigación tiene una extensión de 100 m<sup>2</sup> a una altitud de 2200 m.s.n.m en la zona suroccidental de departamento de Norte de Santander.

### **2.3.2 Geología del Municipio**

*Figura 2. Municipio de Pamplona*



Fuente: Google Earth

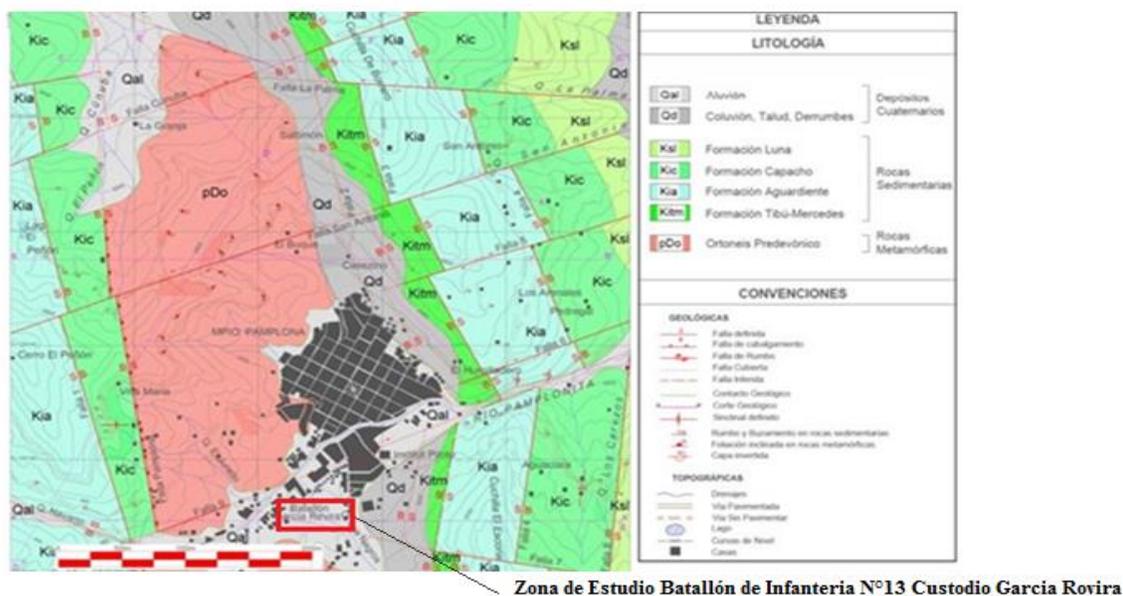
### 2.3.2.1 Geología General

De acuerdo a Corponor “desde el punto de vista geológico estructural, el municipio de Pamplona se encuentra ubicado en el flanco norte del Macizo de Santander sobre la Cordillera Oriental y dentro del sistema de fallas de Bucaramanga, Santa Marta a escala regional” (Corponor, 2017)

La geología del área de la zona está constituida por unidades geológicas de edad devónica a cuaternaria. Rocas metamórficas de alto y medio grado, pertenecientes al ortogneis, representan parte del basamento metamórfico del macizo de Santander que aflora en el área. Sobre este basamento metamórfico descansan discordantemente rocas sedimentarias del cretáceo correspondiente a las formaciones Tibú-Mercedes y Aguardiente, perteneciente al grupo Uribante, y capacho todas esas al cretáceo, Como resultado de estos procesos geológicos se presentan estructuras a nivel regional como el sistema de fallas Bucaramanga-Santa marta de extensión regional la que domina el patrón estructural del franco oriental del Macizo de Santander, representado en la zona por fallas y estructuras con dirección norte-sur, siguiendo el tren estructural. (Cantillo, 2006)

La zona de estudio geológicamente se encuentra ubicada en un Qal (Aluvión), según el mapa geológico del municipio de Pamplona.

Figura 3. Mapa Geológico y estructural del Municipio de Pamplona (Escala 1:25000)



Fuente: (Ortiz, 2013)

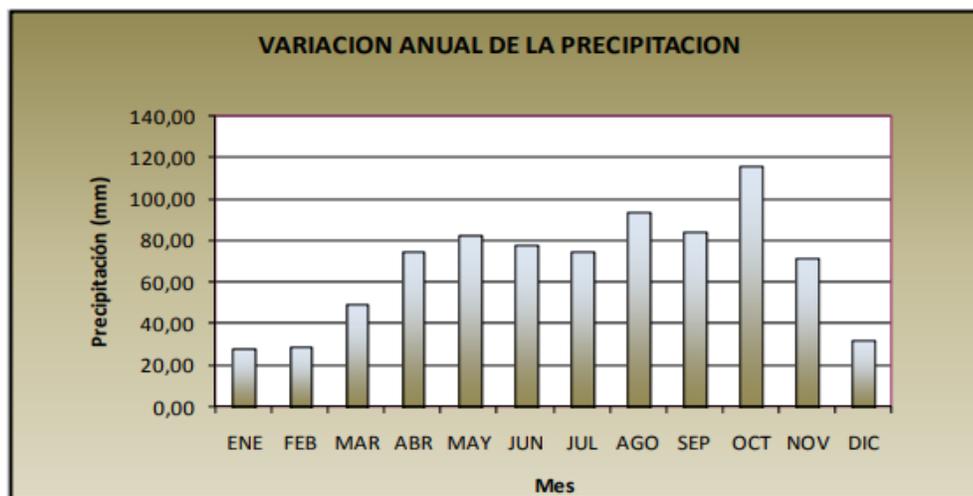
### 2.3.2.2 Precipitaciones.

Es el principal elemento climático que caracteriza el estado del tiempo y el clima en una región, repercute y condiciona aun una parte de las actividades humanas, pues de su distribución depende gran medida el desarrollo de la actividad económica y social. El desplazamiento de la zona de convergencia intertropical en las latitudes bajas de Suramérica, a lo largo del año, marco un tiempo ciclónico, nublado y lluvioso. Su estacionalidad determina dos regímenes diferenciados de distribución de las lluvias: uno bimodal, dominante en Norte de Santander, caracterizado por la ocurrencia de dos periodos de mayores y dos de menores lluvias cada año; y otro Mono modal, en el cual, en cada año, hay una época de mayores y otras de menores lluvias. (Corponor, 2017). La precipitación de la región está determinada tanto por la situación de la mayor parte del país al Norte del Ecuador Climático, como por la temperatura, los vientos, la altitud y la configuración del relieve, entre otros.

La temporada de lluvias en la zona de estudio se registra entre los meses de abril a junio, en el primer semestre y de agosto a octubre en el segundo semestre, considerando octubre el mes de máximas precipitaciones con 115.99 mm. La temporada de verano es más acentuada de diciembre a febrero, destacándose el mes de enero como más seco con 28.21mm.

El promedio mensual de precipitaciones es de 67.87 mm, en donde octubre es el mes que aporta 14.2% de las lluvias anuales y enero el de mínimo registro con el 3.5%. En la figura 3 se presenta gráficamente la información de la precipitación multianual de la estación Iser Pamplona. (Concesionaria San Simón S.A., 2013)

Figura 4. Variación anual de la precipitación en la estación Iser Pamplona.



Fuente: (Concesionaria San Simón S.A., 2013)

### 2.3.2.3 Clima

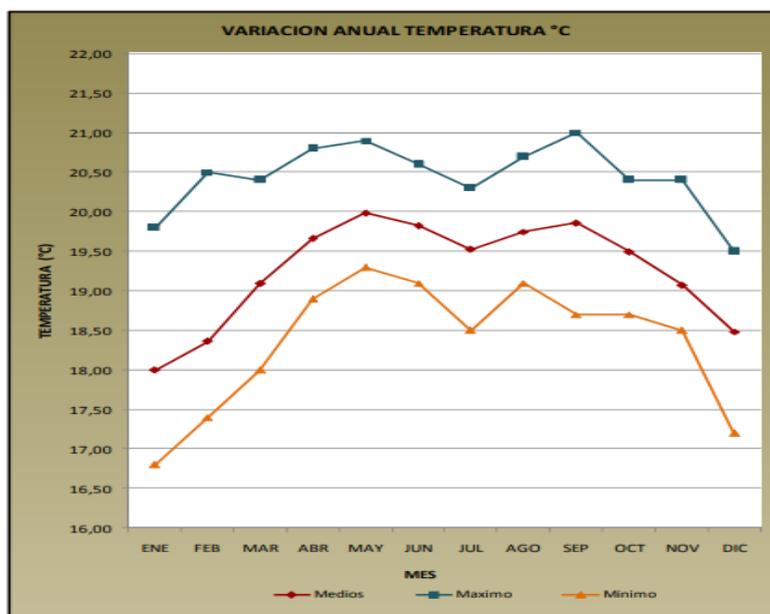
En Municipio de Pamplona, los veranos son cortos y frescos, los inviernos son cortos y fríos esta mojado nublado todo el año y presenta diferentes precipitaciones a lo largo del año, en los cuales los seis meses del año presentan altas lluvias y las restantes precipitaciones bajas

### 2.3.2.4 Temperatura.

La temperatura atmosférica es el indicador de la cantidad de energía calórica acumulada en el aire. Se mide con el termómetro en la escala grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ). El factor que más incide en la variación térmica lo constituye el sistema montañoso, que permite que la temperatura varíe en función de la altura disminuyendo a medida que se asciende sobre el nivel del mar. En el sitio donde se encuentra ubicada la estación del Iser la temperatura varía de 18 a  $20^{\circ}\text{C}$ , con una diferencia puntual de valores promedios mínimos y máximos de  $2^{\circ}\text{C}$ .

Del análisis se observa que enero es el mes con menor registro y mayo se considera el de máximo promedio. La valoración a nivel multianual arroja un promedio de  $19.26^{\circ}\text{C}$ . (Concesionaria San Simón S.A., 2013). De la figura 4 se deduce un comportamiento de tipo bimodal con picos máximos en mayo y septiembre.

Figura 5. Variaciones anuales de la temperatura en el Municipio de Pamplona.



Fuente: (Concesionaria San Simón S.A., 2013)

### 2.3.2.5 Humedad Relativa

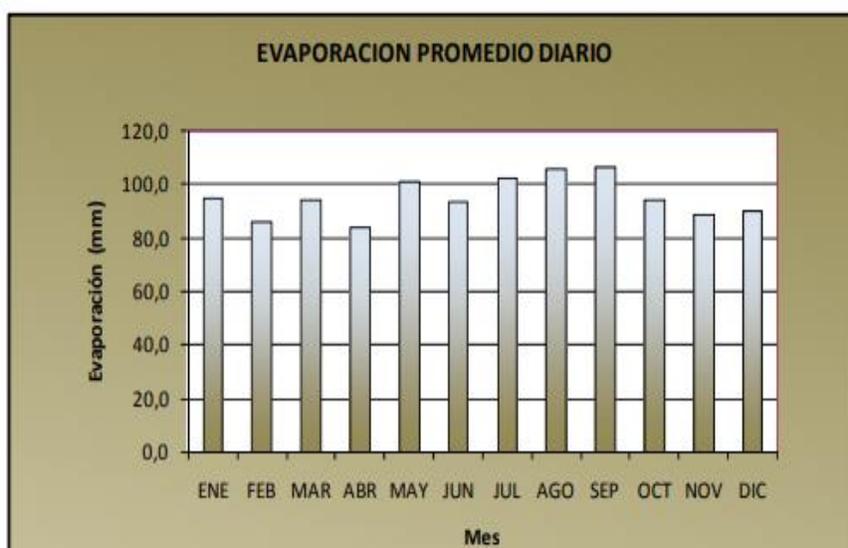
Se define como la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene el aire en un momento dado, y la que contendría si estuviese saturado a la misma temperatura. Se expresa en %, donde el 0% representa sequedad absoluta y el 100% estado de saturación, es decir que su valor permite saber que tan seco o húmedo se encuentra el aire.

El promedio anual de humedad relativa es de 77%, con un mínimo de 66% que se presenta el mes de agosto y máximo de 89 en el mes de abril. Los meses con menor humedad relativa son junio y agosto y diciembre y enero: lo que coincide con los periodos de mayor brillo solar. (Corponor, 2017)

### 2.3.2.6 Evaporación

El factor climático evaporación tiene una variación irregular a lo largo del año, con un registro máximo de 106.2 mm mensuales en septiembre, que explica la reducción en las precipitaciones en este mes y con un mínimo de 83.5 mm/mes en abril, que coincide con las lluvias del primer periodo de invierno. De la estación del Iser Pamplona se obtiene un acumulado promedio de 1140.08 mm de evaporación, dato que comparado con la precipitación que es de 814.46 mm, se deduce que en el sector la precipitación representa el 71% de la evaporación (Corponor, 2017)

Figura 6. Evaporación Promedio.



Fuente: (Concesionaria San Simón S.A., 2013)

## 2.4 Marco Legal

### **Ensayo de laboratorio del contenido de agua (I.N.V.E-122-13).**

Este ensayo determina el contenido de agua por masa de suelo, roca y mezclas de suelo.

El procedimiento consiste en determinar el tamaño nominal. Se debe pesar la muestra y el peso del recipiente, se deben registrar los pesos por aparte, luego se toma la muestra y se lleva al horno hasta conseguir que el peso de muestra registre masa constante y se registra el resultado obtenido el porcentaje de humedad.

### **Ensayo de Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado (I.N.V.E-123-13).**

Este ensayo determina de forma cuantitativa el tamaño de las partículas del suelo contenido en cada uno de los tamices definidos y nos sirve para clasificar el suelo de acuerdo a la distribución granulométrica de las partículas que conforman la muestra de suelo que se esté estudiando.

El procedimiento consiste en acomodar los tamices de forma descendente dejando arriba el de mayor abertura y dejar pasar las partículas hasta llegar al de menor abertura para después pesar el suelo retenido en cada tamiz y con estos datos se genera una gráfica que muestra la distribución de los tamaños y el % que pasa y es llamada la curva granulométrica.

### **Ensayo de Limite Plástico e Índice de Plasticidad de Suelos (I.N.V.E-126-13).**

Este ensayo determina el contenido de humedad de la muestra y nos dice si se comporta como material plástico o no.

El procedimiento consiste en presionar una porción de la muestra de suelo con cierto porcentaje de humedad hasta que se puedan formar rollos de 3.2mm (1/8") de diámetro.

La humedad optima es aquella con la cual se puedan formar los rollos del diámetro requerido son que el rollo presente agrietamientos o se desmorone usando la menos cantidad de agua posible. El contenido de agua en el cual el suelo se comporta de forma plástica es entendido como el índice de plasticidad, numéricamente este índice se encuentra generando la diferencia entre el límite plástico y el límite líquido.

### **Ensayo del Limite Liquido de los Suelos (I.N.V.E-125-13).**

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad bajo el cual se comporta como un material plástico.

Este método únicamente es aplicable a la muestra de suelo que pasa el tamiz número 40, se debe colocar la muestra en la cazuela de Casagrande y elaborar una ranura central en sentido vertical, para que la muestra sea mezclada con un contenido de agua calculado y produzca el cierre de dicha ranura en su parte central, al serle aplicado alrededor de entre 25-35 golpes según expresa la norma.

### **Norma técnica colombiana NTC 1917-Determinacion de la resistencia al corte.**

#### **Método de corte directo (CD). (ASTM D 3080).**

Esta norma tiene por objetivo establecer el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, empleando el método de corte directo. Este ensayo se puede realizar sobre todos los tipos de suelos, ya sean muestras inalteradas o remodeladas.

## **2.5 Marco Conceptual**

**Angulo de fricción:** refiere al ángulo que forma la envolvente de falla (gráfica del ensayo triaxial o línea de tendencia en el de corte directo) debido a la resistencia al deslizamiento causado por la fricción de las partículas.

**Arcilla:** Partículas de suelo que al hacer la clasificación granulométrica pasan el tamiz estándar número 200 y que se muestra como un material plástico al ser mezclado con agua.

**Cohesión:** Se refiere a la adherencia o atracción de las partículas del suelo debido a la carga eléctrica que presentan las partículas.

**Consolidación aniso trópica:** Se refiere al fenómeno cuando la consolidación se genera en la muestra por la presión de la celda y la contrapresión.

**Consolidación isotrópica:** se refiere al fenómeno cuando la consolidación se genera en la muestra solamente por la presión de la celda.

**Consolidación:** es el asentamiento que se genera durante determinado periodo de tiempo medido en el incremento gradual en el esfuerzo efectivo.

**Contenido de Arcilla:** Como la plasticidad es función de las fracciones más finas del suelo, los distintos suelos tendrán diferente plasticidad de acuerdo con la cantidad de arcilla que contengan.

**Contenido de humedad:** es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo (la humedad del suelo), las rocas, la cerámica o la madera medida sobre la base de análisis volumétricos o gravimétricos.

**Distribución granulométrica:** clasificación de los granos gruesos del suelo mediante el análisis de pasa tamices de mallas.

**El límite plástico:** se define como el contenido de agua al cual un rollo de suelo se agrieta cuando es cuidadosamente enrollado hasta un diámetro de 3.18 mm (1/8 pl.). Debe fragmentarse en segmentos de 3.0 - 10.0 mm (1/8 - 3/8 pl.) de longitud.

**Ensayo de corte directo:** El ensayo más típico para determinar la resistencia de una muestra de suelo sometida a deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga es el de corte directo, este consiste en una caja de sección cuadrada o circular fraccionada horizontalmente en dos mitades.

**Ensayos Corte directo no drenado:** El corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal. Si el suelo es cohesivo y saturado se desarrollará exceso de presión de poros. Este ensayo es análogo al ensayo triaxial no consolidado – drenado.

**Ensayos de corte directo drenado:** tiene la particularidad de que los recorridos para el drenaje a través de la muestra de ensayo son cortos y permiten mejor y más rápidamente la disipación de las presiones de poros.

**Esfuerzo efectivo:** se refiere a la componente vertical de las fuerzas sobre un área de sección transversal unitaria y la diferencia que se genera con la presión de poros de los vacíos del suelo.

**Esfuerzo efectivo:** se refiere a la componente vertical de las fuerzas sobre un área de sección transversal unitaria y la diferencia que se genera con la presión de poros de los vacíos del suelo.

**Grado de saturación:** Se define como el grado o la proporción en que los espacios vacíos de un suelo o una roca contienen fluido (agua, petróleo). Se expresa como un porcentaje en relación con el volumen total de vacíos.

**Índice de plasticidad:** Es la diferencia numérica que existe entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos.

**La consistencia:** es la resistencia del suelo a ser deformado o amasado (re moldeado o roto), gobernada por las fuerzas físicas de adhesión y cohesión, las cuales dependen del contenido de humedad del material, es por esto que la consistencia se expresa en términos de seca, húmeda y mojada.

**La Curva de Flujo:** Casagrande observó que el número de golpes necesarios para cerrar la ranura dependía del contenido de agua del suelo y que cuando una serie de resultados de un suelo se representa en un gráfico donde el eje de la humedad es aritmético y el eje del número de golpes es logarítmico, esos resultados forman una línea recta.

**Límite líquido:** es el contenido de agua, expresado en porcentaje respecto al peso del suelo seco, que delimita la transición entre el estado líquido y plástico de un suelo remodelado o amasado.

**Muestras alteradas:** se les denomina a las muestras de suelo que al ser recolectadas pierden sus condiciones iniciales y al momento de su estudio no son 100% puras.

**Muestras inalteradas:** son muestras de suelos que se obtienen por métodos que permiten preservar las condiciones iniciales y su estructura, de ello depende la confiabilidad de cualquier ensayo.

**Plasticidad:** Indica el intervalo de humedad o magnitud de consistencia plástica que posee el suelo. A este fenómeno se debe que los suelos puedan deformarse hasta determinado límite sin romperse.

**Porosidad:** representa el porcentaje de huecos existente en el mismo frente al volumen total la porosidad depende de la textura, de la estructura y de la actividad biológica del suelo.

**Suelos colapsables:** Se identifican como suelos colapsables aquellos depósitos formados por arenas y limos, en algunos casos cementados por arcillas y sales (carbonato de calcio), que, si bien resisten cargas considerables en su estado seco, sufren pérdidas de su conformación estructural, acompañadas de severas reducciones en el volumen exterior cuando se aumenta su humedad o se saturan”

## Capítulo 3 Metodología

El documento presenta el desarrollo de una investigación basada en el análisis a la Resistencia del suelo mediante el ensayo de corte directo en los tipos: consolidado drenado y consolidado no drenado, con el fin de identificar la variación de la resistencia en cuanto se someta a estas condiciones, al igual se presenta un comportamiento del suelo a los cambios de humedad. Para la realización de la investigación se tuvieron en cuenta las siguientes fases:

### **3.1 Fase 1. Investigaciones Bibliográficas**

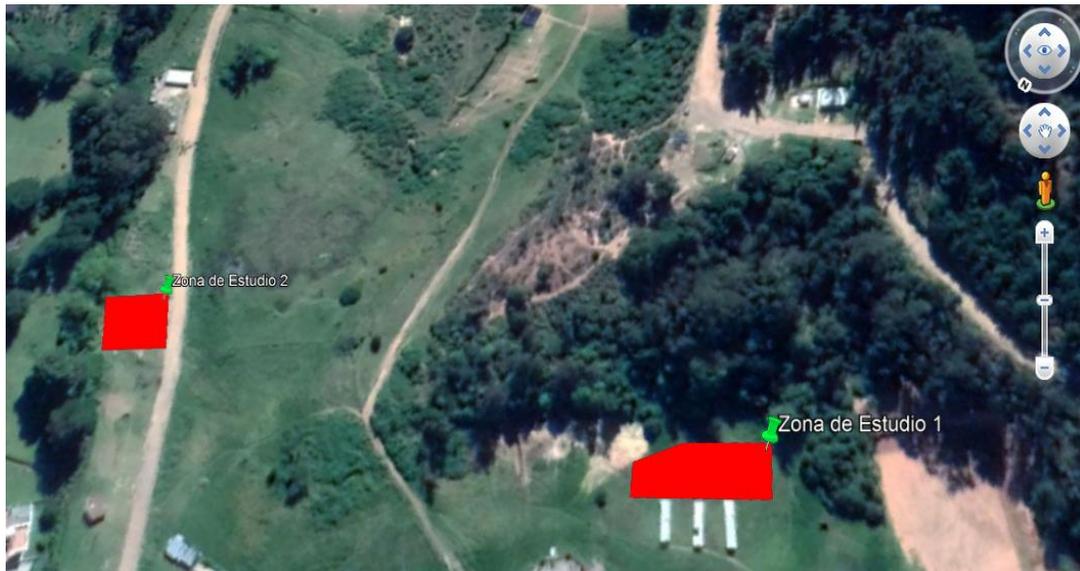
Actualmente existen muchas fuentes para adquirir temas relacionados con la mecánica de suelos y los lineamientos que se deben tener en cuenta en el momento de estudiar el suelo, se investigó sobre los fundamentos teóricos y prácticos sobre el tema de la resistencia al corte que experimentan los suelos ya sea en estado seco o en estado saturado esto con la finalidad de adquirir criterios básicos y conocimientos al momento de realizar los ensayos. Para los demás ensayos el análisis de los demás ensayos realizados se tomó la información de las normas

### **3.2 Fase 2. Identificación de la zona de Estudio.**

Con el fin de identificar las características de la zona de estudio, se realizaron varias visitas para seleccionar el área a trabajar y conocer las condiciones que presenta el suelo.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la zona sur del municipio de Pamplona en el Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira en las coordenadas  $7^{\circ}21'59.03''N - 72^{\circ}39'2.02''O$  a  $7^{\circ}21'57.24''N - 72^{\circ}39'9.67''O$ .

Figura 7 Zona de Estudio.



Fuente: Google Earth

### 3.3 Estudio Geotécnico

Se elaboraron cuatro apiques con dimensiones de 1 x 1 x 1.6 metros, para la recolección de muestras se tomó de 0.3 a 1.6 metros de profundidad esto descontando la capa vegetal y realizando el estudio a esa profundidad, en donde se tomaron de cada apique aproximadamente 30kg de muestra alteradas para la realización de los ensayos de laboratorio (Granulometría, Límites de Atterberg, contenido de humedad, Relaciones gravimétricas y volumétricas y Permeabilidad), en cuanto a el ensayo de Corte Directo se tomaron muestras inalteradas las cuales se protegieron con papel envoplast, para la realización del mismo. La exploración geotécnica fue una fase muy importante en la culminación de este proyecto ya que a partir de los ensayos de laboratorio se definieron los parámetros mecánicos del suelo y se determinó el comportamiento que el suelo.

#### 3.3.1 Elaboración de Apiques

Se asignó un número de cuatro apiques distribuidos según el área de estudio se georreferenciaron con ayuda del software Google Earth. Estas excavaciones se realizaron cada

una a 1.60m de profundidad. Los sitios fueron escogidos a criterios buscando que fueran puntos estratégicos para el estudio.

Según (Álvarez et al, 2015, pp. 46), “la exploración se podrá complementar con la exploración indirecta, de tal manera que se puedan identificar los estratos y zonas geotécnicamente homogéneas que conforman el subsuelo en el área de estudio”

*Figura 8. Distribución de Apiques.*



Fuente: Google Earth

*Figura 9. Elaboración de apiques en el área de estudio.*



Fuente: Autores, 2018

### 3.3.2 Toma de muestras

En cada uno de los apiques se tomaron muestras alteradas para ensayos de granulometría, límites de atterberg, permeabilidad, contenido de humedad y relaciones gravimétricas y volumétricas, para estos ensayos se recogió aproximadamente 30kg de muestra, la extracción de las muestras inalteradas se realizó según la norma NLT 203 para conservar y transportar las muestras al laboratorio para realizar los ensayos de corte directo. A cada muestra se le realizó su respectivo rotulado de acuerdo al apique que le corresponda.

### 3.3.3 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos definidos para la investigación se efectuaron en las instalaciones del laboratorio de la Universidad de Pamplona, la cual cuenta con los equipos necesarios para los ensayos planteados para la clasificación y permeabilidad.

Además, se contó con la colaboración de la Universidad Francisco de Paula Santander para el acceso al laboratorio de suelos para realizar el ensayo de Corte Directo el cual cuenta con el equipo calibrado que garantiza los procedimientos y por ende resultados confiables para la realización de los ensayos.

Se realizaron los ensayos correspondientes para realizar la correcta clasificación del suelo de acuerdo con la normativa USCS cabe resaltar que los ensayos fueron realizados sobre la muestra en estado natural. Adicionalmente se realizaron los ensayos para determinar la resistencia en los suelos.

A continuación, se relacionan la cantidad de ensayos que se realizaron.

**Tabla 1. Ensayos Realizados**

Muestra	Granulometria	Limites de Atterberg	Relaciones Gravimetricas y Volumtricas	Humedad Natural	Permeabilidad		Corte Directo	
					Cc	Cv	Drenado	No Drenado
1	x	x	x	x	x	x	x	x
2	x	x	x	x	x	x	x	x
3	x	x	x	x	x	x	x	x
4	x	x	x	x	x	x	x	x
	4	4	4	4	8		8	

Fuente: Autores, 2018

### 3.4 Análisis de datos

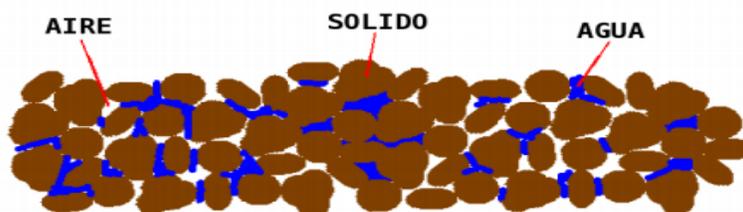
Finalizados los ensayos de laboratorio se procedió hacer un análisis de los datos obtenidos, elaborando los gráficos, tablas presentadas en este documento. Con el fin de tener resultados confiables, se siguieron los parámetros de las metodologías estandarizadas, para la ejecución de ensayos en muestras de suelo en el laboratorio.

#### 3.4.1 Condiciones de humedad

El suelo es un sistema natural que consta de una o más sustancias y de una mezcla de interacciones entre sus tres fases, fase sólida (las partículas de suelo), fase líquida (agua) y fase gaseosa (aire). La fase sólida puede ser mineral que es aquella que está compuesta por partículas de distintos tamaños, formas y composición química. La orgánica que está compuesta de residuos vegetales en diferentes etapas de descomposición y organismos en estado de vida.

La fase líquida está constituida por el agua en el suelo y ocupa una parte o totalidad de los poros entre las partículas sólidas. La fase gaseosa corresponde al vapor o aire que ocupa aquel espacio entre los poros no ocupado por agua. (Cardona & Cristancho, 2008)

*Figura 10. Fase del suelo.*



Fuente: (Cardona & Cristancho, 2008)

El suelo está difícilmente en equilibrio ya que continuamente sufre alteraciones en sus propiedades físicas como: cambios mecánicos (expansión o contracción), movimiento de su fase líquida, dichas alteraciones se deben principalmente al contenido de agua presente en el suelo.

Para realizar estas condiciones se tomó una muestra de suelo a la que se le sometió a unas variaciones de humedad esto con el fin de saber que comportamiento tiene el suelo al humedecerse y secarse.

Estos comportamientos se realizaron en el Laboratorio de Química de la Universidad de Pamplona ya que este laboratorio cuenta con los equipos para realizar esta investigación.

Se utilizó la mufla que a diferencia del horno esta es una cámara cerrada construida con materiales refractados de paredes aislantes este permite alcanzar con temperaturas mayores a 200°C, permite la circulación y uniformidad de la temperatura en toda la cámara de tratamiento.

También se utilizó el desecador que su finalidad es eliminar la humedad de una sustancia o protegerla de la humedad, utilizando crisoles para este proceso.

Se trabajó con temperatura de 50°C, se mantuvo la muestra en la mufla el tiempo necesario hasta secar totalmente tomando dato cada hora, con muestra de 10gr. Ser analiza el contenido de agua que esta pierde en cada ciclo de humectación.

## Capítulo 4 Cálculos, Resultados e Interpretación

La investigación del subsuelo se realizó mediante la excavación de apiques y fueron distribuidos de acuerdo a las condiciones de área tomada con el propósito de extraer muestras para poder ejecutar ensayos de laboratorio.

Los apiques ubicados en la zona de estudio se caracterizaron por no presentar nivel freático. En términos generales promediando las excavaciones se deduce que el terreno tiene una capa orgánica de aproximadamente 30 centímetros.

A continuación, se muestra una tabla de las coordenadas cartesianas de los realizados.

**Tabla 2. Coordenadas Cartesianas.**

APIQUE	CORDENADAS	
	N	O
1	7°21'59.16''	72°39'2.65''
2	7°21'57.17''	72°39'09.37''
3	7°21'57.40''	72°39'08.94''
4	7°21'57.74''	72°39'8.51''

Fuente: Autores, 2018

### 4.1 Ensayos de Laboratorio

Se realizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas y físicas de del suelos encontrado en la zona de estudio, para eso se analizaron las muestras inalteradas y alteradas de cada uno de los apiques elaborados.

Con el fin de conocer los parámetros de humedad, clasificación, peso unitario, permeabilidad y resistencia del terreno ubicado en la zona sur del municipio de Pamplona en el Batallón de Infantería N°13 Gr Custodio García Rovira.

**Tabla 3. Tipos de muestras.**

ENSAYO	TIPO DE MUESTRA	TOTAL DE ENSAYOS
Granulometria	Alteradas	4
Limites de Atterberg	Alteradas	4
Relaciones Gravimetricas y Volumetricas	Alteradas	4
Contenido de Humedad	Alteradas	4
Permeabilidad	Alteradas	4
Corte Directo	Inalteradas	8

Fuente: Autores, 2018

#### 4.1.1 Cálculos

Los cálculos realizados son teniendo en cuenta los datos del primer apique, ya que todos se realizan con las mismas ecuaciones.

##### 4.1.1.1 Limites de Atterberg.

Cálculos para la obtención de límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad.

**Tabla 4. Datos necesarios para determinar el limite líquido.**

LATA No.	1	2	3	PROMEDIO
Peso del suelo + recipiente (gr)	15.6	17.4	17.6	16.8667
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	11.6	15.2	15.2	14.0000
Peso recipiente (gr)	7	8.2	9.2	8.1333
Peso suelo seco (gr)	4.6	7	6	5.8667
Peso del agua (gr)	4	2.2	2.4	2.8667
Contenido de humedad %	0.8696	0.3143	0.4000	0.5280
Numero de golpes, N	16	16	16	16.0000
			WL	0.5002

Fuente: Autores, 2018

Contenido de humedad:

$$Wn = \frac{W_w}{W_s} * 100\%$$

$$Wn = \frac{4}{4.6} * 100\% = 0.8696\%$$

$$\text{promedio } W_n = \frac{0.8696 + 0.3143 + 0.400}{3} * 100\% = 0.528\%$$

Cálculos de límite líquido:

$$Wl = W_n * \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121}$$

$$Wl = 0.528 * \left(\frac{16}{25}\right)^{0.121} = 0.500$$

**Tabla 5. Datos para determinar el límite plástico.**

LATA No.	1	2	3	PROMEDIO
Peso del suelo + recipiente (gr)	19.2	10	11	13.400
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	16.8	9.6	10.8	12.400
Peso recipiente (gr)	9	8	10.2	9.067
Peso suelo seco (gr)	7.8	1.6	0.6	3.333
Peso del agua (gr)	2.4	0.4	0.2	1.000
Contenido de humedad %	0.3077	0.2500	0.3333	0.297

Fuente: Autores, 2018

#### **4.1.1.1.1 Calculo límite Plástico**

El límite plástico es considerado como el contenido de humedad que está presentando la muestra de suelo en estudio.

Cálculos índices de plasticidad:

$$ip = Wl - Wp$$

$$ip = 37.660 - 29.7 = 7.96$$

#### **4.1.1.2 Relaciones gravimétricas y volumétricas.**

Cálculos para obtener relación de vacíos, peso unitario, y gravedad específica

**Tabla 6. Datos para determinar las relaciones gravimétricas y volumétricas.**

altura del vaso(cm)	12.5
diámetro (cm)	7
volumen del vaso (cm <sup>3</sup> )	<b>481.0575</b>
peso del suelo seco + recipiente (g)	599.6
peso del suelo seco +agua+ recipiente (g)	687.2
peso del recipiente	30.54
peso del suelo seco $W_s$ (g)	569.06
pesos del suelo saturado $W_s$ (g)	656.66
volumen del agua usada para el saturado del suelo	<b>87.6</b>

Fuente: Autores, 2018

Cálculos de densidad:

$$Yd = \frac{\text{peso del suelo seco}}{\text{volumen del recipiente}} \text{ g/cm}^3$$

$$Yd = \frac{569.06}{481.0575} = 1.1829 \text{ g/cm}^3$$

Cálculos de peso unitario saturado:

$$Ysat = \frac{\text{peso del suelo saturado}}{\text{volumen del recipiente}} \text{ g/cm}^3$$

$$Ysat = \frac{656.66}{481.0575} = 1.3650 \text{ g/cm}^3$$

Cálculos de relación de vacíos:

$$Vs = \text{volumen del recipiente} - \text{volumen del agua cm}^3$$

$$vs = 481.05775 - 87.6 = 393.45 \text{ cm}^3$$

Cálculos de relación de vacíos  $e$ :

$$e = \frac{Vv}{Vs}$$

$$e = \frac{108.92}{368.28} = 0.2957$$

Calculo de gravedad específica  $G_s$ :

$$y_s = \frac{W_s}{V_s} \text{ g/cm}^3$$

$$y_s = \frac{658.73}{368.24} = 1.8423 \text{ g/cm}^3$$

$$G_s = \frac{Y_s}{Y_o}$$

$$G_s = \frac{1.8423}{1} = 1.8423$$

#### 4.1.1.3 Cálculos para obtener resultados de ensayo de contenido de humedad.

**Tabla 7. Datos para determinar el contenido de húmeda.**

	Peso	Peso
Peso recipiente (gr)	recipiente+muestra(gr)	recipiente+muestraSECA (gr)
7.8	673.6	559.4

Fuente: Autores, 2018

El peso del agua se calcula  $W_w$

$$W_w = W_s - W_h$$

$$W_w = 665.8 - 551.6 = 114.2 \text{ g}$$

El peso de suelos seco es  $W_s$

$$W_s = 551.6 \text{ g}$$

El contenido de humedad se calcula mediante la siguiente formula

$$W_n = \frac{W_s}{W_w} * 100\%$$

$$W_n = \frac{114.2}{551.6} * 100\% = 20.70\%$$

#### 4.1.1.4 Cálculos para la obtención de datos del ensayo de permeabilidad cabeza constante.

**Tabla 8. Datos para determinar el coeficiente de permeabilidad.**

Dimensiones de la muestra: Diámetro cm	6.1
Peso inicial del suelo + recipiente (gr)	849.2
Peso final del suelo + recipiente (gr)	676
Peso de la muestra + recipiente (gr)	173.2
Peso de la muestra (gr)	138.6
Peso del recipiente (gr)	34.6

Fuente: Autores, 2018

Para determinar el coeficiente de permeabilidad se debe realizar varias tomas de datos donde se recolecte el caudal en cierto tiempo, se trabajó con una muestra de cada uno de los apiques y se dejó saturar hasta que empezara a caer el fluido.

La fórmula para hallar coeficiente de permeabilidad es:

$$K = \frac{Q * L}{A * h * t}$$

El área de la muestra es:

$$A = \frac{\pi}{4} * \varnothing^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} * (6.1)^2 = 29.225 \text{ cm}^2$$

La longitud transversal de la muestra es

$$L = 5 \text{ cm}$$

El caudal es el promedio recolectado en el ensayo

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} \text{ cm}^3$$

$$Q = \frac{189 + 132 + 100}{3} = 140.33 \text{ cm}^3$$

La altura de cabeza hidráulica es

$$h = 95 \text{ cm}$$

El tiempo transcurrido del ensayo fue

$$t = 300 \text{ s}$$

La permeabilidad del suelo por el método de cabeza constante a 18°C es de

$$K = \frac{Q * L}{A * h * t}$$

$$K = \frac{140.33 * 5}{29.225 * 95 * 300} = 8.42 * 10^{-4} \text{ cm/s}$$

Obtención de corrección de viscosidad

$$\frac{n_t}{n_{20}} = 1.0507$$

$$K_{20} = K_T * \frac{n_t}{n_{20}}$$

$$K_{20} = 8.42 * 10^4 * 1.0507 = 8.85 * 10^{-4} \text{ cm/seg}$$

Calculo del gradiente hidráulico y velocidad:

$$v = k * i$$

$$i = \frac{h}{l}$$

$$i = \frac{95}{5} = 19$$

$$v = 8.42 * 10^4 * 19 = 0.016 \text{ cm/s}$$

Velocidad de flujo q:

$$q = k * i * A$$

$$q = 8.42 * 10^4 * 19 * 29.225 = 0.464 \text{ cm}^3/\text{s}$$

#### 4.1.1.5 Cálculos para la obtención de datos del ensayo de permeabilidad cabeza variable.

**Tabla 9. Datos a tener en cuenta para hallar el coeficiente de permeabilidad.**

Experimento No.	h1 (cm)	h2 (cm)	t (s)	Q(cm^3)	T°C
1	82	57	90.6	32	19
2	82	57	108	32	19
3	82	57	64.8	32	19
promedio			<b>87.8</b>	<b>32</b>	

Fuente: Autores, 2018

La fórmula para hallar coeficiente de permeabilidad por el método de cabeza variable es:

$$k = \frac{a * l}{A * t} * \ln * \frac{h_1}{h_2}$$

El área transversal de la muestra de la tubería de entrada del fluido es:

$$a = \frac{\pi}{4} * (\varnothing)^2$$

$$a = \frac{\pi}{4} * (0.6)^2 = 0.2827 \text{ cm}^2$$

Longitud transversal de la muestra:

$$L = 5 \text{ cm}$$

Área de la muestra:

$$A = \frac{\pi}{4} * \varnothing^2$$

$$A = \frac{\pi}{4} * (6.1)^2 = 29.225 \text{ cm}^2$$

Altura de la cabeza hidráulica en tiempo 0:

$$h_1 = 82 \text{ cm}$$

Altura de cabeza hidráulica en tiempo final:

$$h_2 = 57 \text{ cm}$$

La permeabilidad del suelo por el método de cabeza variable a 19°C es de:

$$k = \frac{a * l}{A * t} * \ln * \frac{h_1}{h_2}$$

$$k = \frac{0.2827 * 5}{29.225 * 87.8} * \ln * \frac{82}{57} = 2 * 10^{-4}$$

Obtención de corrección de viscosidad

$$\frac{n_t}{n_{20}} = 1.0248$$

$$K_{20} = K_T * \frac{n_t}{n_{20}}$$

$$K_{20} = 2.0 * 10^{-4} * 1.0248 = 2.05 * 10^{-4} \text{ cm/seg}$$

#### 4.1.1.6 Cálculos para obtener los resultados de corte directo.

Los valores de esfuerzo horizontal de corte se llevan a la gráfica en función del esfuerzo normal obteniendo así la recta de tendencia donde el esfuerzo horizontal va como ordenada y el esfuerzo normal va como abscisa. El Angulo que está formando esta recta con el eje horizontal es el ángulo de fricción y el intercepto con el eje de esfuerzo horizontal es la cohesión.

## 4.2 Resultados

### 4.2.1 Ensayos Granulometría y Clasificación.

La tabla se muestra los resultados de las granulometrías obteniendo los porcentajes de gravas, arena, finos y sus respectivas clasificaciones.

**Tabla 10. Ensayo de Granulometría y Clasificación USCS**

APIQUE	CLASIFICACION	% GRAVA	% ARENA	% FINOS
1	SC	1.41	73.92	24.67
2	SC	3.08	78.49	18.43
3	SC	0.71	89.75	9.54
4	SC	2.97	87.88	9.14

Fuente: Autores, 2018

### 4.2.2 Ensayo Límites de Atterberg.

En la tabla se muestra los valores de limite liquido (W.L), limite plástico (W.P) y el índice de plasticidad (I.P).

**Tabla 11. Ensayo de límites de Atterberg**

APIQUE	WL (%)	WP (%)	IP (%)
1	37.66	29.7	7.96
2	43.04	34.57	8.47
3	29.43	18.33	11.09
4	60.92	50	10.92

Fuente: Autores, 2018

#### 4.2.3 Ensayo Contenido de humedad.

La tabla indica los porcentajes de humedad de cada apique realizado, de acuerdo a su respectivo estrato.

**Tabla 12. Ensayo de contenido de humedad**

APIQUE	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	0.21
2	0.32
3	0.38
4	0.5

Fuente: Autores, 2018

#### 4.2.4 Ensayo de Relaciones Gravimétricas y Volumétricas.

A continuación, se mostrarán los resultados de relación de vacíos, gravedad específica del ensayo de relaciones gravimétricas para cada apique.

**Tabla 13. Ensayo de relaciones gravimétricas y volumétricas**

APIQUE	$V_s$ $cm^3$	$G_s$
1	393.46	1.67
2	368.29	1.84
3	365.22	1.87
4	325.08	2.01

Fuente: Autores, 2018

En la tabla se muestra los valores de densidad y peso unitario obtenidos en el ensayo de relaciones gravimétricas y volumétricas.

**Tabla 14. Ensayo de relaciones gravimétricas y volumétricas**

APIQUE	$Y_d$ g/cm <sup>3</sup>	$Y_{sat}$ g/cm <sup>3</sup>
1	1.18293551	1.36
2	1.19362785	1.42
3	1.26708692	1.47
4	1.24290174	1.49

Fuente: Autores, 2018

**4.2.5 Ensayo de permeabilidad cabeza constante, cabeza variable.**

En las tablas se evidencia los resultados como, coeficientes de permeabilidad, gradiente hidráulico, velocidad lineal y de flujo, adquiridos para cabeza variable. Coeficiente de permeabilidad y corrección de viscosidad para cabeza constante en los diferentes apiques.

**Tabla 15. Ensayo de permeabilidad cabeza constante**

APIQUE	$k$ cm/s	$K_{20}$ cm/s	$i$	$V$ m/s	$q$ cm <sup>3</sup> /s
1	0.00084	0.00089	19.00	0.01601	0.47
2	0.00150	0.00157	12.53	0.01878	0.55
3	0.00016	0.00016	12.13	0.00190	0.06
4	0.00004	0.00004	3.22	0.00012	0.03

Fuente: Autores, 2018

**Tabla 16. Ensayo de permeabilidad cabeza variable**

APIQUE	$k$ cm/s	$K_{20}$ cm/s	$\frac{nT}{n_{20}}$
1	0.0002	0.0002	1.0248
2	0.0003	0.0003	1.0248
3	0.0001	0.0001	1.0248
4	0.0000	0.0000	1.2903

Fuente: Autores, 2018

#### 4.2.6 Ensayos de Corte Directo.

En los tipos de ensayo de corte directo drenado y no drenado se obtuvieron resultados como cohesión, Angulo de fricción, Peso unitario seco y húmedo en la tabla... se muestra ensayo de corte directo no drenado y en la tabla... ensayo de corte directo drenado.

##### 4.2.6.1 Ensayo de corte directo no drenado.

**Tabla 17. Ensayo de corte directo no drenado**

APIQUE	C Kg/cm <sup>2</sup>	Ø	CONDICION DEL ENSAYO
1	0.4	27.56	Natural
2	0.38	20.66	Natural
3	0.25	31.68	Natural
4	0.12	28.3	Natural

Fuente: Autores, 2018

En la siguiente tabla se muestra los datos de humedad, peso unitario seco y húmedo para el ensayo de corte directo no drenado.

**Tabla 18. Ensayo de corte directo no drenado**

APIQUE	CONDICION DEL ENSAYO	Ysat %	HUMEDAD (%)	Y sec (%)
1	Natural	1.81	26	1.43
2	Natural	1.67	27.32	1.31
3	Natural	1.77	33.73	1.32
4	Natural	1.74	42.44	1.22

Fuente: Autores, 2018

##### 4.2.6.2 Ensayo de corte directo drenado.

Para el ensayo de corte directo drenado es necesario de llenar la caja de corte permitiendo que la muestra se sature para empezar aplicar las cargas verticales entre 5kg, 8kg, 11kg, 20kg,

**Tabla 19. Ensayo de corte directo drenado.**

APIQUE	C Kg/cm2	Ø	CONDICION DEL ENSAYO
1	0.11	35.15	Saturado
2	0.17	28.31	Saturado
3	0.25	26.24	Saturado
4	0.17	20.24	Saturado

Fuente: Autores, 2018

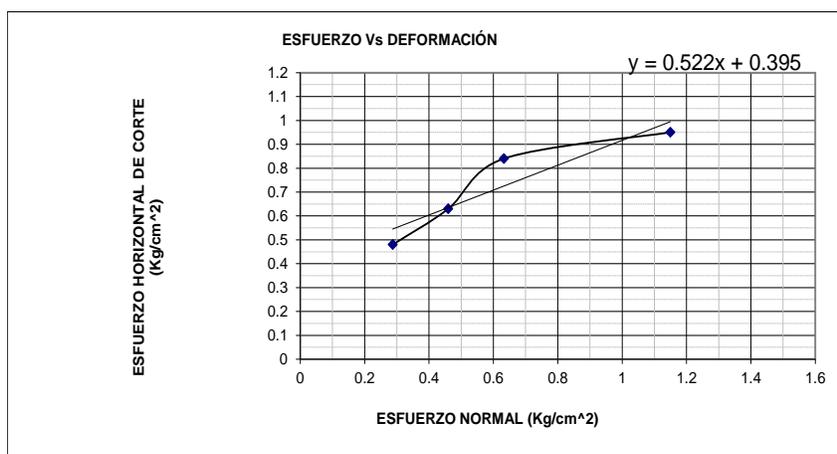
En la siguiente tabla se muestra los datos de humedad, peso unitario seco y húmedo para el ensayo de corte directo drenado.

**Tabla 20. Ensayo de corte directo drenado**

APIQUE	CONDICION DEL ENSAYO	Ysat %	HUMEDAD (%)	Y sec (%)
1	Saturado	1.92	27	1.51
2	Saturado	1.9	33	1.42
3	Saturado	1.77	37	1.29
4	Saturado	1.7	44	1.18

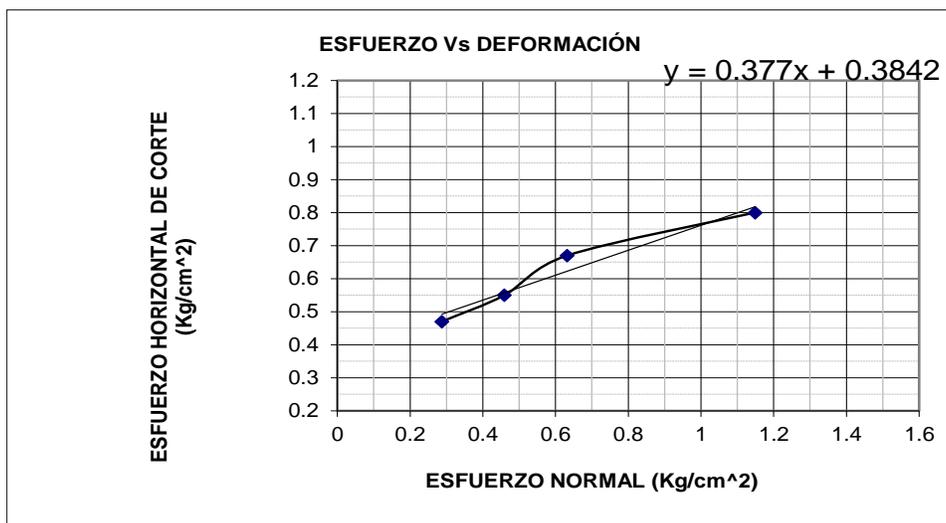
Fuente: Autores, 2018

En las siguientes figuras se presentan los datos obtenidos luego de haber sometido el suelo a diferentes cargas entre 5kg, 8kg, 11kg y 20 kg aplicados cada vez que el asentamiento ha parado, para así obtener el desplazamiento que se está presentando en el ensayo de corte.

**Figura 11. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 1 No drenado.**

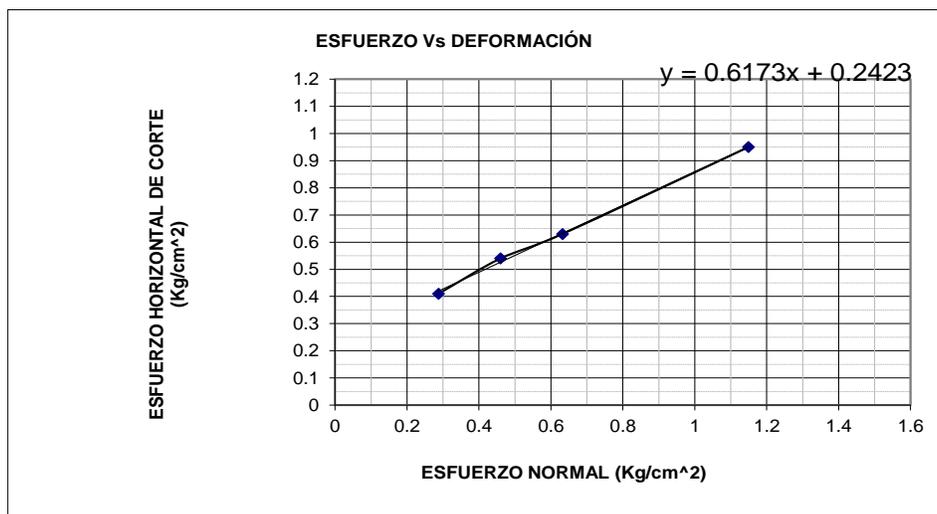
Fuente: Fuentes, D & Soler, D, 2018

Figura 12. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 2 No drenado.



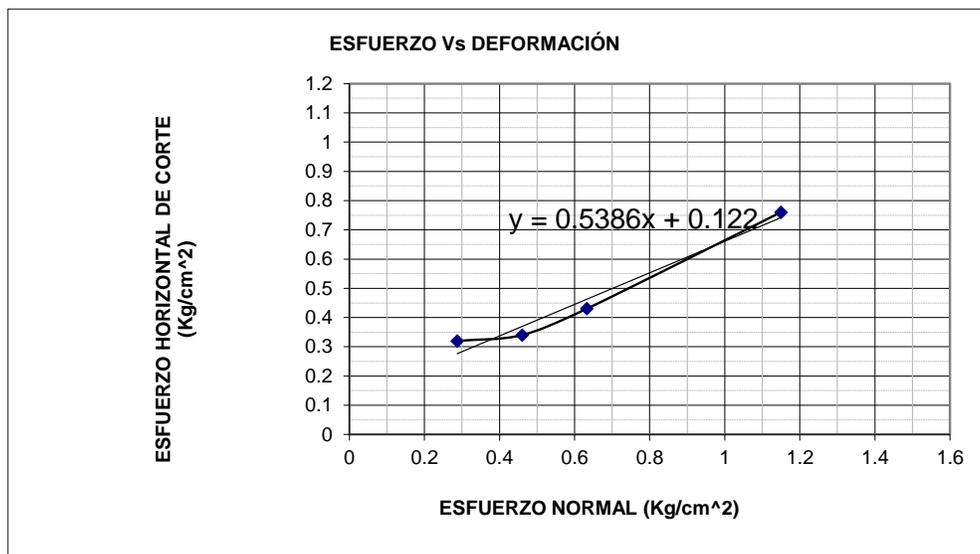
Fuente: Autores, 2018

Figura 13. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 3 No drenado.



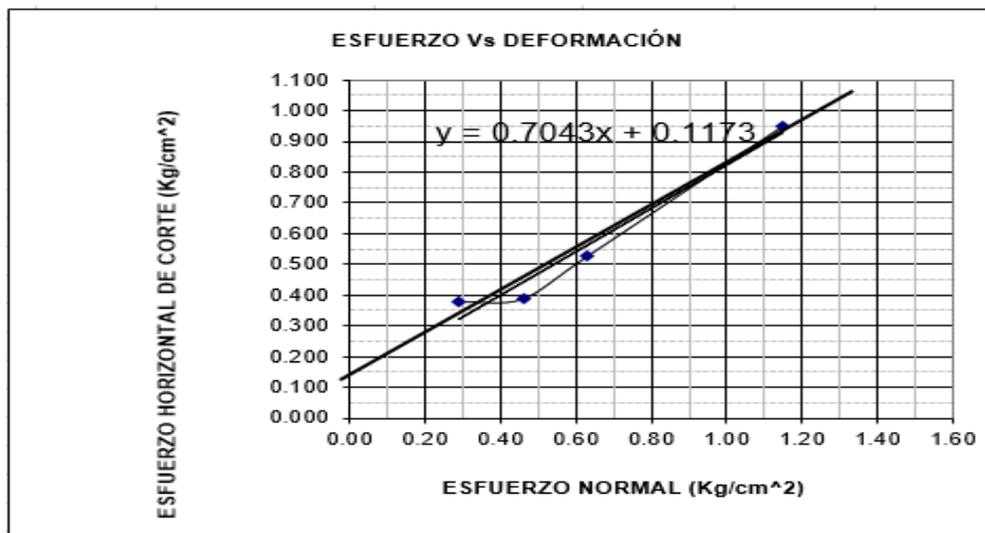
Fuente: Autores, 2018

Figura 14. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 4 No drenado.



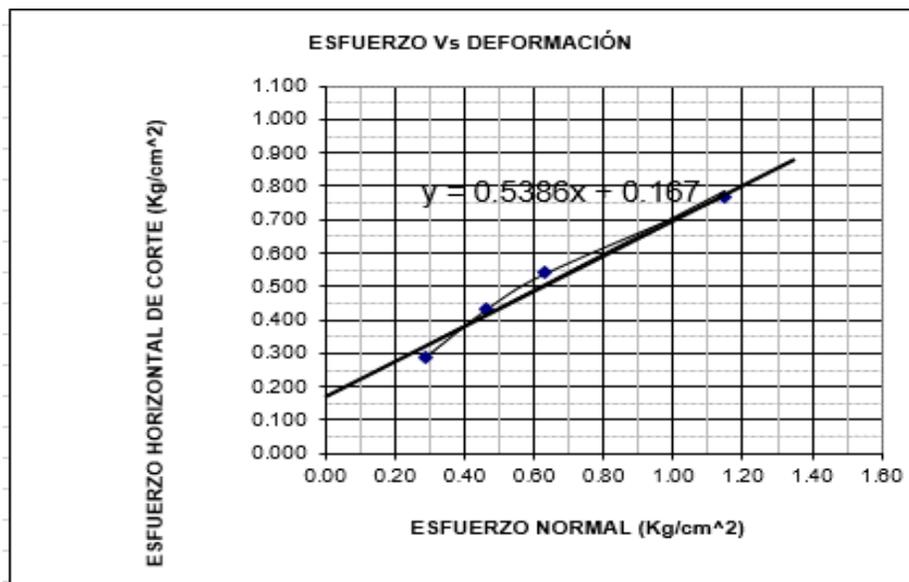
Fuente: Autores, 2018

Figura 15. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 1 Drenado.



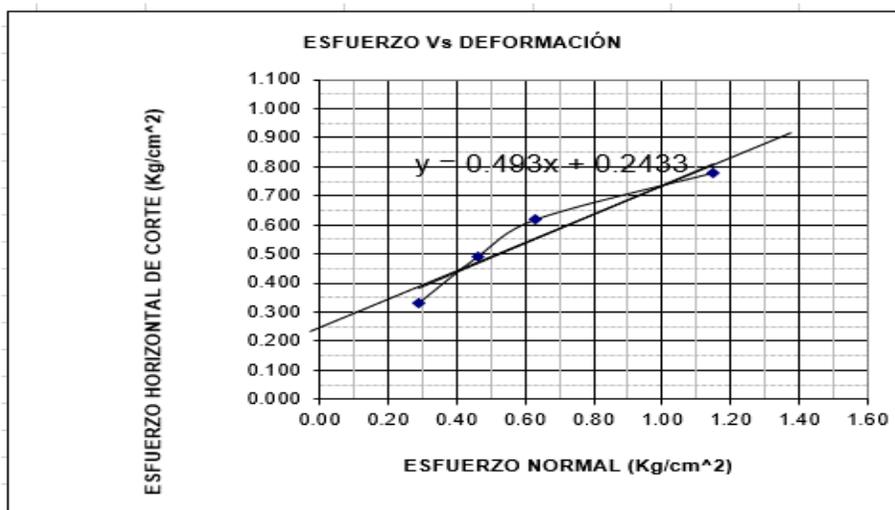
Fuente: Autores, 2018

Figura 16. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 2 Drenado



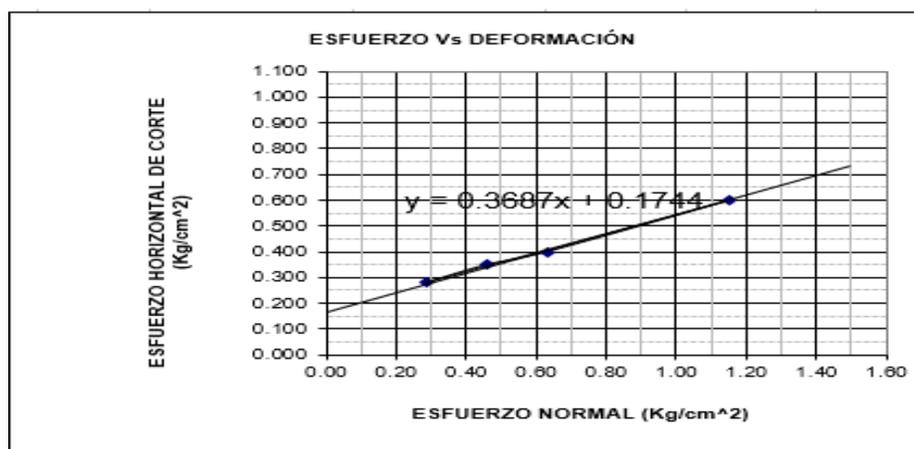
Fuente: Autores, 2018

Figura 17. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 3 Drenado



Fuente: Autores, 2018

Figura 18. Esfuerzo Horizontal Vs Esfuerzo Normal, Apique 4 Drenado



Fuente: Autores, 2018

#### 4.2.6.3 Obtención de la Resistencia

Para hallar la resistencia hay muchos métodos el usado en esta investigación es por grafica tomando el mayor esfuerzo que se obtiene. En la siguiente tabla se muestra la resistencia al corte obtenido para ensayo de corte directo drenado y no drenado.

Tabla 21. Ensayo de corte directo no drenado

APIQUE	CONDICION DEL ENSAYO	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
1	Natural	0.95
2	Natural	0.8
3	Natural	0.95
4	Natural	0.76

Fuente: Autores, 2018

Tabla 22. Ensayo de corte directo drenado

APIQUE	CONDICION DEL ENSAYO	RESISTENCIA Kg/cm <sup>2</sup>
1	Saturado	0.95
2	Saturado	0.77
3	Saturado	0.78
4	Saturado	0.6

Fuente: Autores, 2018

### 4.3 Condiciones de Humedad.

El contenido de agua del suelo experimenta variaciones continuas a lo largo del tiempo. Es por esta razón que se realiza diferentes condiciones de humedad tomándolas a partir de ciclos de humectación y secado identificando su comportamiento.

Al someter la muestra de suelo a estas condiciones se puede observar como el suelo se expande en los ciclos de humectación y se contrae en el ciclo de secado.

En las siguientes graficas se muestra como se está comportando en contenido de humedad al ser sometido a variaciones del 2% al 20% de agua, y como va aumentando cada vez que se somete a dichas condiciones. En las tablas se muestran los contenidos de humedad y el tiempo que se utilizó para realizar las gráficas.

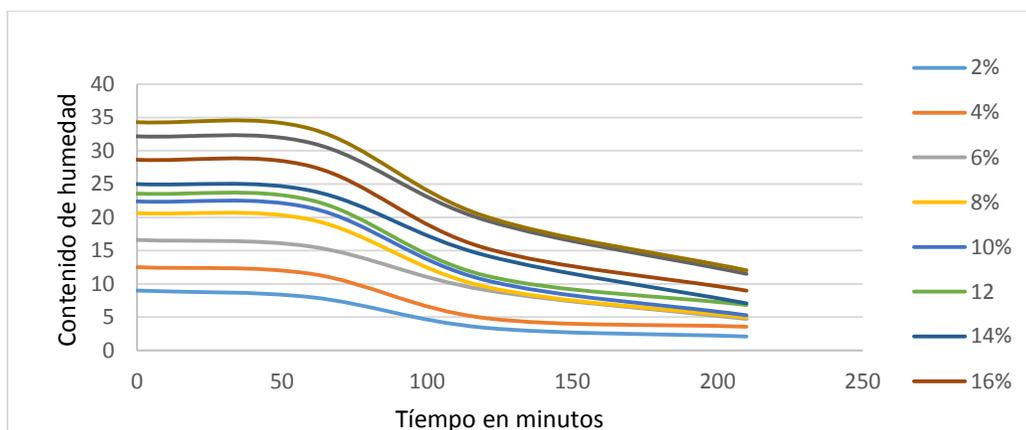
#### 4.3.1 Condiciones de Humedad Apique 1

*Tabla 23. Condiciones de humedad Apique 1*

CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%		CICLO DE 8%	
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min
9.0	0	12.51	0	16.602	0	20.63	0
8.0	60	11.51	60	15.602	60	19.63	60
3.4	120	4.86	120	9.086	120	9.57	120
2.1	210	3.57	210	4.738	210	4.93	210
CICLO 10%		CICLO 12%		CICLO 14%			
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min		
22.40	0	23.56	0	25.00	0		
21.40	60	22.56	60	24.00	60		
10.57	120	11.25	120	14.30	120		
5.29	210	6.83	210	7.08	210		
CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%			
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min		
28.65	0	32.17	0	34.29	0		
27.65	60	31.17	60	33.29	60		
15.38	120	19.58	120	20.15	120		
8.98	210	11.50	210	12.04	210		

Fuente: Autores, 2018

Figura 19. Condición de humedad apique 1



Fuente: Autores, 2018

En la anterior figura se muestra cómo se comporta el suelo a las variaciones de humedad del 2% al 20% utilizando una pipeta de 10ml, como se puede observar en la figura se presenta un contenido de humedad máximo del 36.7% y un mínimo de 2.10%, los contenidos de humedad no sufren muchas alteraciones debido al tipo de suelo que se está utilizando, el cual es una arena arcillosa, la cual siempre va tener porcentaje de humedad

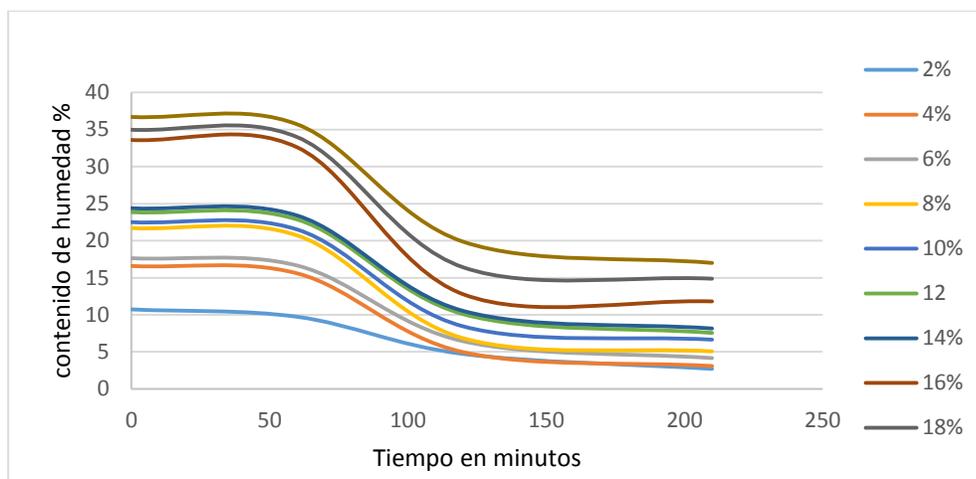
#### 4.3.2 Condiciones de Humedad Apique 2

Tabla 24. Condiciones de humedad Apique 2

CICLO DE 2%		CICLO DE 4%		CICLO DE 6%		CICLO DE 8%	
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min
10.73	0	16.58	0	17.64	0	21.70	0
9.73	60	15.58	60	16.64	60	20.70	60
4.71	120	4.95	120	6.43	120	6.84	120
2.70	210	3.08	210	4.16	210	5.07	210
CICLO DE 10%		CICLO DE 12%		CICLO DE 14%			
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min		
22.50	0	23.85	0	24.38	0		
21.50	60	22.85	60	23.38	60		
8.44	120	10.09	120	10.52	120		
6.65	210	7.56	210	8.15	210		
CICLO DE 16%		CICLO DE 18%		CICLO DE 20%			
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min		
33.59	0	34.98	0	36.70	0		
32.59	60	33.98	60	35.70	60		
12.77	120	16.41	120	19.86	120		
11.81	210	14.87	210	17.00	210		

Fuente: Autores, 2018

Figura 20, Condición de humedad apique 2



Fuente: Autores, 2018

En la anterior figura se muestra cómo se comporta el suelo a las variaciones de humedad del 2% al 20% utilizando una pipeta de 10ml, como se puede observar en la figura se presenta un contenido de humedad máximo del 33.59% y un mínimo de 2.70%, evidenciando que en las condiciones del 16% al 20% el contenido de humedad presenta una alteración esto ocurre debido a que las partículas de suelos se expanden permitiendo así que el contenido de humedad no se pierda

### 4.3.3 Condiciones de Humedad Apique 3

Tabla 25. Condiciones de humedad Apique 3

CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%		CICLO 8%	
contenido %	Tiempo min						
8.53679122	0	9.0877916	0	10.7667265	0	13.1233968	0
7.53679122	60	8.0877916	60	9.76672646	60	12.1233968	60
3.45798032	120	3.3220784	120	3.7790207	120	5.28166155	120
2.51696317	210	2.60262022	210	3.12114658	210	3.58403786	210

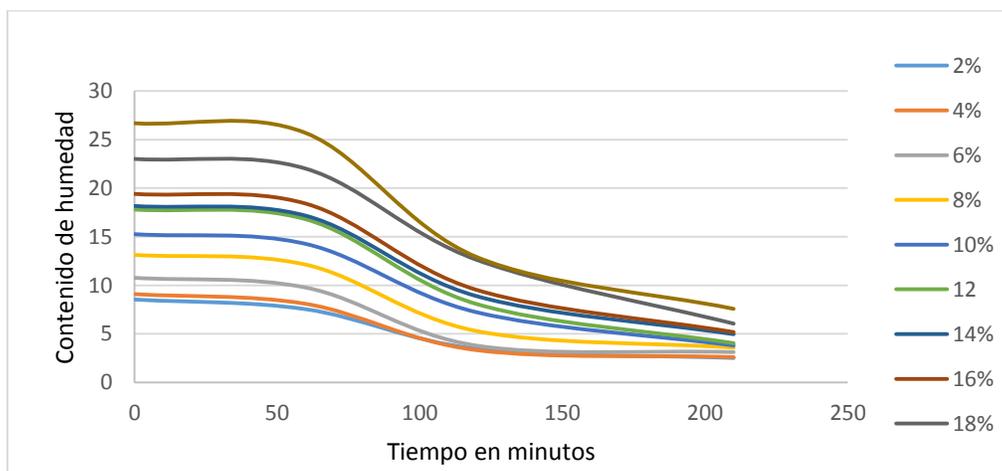
CICLO 10%		CICLO 12%		CICLO 14%	
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min
15.2587243	0	17.795614	0	18.1584746	0
14.2587243	60	16.795614	60	17.1584746	60
7.21711263	120	8.06247607	120	8.87419355	120
3.79829215	210	4.03935415	210	4.961407	210

CICLO 16%		CICLO 18%		CICLO 20%	
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min
19.4037843	0	23.0041488	0	26.6767677	0
18.4037843	60	22.0041488	60	25.6767677	60
9.51601877	120	12.6085816	120	12.9	120
5.17834219	210	6.04949584	210	7.57467532	210

Fuente: Autores, 2018

Figura 21. Condición de humedad apique 3



Fuente: Autores, 2018

En la anterior figura se muestra cómo se comporta el suelo a las variaciones de humedad del 2% al 20% utilizando una pipeta de 10ml, como se puede observar en la figura se presenta un

contenido de humedad máximo del 19.4% y un mínimo de 2.5%, los contenidos de humedad no sufren muchas alteraciones debido al tipo de suelo que se está utilizando el cual es una arena arcillosa.

#### 4.3.4 Condiciones de Humedad Apique 4.

*Tabla 26. Condiciones de humedad Apique 4*

CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%		CICLO 8%	
contenido %	Tiempo min						
4.79	0	7.14	0	8.18	0	14.84	0
3.79	60	6.14	60	7.18	60	13.84	60
2.37	120	5.14	120	6.18	120	12.84	120
1.82	210	4.14	210	5.18	210	11.84	210

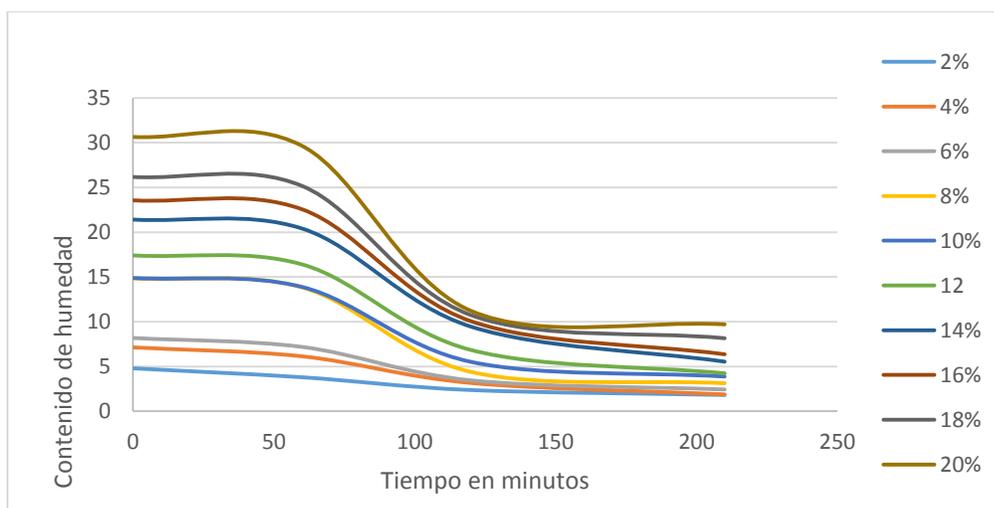
CICLO 10%		CICLO 12%		CICLO 14%	
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min
14.89	0	17.41	0	21.41	0
13.89	60	16.41	60	20.41	60
5.51	120	6.84	120	9.45	120
3.88	210	4.24	210	5.54	210

CICLO 16%		CICLO 18%		CICLO 20%	
contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min	contenido %	Tiempo min
23.56	0	26.17	0	30.65	0
22.56	60	25.17	60	29.65	60
10.06	120	10.74	120	11.21	120
6.36	210	8.16	210	9.71	210

Fuente: Autores, 2018

*Figura 22. Condición de humedad apique 3*



Fuente: Autores, 2018

En la anterior figura se muestra cómo se comporta el suelo a las variaciones de humedad del 2% al 20% utilizando una pipeta de 10ml, como se puede observar en la figura se presenta un contenido de humedad máximo del 23.56% y un mínimo de 1.82%, se evidencia que en las condiciones que se realizan en este tipo de suelo el contenido de humedad presenta una alteración esto ocurre debido a que las partículas de suelos se expanden permitiendo así que el contenido de humedad no se pierda.

### **Conclusiones y Recomendaciones**

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos efectuados y una vez analizados se lograron las siguientes conclusiones:

Se obtuvieron que los porcentajes que pasan por el tamiz número 200 están entre 9.14% y 24.67% y un límite líquido entre 29.423% y 60.917%. Por lo tanto, los datos obtenidos en la investigación solo serán aplicados para suelos con las características mencionadas.

En las condiciones de humedad realizadas se obtuvieron diferentes contenidos de humedad los cuales van desde 1.87% a 36.70%, evidenciando el comportamiento que presenta el suelo a estas variaciones, se observó las condiciones mecánicas de expansión y contracción que depende del agua que contiene el suelo.

Por medio de las gráficas se verifica como es la expansión y contracción de cada una de las muestras de suelo, mostrando que a menor humedad mayor va a ser su expansión en las partículas, y a mayor humedad se van contrayendo estas partículas de suelo lo que hace que su humedad disminuya, aunque se realicen más ciclos de humedad el suelo no va a perder en su totalidad el agua que contiene ya que las partículas de suelo nunca se contraen en su totalidad.

Realizando el ensayo de corte directo se determinó que tanto la cohesión como el ángulo de fricción del terreno estudiado corresponde a arenas arcillosas de baja y alta plasticidad, además al saturar la muestra se evidencia que la cohesión del terreno disminuye lo que nos indica que los terrenos saturados son de más fácil erosión debido a la falta de unión de las partículas.

El comportamiento de las muestras de los apiques en el ensayo de corte directo es similares lo que indica la uniformidad en la composición del terreno.

Según los datos obtenidos en el ensayo de corte directo se evidencia que el ángulo de fricción en los dos primeros apiques aumenta cuando el suelo se encuentra saturado y la cohesión disminuye, mientras que en el tercer apique la cohesión se mantiene igual y el ángulo de fricción disminuye, y el cuarto apique la cohesión aumenta y el ángulo disminuye, estas variaciones se

deben a que el suelo no se saturó en totalidad, haciendo que el suelo en estado natural tenga mayor adherencia en las partículas representando así la resistencia al cortante producida por el terreno.

Los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo consolidado drenado presentan una resistencia al corte de 0.6 a 0.95 kg/cm<sup>2</sup> en cuanto al ensayo de corte directo consolidado no drenado presenta la resistencia al corte de 0.76 a 0.95 kg/cm<sup>2</sup>. Observando que el suelo presenta resistencias muy bajas debido a la profundidad que se realizó la investigación. Teniendo en cuenta estos resultados podemos evidenciar la variación de resistencia que se está presentando en el suelo a ser sometida a cambios de humedad.

Los datos presentados en esta investigación, servirán como punto de partida para el desarrollo de nuevos proyectos que estudien las características de esfuerzo del terreno a profundidades mayores.

Es importante evidenciar que teniendo en cuenta la cohesión y ángulo de fricción a una profundidad se pueden realizar extrapolaciones para así conocer la resistencia que el suelo presenta a mayor profundidad, al igual que se pueden realizar métodos geofísicos a mayores profundidades donde se presenta una estructura de cada uno de las capas del suelo y aplicando métodos como lo es la ley de Snell para determinar el ángulo de fricción, y obteniendo velocidades a partir de las ondas P y las ondas S generadas en cada uno de los métodos que se aplique y teniendo en el esfuerzo a cortante se puede determinar la resistencia que el suelo presenta

## Referencias Bibliográficas

- Ashburner, J., & Sims, B. (1984). *Elementos de diseño del tractor y elementos de labranza*. San José: IICA, Costa Rica.
- Burgos, Y. (9 de Noviembre de 2015). *EMS- Ensayo de corte directo*. Recuperado el 2018, de <https://www.slideshare.net/yonerchavezburgos/informe-de-corte-directo-ntp-339171>
- Cantillo, R. A. (2006). *Caracterización Geotécnica de los suelos del campus de la Universidad de Pamplona y de los barrios Duque, Juan XXIII, Santa Marta, Tinto Redondo, Chichira en el Municipio de Pamplona Norte de Santander*. Tesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Cardona, J., & Cristancho, F. (2008). *La Humedad en las Propiedades Físicas del Suelo*. Recuperado el 2018, de <http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/gruposdeinvestigacion/fisicanuclear/Tesis/JCZamoraTG08.pdf>
- Concesionaria San Simón S.A. (2013). *Reconstrucción de 13 sitios críticos en la vía Cúcuta - Pamplona*. Propuesta, Norte de Santander, Cúcuta. Recuperado el Mayo de 31 de 2018, de <ftp://ftp.ani.gov.co/Tercera%20Ola/Pamplona%20Cucuta/C/CI/CI7/CI72/GEOLOGIA-GEOTECNIA/5.%20PAMPLONA-CUCUTA/88+680/Rev%20RPC%20INFORME%20AJUSTES%20PR88%20680%20REV6.pdf>
- Corponor. (2017).
- Escobar, G., & Escobar, C. (2002). *Geomécanica para ingenieros*. Recuperado el 2018, de <https://godues.wordpress.com/2013/01/24/geomecanica-para-ingenieros/>

González, O. (Enero de 2011). *Herramientas conceptuales para el estudio del proceso de evaporación acoplado con el comportamiento mecánico de los suelos* . Recuperado el 2018, de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/1268/ing08.pdf?sequence=1>

INVIAS. (s.f.). *Ensayo corte directo: E-154-13*. Obtenido de [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-154-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-154-07.pdf)

Jaimés, J., & López, D. (2014). *Relaciones succiones succión-humedad y comportamiento volumétrico de arcillas lacustres fisuradas por desecación*. Recuperado el 2018, de [https://www.researchgate.net/profile/Jorge\\_Pineda-Jaimés/publication/288827542\\_WATER\\_RETENTION\\_PROPERTIES\\_AND\\_VOLUMETRIC\\_BEHAVIOR\\_OF\\_FISSURED-DESSICATED\\_LACUSTRINE\\_CLAYS/links/5684afcb08aebccc4e0feb60/WATER-RETENTION-PROPERTIES-AND-VOLUMETRIC-BEHAVIOR-OF-](https://www.researchgate.net/profile/Jorge_Pineda-Jaimés/publication/288827542_WATER_RETENTION_PROPERTIES_AND_VOLUMETRIC_BEHAVIOR_OF_FISSURED-DESSICATED_LACUSTRINE_CLAYS/links/5684afcb08aebccc4e0feb60/WATER-RETENTION-PROPERTIES-AND-VOLUMETRIC-BEHAVIOR-OF-)

Ortiz, G. (2013). *Interpretación Geológica Estructural de la Zona Norte del Municipio de Pamplona, Norte de Santander*. Universidad de Pamplona, Pamplona.

Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (Quinta edición ed.). Limusa Noriega Editores.

## **Apéndices**

Apéndice A. Resultados USCS, Granulometría, Límites de Atterberg, Relaciones gravimétricas y volumétricas y permeabilidad.

Apique 1

	EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER					
ENSAYO	Granulometría, Límites, Relaciones gravimétricas y volumétricas, Permeabilidad		PROFUNDIDAD	1.6	FECHA	25-may-18
ESTRATO	1		ANEXO	1	APIQUE	1

GRANULOMETRIA			
PESO MUESTRA INICIAL			
# TAMIZ	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% QUE PASA
4	19	1.41	98.59
8	25.2	1.82	96.78
16	81.8	5.55	91.23
20	38.2	2.67	88.55
30	117.2	7.89	80.66
40	143	9.59	71.07
50	146	9.79	61.28
60	120.2	8.09	53.19
100	345.4	22.96	30.24
200	82	5.57	24.67
fondo	371.4	24.67	0.00

LIMITE LIQUIDO			
LATA No.	1	2	3
Peso del suelo + recipiente (gr)	16.867	15.133	17.267
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	14.000	13.200	15.000
Peso recipiente (gr)	8.133	7.200	7.600
Peso suelo seco (gr)	5.867	6.000	7.400
Peso del agua (gr)	2.867	1.933	2.267
Contenido de humedad %	0.528	0.324	0.306
Numero de golpes, N	16	22	28

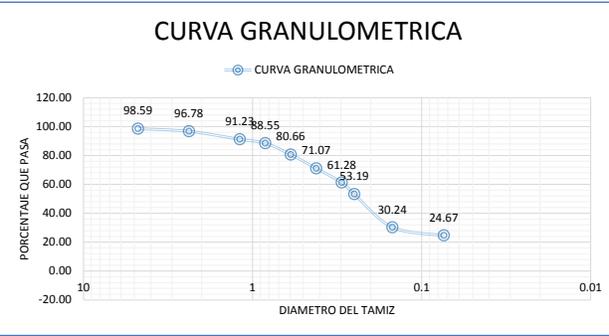
  

LIMITE PLASTICO	
LATA No.	4
Peso del suelo + recipiente (gr)	13.400
Peso del suelo seco + recipiente (gr)	12.400
Peso recipiente (gr)	9.067
Peso suelo seco (gr)	3.333
Peso del agua (gr)	1.000
Contenido de humedad %	0.297

Humedad natural %	20.703
LIMITE LIQUIDO (WL)	37.660
LIMITE PLASTICO (WP)	29.701
INDICE DE PLASTICIDAD	7.960

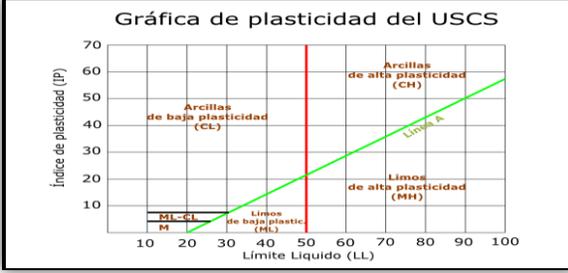




% GRAVA	1.41
% ARENA	73.92
% FINOS	24.67
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1.18
PESO UNITARIO SATURADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.37
GRAVEDAD ESPECIFICA G <sub>s</sub>	1.67



CABEZA VARIABLE	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	0.000200

CABEZA CONSTANTE	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	0.000258

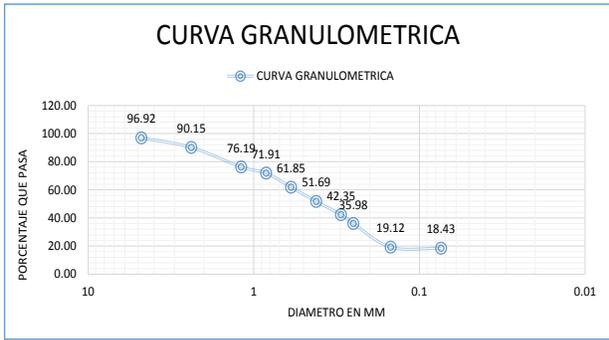
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD

Apique 2

		EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER					
ENSAYO	Granulometría, Límites, Relaciones gravimétricas y volumétricas, Permeabilidad	PROFUNDIDAD	1.6	FECHA	25-may-18		
ESTRATO	1	ANEXO	2	APIQUE	2		
<b>GRANULOMETRIA</b>			<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
PESO MUESTRA INICIAL			LATA No.				
# TAMIZ	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% QUE PASA	1	2	3	
4	27.8	3.08	96.92	Peso del suelo + recipiente (gr)	14.000	9.933	11.800
8	61.2	6.77	90.15	Peso del suelo seco + recipiente (gr)	12.200	9.067	10.367
16	126.2	13.96	76.19	Peso recipiente (gr)	8.133	7.067	6.933
20	38.6	4.27	71.91	Peso suelo seco (gr)	4.067	2.000	3.433
30	91	10.07	61.85	Peso del agua (gr)	1.800	0.867	1.433
40	91.8	10.16	51.69	Contenido de humedad %	0.445	0.439	0.428
50	84.4	9.34	42.35	Numero de golpes, N	16	23	27
60	57.6	6.37	35.98	<b>LIMITE PLASTICO</b>			
100	152.4	16.86	19.12	LATA No.	4		
200	6.2	0.69	18.43	Peso del suelo + recipiente (gr)	11.000		
fondo	166.6	18.43	0.00	Peso del suelo seco + recipiente (gr)	10.833		
				Peso recipiente (gr)	9.633		
				Peso suelo seco (gr)	1.200		
				Peso del agua (gr)	0.167		
				Contenido de humedad %	0.346		
				Humedad natural %	31.730		
				LIMITE LIQUIDO (WL)	43.035		
				LIMITE PLASTICO (WP)	34.568		
				INDICE DE PLASTICIDAD	8.467		

**CURVA GRANULOMETRICA**

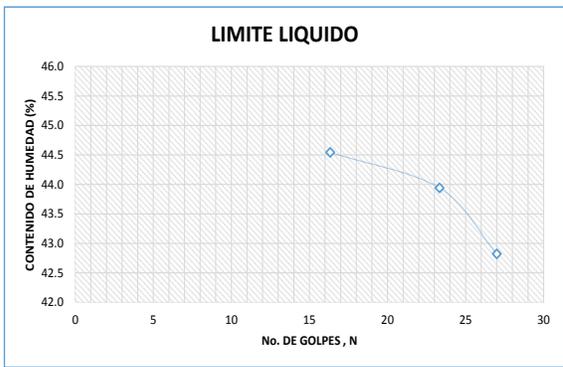


% GRAVA	3.08
% ARENA	78.49
% FINOS	18.43
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1.19
PESO UNITARIO SATURADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.42
GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	1.84

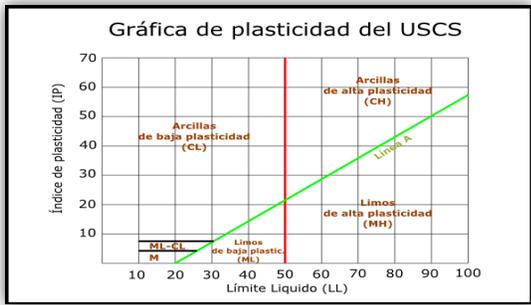
  

**LIMITE LIQUIDO**



**Gráfica de plasticidad del USCS**



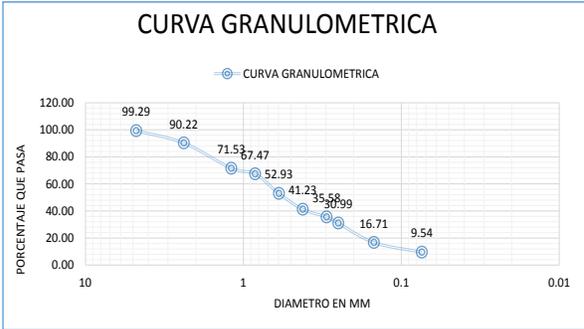
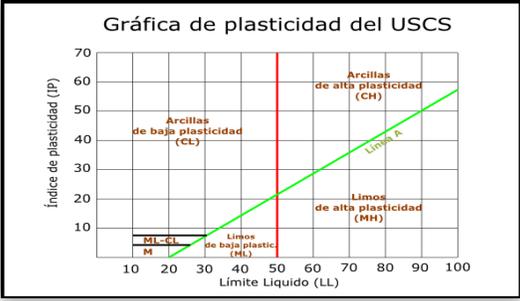
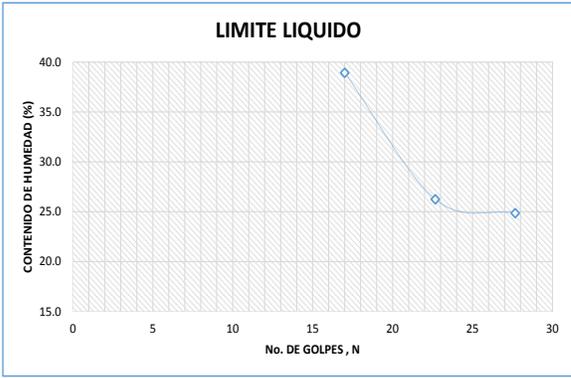
  

CABEZA VARIABLE	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	0.000301
CABEZA CONSTANTE	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	0.000736

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD

Apique 3

		EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER					
ENSAYO	Granulometria, Limites, Relaciones gravimetricas y volumetricas, Permeabilidad	PROFUNDIDAD	1.6	FECHA	25-may-18		
ESTRATO	1	ANEXO	3	APIQUE	3		
<b>GRANULOMETRIA</b>			<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
PESO MUESTRA INICIAL			LATA No.				
# TAMIZ	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% QUE PASA	1	2	3	
4	648.4	0.71	99.29	Peso del suelo + recipiente (gr)	9.600	12.600	11.800
8	545.8	9.07	90.22	Peso del suelo seco + recipiente (gr)	129.000	11.533	11.267
16	543.2	18.70	71.53	Peso recipiente (gr)	266.600	7.400	9.000
20	527.4	4.05	67.47	Peso suelo seco (gr)	57.400	4.133	2.267
30	524.6	14.54	52.93	Peso del agua (gr)	207.200	1.067	0.533
40	521.8	11.70	41.23	Contenido de humedad %	166.600	0.262	0.249
50	500.6	5.65	35.58	Numero de golpes, N	80.200	22.667	27.667
60	503	4.59	30.99	<b>LIMITE PLASTICO</b>			
100	481.8	14.29	16.71	LATA No.	4		
200	486.2	7.16	9.54	Peso del suelo + recipiente (gr)	8.267		
fondo	567.6	9.54	0.00	Peso del suelo seco + recipiente (gr)	8.067		
				Peso recipiente (gr)	6.800		
				Peso suelo seco (gr)	1.267		
				Peso del agua (gr)	0.200		
				Contenido de humedad %	0.183		
<b>CURVA GRANULOMETRICA</b>							
% GRAVA	0.71		Humedad natural %				
% ARENA	89.75		38.734				
% FINOS	9.54		LIMITE LIQUIDO (WL)				
			29.423				
DENSIDAD (gr/cm <sup>3</sup> )	1.27		LIMITE PLASTICO (WP)				
PESO UNITARIO SATURADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.48		18.333				
GRAVEDAD ESPECIFICA G <sub>s</sub>	1.87		INDICE DE PLASTICIDAD				
			11.090				
<b>Gráfica de plasticidad del USCS</b>							
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE BAJA PLASTICIDAD			CABEZA VARIABLE				
			COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD				
			0.000086				
			CABEZA CONSTANTE				
			COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD				
			0.000094				
			No. DE GOLPES, N				
			CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				
							

Fuente: Autores, 2018

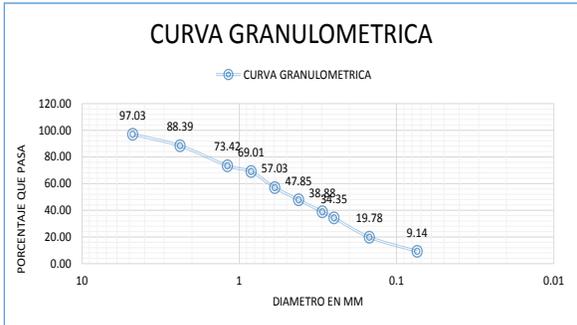
Apique 4

	EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER					
ENSAYO	Granulometria, Limites, Relaciones gravimetricas y volumetricas, Permeabilidad		PROFUNDIDAD	1.6	FECHA	25-may-18
ESTRATO	1		ANEXO	4	APIQUE	4

GRANULOMETRIA			
PESO MUESTRA INICIAL			
# TAMIZ	PESO RETENIDO gr	% RETENIDO	% QUE PASA
4	53.6	2.97	97.03
8	159.6	8.64	88.39
16	278	14.97	73.42
20	80.4	4.41	69.01
30	222.2	11.99	57.03
40	169.6	9.17	47.85
50	165.8	8.97	38.88
60	82.8	4.53	34.35
100	270.4	14.56	19.78
200	197	10.64	9.14
fondo	169	9.14	0.00

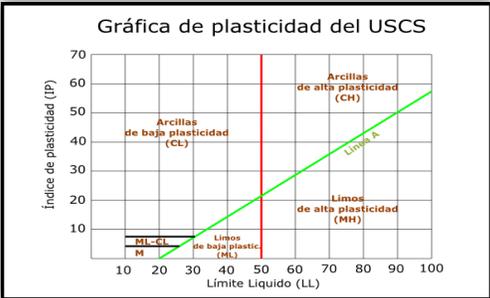


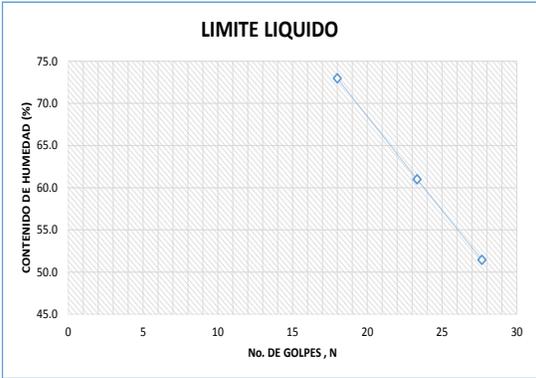
Humedad natural %	50.401
LIMITE LIQUIDO (WL)	60.917
LIMITE PLASTICO (WP)	50.000
INDICE DE PLASTICIDAD	10.917

% GRAVA	2.97
%ARENA	87.88
% FINOS	9.14
DENSIDAD (gr/cm3)	1.24
PESO UNITARIO SATURADO (gr/cm3)	1.50
GRAVEDAD ESPECIFICA Gs	2.01





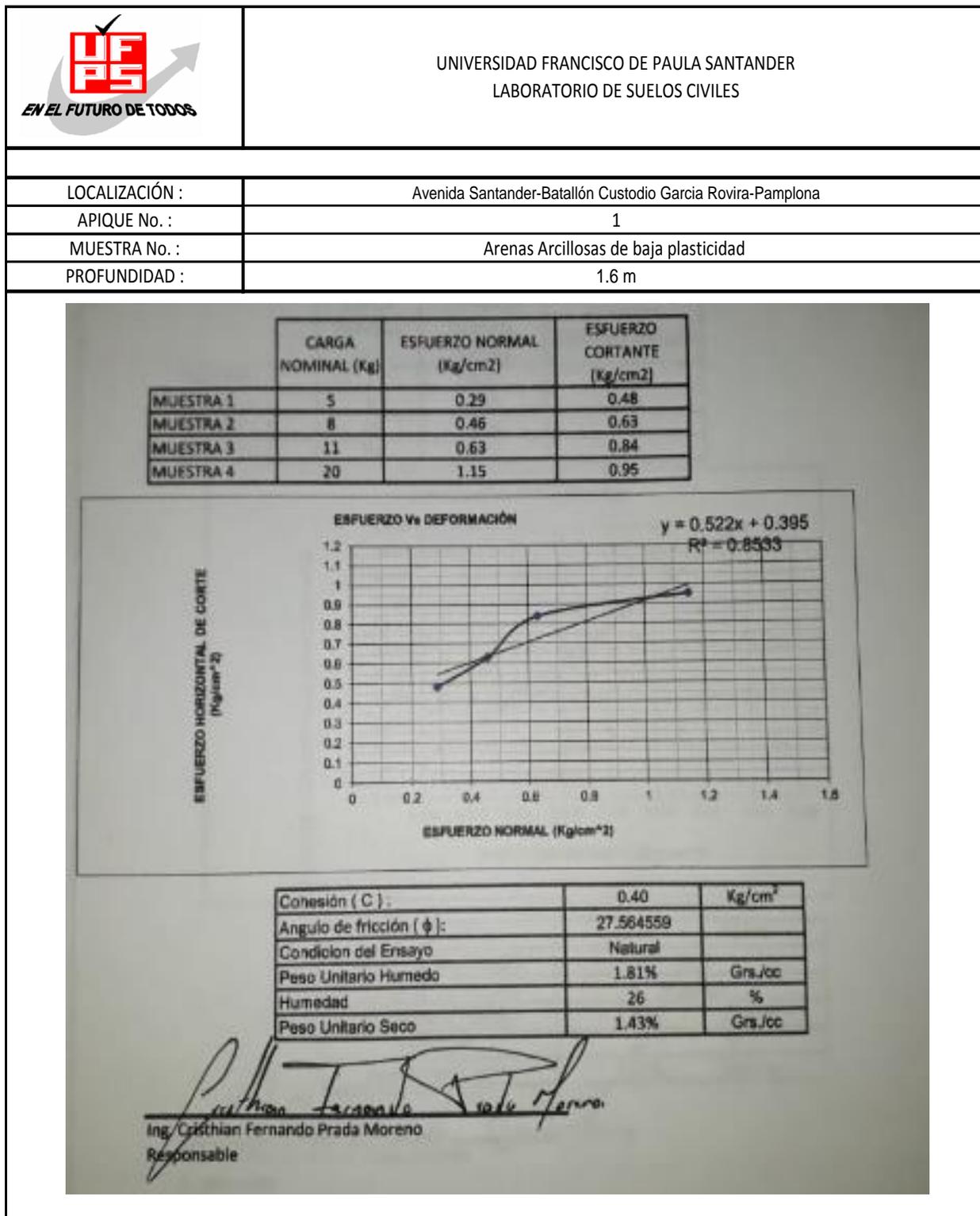
CABEZA VARIABLE	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	0.000005
CABEZA CONSTANTE	
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD	0.000033

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD

## Apéndice B. Ensayo Corte Directo

## Apique 1 (Estado Natural)



Fuente: Autores, 2018

## Apique 1 (Estado Saturado)

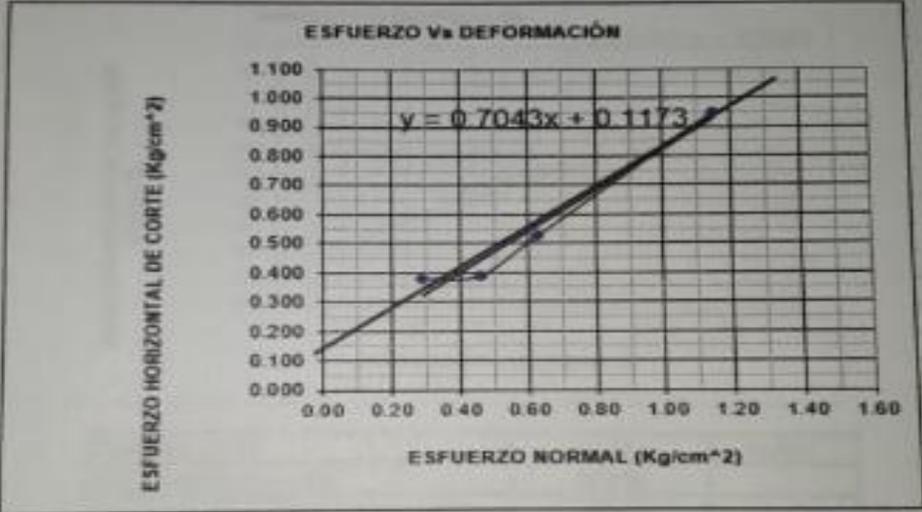
	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER LABORATORIO DE SUELOS CIVILES	
	LOCALIZACIÓN :	Avenida Santander-Batallón Custodio Garcia Rovira-Pamplona
APIQUE No. :	1	
MUESTRA No. :	Arenas Arcillosas de baja plasticidad	
PROFUNDIDAD :	1.6 m	

	CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
MUESTRA 1	5	0.29	0.38
MUESTRA 2	8	0.46	0.39
MUESTRA 3	11	0.63	0.53
MUESTRA 4	20	1.15	0.95

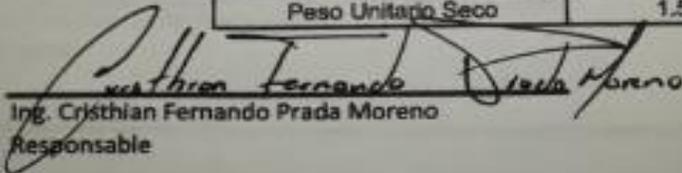
  

**ESFUERZO V<sub>s</sub> DEFORMACIÓN**



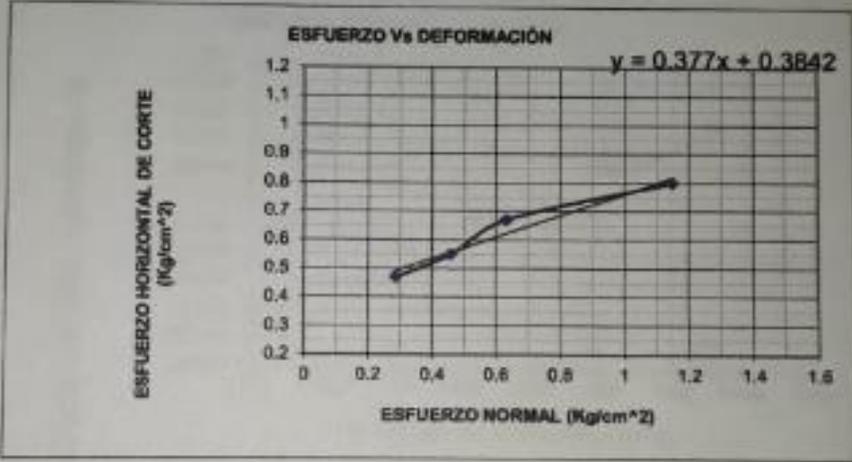
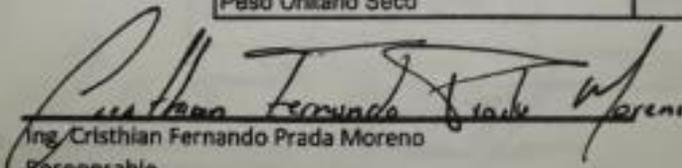
$y = 0.7043x + 0.1173$

Cohesión ( C ) :	0.11	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción ( $\phi$ ) :	35.15	
Condicion del Ensayo	Saturado	
Peso Unitario Humedo	1.92%	Grs./cc
Humedad	27	%
Peso Unitario Seco	1.51%	Grs./cc

  
 Ing. Crísthian Fernando Prada Moreno  
 Responsable

Fuente: Autores, 2018

## Apique 2 (Estado Natural)

		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER LABORATORIO DE SUELOS CIVILES																					
LOCALIZACIÓN :		Avenida Santander-Batallón Custodio Garcia Rovira-Pamplona																					
APIQUE No. :		2																					
MUESTRA No. :		Arenas Arcillosas de baja plasticidad																					
PROFUNDIDAD :		1.6 m																					
<table border="1" data-bbox="365 703 1144 924"> <thead> <tr> <th></th> <th>CARGA NOMINAL (Kg)</th> <th>ESFUERZO NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MUESTRA 1</td> <td>5</td> <td>0.29</td> <td>0.47</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA 2</td> <td>8</td> <td>0.46</td> <td>0.55</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA 3</td> <td>11</td> <td>0.63</td> <td>0.67</td> </tr> <tr> <td>MUESTRA 4</td> <td>20</td> <td>1.15</td> <td>0.80</td> </tr> </tbody> </table>					CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )	MUESTRA 1	5	0.29	0.47	MUESTRA 2	8	0.46	0.55	MUESTRA 3	11	0.63	0.67	MUESTRA 4	20	1.15	0.80
	CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )																				
MUESTRA 1	5	0.29	0.47																				
MUESTRA 2	8	0.46	0.55																				
MUESTRA 3	11	0.63	0.67																				
MUESTRA 4	20	1.15	0.80																				
																							
<table border="1" data-bbox="535 1417 1299 1627"> <tbody> <tr> <td>Cohesión ( C ):</td> <td>0.38</td> <td>Kg/cm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Angulo de fricción ( φ ):</td> <td>20.656</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Condicion del Ensayo</td> <td>Natural</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Humedo</td> <td>1.67%</td> <td>Grs./cc</td> </tr> <tr> <td>Humedad</td> <td>27</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Seco</td> <td>1.31%</td> <td>Grs./cc</td> </tr> </tbody> </table>				Cohesión ( C ):	0.38	Kg/cm <sup>2</sup>	Angulo de fricción ( φ ):	20.656		Condicion del Ensayo	Natural		Peso Unitario Humedo	1.67%	Grs./cc	Humedad	27	%	Peso Unitario Seco	1.31%	Grs./cc		
Cohesión ( C ):	0.38	Kg/cm <sup>2</sup>																					
Angulo de fricción ( φ ):	20.656																						
Condicion del Ensayo	Natural																						
Peso Unitario Humedo	1.67%	Grs./cc																					
Humedad	27	%																					
Peso Unitario Seco	1.31%	Grs./cc																					
 Ing. Cristhian Fernando Prada Moreno Responsable																							

Fuente: Autores, 2018

## Apique 2 (Estado Saturado)

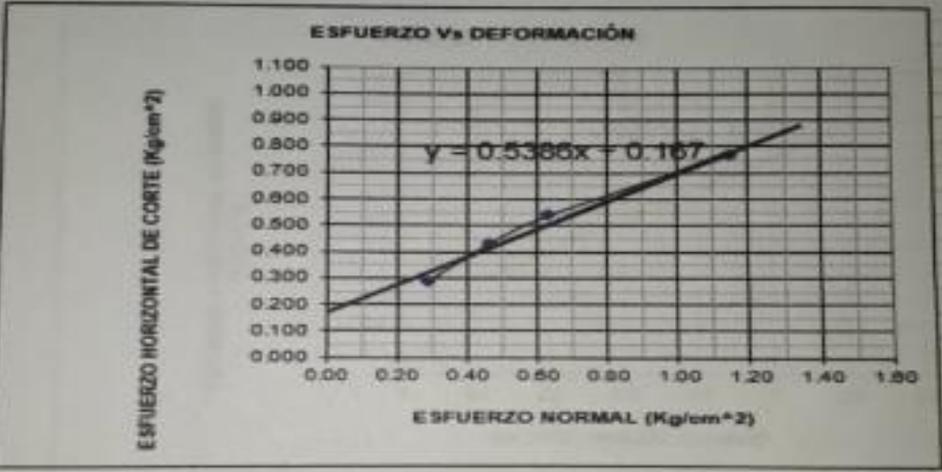
		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER LABORATORIO DE SUELOS CIVILES	
LOCALIZACIÓN :		Avenida Santander-Batallón Custodio Garcia Rovira-Pamplona	
APIQUE No. :		2	
MUESTRA No. :		Arenas Arcillosas de baja plasticidad	
PROFUNDIDAD :		1.6 m	

	CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
MUESTRA 1	5	0.29	0.29
MUESTRA 2	8	0.46	0.43
MUESTRA 3	11	0.63	0.54
MUESTRA 4	20	1.15	0.77

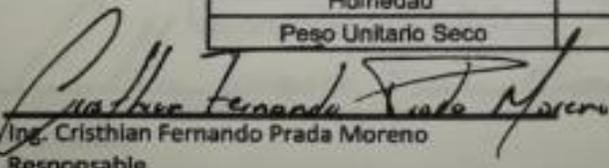
  

**ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN**

Cohesión ( C ) :	0.17	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción ( $\phi$ ) :	28.31	
Condicion del Ensayo	Saturado	
Peso Unitario Humedo	1.90%	Grs./cc
Humedad	33	%
Peso Unitario Seco	1.42%	Grs./cc

  
 Ing. Cristhian Fernando Prada Moreno  
 Responsable

Fuente: Autores, 2018

## Apique 3 (Estado Natural)

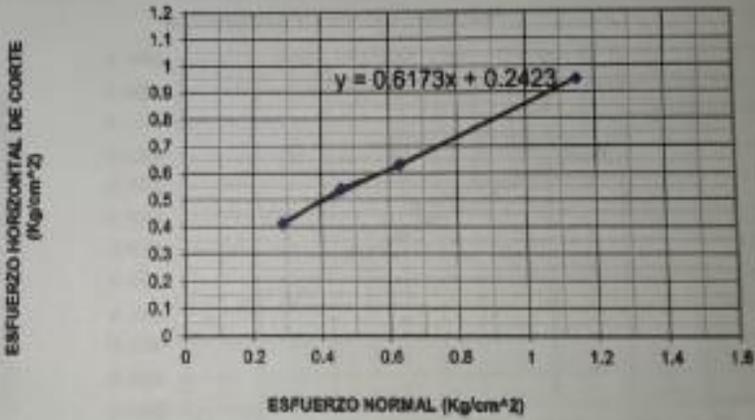
		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER LABORATORIO DE SUELOS CIVILES	
LOCALIZACIÓN :	Avenida Santander-Batallón Custodio Garcia Rovira-Pamplona		
APIQUE No. :	3		
MUESTRA No. :	Arenas Arcillosas de baja plasticidad		
PROFUNDIDAD :	1.6m		

	CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
MUESTRA 1	5	0.29	0.41
MUESTRA 2	8	0.46	0.54
MUESTRA 3	11	0.63	0.63
MUESTRA 4	20	1.15	0.95

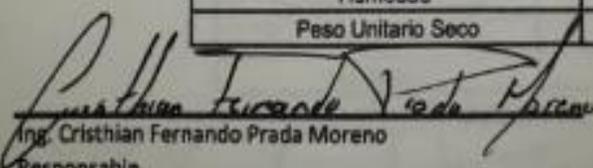
ESFUERZO Vs DEFORMACIÓN



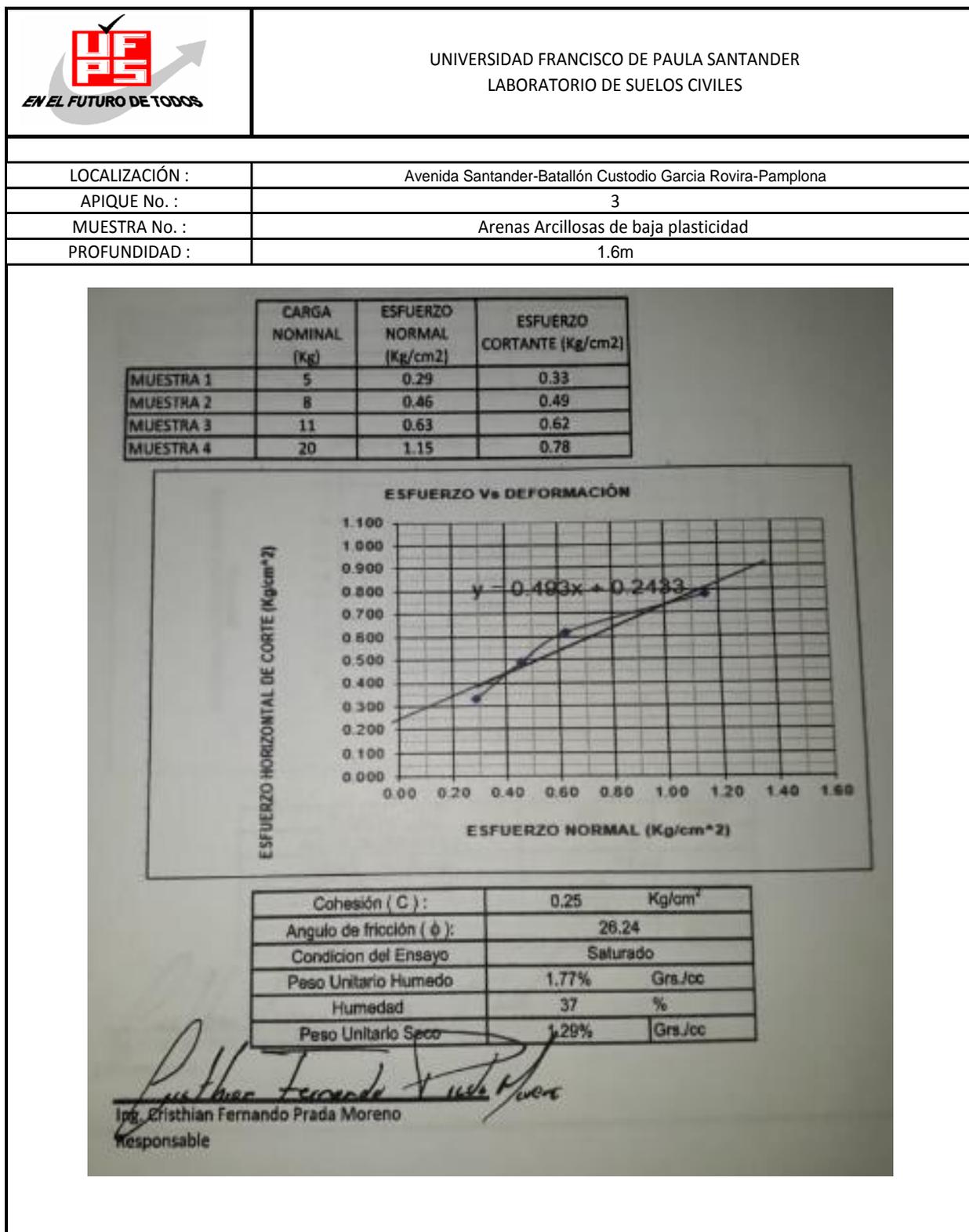
  

Cohesión ( C ) :	0.25	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción ( φ ) :	31.68	
Condicion del Ensayo	Natural	
Peso Unitario Humedo	1.77%	Grs./cc
Humedad	33.73	%
Peso Unitario Seco	1.32%	Grs./cc

  
 Ing. Crisithian Fernando Prada Moreno  
 Responsable

## Apique 3 (Estado Saturado)



Fuente: Autores, 2018

## Apique 4 (Estado Natural)

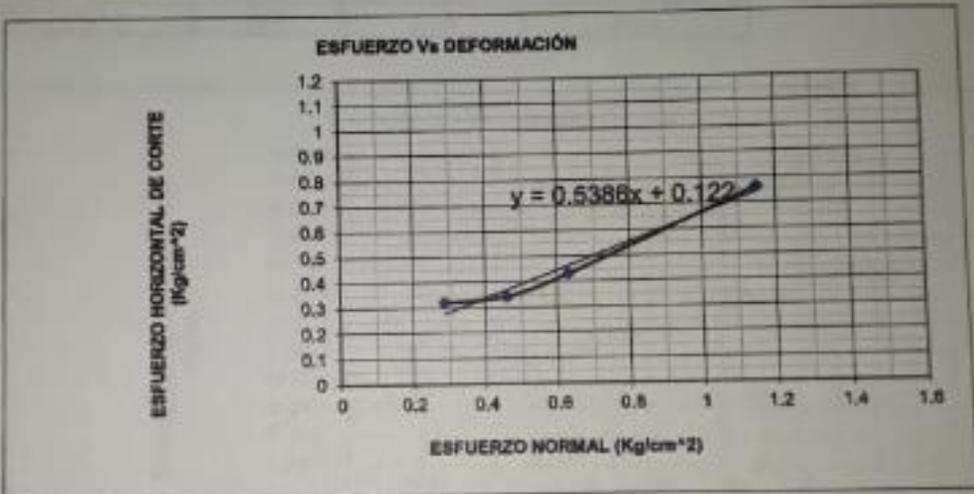
		UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER LABORATORIO DE SUELOS CIVILES	
LOCALIZACIÓN :	Avenida Santander-Batallón Custodio Garcia Rovira-Pamplona		
APIQUE No. :	4		
MUESTRA No. :	Arenas Arcillosas de alta plasticidad		
PROFUNDIDAD :	1.6m		

MUESTRA	CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
MUESTRA 1	5	0.29	0.32
MUESTRA 2	8	0.46	0.34
MUESTRA 3	11	0.63	0.43
MUESTRA 4	20	1.15	0.76

**ESFUERZO vs DEFORMACIÓN**

Cohesión ( C ) :	0.12	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción ( φ ) :	28.3	
Condicion del Ensayo	Natural	
Peso Unitario Humedo	1.74%	Grs./cc
Humedad	42.44	%
Peso Unitario Seco	1.22%	Grs./cc

*Cristhian Fernando Prada Moreno*  
 Ing. Cristhian Fernando Prada Moreno  
 Responsable

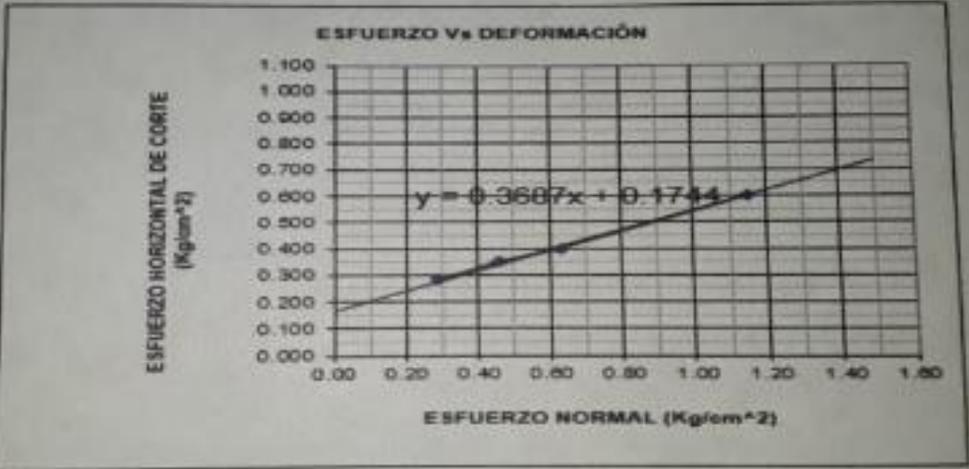
Fuente: Autores, 2018

## Apique 4 (Estado Saturado)

 <p>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER LABORATORIO DE SUELOS CIVILES</p>	
LOCALIZACIÓN :	Avenida Santander-Batallón Custodio Garcia Rovira-Pamplona
APIQUE No. :	4
MUESTRA No. :	Arenas Arcillosas de alta plasticidad
PROFUNDIDAD :	1.6m

	CARGA NOMINAL (Kg)	ESFUERZO NORMAL (Kg/cm <sup>2</sup> )	ESFUERZO CORTANTE (Kg/cm <sup>2</sup> )
MUESTRA 1	5	0.29	0.280
MUESTRA 2	8	0.46	0.350
MUESTRA 3	11	0.63	0.40
MUESTRA 4	20	1.15	0.60

ESFUERZO V<sub>s</sub> DEFORMACIÓN

ESFUERZO HORIZONTAL DE CORTE (Kg/cm<sup>2</sup>)

ESFUERZO NORMAL (Kg/cm<sup>2</sup>)

$y = 0.3687x + 0.1744$

Cohesión ( C ) :	0.17	Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción ( $\phi$ ) :	20,24	
Condicion del Ensayo	Saturado	
Peso Unitario Humedo	1.70%	Grs./cc
Humedad	44	%
Peso Unitario Seco	1.18%	Grs./cc

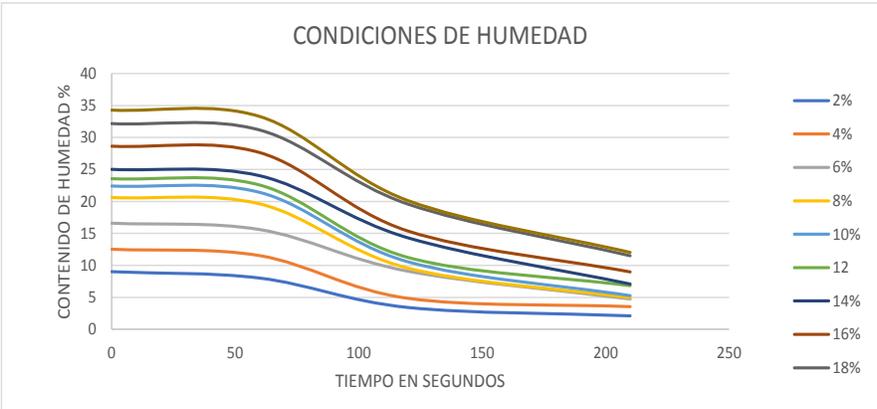
  

*Cristhian Fernando Prada Moreno*  
Ing. Cristhian Fernando Prada Moreno  
Responsable

Fuente: Autores, 2018

## Apéndice C. Condiciones de Humedad

## Apique 1

		EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER																																																			
		ENSAYO	Condiciones de Humedad	PROFUNDIDAD	1.6 m	FECHA	25-may-18																																														
ESTRATO		ANEXO		APIQUE	1																																																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO 2%</th> <th colspan="2">CICLO 4%</th> <th colspan="2">CICLO 6%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>9</td> <td>0</td> <td>12.5134844</td> <td>0</td> <td>16.6023166</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>60</td> <td>11.5134844</td> <td>60</td> <td>15.6023166</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>3.40816327</td> <td>120</td> <td>4.86391669</td> <td>120</td> <td>9.08600469</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>2.09926249</td> <td>210</td> <td>3.56513184</td> <td>210</td> <td>4.73843416</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table>		CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	9	0	12.5134844	0	16.6023166	0	8	60	11.5134844	60	15.6023166	60	3.40816327	120	4.86391669	120	9.08600469	120	2.09926249	210	3.56513184	210	4.73843416	210														
CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%																																																	
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																
9	0	12.5134844	0	16.6023166	0																																																
8	60	11.5134844	60	15.6023166	60																																																
3.40816327	120	4.86391669	120	9.08600469	120																																																
2.09926249	210	3.56513184	210	4.73843416	210																																																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO DE 8%</th> <th colspan="2">CICLO 10%</th> <th colspan="2">CICLO 12%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20.6274654</td> <td>0</td> <td>22.399376</td> <td>0</td> <td>23.5649452</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>19.6274654</td> <td>60</td> <td>21.399376</td> <td>60</td> <td>22.5649452</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>9.57443598</td> <td>120</td> <td>10.5697019</td> <td>120</td> <td>11.2522376</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>4.92746267</td> <td>210</td> <td>5.28523901</td> <td>210</td> <td>6.83454735</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table>		CICLO DE 8%		CICLO 10%		CICLO 12%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	20.6274654	0	22.399376	0	23.5649452	0	19.6274654	60	21.399376	60	22.5649452	60	9.57443598	120	10.5697019	120	11.2522376	120	4.92746267	210	5.28523901	210	6.83454735	210														
CICLO DE 8%		CICLO 10%		CICLO 12%																																																	
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																
20.6274654	0	22.399376	0	23.5649452	0																																																
19.6274654	60	21.399376	60	22.5649452	60																																																
9.57443598	120	10.5697019	120	11.2522376	120																																																
4.92746267	210	5.28523901	210	6.83454735	210																																																
		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO 14%</th> <th colspan="2">CICLO 16%</th> <th colspan="2">CICLO DE 18%</th> <th colspan="2">Ciclo 20%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>24.9983819</td> <td>0</td> <td>28.6482143</td> <td>0</td> <td>32.1712598</td> <td>0</td> <td>34.2917505</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>23.9983819</td> <td>60</td> <td>27.6482143</td> <td>60</td> <td>31.1712598</td> <td>60</td> <td>33.2917505</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>14.2960396</td> <td>120</td> <td>15.3770927</td> <td>120</td> <td>19.5831234</td> <td>120</td> <td>20.1451613</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>7.07579718</td> <td>210</td> <td>8.98319851</td> <td>210</td> <td>11.5042081</td> <td>210</td> <td>12.0397858</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table>		CICLO 14%		CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	24.9983819	0	28.6482143	0	32.1712598	0	34.2917505	0	23.9983819	60	27.6482143	60	31.1712598	60	33.2917505	60	14.2960396	120	15.3770927	120	19.5831234	120	20.1451613	120	7.07579718	210	8.98319851	210	11.5042081	210	12.0397858	210		
CICLO 14%		CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%																																															
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																														
24.9983819	0	28.6482143	0	32.1712598	0	34.2917505	0																																														
23.9983819	60	27.6482143	60	31.1712598	60	33.2917505	60																																														
14.2960396	120	15.3770927	120	19.5831234	120	20.1451613	120																																														
7.07579718	210	8.98319851	210	11.5042081	210	12.0397858	210																																														
																																																					
		<p>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS            SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS            DE ALTA PLASTICIDAD</p>																																																			

Fuente: Autores, 2018

## Apique 2

		EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER					
		ENSAYO	Condiciones de Humedad	PROFUNDIDAD	1.6m	FECHA	25-may-18
ESTRATO	1	ANEXO		APIQUE	2		
<b>CICLO 2%</b>		<b>CICLO 4%</b>		<b>CICLO 6%</b>			
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo		
10.7287449	0	16.5844913	0	17.6382661	0		
9.72874494	60	15.5844913	60	16.6382661	60		
4.71428571	120	4.95493562	120	6.43073048	120		
2.70396254	210	3.08388521	210	4.15734266	210		
<b>CICLO DE 8%</b>		<b>CICLO 10%</b>		<b>CICLO 12%</b>			
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo		
21.7013889	0	22.5025571	0	23.8541667	0		
20.7013889	60	21.5025571	60	22.8541667	60		
6.83551683	120	8.43800944	120	10.0913788	120		
5.06501698	210	6.64774044	210	7.55541719	210		
<b>CICLO 14%</b>		<b>CICLO 16%</b>		<b>CICLO DE 18%</b>		<b>Ciclo 20%</b>	
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo
24.3842282	0	33.5926773	0	34.9750567	0	36.7005172	0
23.3842282	60	32.5926773	60	33.9750567	60	35.7005172	60
10.5249802	120	12.7711069	120	16.4085779	120	19.8610369	120
8.15176322	210	11.8097731	210	14.8699455	210	16.9990777	210

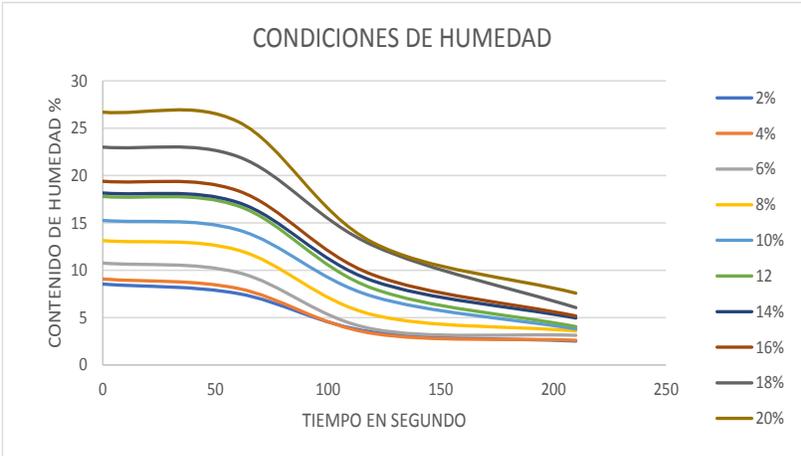
  

CONDICIONES DE HUMEDAD

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS	
SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD	

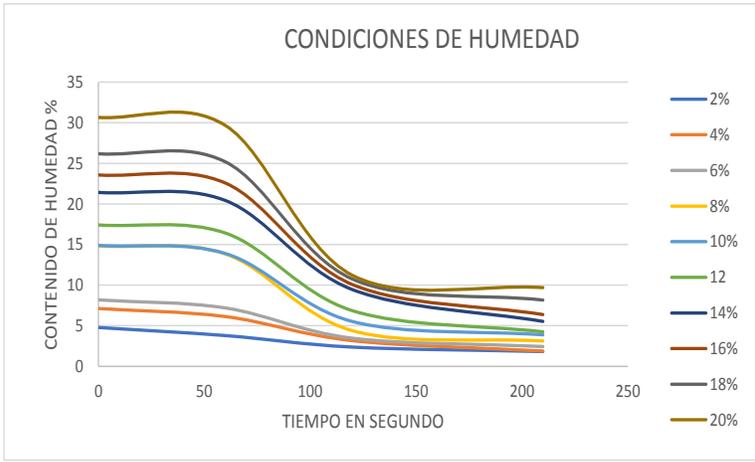
Fuente: Autores, 2018

## Apique 3

		<b>EFFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER</b>																																																																																																																											
ENSAYO	Condiciones de Humedad	PROFUNDIDAD	1.6m	FECHA	25-may-18																																																																																																																								
ESTRATO		ANEXO		APIQUE	3																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO 2%</th> <th colspan="2">CICLO 4%</th> <th colspan="2">CICLO 6%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>8.53679122</td> <td>0</td> <td>9.0877916</td> <td>0</td> <td>10.7667265</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>7.53679122</td> <td>60</td> <td>8.0877916</td> <td>60</td> <td>9.76672646</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>3.45798032</td> <td>120</td> <td>3.3220784</td> <td>120</td> <td>3.7790207</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>2.51696317</td> <td>210</td> <td>2.60262022</td> <td>210</td> <td>3.12114658</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO DE 8%</th> <th colspan="2">CICLO 10%</th> <th colspan="2">CICLO 12%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>13.1233968</td> <td>0</td> <td>15.2587243</td> <td>0</td> <td>17.795614</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>12.1233968</td> <td>60</td> <td>14.2587243</td> <td>60</td> <td>16.795614</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>5.28166155</td> <td>120</td> <td>7.21711263</td> <td>120</td> <td>8.06247607</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>3.58403786</td> <td>210</td> <td>3.79829215</td> <td>210</td> <td>4.03935415</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO 14%</th> <th colspan="2">CICLO 16%</th> <th colspan="2">CICLO DE 18%</th> <th colspan="2">Ciclo 20%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>18.1584746</td> <td>0</td> <td>19.4037843</td> <td>0</td> <td>23.0041488</td> <td>0</td> <td>26.6767677</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>17.1584746</td> <td>60</td> <td>18.4037843</td> <td>60</td> <td>22.0041488</td> <td>60</td> <td>25.6767677</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>8.87419355</td> <td>120</td> <td>9.51601877</td> <td>120</td> <td>12.6085816</td> <td>120</td> <td>12.9</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>4.961407</td> <td>210</td> <td>5.17834219</td> <td>210</td> <td>6.04949584</td> <td>210</td> <td>7.57467532</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table> <div style="text-align: center;"> <p><b>CONDICIONES DE HUMEDAD</b></p>  </div>						CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	8.53679122	0	9.0877916	0	10.7667265	0	7.53679122	60	8.0877916	60	9.76672646	60	3.45798032	120	3.3220784	120	3.7790207	120	2.51696317	210	2.60262022	210	3.12114658	210	CICLO DE 8%		CICLO 10%		CICLO 12%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	13.1233968	0	15.2587243	0	17.795614	0	12.1233968	60	14.2587243	60	16.795614	60	5.28166155	120	7.21711263	120	8.06247607	120	3.58403786	210	3.79829215	210	4.03935415	210	CICLO 14%		CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	18.1584746	0	19.4037843	0	23.0041488	0	26.6767677	0	17.1584746	60	18.4037843	60	22.0041488	60	25.6767677	60	8.87419355	120	9.51601877	120	12.6085816	120	12.9	120	4.961407	210	5.17834219	210	6.04949584	210	7.57467532	210
CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%																																																																																																																									
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																																																																																								
8.53679122	0	9.0877916	0	10.7667265	0																																																																																																																								
7.53679122	60	8.0877916	60	9.76672646	60																																																																																																																								
3.45798032	120	3.3220784	120	3.7790207	120																																																																																																																								
2.51696317	210	2.60262022	210	3.12114658	210																																																																																																																								
CICLO DE 8%		CICLO 10%		CICLO 12%																																																																																																																									
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																																																																																								
13.1233968	0	15.2587243	0	17.795614	0																																																																																																																								
12.1233968	60	14.2587243	60	16.795614	60																																																																																																																								
5.28166155	120	7.21711263	120	8.06247607	120																																																																																																																								
3.58403786	210	3.79829215	210	4.03935415	210																																																																																																																								
CICLO 14%		CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%																																																																																																																							
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																																																																																						
18.1584746	0	19.4037843	0	23.0041488	0	26.6767677	0																																																																																																																						
17.1584746	60	18.4037843	60	22.0041488	60	25.6767677	60																																																																																																																						
8.87419355	120	9.51601877	120	12.6085816	120	12.9	120																																																																																																																						
4.961407	210	5.17834219	210	6.04949584	210	7.57467532	210																																																																																																																						
<table border="1"> <tr> <td colspan="6"> <b>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS</b>            SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD         </td> </tr> </table>						<b>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS</b> SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD																																																																																																																							
<b>SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS</b> SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD																																																																																																																													

Fuente: Autores, 2018

## Apique 4

		EFECTOS DE LA RESISTENCIA EN LOS CICLOS DE HUMECTACION Y SECADO EN SUELOS ARENO-ARCILLOSOS EN LA ZONA SUR DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER																																																																																																																											
ENSAYO	Condiciones de Humedad	PROFUNDIDAD	1.6 m	FECHA	25-may-18																																																																																																																								
ESTRATO		ANEXO		APIQUE	4																																																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO 2%</th> <th colspan="2">CICLO 4%</th> <th colspan="2">CICLO 6%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4.7946669</td> <td>0</td> <td>7.13502874</td> <td>0</td> <td>8.18437077</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3.7946669</td> <td>60</td> <td>6.13502874</td> <td>60</td> <td>7.18437077</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>2.36871491</td> <td>120</td> <td>3.15928462</td> <td>120</td> <td>3.45330045</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>1.81737055</td> <td>210</td> <td>1.87854496</td> <td>210</td> <td>2.42968528</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO DE 8%</th> <th colspan="2">CICLO 10%</th> <th colspan="2">CICLO 12%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>14.840311</td> <td>0</td> <td>14.8876492</td> <td>0</td> <td>17.409512</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>13.840311</td> <td>60</td> <td>13.8876492</td> <td>60</td> <td>16.409512</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>4.39413043</td> <td>120</td> <td>5.51457306</td> <td>120</td> <td>6.8403338</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>3.13136863</td> <td>210</td> <td>3.878368</td> <td>210</td> <td>4.24000744</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">CICLO 14%</th> <th colspan="2">CICLO 16%</th> <th colspan="2">CICLO DE 18%</th> <th colspan="2">Ciclo 20%</th> </tr> <tr> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> <th>contenido</th> <th>tiempo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>21.4100177</td> <td>0</td> <td>23.5613735</td> <td>0</td> <td>26.1709192</td> <td>0</td> <td>30.6468927</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>20.4100177</td> <td>60</td> <td>22.5613735</td> <td>60</td> <td>25.1709192</td> <td>60</td> <td>29.6468927</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>9.44873089</td> <td>120</td> <td>10.0557743</td> <td>120</td> <td>10.7360276</td> <td>120</td> <td>11.208177</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>5.53953425</td> <td>210</td> <td>6.36157095</td> <td>210</td> <td>8.15697608</td> <td>210</td> <td>9.70625</td> <td>210</td> </tr> </tbody> </table>						CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	4.7946669	0	7.13502874	0	8.18437077	0	3.7946669	60	6.13502874	60	7.18437077	60	2.36871491	120	3.15928462	120	3.45330045	120	1.81737055	210	1.87854496	210	2.42968528	210	CICLO DE 8%		CICLO 10%		CICLO 12%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	14.840311	0	14.8876492	0	17.409512	0	13.840311	60	13.8876492	60	16.409512	60	4.39413043	120	5.51457306	120	6.8403338	120	3.13136863	210	3.878368	210	4.24000744	210	CICLO 14%		CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%		contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	21.4100177	0	23.5613735	0	26.1709192	0	30.6468927	0	20.4100177	60	22.5613735	60	25.1709192	60	29.6468927	60	9.44873089	120	10.0557743	120	10.7360276	120	11.208177	120	5.53953425	210	6.36157095	210	8.15697608	210	9.70625	210
CICLO 2%		CICLO 4%		CICLO 6%																																																																																																																									
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																																																																																								
4.7946669	0	7.13502874	0	8.18437077	0																																																																																																																								
3.7946669	60	6.13502874	60	7.18437077	60																																																																																																																								
2.36871491	120	3.15928462	120	3.45330045	120																																																																																																																								
1.81737055	210	1.87854496	210	2.42968528	210																																																																																																																								
CICLO DE 8%		CICLO 10%		CICLO 12%																																																																																																																									
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																																																																																								
14.840311	0	14.8876492	0	17.409512	0																																																																																																																								
13.840311	60	13.8876492	60	16.409512	60																																																																																																																								
4.39413043	120	5.51457306	120	6.8403338	120																																																																																																																								
3.13136863	210	3.878368	210	4.24000744	210																																																																																																																								
CICLO 14%		CICLO 16%		CICLO DE 18%		Ciclo 20%																																																																																																																							
contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo	contenido	tiempo																																																																																																																						
21.4100177	0	23.5613735	0	26.1709192	0	30.6468927	0																																																																																																																						
20.4100177	60	22.5613735	60	25.1709192	60	29.6468927	60																																																																																																																						
9.44873089	120	10.0557743	120	10.7360276	120	11.208177	120																																																																																																																						
5.53953425	210	6.36157095	210	8.15697608	210	9.70625	210																																																																																																																						
<div style="text-align: center;">  <p>CONDICIONES DE HUMEDAD</p> </div>																																																																																																																													
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS SC; ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS Y ARENAS Y ARCILLAS DE ALTA PLASTICIDAD																																																																																																																													

Fuente: Autores, 2018

Apéndice D. Evidencia Fotográfico

Zona de estudio



Elaboración de Apiques



Ensayo Límites de Atterberg



Ensayo Permeabilidad



Ensayo Corte Directo





Apéndice E. Certificado de calibración de la máquina de corte directo.

**UNIVERSIDAD  
EAFIT®**



ISO/IEC 17025:2005  
15-LAC-005

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Certificado N°:0682-729830

Página 1 de 3

#### LABORATORIO DE MATERIALES – UNIVERSIDAD EAFIT

Dirección: Carrera 49 N° 7 sur 50 Bloque 19 Tercer Piso. Medellín –Colombia.

**Empresa:** UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
**Solicitante:** JAVIER AUGUSTO BARROS  
**Dependencia:** División de Servicios Académicos  
**Dirección:** Avenida Gran Colombia 12 E – 96 Barrio Colsag  
 Cúcuta – Norte de Santander  
**Teléfono:** (5) 5753256

**Instrumento Calibrado:** Anillo de carga  
**Marca:** CONTROLS  
**Modelo:** T1002/S  
**Serie:** 6305  
**Comparador de carátula**  
**Marca:** CONTROLS  
**Modelo:** D1250  
**Capacidad máxima:** 2 kN  
**División de escala:** 0,8 N  
**Resolución:** 0,4 N  
**Fecha de recepción:** 2017-12-05  
**Fecha de calibración:** 2018-02-02  
**Sitio de Calibración:** Avenida Gran Colombia 12 E – 96 Barrio Colsag  
 Cúcuta – Norte de Santander

Número de páginas del certificado: 3

**Norma Empleada:** NTC ISO 7500-1 (2007-07-25) Numeral 6 y Anexo D, "Verificación de máquinas para ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza".

**UNIVERSIDAD  
EAFIT®**

**ACREDITADO  
ONAC**  
ORGANISMO NACIONAL DE ACREDITACIÓN DE COLOMBIA

ISO/IEC 17025:2005  
15-LAC-005

Centro de Laboratorios

Número de certificado: **0682**

Fecha de calibración: **180202**  
Año Mes Día

Universidad EAFIT-Campus principal  
 Carrera 49 7 Sur 50, avenida Las Vegas  
 Medellín-Colombia  
 Teléfonos: (57) (4) 2619500-4489500  
 Apartado Aéreo: 3300 | Fax: 3120649  
 Nit: 890.901.389-5

EAFIT Llanogrande  
 Teléfono: (57) (4) 2619500 exts. 9562-9188  
 EAFIT Bogotá  
 Teléfonos: (57) (1) 6114523-6114618  
 EAFIT Pereira  
 Teléfono: (57) (6) 3214115

**RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN**

**Rango de medición:** 0,4 kN hasta 2 kN  
**Resolución:** 0,4 N  
**Dirección de carga:** Compresión  
**Método empleado:** Fuerza Indicada Constante

Indicación máquina (kN)	Carga promedio (ascendente) (kN)	Error relativo de exactitud (q) (%)	Error relativo de repetibilidad (b) (%)	Error relativo de resolución (a) (%)	Incertidumbre Expandida U*K (K=2) (%)
0,410	0,407	0,7	0,2	0,10	± 0,28
0,609	0,603	1,1	0,1	0,07	± 0,28
0,809	0,799	1,2	0,2	0,05	± 0,28
1,008	0,989	1,9	0,1	0,04	± 0,28
1,208	1,183	2,1	0,2	0,03	± 0,13
1,407	1,374	2,4	0,0	0,03	± 0,13
1,607	1,562	2,9	0,1	0,03	± 0,13
1,806	1,753	3,0	0,1	0,02	± 0,13
2,005	1,938	3,5	0,1	0,02	± 0,13

**Ecuación de correlación:**

$$\text{Fuerza (kN)} = 0,0008312 * (\text{N}^\circ \text{Div}) + 0,0106045$$

$$R^2 = 0,9999959$$

Error relativo de Cero (f <sub>0</sub> ) (%)
0,00

**CONDICIONES AMBIENTALES**

**Temperatura:** 21,8 °C

**INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN**

Para el cálculo de la incertidumbre expandida, factor de cobertura  $k = 2$ , con un nivel de confianza del 95%, se tienen en cuenta los errores de incertidumbre de repetibilidad, resolución, patrón, temperatura, deriva, ajuste polinomial, desviación estándar, reversibilidad y cero.

Los valores  $\pm$  de la incertidumbre expandida, deben ser tenidos en cuenta en el error relativo de exactitud a criterio del usuario.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**

Certificado N°:0682-729830

Página 3 de 3

**TRAZABILIDAD**

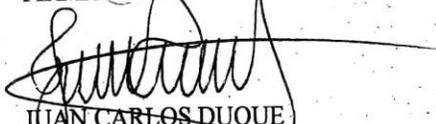
El laboratorio de MATERIALES de la universidad EAFIT, asegura el mantenimiento de la trazabilidad de los equipos calibrados, con nuestros patrones de referencia, los cuales han sido calibrados en la División de Fuerza del Instituto Nacional de Metrología en Bogotá.

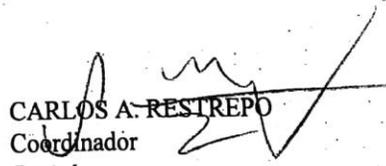
En la calibración de la máquina se utilizó, un transductor extensométrico de fuerza de 10 kN marca HBM con certificados 2040 INM y 2038 INM e Indicador digital marca HBM con certificado 2032 INM.

**OBSERVACIONES:**

1. Los resultados contenidos en el presente informe son confidenciales y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del certificado y sus logos (EAFIT y ONAC) y del uso inadecuado del equipo calibrado.
2. Este informe de calibración expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. Puede ser reproducido totalmente, pero no parcialmente, excepto cuando se haya obtenido previamente la autorización por escrito del laboratorio que lo emite, Además no pueden ser utilizados con fines publicitarios.
3. Estamos a su disposición para las aclaraciones que considere convenientes.
4. Para quejas, reclamos, u otros puede ingresar al siguiente link:  
<http://www.eafit.edu.co/servicios/centrodela laboratorios/servicios/Paginas/servicios-empresas.aspx>

Ciudad y Fecha de expedición: Medellín, febrero 20 de 2018

**FIRMAS AUTORIZADAS**
  
**JUAN CARLOS DUQUE**  
 Técnico  
 Calibró

  
**CARLOS A. RESTREPO**  
 Coordinador  
 Revisó

Laboratorios de Materiales

Juan D.

Fin del Certificado

 Universidad EAFIT-Campus principal  
 Carrera 49 7 Sur 50, avenida Las Vegas  
 Medellín-Colombia  
 Teléfonos: (57) (4) 2619500-4489500  
 Apartado Aéreo: 3300 | Fax: 3120649  
 Nit: 890.901.389-5

 EAFIT Llanogrande  
 Teléfono: (57) (4) 2619500 exts. 9562-9188  
 EAFIT Bogotá  
 Teléfonos: (57) (1) 6114523-6114618  
 EAFIT Pereira  
 Teléfono: (57) (6) 3214115