

**ENSAYOS DE CORTE DIRECTO (PARTE B) PARA  
CARACTERIZACIÓN DE SUBRASANTES BLANDAS DE BAJA  
CAPACIDAD PORTANTE DURANTE EL PROCESO DE FALLA AL  
CORTE REGISTRADO POR IMÁGENES REPRESENTATIVAS**



**Tesis Presentada Para Obtener El Título De  
Especialista en Ingeniería de Pavimentos.  
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá**

**José Luis Sarmiento Escalante.  
Fredy Buitrago Melo  
2018.**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

Bogotá D.C. 2018

## **Dedicatoria**

Familia, quienes impulsan a seguir el mejor camino y luchar por nuestros propósitos. A Dios quien permite que todo exista y que todo sea posible.

### **Agradecimientos**

Mis más sinceros agradecimientos al cuerpo de docentes, destacados y con grandes conocimientos que hacen que este meta sea posible, el apoyo de cada uno de nuestros compañeros de clase con quienes se establecieron lazos de amistad y crecimiento profesional, finalmente a la universidad militar nueva granada por permitir formarnos con una formación integral y profesional de alta calidad.

## RESUMEN

*El siguiente trabajo es un estudio descriptivo, analítico y de innovación que tiene como objetivo conocer el estado de arte de estudios de suelos blandos analizados microscópicamente, mejora de dispositivo de corte directo según norma INV. E 154, caracterización de material blando a utilizar y realizar el análisis de los múltiples resultados que estos ensayos arrojan. El trabajo se desarrolló haciendo uso de una propuesta para la implementación de un dispositivo microscópico que se estudia agregar al ensayo de corte directo según norma INV. E 154, para la obtención de imágenes representativas al momento de generarse la falla de los materiales a utilizar, de igual forma realizar el estudio del comportamiento de los materiales antes, durante y después de ser sometidos una fuerza horizontal aplicada.. Esta investigación fue posible realizarla gracias al trabajo conjunto del ingeniero Fredy Buitrago Melo quien aportó al desarrollo de este documento realizando el estudio detallado de los CBR característicos en la ciudad de Bogotá, junto con todas sus localidades, de igual forma realizó la relación que tienen estos índices de CBR de cohesión y de Angulo de fricción interno, información importante para hacer una caracterización e identificación típica de un material en condiciones blandas de baja capacidad portantes, útiles para el estudio que se desarrolló en el presente trabajo. A esto se le complementó con el estudio microscópico realizado por el ingeniero Jose Luis Sarmiento Escalante (autor del presente trabajo) de materiales blandos, obteniendo resultados significativos que permitieron comprobar la viabilidad de sugerir una mejora en la norma invias*

*mencionada anteriormente. Por otro lado busca complementar el estudio de suelos y que este sea de ayuda para alertar y conocer el comportamiento de cualquier tipo de suelo en condiciones naturales y este se encuentre en una zona de falla. Individualmente se realizó la investigación de parte y parte para compararlas y compilarlas finalmente en este documento. Sin el trabajo conjunto no hubiese sido posible realizar esta investigación y llegar a los resultados obtenidos que sugieren que se realicen prácticas de fondo al momento de llevar a cabo una obra ingenieril, ya que sobre este suelo natural caracterizado apto o no apto se cimentara más que un proyecto y pondría en riesgo todo lo que sobre el haga uso, se realicen mejoras en el laboratorio para fortalecer la enseñanza de nuevos estudiantes interesados en este tipo de temas, contando con el material requerido para el mismo, adecuar el mejoramiento como requisito de ejecutar lo ordenado según planos y diseño para que cumpla con las condiciones estipuladas y tenga la vida útil que se estimó, entre otras que se encuentran en el desarrollo del presente trabajo .....Las partes A y B de este trabajo se presentan en un solo documento que compila los resultados encontrados por los autores.*

## Tabla de contenido.

<b>1.</b>		
<b>Capítulo 1 Planteamiento del problema de investigación</b>		<b>1</b>
1.1.1 Descripción y formulación del problema de investigación		1
1.1.2 Análisis descripción actual		1
1.1.3 Pregunta de investigación.		1
1.2 Construcción de objetivos de investigación.....		2
<b>1.2.1 Objetivo General</b>		<b>2</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b>		<b>2</b>
<b>2. Capítulo 2 Estado del arte.....</b>		<b>3</b>
2.1 Densidad aparente suelta y compactada		3
2.2 Resistencia al corte de suelos y rocas.		5
<b>2.3 Conformación superficie de falla.....</b>		<b>8</b>
2.4 Bandas de corte		9
2.5 Análisis microscópico de suelos y rocas.....		11
2.6 CBR y tipos de CBR en Bogotá.....		14
<b>3. Capítulo 3 .....</b>		<b>25</b>
3.1 Ensayo de corte directo , Norma Invias E 154 -13		25
3.2 Diseño cámara de corte directo inspirado en Norma Invias E 154 – 13		26
<b>4. Capítulo 4 Caracterización de materiales.</b>		<b>33</b>
<b>4.1 Ensayos generales</b>		<b>33</b>
<b>5. Metodología y obtención de muestras</b>		<b>38</b>
<b>6. Análisis de Resultados obtenidos ensayo cámara de corte directo diseñado</b>		<b>41</b>
<b>7. Conclusiones</b>		<b>44</b>
<b>8. Recomendaciones</b>		<b>45</b>
<b>9. Bibliografía</b>		<b>46</b>
<b>10. Anexos</b>		<b>46</b>

**Lista de tablas.**

Tabla 1. Relación resistencia al corte no drenado y ángulo de fricción .....	20
Tabla 2. Clasificación de fallas.....	23
Tabla 3. Cuadro CBR zona suba.....	36
Tabla 4. Cuadro CBR zona chapinero.....	37
Tabla 5. Cuadro CBR Barrio Perdomo ciudad bolívar.....	38
Tabla 6. Cuadro CBR Zona norte.....	40
Tabla 7. Gravedad específica arcilla muestra Cajicá.....	50
Tabla 8. cálculo Gs de la muestra.....	51
Tabla 9. Datos para el cálculo del límite líquido.....	52
Tabla 10. Cálculo Ww, Ws y contenido de humedad.....	53
Tabla 11. Datos ensayo hidrometría Inv. E-124.....	55

**Lista de gráficas.**

Gráfico 1: Valores CBR Zona Suba.....	41
Gráfico 2: Valores CBR Zona Chapinero.....	41
Gráfico 3: Valores CBR Barrio Perdomo Zona Ciudad Bolívar.....	42
Gráfico 4: Valores CBR Zona Autopista Norte.....	42
Gráfico 5: Valores CBR Zonas Bogotá.....	43
Gráfico 6: Valores Cohesión zonas Bogotá.....	44
Gráfico 7: Valores Angulo fricción interna zonas Bogotá .....	44

## Lista de Figuras.

Figura 1: Gráfico esfuerzo normal contra esfuerzo tangencial .....	18
Figura 2: Ángulo de rozamiento interno.....	19
Figura 3: Talud de en terraplén.....	21
Figura 4: Muestras rocas falladas ensayo Shell Band analizados microscópicamente.....	25
Figura 5: Análisis microscópico electrónico de barrido transición arena arcilla.....	27
Figura 6: Análisis microscópico de arcilla fluvial .....	28
Figura 7: Análisis microscópico electrónico de barrido de arcilla de suelo.....	29
Figura 8: Dispositivo para ensayo de corte directo.....	46
Figura 9: Plano modelo primer molde.....	47
Figura 10: Capa No 1 diseño cámara de corte directo .....	48
Figura 11: Capa No 2 Diseño de cámara corte directo.....	48
Figura 12: Molde del primer diseño cámara de corte directo.....	49
Figura 13: Segundo diseño molde del primer diseño cámara de corte directo.....	53
Figura 14: Diseño final molde diseño cámara de corte directo.....	54
Figura 15: Nuevo diseño placa No 1 y 2 cámara de corte directo.....	55
Figura 16: Nuevo diseño ensamblado placa No 1 y 2 cámara de corte directo.....	56
Figura 17: Molde final diseño cámara de corte directo .....	57
Figura 18: Introducción de la muestra en dispositivo.....	58
Figura 19: Utilización del microscopio en ensayos de laboratorio.....	59
Figura 20: Muestra lista para someterse a análisis microscópico.....	60
Figura 21: Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a análisis microscópico. ....	61
Figura 22: Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a resistencia a corte.....	62
Figura 23: Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a resistencia a corte.....	63
Figura 24: Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a resistencia al corte.....	64
Figura 25. Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte.....	65
Figura 26. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte. ....	66
Figura 27. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte.....	66
Figura 28. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte.....	66

## **Capítulo 1**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.**

#### **1.1.1 Descripción y formulación del problema de investigación**

Para el desarrollo del proyecto se ha contado con el uso de la metodología analítica y matemática de resultados, obtenidos de muestras sometidas bajo parámetros establecidos para su uso en obras de ingeniería. Con el estudio del tema se quiere aportar al conocimiento del comportamiento de las muestras blandas en subrasante natural antes de su momento de falla, el desprendimiento de sus partículas, pérdida de minerales, su distribución dentro el plano de falla.

Se busca conocer el punto máximo de la falla y los datos microscópicos mediante la construcción de un dispositivo desarrollado por los autores del presente trabajo, este dispositivo ( modificación al ensayo de corte directo – Norma Invias INV – 154-13 ) ayudará a una mayor comprensión del proceso de falla en arcillas de subrasante y permitirá establecer aportes acerca de la utilización de métodos más precisos en el desarrollo de proyectos de ingeniería que hagan uso de materiales en suelos arcillosos como suelos de fundación.

#### **1.2.2 Análisis descripción actual**

Observar el comportamiento de falla de una muestra de suelos blandos, tanto alterados como inalterados, que se encuentran en la subrasante de los suelos presentes en Bogotá y que requieren mejoramiento general en cuanto al procedimiento que se utiliza en la mayoría de las vías apoyadas en suelos blandos.

Teniendo presente este proceso se puede avanzar en los métodos para el mejoramiento de los materiales a utilizar, la forma en las que se puede hacer uso del mismo, como también los parámetros a seguir para llevar a cabo una obra de ingeniería.

Los equipos utilizados en los laboratorios cuentan con un sistema cerrado que no permiten conocer cómo es el comportamiento de los diferentes tipos de suelos cuando son sometidos a su punto máximo de resistencia mediante el uso del dispositivo de corte directo.

### **1.2.3 Pregunta de investigación**

¿Es posible conocer microscópicamente el surgimiento de bandas de corte de suelos blandos expansivos, simulando una cámara de corte directo?

### **1.1.2 Construcción de objetivos de la investigación**

#### **Objetivo General**

Analizar microscópicamente las bandas de corte en suelos expansivos ya sea alterados como inalterados para conocer el comportamiento de las fallas en el momento que se presentan.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Construir el estado de arte de la temática presentada en este proyecto
- Mejorar el diseño de una cámara de corte directo construida en la tesis de grado “Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos”, Jose L. Sarmiento (Junio, 2018) UMNG, que permita la observación microscópica de bandas de corte en suelos blandos tanto muestras alteradas como inalteradas.
- Caracterizar los materiales de suelos blandos tanto lisos como arcillas encontrados en la subrasante natural a utilizarse en la cámara de corte.
- Analizar microscópicamente las bandas de corte de suelos blandos, a partir de una cámara de corte directo diseñada y construida en la tesis de grado “Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos”, José L. Sarmiento (junio, 2018) UMNG.

## **Capítulo 2**

### **ESTADO DEL ARTE.**

Tomando como referencia el proyecto de grado “Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos”, Jose L. Sarmiento, Junio 2018, UMNG. Se hace uso del estado del arte y se incluye la información recolectada en ese proyecto, para completar el tema correspondiente a tratar en esta investigación, utilizando la información correspondiente a suelos blandos en la ciudad de Bogotá, tomando muestras alteradas e inalteradas.

#### **2.1 Densidad aparente suelta y compactada**

Los materiales que contienen áridos tiene una característica importante en su conformación, estos dejan huecos entre sí, así mismo su conformación es porosa y puede ser superficial o al interior del mismo. Se conoce también como aquel procedimiento que determina la densidad aparente con la que cuentan los materiales pétreos empleados en la elaboración de mezclas asfálticas, hormigones, entre otros.

Este procedimiento puede arrojar datos en cuanto a forma y textura superficial de la partícula, entre ellas se consideran partículas de textura áspera o alargada que al agregarle más agua mejoran su comportamiento físico y mecánico al emplearse en hormigón, como también se puede encontrar partículas chancadas que son mejores de emplear en la realización del hormigón de pavimento por que trabajan mejor a la flexo tracción, mejorando la resistencia de las partículas. Según las características que posee el material

a realizar mencionado procedimiento se conocen como: Densidad aparente suelta o densidad aparente compactada.

También encontramos densidad real seca o saturada de superficie seca y densidad neta seca, en esta investigación se considera de gran relevancia el conocimiento de las dos primeras densidades mencionadas. La densidad aparente es considerada como el volumen de granos ( $V_r$ ), volumen de huecos entre los granos ( $H$ ), y el volumen de poros accesibles ( $h_a$ ) e inaccesibles ( $h_i$ ), dada por la siguiente fórmula:

$$D_{ap} = \frac{M_s}{V_{ap}} = \frac{M_s}{V_r + H + h_a + h_i} \quad (\text{kg/m}^3)$$

*Ecuación 1: Densidad aparente*

**El procedimiento para hallar la densidad aparente suelta está determinado de la siguiente forma:**

- Tomar muestra representativa y secar hasta obtener masa constante.
- Conocer el volumen del recipiente a utilizar y la capacidad del mismo según la norma.
- Considerar densidad del agua =  $1 \text{ kg/dm}^3$
- Vaciar el material a una altura del recipiente de 5cm en una medida de capacidad volumétrica especificada, determinar masa ( $M_s$ ) del material pétreo suelta que se llena a la medida.

- Determinar la densidad aparente dividiendo (Ms)\*medida recipiente\*capacidad volumétrica de la medida. Esta será el promedio de dos ensayos de muestras iguales utilizadas.

La compacidad es conocida como la relación entre el volumen de sólidos existentes en el material granular y el volumen aparente que ocupa. Esta se complementa con la cantidad de huecos o conocida también como la Oquedad. Se hace una relación entre fórmulas:

$$C = \frac{V_r}{V_{ap}}$$

Dada por el volumen real de la muestra dividida entre el volumen aparente que ocupa, igualando a términos de la oquedad con el fin de conocer el volumen de huecos entre los áridos, sobre esto, se tiene la siguiente igualdad:

$$C = \frac{V_r}{V_{ap}} = \frac{D_{ap}}{D_r}$$

Esta se resumen en la siguiente fórmula, que da como resultado el conocimiento de todos sus valores dentro de la misma:

$$Oq = \frac{h}{V_r} = 1 - C$$

El procedimiento para hallar la densidad aparente compactada, está dada bajo el tamaño máximo nominal de los agregados, ya sean mayores o menores a 37.5 mm, se emplearán dos métodos diferentes; Para menores a la cifra estipulada se hace uso del método de

apisonamiento y, si es superior a la cifra y menor a 150 mm, se realiza el método de golpeo.

El siguiente procedimiento es el método de apisonamiento (menores a 37.5mm):

1. Medir la masa del recipiente.
2. Poner 3 capas iguales del agregado hasta llenar el recipiente.
3. Emparejar cada capa con la mano y apisone con 25 golpes distribuidos sobre el material contenido en el recipiente.
4. Tener en cuenta en la primera capa a apisonar, hacer uso de la fuerza necesaria para no golpear el fondo del recipiente y las capas siguiente hacer uso de la fuerza para que no atraviese la capa anterior a esta.
5. Nivelar la superficie y determinar la masa del recipiente lleno.

Para el método de golpeo se realiza el siguiente procedimiento:

1. Levantar las caras opuestas cerca de 5cm. Dejarla caer para que las partículas de agregado se acomoden en condición densamente compactada.
2. Comparar cada capa por sacudimiento del molde 50 veces, 25 veces por cada cara.
3. Se debe nivelar la superficie del agregado de tal forma que los agregados que la conforman compensen los vacíos bajo el borde del molde.
4. Determine la masa del molde + su contenido y la masa del molde por separado.
5. Registre los valores y aproxime a 0.05kg.

Para el cálculo de estas dos densidades, es importante tener en cuenta que esta es el cociente entre ambas densidades sobre el volumen del recipiente utilizado.

## **2.2 Resistencia corte de suelos.**

Es necesario conocer las fuerzas que hacen que el terreno tenga este tipo de comportamiento, debido a que hay factores externos y de gran consideración que generan resistencia hasta su punto máximo y es allí cuando se ocasiona la falla, provocando un suceso de gran magnitud como los son las grandes remociones de masa, entre otras.

Debido a que el origen fundamental de esta es el campo gravitacional, se encuentran dos grupos de fuerzas, estas son: Gravitatorias, causantes de los efectos causados por las masas consideradas permanentes, es decir, sobrecarga litostática, empujes hidrostáticos, entre otras; y las cargas externas se encuentran generadas por la masa cuya actuación se considera variable en el análisis geotécnico, tales como el empuje generado por la inestabilidad en un talud, entre otras razones.

Es de importancia recalcar que el suelo es un material anisótropo, heterogéneo y su modelo de elasticidad no se adecua a su deformabilidad, razón por la que se adopta una aproximación, esto es considerar el comportamiento del suelo de forma asimilable al modelo de deformación elástica, que puede catalogarse como homogéneo y según la

dirección de los esfuerzos aplicados sus propiedades mecánicas pueden considerarse independientes.

Para ilustrar de manera más clara este concepto de resistencia al corte de los suelos, se trae a relación el criterio de Mohr-Coulomb, sobre el ángulo de rozamiento y cohesión. Según datos históricos se considera de relevancia su participación en la construcción de fortalezas, debido a su afinidad con la ingeniería militar, esto permite que con lo citado sobre Coulomb se afiance los conocimientos respecto a proyectos de contención de estructuras.

Basado en trabajos provenientes de Guillaume Amontons <sup>1</sup> que trataban del rozamiento entre sólidos, se propone la teoría para explicar la presión de tierra sobre los muros de contención, esta problemática se enfatizó en que el empuje que se produce llega a asimilar cuñas de falla. Estando fundamentado en que “la resistencia del suelo ante el esfuerzo cortante es la suma de su cohesión y del rozamiento en el plano de rotura, y que tal rozamiento viene determinado por el producto de la tensión normal a dicho plano por la tangente del ángulo de rozamiento interno del material.” Geo support, J.F (2013,11 de enero). Para hablar del concepto de rozamiento se debe considerar la existencia de una tensión perpendicular a la fuerza tangencial o de corte, y que para este caso la fuerza normal fuese nula y la fuerza de rozamiento también lo será. Para dejar claro el concepto de ángulo de rozamiento interno, Coulomb propone explicarlo en un plano de esfuerzo

---

<sup>1</sup> Físico e inventor francés,(1663-1705) autor de ideas sobre el desarrollo de instrumentos de medición meteorológicos con fines científicos

normal vs esfuerzo tangencial, por medio de rectas de resistencia intrínsecas, como se ilustra en la siguiente figura:

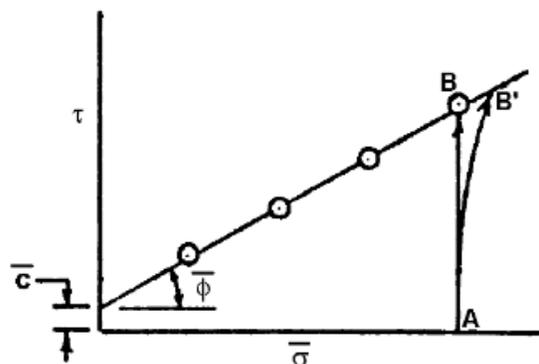


Figura No 1. Gráfico esfuerzo normal contra esfuerzo tangencial.

Tema 3: Resistencia al corte de los suelos. Capítulo 4: Ensayos de laboratorio. 3.4.3 Ensayo de corte directo. Relación entre la cohesión y el ángulo de rozamiento interno con los puntos que definen la recta característica del suelo, en el campo tensión normal - tangencial. Recuperado de: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-2-ensayo-de-corte-directo/>

La relación de tensiones normales y tangenciales corresponden al estado de tensiones posibles, los puntos de combinaciones posibles dentro de la recta corresponden al límite de rotura, esto definiría a los puntos en que las tensiones no pueden encontrarse para mantener las propiedades mecánicas del suelo. La cohesión<sup>2</sup> es la única responsable en razón a ser nula la tensión normal y la fuerza de rozamiento, reflejada en el plano de esfuerzo anterior. Según esta afirmación anterior, el incremento del esfuerzo es directamente proporcional a la resistencia al corte que se suma a la cohesión, valor igual al producto del valor del esfuerzo dado en cada punto por la tangente del ángulo, está a su

<sup>2</sup> Para el caso de suelos, es la fuerza que atrae entre sí a las partículas que lo conforman.

vez forma una recta de resistencia intrínseca del suelo con el esfuerzo y es lo que se denomina como ángulo de rozamiento interno.

El empaquetamiento, entendido como la forma en que las partículas forman el suelo dispuestas una respecto a la otra, se hace fundamental su valor en cuanto al rozamiento interno, puesto que entre más compacto sea el empaquetamiento mayor será su rozamiento interno y como consecuencia la resistencia al corte que genere dicho suelo.

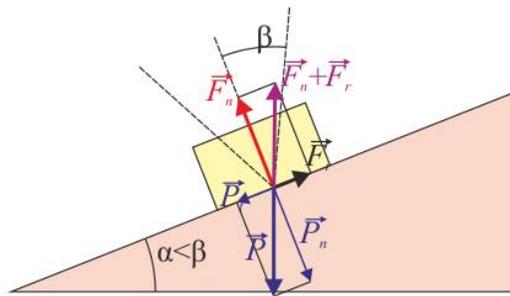


Figura No 2 Ángulo de rozamiento interno.

Wiki. Departamento de física aplicada III. Universidad de Sevilla. Fuerzas de rozamiento. Rozamiento estático. Recuperado de: [http://laplace.us.es/wiki/index.php/Fuerzas\\_de\\_rozamiento\\_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Fuerzas_de_rozamiento_(GIE))

Los parámetros que definen la resistencia de los suelos están ligados al ángulo de fricción interna, para el caso de suelos granulares; y la resistencia al corte no drenada en el caso de suelos cohesivos.

De esta manera se reconoce que las arcillas duras y de alta sobre consolidación fallan en condición drenada, esto debido a que la presión de poros es negativo, y a medida que se disipa las arcillas sobre consolidadas estas se debilitan. Por otra parte, las arcillas blandas y limos fallan en condiciones no drenadas todo esto debido a que el exceso de presión de

poros es positivo, pero esto genera una condición crítica de corto plazo, pues las arcillas disipan el exceso de presión de los poros, estas se consolidan y aumentan su resistencia.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros con las que se caracteriza la muestra, sea granular o de suelo cohesivo:

Soil Type and SPT Blow Counts	Undisturbed Soil	
	Cohesion (psf)	Friction Angle (°)
<b>Cohesive soils</b>		
Very soft (<2)	250	0
Soft (2–4)	250–500	0
Firm (4–8)	500–1,000	0
Stiff (8–15)	1,000–2,000	0
Very stiff (15–30)	2,000–4,000	0
Hard (>30)	4,000	0
<b>Cohesionless soils</b>		
Loose (<10)	0	28
Medium (10–30)	0	28–30
Dense (>30)	0	32
<b>Intermediate soils</b>		
Loose (<10)	100	8
Medium (10–30)	100–1,000	8–12
Dense (>30)	1,000	12

Tabla No 1. Relación resistencia al corte no drenado y ángulo de fricción

Correlaciones geotécnicas (4) y ensayos “in situ”: el SPT y resistencia al corte no drenado. Tema 8: Correlaciones de los parámetros del suelo a partir de los resultados de los ensayos “in situ”. 8.2 Correlaciones a partir del ensayo de penetración estándar SPT. 8.2.4

Resistencia al corte no drenado de los suelos cohesivos. Recuperado de: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/spt-suelos-cohesivos/>

### 2.3 Conformación superficie de falla

Se hace necesario introducir este tema principalmente en las obras de ingeniería que llevan estudios en cuanto a estabilidad de taludes o laderas necesarios para el desarrollo de proyectos de mediana y gran escala.

Se requiere de un análisis complejo sobre la utilización de estos, ya que al no tener en cuenta las características y propiedades que provee el terreno, se pueden llegar a generar grandes daños (infraestructuras, vidas humanas, entre otras).

Se entiende por talud a aquella inclinación generada respecto a la horizontal donde se adopten estructuras de tierra. Cuando este se haya de forma natural se conoce como ladera, pero cuando ha sido intervenido por el hombre se le conoce como cortes o taludes artificiales.

Cuando no son bien fundamentados los taludes, por ejemplo en la elaboración de un terraplén, los mismos materiales no garantizan su estabilidad y producen fallas, generando inestabilidad del suelo, generalmente deteriorando la estructura de pavimento y/o la resistencia al corte de suelo de fundación. Se puede evidenciar esta afirmación en la siguiente imagen:



*Figura No 3. Talud de un terraplén*

De esta forma es necesario considerar la estabilidad del talud, entendiéndose como la seguridad de una masa de tierra contra la falla o movimiento. Trabajos de ingeniería en este punto de la obra se hacen necesarios, porque garantizan la durabilidad de los proyectos de construcción y reducen el costo generados por gastos imprevistos en la estabilización del terreno, que ya se debió haber dejado estable.

Trabajos de drenajes, muros de contención, filtros, entre otros, son algunos de los trabajos que garantizarían la solidez del talud para ser utilizado con cimentación de una obra ingenieril. No se deben dejar a un lado las fallas a las que estaría involucrado el suelo tales como: mala compactación, debido análisis de los materiales a utilizar, obras de drenajes que aumente el factor de seguridad del talud que generen una reducción en la superficie de falla, entre otras razones a considerarse.

A continuación se presenta la siguiente tabla donde se encuentran algunas de estas fallas:

Tipo de falla	Forma	Definición
Desprendimientos	Caída libre	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre.
	Volcadura	Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana.
	Rotacional	Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida.
	Desparramamiento lateral	Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos.
	Deslizamiento de escombros	Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.
Avalanchas	De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.
Repteo		Movimiento lento e imperceptible talud abajo de una masa de suelo o suelo-roca

*Tabla 2 Clasificación de fallas*

*Estudio de caso: vulnerabilidad de los sistemas de agua potable frente a deslizamientos (OPS; 1997; 106 páginas). Capítulo 3: Guía para identificar problemas de deslizamientos. Clasificación del tipo de fallas de taludes. Recuperado de:*

<http://helid.digicollection.org/en/d/Jh0206s/4.1.html>

## 2.4 Bandas de corte

Una banda de corte es una zona estrecha de tensión de corte intenso, generalmente de naturaleza plástica, que se desarrolla durante la deformación severa de materiales dúctiles. Como por ejemplo, una muestra de suelo (arcilla limosa supe consolidada) después de una prueba de compresión axial y simétrica.

Inicialmente, la muestra tenía forma cilíndrica y, dado que se trató de preservar la simetría durante la prueba, la forma cilíndrica se mantuvo durante un tiempo durante la prueba y la deformación fue homogénea, pero a carga extrema se formaron dos bandas de corte en forma de X y la deformación posterior fue fuertemente localizada.

Aunque no se observa en materiales frágiles (por ejemplo, vidrio a temperatura ambiente), las bandas de corte (las "deformaciones localizadas") generalmente se desarrollan dentro de una amplia gama de materiales dúctiles (aleaciones, metales, materiales granulares, plásticos, polímeros y suelos) e incluso en materiales cuasi-quebradizos (concreto, hielo, roca y algunas cerámicas).

La relevancia del fenómeno de bandas de cortante es que estas preceden a la falla, debido a que las deformaciones extremas que se producen dentro de las bandas de corte producen un daño intenso y una fractura. Por lo tanto, la formación de bandas de corte es la clave para la comprensión de la falla en materiales dúctiles, un tema de investigación de gran importancia para el diseño de nuevos materiales y para la explotación de materiales existentes en condiciones extremas.

Como consecuencia el estado del arte de la investigación sobre bandas de corte es que el fenómeno se entiende bien desde el punto de vista teórico y el punto de vista experimental, los modelos constitutivos disponibles dan buenas predicciones cualitativas, aunque las predicciones cuantitativas son a menudo pobres. Además, se han realizado

grandes progresos en simulaciones numéricas, de modo que la nucleación y propagación de la banda de corte en situaciones relativamente complejas se puede rastrear numéricamente con modelos de elementos finitos, aunque todavía a costa de un gran esfuerzo computacional. De mayor interés son las simulaciones que revelan la dependencia de la orientación cristalográfica de las bandas de cizallamiento en monocristal y policristales. Estas simulaciones muestran que ciertas orientaciones son mucho más propensas a someterse a la localización de corte que otras.

Los ensayos de Shell Bang en la actualidad están utilizando análisis microscópico del momento de la falla en rocas para determinar su comportamiento y resistencia al ser sometidas a cargas de compresión, a continuación se muestran imágenes microscópicas de materiales fallados por Shell Bang:

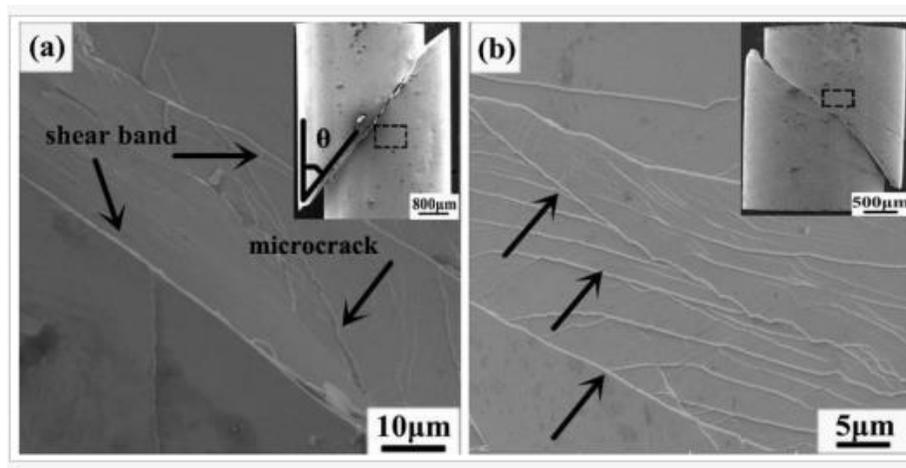


Figura No 4 .Muestras rocas falladas ensayo Shell band y analizadas microscópicamente

*The self-organized critical behavior in Pd-based bulk metallic glass. Results and discussion. Figure 2. SEM images of the lateral surfaces of the fractured BMgs deformed at strain rates of  $2 \times 10^{-3}$ , and  $2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ , respectively. Recuperado de:*

<http://www.mdpi.com/2075-4701/5/3/1188/htm>

## **2.5 Análisis microscópico de suelos**

El análisis microscópico, como otros análisis que se destacan en la caracterización de suelos y rocas, ha sido de gran relevancia debido al conocimiento que se debe tener para tomar decisiones en cuanto al material a utilizar en una obra y que garantice la estabilidad, durabilidad, funcionalidad, entre otros factores de las estructuras que las contengan.

Dentro de estos análisis se destacan microanálisis mediante micro sondas electrónicas, análisis mediante catodoluminiscencia, microscopio electrónico de barrido con analizador de energías, entre otros. Su uso toma fuerza debido a la determinación, caracterización y mineralogía del material de suelos, sea granular o cohesivo, de los cuales se hará uso dentro de las obras de ingeniería, esto permite no solo conocer detalladamente el material, sino también su fin.

Es de gran importancia tener presente este tipo de información pues garantiza de manera concisa el uso apropiado de los mismos y a su vez aumenta las propiedades mecánicas del lugar donde se empleen.

Se tiene referencias de estudios de suelos granulares y cohesivos, en donde se muestra su comportamiento, dado que cada tipo de suelo presenta una resistencia al corte en estados diferentes (drenado y no drenado), se hace necesario el análisis de su comportamiento antes, durante y después de presentarse el suceso, en la siguiente imagen se puede evidencia lo citado en el texto anterior:

Parámetros de resistencia al corte en suelos blandos (c y o).

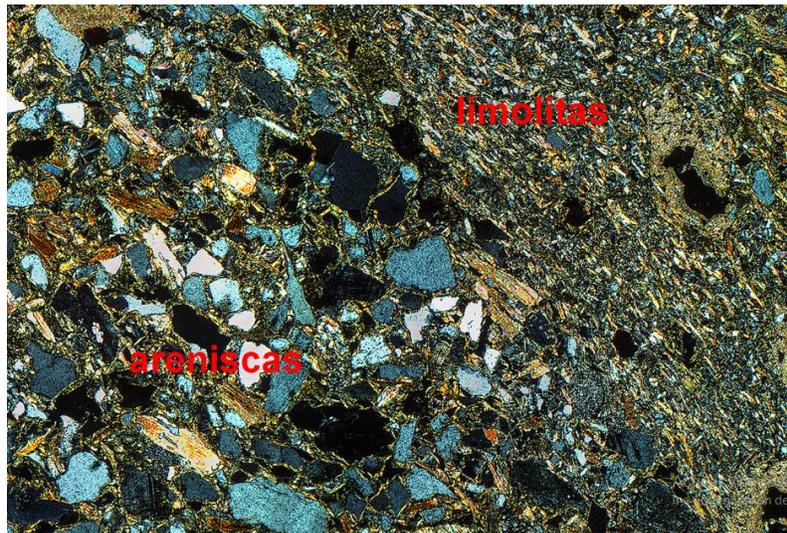


Figura No 5. Análisis microscopio electrónico de barrido transición arena - arcilla

Giga Imágenes/microscopio virtual. Interpretación del horizonte. Recuperado de: <http://www.edafologia.net/micropano/RNS16-5/index.html>

La parte mineralógica del suelo es producto de una roca que al erosionarse da origen a partículas de diferentes tamaños, con texturas y formas diferentes. Esta se presenta desde arena gruesa y arcilla fina, este proceso puede obtenerse por medio de una granulometría y estar caracterizado por el tamaño de apertura aparente de los tamices que permite el paso de material según el diámetro de sus orificios.

Dentro de los minerales que se pueden hallar, se encuentran el potasio y el magnesio, que generan dentro del suelo, en este caso se menciona un suelo arcillo, como arcillas filosilicatadas, de forma laminar que tiene propiedades de actuar como imanes de cationes y aniones. “Conocer esto es necesario si se quiere lograr un adecuado manejo nutrimental del suelo y decidir, dentro de las partículas agrícolas, cuánto de estos elementos deben ser añadidos a los cultivos de manera artificial” explicó la Doctora

Claudia Hidalgo Moreno, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, México.  
Haciendo referencia a esta afirmación se trae a relación las siguientes imágenes, tratándose del comportamiento de una arcilla fluvial y una arcilla de suelo, a continuación se muestra mediante el análisis microscópico:



*Figura No 6 .análisis microscópico de arcilla fluvial*

*Perfil compuesto: arriba, Luvisol crómico con horizonte cálcico; abajo, un paleosuelo de clase Luvisol. Formado en una antigua terraza fluvial del río Tormes. Recuperado de: <http://edafologia.ugr.es/introeda/tema06/portada/portadaBtb2.html>*

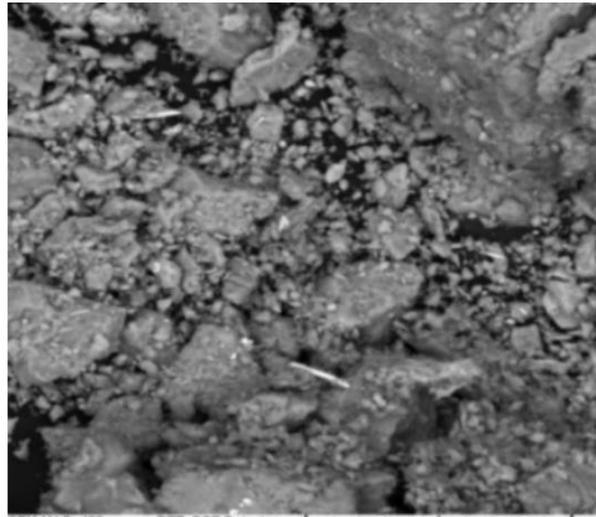


Figura No 7. Análisis microscopio electrónico de barrido de arcilla de suelo.

*Análisis de fases de arcillas asociadas a mineralización níquelífera en la región de Cuba-Oriental. Figura 5. Imagen MEB general de la muestra cabeza. Recuperado de: [http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015\\_Alonso\\_MIN5-O4.pdf](http://www.redciencia.cu/geobiblio/paper/2015_Alonso_MIN5-O4.pdf)*

## **2.6 CBR y tipos de CBR en Bogotá.**

### **RELACIÓN DE SOPORTE DEL SUELO EN EL LABORATORIO (CBR DE LABORATORIO) I.N.V. E – 148 – 13.**

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, sub-base y base de pavimentos. El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la

relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

- Equipo necesario.

- Aparato para medir la expansión compuesto por una placa metálica provista de un vástago ajustable de metal con perforación de diámetro menor o igual a 1,6 mm y un trípode metálico para sujetar el calibre comparador con indicador de dial.
- Prensa de ensayo de capacidad mínima de 44 KN. y cabezal o base movable a una velocidad de 1,25 mm/min para presionar el pistón de penetración en la probeta. Este equipo debe estar provisto de un dispositivo indicador de carga con lecturas de curso no menor que 50 mm.
- Molde metálico, cilíndrico de diámetro interior de  $152,4 \pm 0,7$  mm. y altura de  $177,8 \pm 0,1$  mm. Debe tener un collarín de extensión metálico de 50,8 mm. de altura y una placa base metálica de 9,5 mm. de espesor, con perforaciones de diámetro igual o menor que 1,60 mm. (figura 3.16. y 3.17). –
- Disco espaciador metálico, cilíndrico, de 150,8 mm. de diámetro y 61,4 mm. de altura. - Pistón metálico con una cara circular de  $50 \pm 0,2$  mm. de diámetro y con una masa de  $2500 \pm 10$  grs. La altura de caída debe ser  $305 \pm 2$  mm. controlada por una guía tubular. –

- Pistón de penetración metálico de  $50 \pm 0,5$  mm. de diámetro y no menor que 100 mm. de largo. - Calibre, compuesto por dos de Fermín de otros comparadores con indicador de dial, de 0,01 mm. de precisión. –
- Sobrecargas, una metálica anular y varias metálicas rasuradas con una masa de 2,27 kg. cada una y 149,2 mm. de diámetro, con una perforación central de 54 mm. de diámetro. - Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$  C. –
- Herramientas y accesorios. Estanque lleno de agua, pailas o bandejas de mezcla, depósito de remojo, papel filtro, platos y tamices.

### **Procedimiento**

Preparación de la muestra: Se prepara una muestra de tamaño igual o superior a 56 kg. Esta muestra deberá secarse al aire o en un horno, a una temperatura menor que  $60^{\circ}$  C, hasta que se vuelva desmenuzable. Además, se deberán disgregar los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas. La muestra se pasa por el tamiz de 20 mm. (3/4" ASTM) descartando el material retenido. Si es necesario mantener el porcentaje de material grueso del material original se deberá efectuar un reemplazo. Para esto se determina por tamizado el porcentaje del material que pasa por el tamiz de 50 mm. (2" ASTM) y queda retenido en el tamiz de 20 mm.

Se reemplaza dicho material por una masa igual de material que pasa por el tamiz de 20 mm. Y queda retenido en el tamiz de 5 mm. Tomada de la porción no utilizada de suelo original. Una vez obtenida la muestra de ensaye, se selecciona una porción representativa

de unos 35 kg. Para realizar el ensayo de compactación Proctor. El resto de la muestra, se divide en tres porciones de unos 7 kg. Cada una. - Compactación de probetas CBR.

Normalmente se compactan de tres a cinco probetas en un rango de 90% a 100% de la DMCS determinada según el ensayo Proctor. Cada porción de suelo, se debe mezclar con una cierta cantidad de agua para obtener la humedad óptima, si es necesario curar el suelo, debe colocarse dentro de un recipiente tapado para lograr una distribución uniforme de la humedad. Una vez que se haya pesado el molde (Mm) y verificado su volumen (Vm), se coloca el disco espaciador sobre la placa base, se fija el molde con el collarín sobre la placa y se coloca un disco de papel filtro sobre el disco espaciador.

Dentro del molde se compacta mediante 5 capas cada una de las porciones de suelo húmedo, utilizando para cada porción una energía de compactación distinta (Nº de golpes), de manera que la densidad a la cual se desee determinar el CBR quede comprendida entre las densidades de dos probetas. Se compactaran con 56, 25 y 10 golpes respectivamente. Al comienzo y al final de la compactación deberán tomarse 2 muestras representativas de suelo para calcular el contenido de humedad. En caso que las muestras no sean sumergidas, la humedad se determina concluida la penetración.

Finalizada la compactación, se retira el collarín y se enrasa el suelo al nivel del borde del molde, rellenando los huecos dejados por la eliminación del material grueso con material de menor tamaño. Se retiran la placa base perforada, el disco espaciador y se pesa el molde con el suelo compactado (W 1).

**Determinación de las propiedades expansivas del suelo.**

Sobre la placa base perforada, se coloca un disco de papel filtro grueso y se ajusta el molde con el suelo compactado en forma invertida, de manera que el espacio formado por el disco espaciador quede en la parte superior. En la superficie libre de la muestra, se coloca un disco de papel filtro grueso y sobre éste se coloca la placa metálica perforada provista de un vástago regulable. Sobre ésta placa se colocarán las sobrecargas, cuyo número deberá ser especificado o de lo contrario, se usará una sobrecarga mínima de 4,54 kg., equivalente al peso de un pavimento de hormigón de 5 pulgadas de espesor. A continuación se coloca todo el conjunto cuidadosamente dentro del estanque sin agua, sobre pequeños bloques metálicos o de otro material con el objeto de permitir el libre acceso del agua por debajo de la muestra. Se monta el trípode y se instala el comparador de dial de tal modo que su punta palpable quede tocando el vástago. Luego, se llena el estanque con agua y se registra la lectura inicial del comparador de dial ( $L_i$ ). El tiempo de inmersión dependerá del tipo de saturación. Para un ensayo con saturación normal se deja el molde sumergido durante 96 horas, en cambio para un ensayo de saturación completa se dejará el tiempo necesario hasta que no haya más hinchamiento, lo que se comprueba cuando dos lecturas de dial efectuados con 24 horas de intervalo y difieren en menos de 0,03 mm . Durante todo el tiempo de inmersión el nivel de agua se debe mantener constante. Registrada la lectura final del comparador de dial ( $L_f$ ), se retira el trípode y se saca el molde del agua, para dejarlo drenar durante 15 minutos. Finalmente se retiran las sobrecargas, los discos de papel filtro y las placas perforadas para determinar el peso del molde más el suelo compactado y saturado ( $W_2$ ).

**Determinación de la resistencia a la penetración.**

Se lleva la probeta a la máquina de ensayo y se colocan sobre ella, una cantidad tal de cargas para producir una sobrecarga igual a la que supuestamente ejercerá el material de base y pavimento del camino proyectado (pero no menor que 4,54 kg.), redondeando a múltiplos de 2,27 kg. En caso de que la probeta haya sido sumergida, la carga será igual a la aplicada durante la inmersión. Se apoya el pistón de penetración con una carga lo más pequeña posible (no debe exceder de 45 Newton) y se colocan los diales de lectura de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial, se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón, pero debe considerarse como carga cero para la relación carga-penetración. La velocidad de carga aplicada al pistón de penetración será de 1,25 mm/min. Se anotarán las lecturas de carga, en los siguientes niveles de penetración: 0,65 - 1,25 - 1,90 - 2,50 - 3,10 - 3,75 - 4,40 - 5,00 - 7,50 - 10,00 y 12,5 milímetros (o bien, 0,025 - 0,050 - 0,075 - 0,100 - 0,125 - 0,150 - 0,175 - 0,200 - 0,300 - 0,400 y 0,500 pulgadas). Para finalizar, se retira el total de la muestra de suelo del molde y se determina el contenido de humedad de la capa superior, con una muestra de 25 mm de espesor. Si se desea determinar la humedad promedio, se deberá extraer una muestra que abarque el total de la altura del molde.

### **CBR EN SUELOS DE BOGOTÁ.**

- Tomando como referencia el proyecto de monografía de investigación acerca de la correlación entre el ensayo de CBR y PDC realizada por José Fernando Osorio Martínez y Ana Nivel Casas General de la Universidad Militar Nueva Granada en 2011, en la cual se tomaron varias muestras de suelos de diferentes zonas de la localidad de suba a las cuales se le realizó el ensayo de CBR , obteniendo resultados diferentes en algunos puntos se obtuvieron CBR de promedio de 16 % y 18 % y en otros puntos se obtuvieron resultados entre 2 % y 8 % en la cual se concluyeron que para algunos puntos se debe realizar mejoramientos de subrasante.

A continuación se muestra un cuadro resumen de los resultados obtenidos de CBR para diferentes puntos de Suba:

CORRELACIÓN P.D.C. vs C.B.R.					
PROYECTO	DESCRIPCIÓN EN MAPA DE SONDEOS	PROFUNDIDAD	Numero de Golpes P.D.C.	Relación de soporte C.B.R. (%)	
CALLE 150A - REFOUS	Comparación entre C.B.R. 1 - S2 y S3.	1.20 - 1.40	2	5,32	
			2	5,32	
	Comparación entre C.B.R.2 - S1.	0.80 - 1.00	1	4,81	
VIAS URBANIZACIÓN LA SIRENA	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 y S2.	1.00 - 1.20	4	10,85	
			3	10,85	
			3	10,85	
			5	10,85	
	Comparación entre C.B.R. 2 - S4.	0.80 - 1.00	3	9,21	
			3	9,21	
	Comparación entre C.B.R. 3 - S5.	0.80 - 1.00	2	3,48	
			3	3,48	
PROYECTO FARMATODO 167	Comparación entre C.B.R. 1 - S1.	1.00 - 1.20	2	11,77	
			2	11,77	
	Comparación entre C.B.R. 2 - S2 Y S3.	1.30 - 1.50	1	6,35	
			1	6,35	
			2	6,35	
			1	6,35	
VIAS URBANIZACIÓN LA TRANQUERA	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 Y S2.	0.70 - 0.90	1	3,36	
			2	3,36	
			1	3,36	
			1	3,36	
		Comparación entre C.B.R. 2 - S4.	0.60 - 0.80	2	3,78
				1	3,78
	Comparación entre C.B.R. 3 - S3 Y S6.	0.70 - 0.90	1	5,04	
			1	5,04	
			6	5,04	
			3	5,04	
Comparación entre C.B.R. 4 - S5.	0.50 - 0.70	2	3,15		
		1	3,15		
VIAS ALMUVA	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 Y S2.	0.50 - 0.70	3	7,37	
			3	7,37	
			3	7,37	
			3	7,37	
	Comparación entre C.B.R. 2 - S3 Y S4.	0.70 - 0.90	6	8,40	
			6	8,40	
			5	8,40	
			5	8,40	
CALLE 142 Y 142C CAFAM - GAVILANES	Comparación entre C.B.R. 1 - S1 Y S2.	0.80 - 1.00	4	16,18	
			4	16,18	
			7	16,18	

Tabla No 3. Cuadro CBR Zona Suba

Correlación P.D.C con C.B.R para suelos en la localidad de suba. Procesamiento de la información. Tabla 25. Datos representativos

para la correlación P...D.C con C.B.R. Recuperado de:

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/3653/2/OsorioMartinezJoseFernando2011.pdf>

El Ing. Luis Gabriel Salgado Rivas de la Universidad Militar Nueva Granada realizó una investigación denominada *Aproximación a la Zonificación Del CBR en la Localidad de Chapinero* en la que fueron tomadas varias muestras representativas de suelos de la

localidad de Chapinero, a éstas se le realizó el ensayo de CBR para obtener un promedio de resistencia del suelos presente en esta localidad con los siguientes resultados:

CÓDIGO	Dirección	FECHA DEL ESTUDIO	LP	LL	IP	Profundidad (m)	qu (kg/cm <sup>2</sup> )	qu (kPa)	Descripción suelo	*CONSISTENCIA	SPT (golpes/pie)	SPT (mm/golpe)	E (Ton/m <sup>2</sup> )	CBR - % - (GRAFICO LUNEH & ISHAJ)	CBR EN % (ADOPTADO)
7007	Carrera 16 N° 80-07	Junio 05 de 2009				1.10 - 1.50	0.5	49.05	Limo arenoso	Media	2	152	380	1	1
7019	Carrera 9 No 93A-07	Marzo 30 de 2006				0.00 - 5.50	0.1	9.81	Limo arenoso	Muy blanda	2	152	640	1	1
7044	Carrera 16 No. 86A-79	Mayo 9 de 2006				0.0 - 0.95/1.50	0.8	78.48	Arcilla	Media	3	102	485	2.3	2
7129	carrera 16 con calle 96	Julio 18 de 2007				0.0 - 1.80/3.00	0.38	37.28	limo arcilloso orgánico	Blanda	2	152	465	1	1
7226	calle 55 No. 7-28	Enero 18 de 2008	22.00	30.00	8.00	0.0 - 0.50/2.75	0.9	88.29	limo, arcilla	Media	4	76	692	2.8	2
7381	Carrera 1 No 65c-40	Octubre 27 de 2006				0.50 - 1.00/3.00	4.5	441.45	Arcilla	Dura	13	23	2695	6.8	6
7479	Calle 73 No. 0-59	Marzo 13 de 2007				0.50/1.70-3.0/6.0		N.A	Bloques de arenisca	Media	9	34		4.5	4
7527	carrera 11No. 84-50	Julio 23 de 2007				0.0-2.5/4.5	0.41	40.22	Arcilla limo-arenosa	Blanda	2	152	516	1	1
7638	calle 91 No. 9-40	Enero 29 2009				0.0-0.25/2.00	0.94	92.21	limo	Media	10	30	939	5.1	5
7662	Avenida Circunvalar No 42-10 en Bogotá	Mayo 11 de 2007				0.40/1.50-0.90/4.70		N.A	Arcilla y/o limos arenosos con gravas	Media	5	61	494	2.9	2
7673	carrera 16 con 91	Febrero 14 de 2008				0.20/0.50-0.70/1.20	0.6	58.86	Limo arcilloso	Media			600		0
7691	carrera 10 No 94-44	Junio 15 de 2007				0.10/0.80-0.40/2.50	0.92	90.25	Limo orgánico	Media	12	25	871	6.2	6
7694	calle 93 a No 20 - 37 y calle 93bis No 20-40	Mayo 2 de 2007				0.30/1.30-2.30/4.0	0.68	66.71	Arcilla	Media	15	20	743	7.5	7
7728	calle 85 No 7-54	Enero 31 de 2008				0.50/1.00-2.00/2.50	0.28	27.47	Limo orgánico	Blanda	6	51	538	3.5	3
7743	Carrera 17 No 91-06	Abril 12 de 2007				0.20/0.60-1.00/1.50	1.47	144.21	Limo	Firme	6	51	1467	3.5	3
8153	Calle 82 No. 12-36	Julio 07 de 2008				0.40/1.0-1.60/3.0			Limo arenoso	Muy firme	22	14		10.4	10
8154	Cra. 15 No 95-65	Diciembre 05 de 2007				0.70/1.0-4.90/6.00	0.25	24.53	Arcilla limosa	Blanda	24	13	465	10.6	10

Tabla No 4. Cuadro CBR zona chapinero.

Aproximación a la zonificación del CBR en la localidad de Chapinero. Resultados de:

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/9929/2/SalgadoRivasLuisGabriel2013.pdf>

- La investigación de la ecuación para el cálculo de CBR a partir de la plasticidad en la UPZ Ismael Perdomo de la localidad de Ciudad Bolívar realizada por el Ing. Jorge Suárez de la Universidad Militar Nueva Granada, podemos encontrar una investigación sobre varios tramos viales realizados al barrio el Perdomo de la localidad de Ciudad Bolívar a

los que se le tomaron varias muestras de suelos representativas y se le realizaron los ensayos de CBR para determinar la capacidad de resistencia de la sub-sánate de esta zona y de la que se obtuvo los siguientes resultados:

#	CIV	SEGMENTO VIAL	INICIO SEGMENTO	FINAL SEGMENTO	TIPO DE SUELO	CBR POR DIAGRAMA DE LA NAPA	CBR POR CUADRO DE YODER Y WITZACK	CBR POR CORRELACIÓN PDC	CBR POR CORRELACIÓN PLASTICIDAD
1	50008188	CL69AS	TV54	TV55	SC	11	10	6	21,81
2	19001842	CL68BISS	TV73D	KR73B	SC	11	10	5	16,61
3	19003002	CL75CS	TV73HBIS	TV73HBISA	SC	11	10	4,2	20,72
4	19001105	CL62DS	KR77BIS	KR77BISA	SM	14	20	8,07	38,92
5	19013382	CL63AS	KR77C	KR77B	SC	11	10	6,8	10,35
6	50008199	KR77A	DG67AS	CL68BS	CH	3	3	4,4	4,78
7	19000637	KR76BISB	CL60S	CL60BS	GC	22	20	5,8	24,08
8	19000460	DG60S	KR75G	TV75H	SC	11	10	5	12,06
9	19001843	TV73D	CL68S	CL68BISS	CL	7,5	5	6,5	6,20
10	19001129	DG62DBISS	KR75LBIS	KR76	SM	14	20	9,3	20,81
11	19001460	CL62KS	KR75J	KR75L	CL	7,5	5	3,2	10,12
12	19001649	DG63CS	KR73F	KR73H	CL	7,5	5	9,6	13,27
13	19001741	TV73GBIS	CL65S	CL65AS	GC	22	20	22	8,49
14	19001733	TV73DBIS	CL65S	CL65AS	CL	7,5	5	9,2	11,55
15	19001270	KR75IBIS	CL62FS	DG62GS	CL	7,5	5	6,4	11,14
16	19001257	CL62GS	KR76A	KR76B	CL	7,5	5	4	5,41
17	19004275	TV50	CL76AS	CL77S	CL	7,5	5	9,2	4,60
18	19002429	TV50	CL68FS	DG68HS	CL	7,5	5	14,1	6,53
19	30001692	DG68HS	TV56	TV55	CL	7,5	5	14,4	8,81
20	30001691	DG68HS	TV55	TV50	CL	7,5	5	7,5	8,87
21	19001010	KR75K	CL62S	CL62DS	CL	7,5	5	7,1	10,59
22	19001333	KR75A	CL62GS	CL62HS	CL	7,5	5	4,5	8,16

Tabla No 5. Cuadro CBR Barrio Perdomo ciudad bolívar.

Validación de la ecuación para cálculo de CBR a partir de plasticidad en la UPZ Ismael Perdomo de la localidad de Ciudad Bolívar.

.Tabla 5. Datos de CBR obtenidos mediante la correlación CBR-PDC y la correlación CBR-plasticidad/granulometría. Recuperado

de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15655/3/Suarez-CastroJorgeHumberto2017.pdf>

- Investigación estructural de la plataforma norte y sur del Aeropuerto Internacional el Dorado, realizada por el Ing. William Martínez Fajardo junto a el Ing. Carlos Andrés Moyano Buitrago de la Universidad Católica de Colombia , en la cual se llevó a cabo una investigación acerca de las condiciones actuales del suelo de

fundación de las pista 1 y 3 del Aeropuerto El Dorado , se le tomaron varias muestras representativas de estas zonas a las cuales se le realizaron los ensayos de CBR y de las que se concluyó que el suelo de fundación tiene un promedio entre 9% y 11 % de CBR siendo óptimos para la estructura general.

- En el proyecto de grado titulado “Auscultación y Análisis del deterioro del pavimento de la Av. Centenario (calle 13), entre la Av. Caracas hasta la carrera 46, costado norte -calzada mixta- en la ciudad de Bogotá, para determinar las implicaciones de la correlación del CBR módulo resiliente en su durabilidad” presentado por Herbert Hamid Torres Giraldo, Jeffer Arley Sandoval y Héctor Fabio Zambrano Rodríguez de la Universidad De La Salle. se realiza un análisis de las condiciones del pavimento existente en el centro de la ciudad de Bogotá dentro en la que fueron recopiladas varias muestras de suelos que fueron sometidas a pruebas de CBR , de ellas se obtuvo los siguientes resultados expuestos en el cuadro exhibido a continuación:

Tabla 25. Resumen de los ensayos de laboratorio

LOCALIZACION	ZONA TÍPICA	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	CBR	CBR DE DISEÑO	MÓDULO RESILIENTE (PSI)	K
Colegio La Salle	1	43.1	20.87	22.23	1.56	2.84	5511	100.3
Colegio La Salle	1	35.81	24.39	11.42	1.66			
Calle13 carrera 19	1	51.15	22,50	28.65	2.5			
Calle 13 - Carrera 20 costado oriente	1	65.95	15,98	49.98	2.59		4351	
Calle 13 - Carrera 20 costado occidente.	1	63.56	29,89	33.67	3.84			
Carrera 21 - Calle 13A.	1	38.05	31,42	6.62	1.01			
Parqueadero Milenio.	2	31.00	20,23	10.84	2.21	2.01	2756	86.5
Parqueadero milenio Muestra	2	31.40	23,42	7.97	1.23		2973	
Carrera 39 - Calle 13.	2	59.48	36,81	22.67	0.49			

Tabla No 6. Cuadro CBR Zona norte.

*proyecto auscultación y análisis del deterioro del pavimento de la av. centenario (calle 13), entre la av. caracas hasta la carrera 46, costado norte calzada mixta en la ciudad de Bogotá, para determinar las implicaciones de la correlación del cbr módulo resiliente en su durabilidad. 4.3.1.4 Ensayo de placa con carga estática no repetida. Recuperado de: <http://repository.lasalle.edu.co/handle/10185/15372>*

A continuación se dará un resumen de los resultados obtenidos por zonas de los CBR de terrenos naturales encontrados de acuerdo a varias investigaciones antes referenciadas:

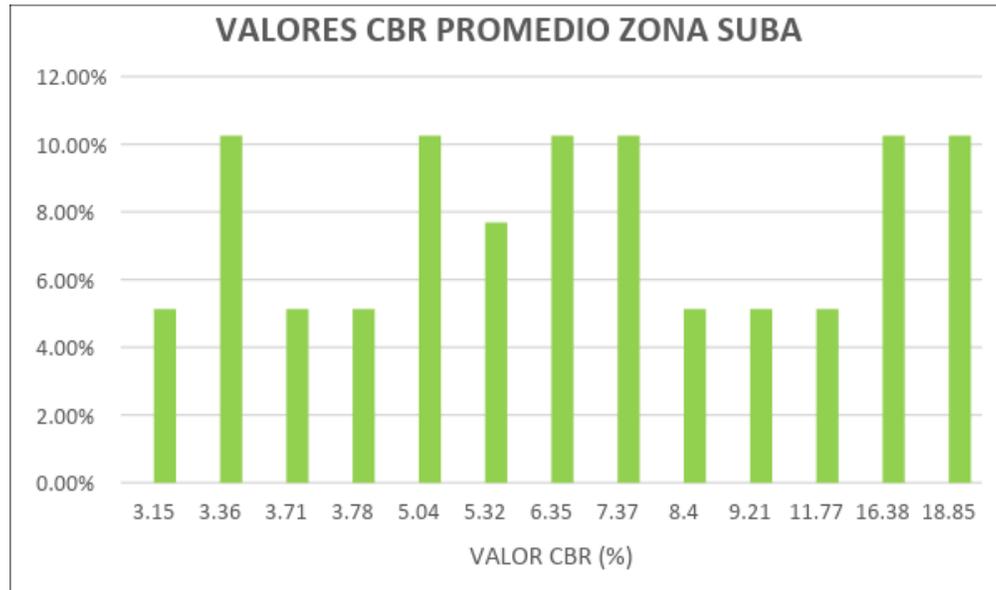


Gráfico No 1. Valores CBR Zona Suba.

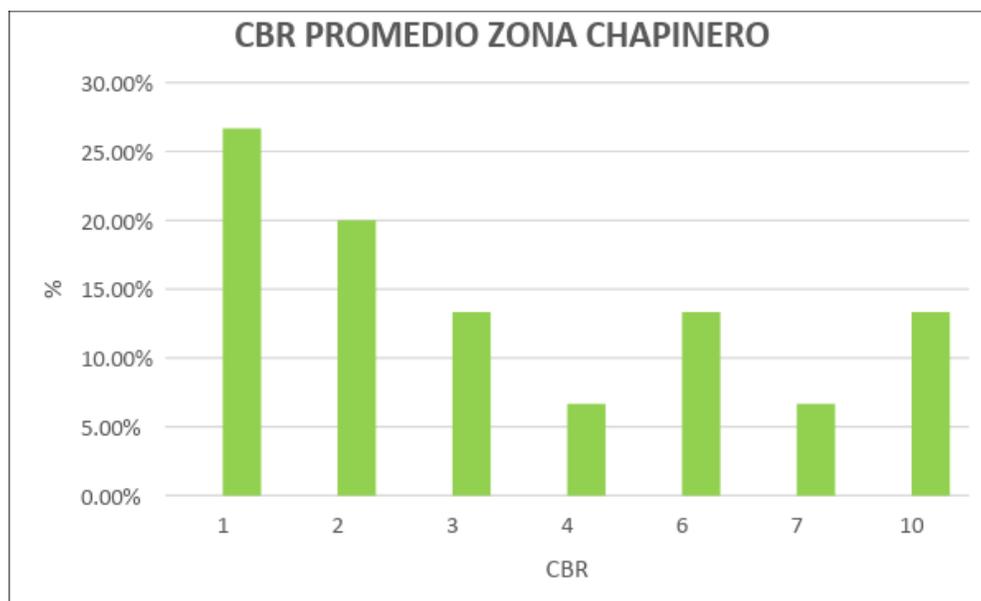


Gráfico No 2. Valores CBR Zona Chapinero.



Gráfico No 3. Valores CBR barrio Perdomo Zona Ciudad Bolívar.

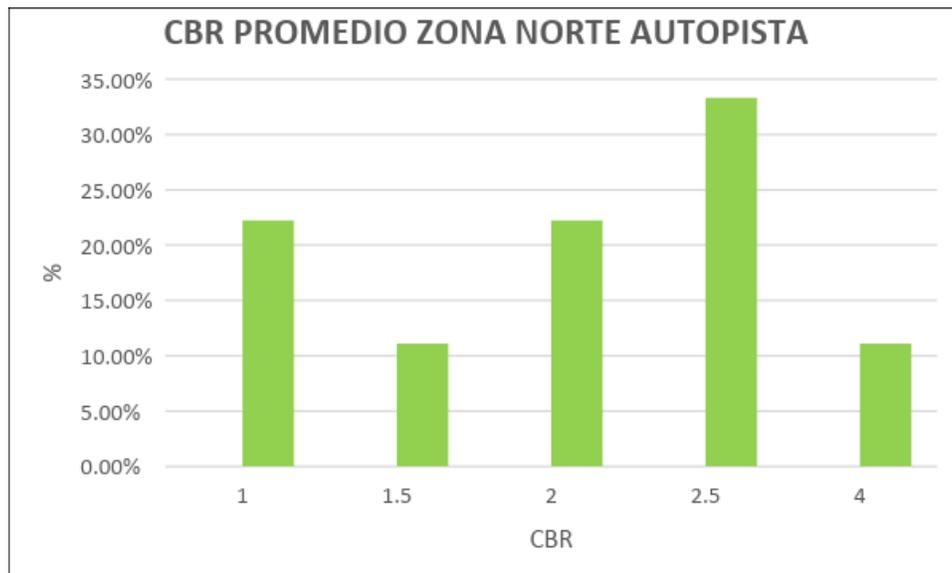


Gráfico No 4. Valores CBR Zona Autopista Norte.

Para concluir este tema, se dará un resumen general de los CBR promedios de suelos naturales de varias zonas de Bogotá:

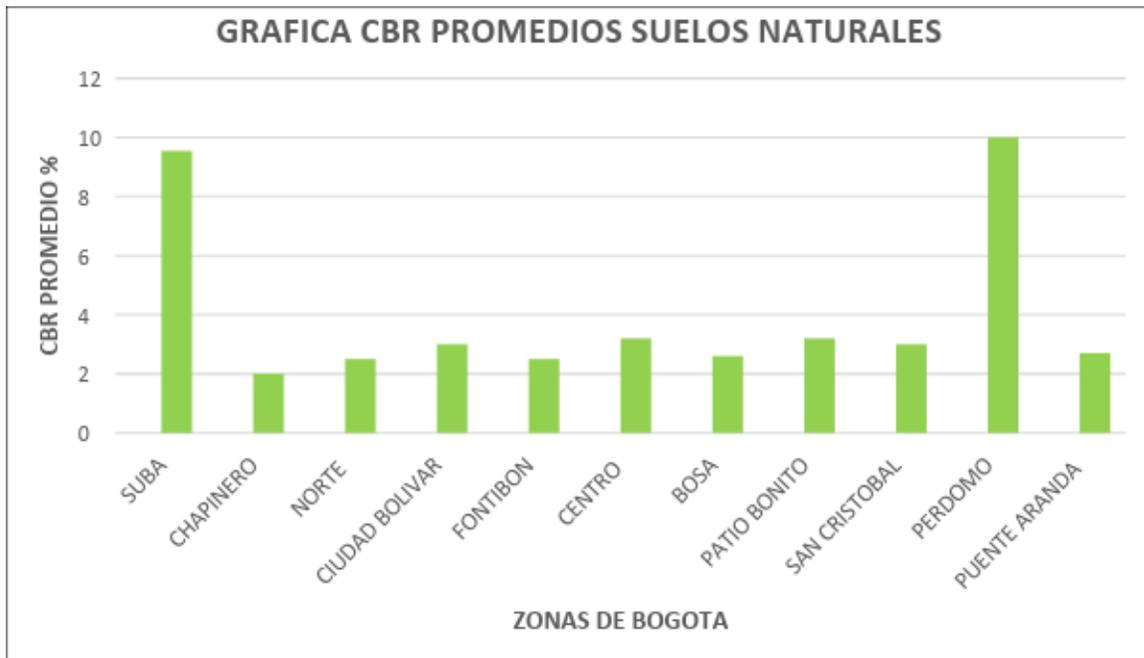


Gráfico No 5. Valores CBR zonas Bogotá.

Como complemento del análisis de resultados obtenidos de los CBR se relaciona a continuación se relacionan los factores de ángulo de fricción interna y cohesión pertenecientes al ensayo de resistencia al corte de varias zonas de bogota y su relación con los CBR obtenidos de promedio , los datos se obtuvieron del proyecto de grado titulado **ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT** del ingeniero álvaro gonzález y del proyecto **APROXIMACIÓN A LA ZONIFICACIÓN DEL CBR EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO** de autoría del ing luis gabriel salgado rivas de la universidad militar nueva granada.

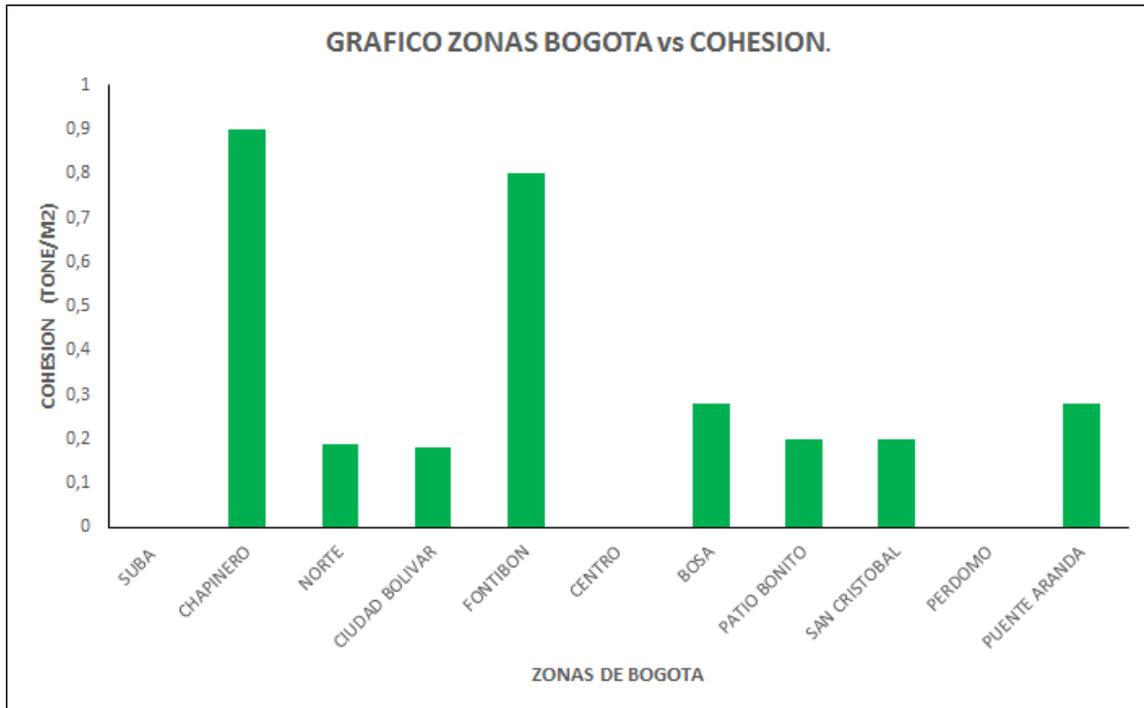


Gráfico No 6. Valores cohesión zonas Bogotá

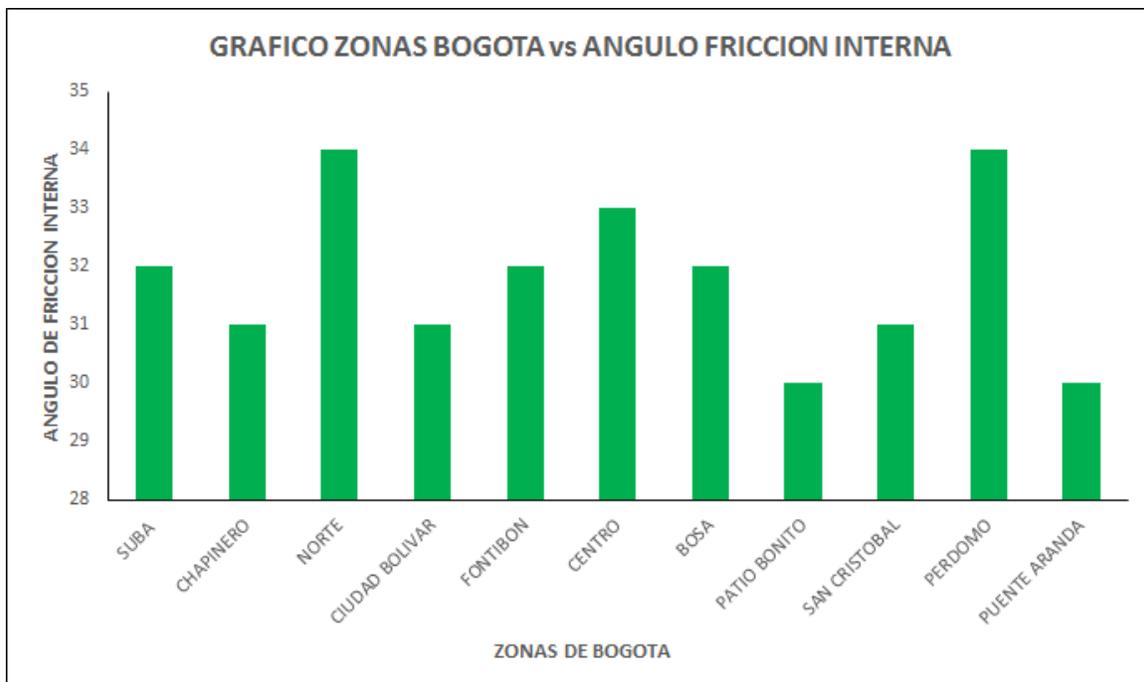


Gráfico No 7. Valores angulo fricción interna zonas Bogotá

## Capítulo 3

### Diseño cámara de corte directo

#### 3.1 Ensayo de corte directo Norma Invias E 154 – 13.

Esta norma tiene por objeto 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. El ensayo se podrá hacer con un corte sencillo o un corte doble, se puede realizar sobre todos los tipos de suelos, ya sean muestras inalteradas o alteradas.

El ensayo consiste en:

- Colocación de la muestra de ensayo en el dispositivo de corte directo.
- Aplicación de una carga normal determinada;
- Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra;
- Consolidación de la muestra bajo la carga normal;
- Liberación de los marcos que sostienen la muestra;
- Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra (véase Figuras 2).

Generalmente tres o más muestras son ensayadas, cada una bajo fuerza normal diferente, para determinar los efectos sobre la resistencia al corte y las deformaciones. El intervalo de las cargas normales usadas deberá ser el apropiado y en concordancia para las condiciones del suelo investigado.

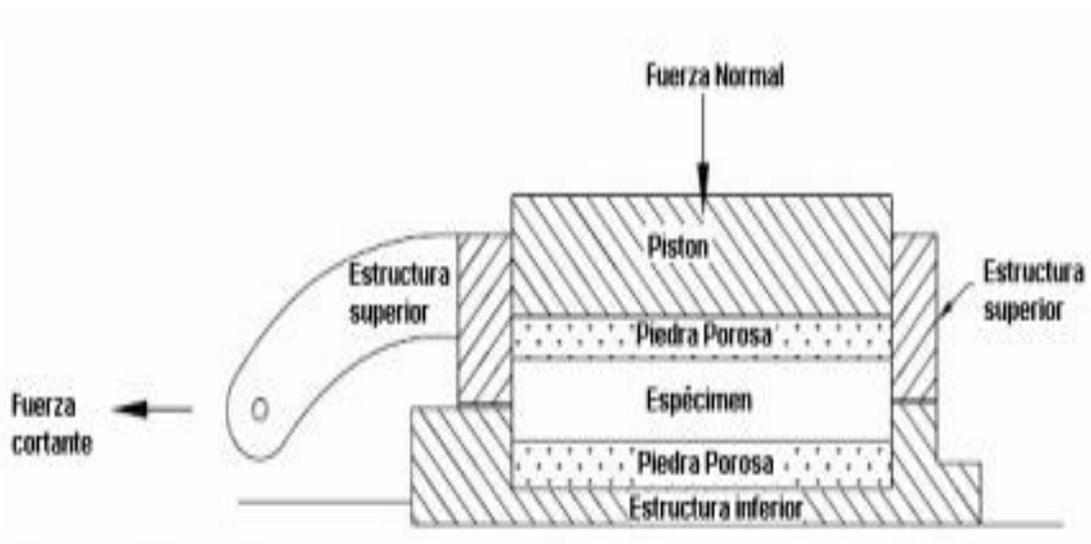


Ilustración 8: Dispositivo para ensayo de corte directo.

Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (consolidado) I.N.VE-154-07(S, F). Instituto Nacional de Vías. (Ilustración). Recuperado de: [ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-154-07.pdf](ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-154-07.pdf)

### 3.2 Diseño cámara de corte inspirado en Norma Invias E 154 - 13

Teniendo en cuenta las dimensiones reales de la cámara de corte directo estipulado por la Norma Invias, se realizó el diseño para que cumpliera con estas condiciones, agregándole una abertura en el lado derecho, que permitiera la observación de las muestras. Para obtener al diseño final, se realizaron dos moldes diferentes, en un material que permitiera la trabajabilidad del mismo (jabón), para llevar a cabo el diseño a escala, a continuación se hace el seguimiento del diseño y construcción en su primera etapa hasta la obtención final del mismo, con mejoras agregadas por la necesidad de obtener mejores resultados en muestras de suelos cohesivos de una cámara de corte

directo estipulado para el uso en el presente proyecto basada en la realizada en la tesis de grado “*Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos*”, Jose L. Sarmiento( junio,2018) UMNG.



*Ilustración 9: Molde del primer diseño cámara de corte directo*

*Recuperado de: Tesis de grado ‘Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos’, Jose L. Sarmiento (junio, 2018) UMNG.*

La imagen anteriormente relacionada se refiere al primer molde que se realizó en mencionado proyecto, el cual tuvo sus respectivas correcciones para la optimización en la toma de muestras microscópicas, también nos sugiere cómo garantizar la contención de la muestra dentro del lugar determinado para contenerse. De este modo se tiene un nuevo molde que queda establecido como el mecanismo con el cual se realizarán los ensayos respectivos. Vea a continuación el modelo sugerido:

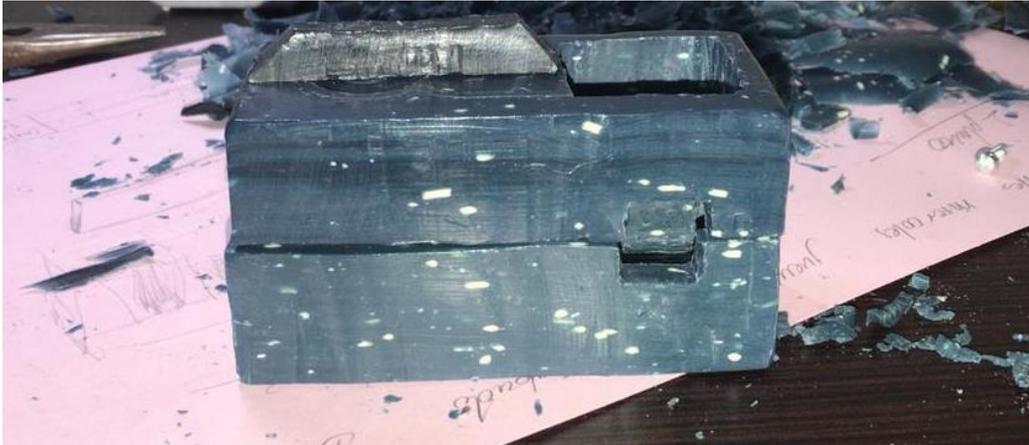


Figura No 10. Nuevo diseño ensamblado placa No 1 y 2 cámara de corte directo

Recuperado de: Tesis de grado "Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos", Jose L. Sarmiento (junio, 2018) UMG.

El anterior diseño quedó aprobado con una reducción de 0.5 cm de alto entre capa y capa, de tal manera que se limita el espacio con el fin de descartar las posibles fallas del sistema. El molde final se elaboró con acrílico teniendo en cuenta las correcciones estipuladas por el laboratorista Eduardo Dulcey. Se puede evidenciar el molde final del diseño aprobado para la realización de ensayos en la cámara de corte directo:



Figura No 11. Molde final Diseño cámara de Corte directo

Recuperado de: Tesis de grado "Análisis microscópico de bandas de corte en suelos granulares y cohesivos", Jose L. Sarmiento (junio, 2018) UMG.

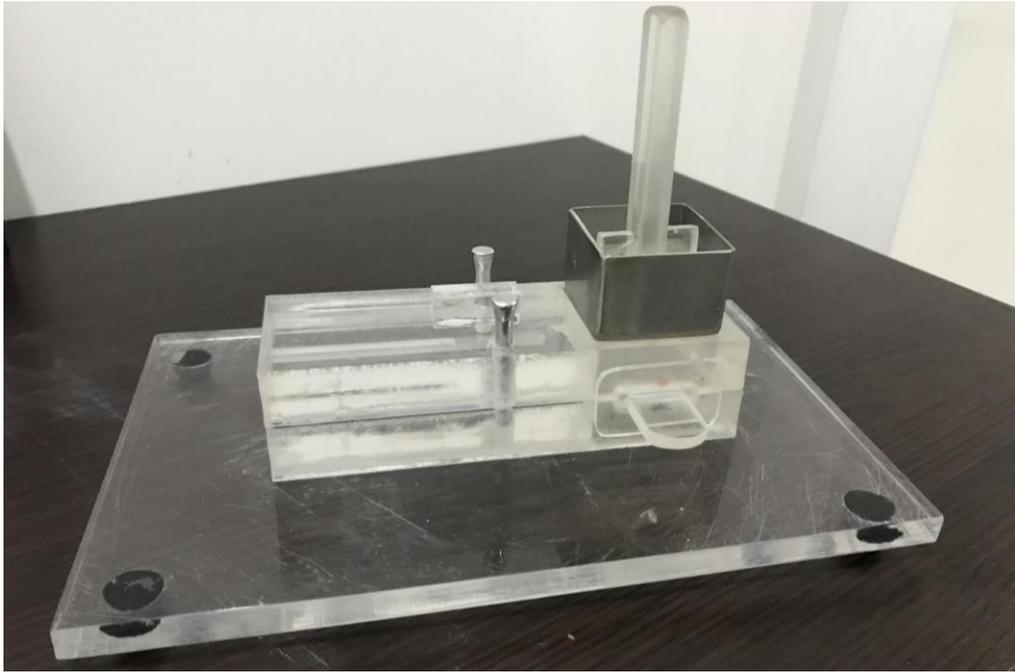


Figura No 12. Mejora cámara de Corte directo diseñado.

Se establecieron mejoras en el dispositivo diseñado y construido por presentarse inconvenientes al momento de contener la muestra saturada en el lugar determinado, presentado pérdida del material ya pesado y calculado según el volumen requerido para este ensayo, de esta manera se garantizó la toma de los mismos y su debido proceso para llegar a ello.

## Capítulo 4

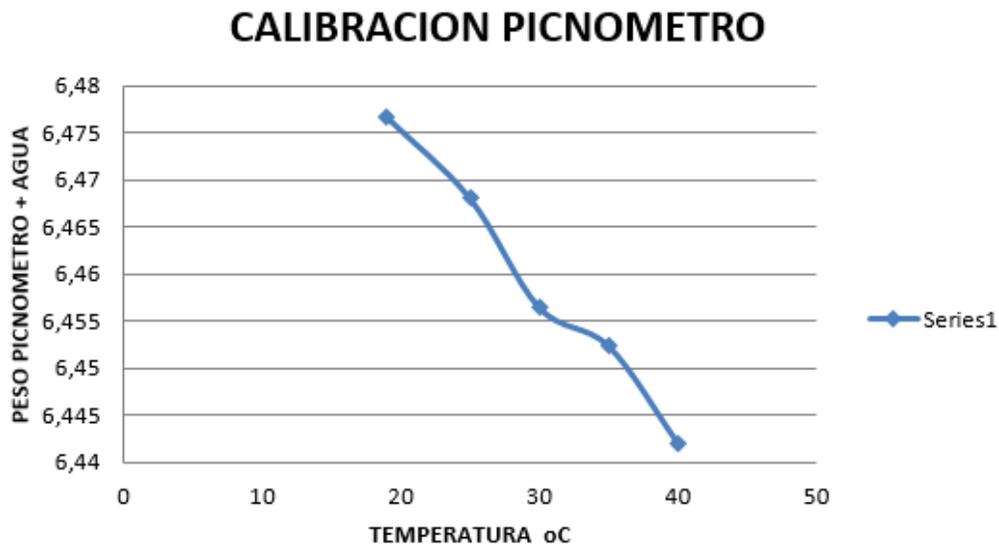
### Caracterización de los materiales

#### 4.1. Ensayos generales

Para el estudio de las muestras de arcillas se determinaron tres ensayos, gravedad específica, hidrometría y límite líquido, con el fin de profundizar en el conocimiento de los factores a considerar con este tipo de material.

<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA NORMA INVIAS E 128</b>	
<b>MUESTRA DE CAJICA: ARCILLA LIMOSA DE COLOR GRIS. CONSISTENCIA BLANDA, HUMEDA, PLASTICIDAD ALTA</b>	
<b>DATOS</b>	
<b>PESO DEL MATERIAL</b>	<b>APROX 120gr</b>
<b>PICNÓMETRO DE 500 ml # 2</b>	
<b>TEMPERATURA</b>	<b>PICNOMETRO + AGUA</b>
<b>19°</b>	<b>647.86gr</b>
<b>25°</b>	<b>646.80gr</b>
<b>30°</b>	<b>645.64gr</b>
<b>35°</b>	<b>645.53gr</b>
<b>40°</b>	<b>644.20gr</b>

*Tabla 7 Gravedad específica arcilla muestra Cajicá. Elaboración propia.*



Gráfica No 8. Curva temperatura contra peso picnómetro + agua. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos anteriormente relacionados, se desea conocer el  $G_s$  de esta muestra que se está estudiando, para este fin se realiza el siguiente procedimiento en el que se busca calcular la gravedad específica y se complementan los datos para obtener el mismo:

CALCULOS	
<b>PESO PICNÓMETRO + AGUA + SOLIDO</b>	<b>721.56gr W1</b>
<b>TEMPERATURA</b>	<b>28°C</b>
<b>PESO PICNÓMETRO + AGUA W2 DE LA CURVA</b>	<b>645.70 gr</b>
<b>RECIPIENTE #</b>	<b>8</b>
<b>PESO RECIPIENTE</b>	<b>196.32gr</b>
<b>PESO RECIPIENTE + SUELO SECO</b>	<b>314.42gr</b>
<b>PESO SUELO SECO</b>	<b>118.60gr = <math>W_o</math></b>
<b>FACTOR DE CORRECCIÓN K</b>	<b>9980</b>
<b><math>G_s = W_o / W_o + W2 - W1 * K</math></b>	
<b><math>G_s = 118.6g / 118.6g + 645.7g - 721.56g * 0.9980 = 2.77.</math></b>	

Tabla 8 cálculo  $G_s$  de la muestra. Elaboración propia.

El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en porcentaje de suelo secado en el horno, cuando éste se halla en el límite entre el estado líquido y el estado plástico, en esta especificación cualquier valor observado o calculado deberá expresarse al centésimo.

<b>LÍMITE LÍQUIDO INV E-125</b>			
<b>MUESTRA DE CAJICA: ARCILLA LIMOSA DE COLOR GRIS. CONSISTENCIA BLANDA, HUMEDA, PLASTICIDAD ALTA</b>			
<b>DATOS</b>			
<b>Peso de la muestra seca y tamizada</b>	<b>100gr</b>		
<b>Numero de golpes</b>	<b>33</b>	<b>24</b>	<b>16</b>
<b>Numero de recipientes</b>	<b>99</b>	<b>10</b>	<b>54</b>
<b>Peso recipientes</b>	<b>10.36gr</b>	<b>10.77gr</b>	<b>10.30gr</b>
<b>Peso recipientes + suelo húmedo</b>	<b>34.85gr</b>	<b>40.50gr</b>	<b>44.64gr</b>
<b>Peso recipiente + suelo seco</b>	<b>28.23gr</b>	<b>32.31gr</b>	<b>34.90gr</b>

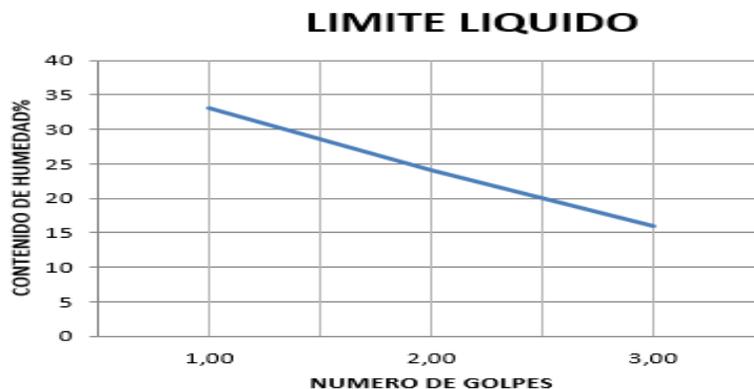
*Tabla 9 Datos para el cálculo del límite líquido. Elaboración propia.*

Con la ayuda del señor Eduardo Dulcey ingeniero y laboratorista de la Universidad Militar Nueva Granada, se realiza el procedimiento adecuado para la realización de los ensayos estipulados para la toma de datos e imágenes microscópicas de material arcilloso, teniendo en cuenta que ya se encontraba asesorando el proyecto de grado relacionado durante el desarrollo de este proyecto, que viene siendo una continuación de la línea de investigación que se estableció anteriormente.

CALCULOS	
Contenido de humedad = $Ww / Ws * 100$	
Ww = peso del agua	
Ws = peso del sólido	
PRIMER PUNTO	
Ww = 34.85g - 28.23g = 6.62g.	
Ws = 28.23g - 10.36g = 17.87g.	
Contenido de humedad = $6.62g / 17.87g = 0.37 * 100 = 37.04\%$	
SEGUNDO PUNTO	
Ww = 40.50g - 32.31g = 8.19g.	
Ws = 32.31g - 10.77g = 21.55g.	
Contenido de humedad = $8.19g / 21.55g = 0.38 * 100 = 38.00\%$ .	
TERCER PUNTO	
Ww = 44.64g - 34.90g = 9.74g.	
Ws = 34.90g - 10.30g = 24.60g.	
Contenido de humedad = $9.74g / 24.60g = 0.3959 * 100 = 39.59\%$	

Tabla 10 cálculo Ww, Ws y contenido de humedad. Elaboración propia.

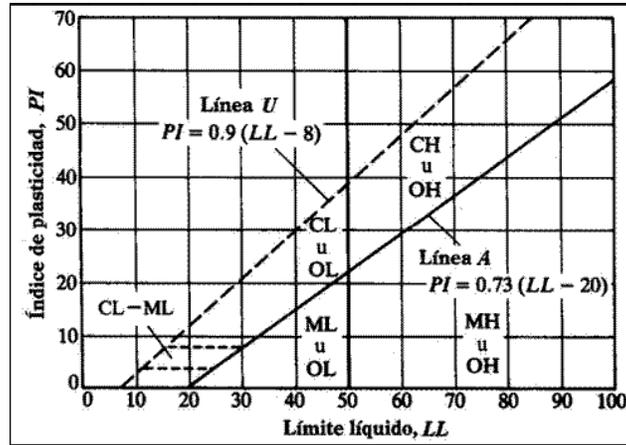
La gráfica a continuación, indica el resultado obtenido dado por el contenido de humedad y el número de golpes que se le aplicó a la muestra, y con la ayuda de la características de plasticidad de Casagrande, se adquiere un conocimiento extra sobre qué tipo de material es y bajo qué parámetros se encuentra.



Gráfica No 13. Gráfica para determinar el límite líquido. Elaboración propia.

- Límite líquido = 38.2%

- Límite plástico = 20.4%
- Índice de plasticidad = 17.8



Gráfica No 14. Carta de plasticidad de Casagrande.

Ingeniero civil. Blog del ingeniero civil. Propiedades físicas del suelo: Plasticidad. Recuperado de:

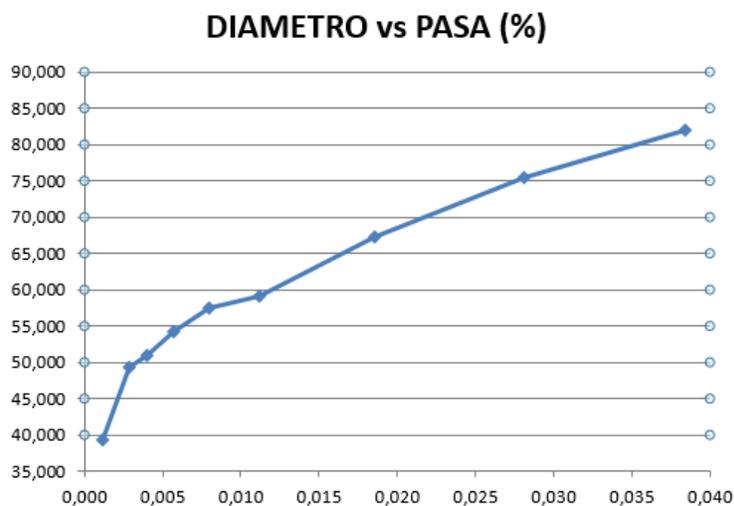
[http://notasingenierocivil.blogspot.com.co/2011/05/propiedades-fisicas-del-suelo\\_1019.html](http://notasingenierocivil.blogspot.com.co/2011/05/propiedades-fisicas-del-suelo_1019.html)

Por último, se trae a relación en análisis granulométrico por medio del hidrómetro, esta es la Norma Invias E 124 – 07, este método de prueba cubre las determinaciones cuantitativas de la distribución de tamaños de partículas más grandes de 75  $\mu\text{m}$ , que son retenidas en el tamiz No. 200, de esta manera se determina por tamizado, en tanto que la distribución de las partículas más pequeñas que 75  $\mu\text{m}$  se determina por un proceso de sedimentación, usando un hidrómetro que se asegure los datos necesarios.

<b>HIDROMETRIA INV E-124</b>	
<b>MUESTRA DE CAJICA: ARCILLA LIMOSA DE COLOR GRIS. CONSISTENCIA BLANDA, HUMEDA, PLASTICIDAD ALTA</b>	
<b>DATOS</b>	
<b>Peso material</b>	<b>aprox 60gr</b>
<b>Gravedad especifica</b>	<b>2.77</b>
<b>Hexametafosfato de sodio</b>	<b>125 ml</b>
<b>Agua destilada</b>	
<b>Hidrómetro</b>	<b>152h</b>

*Tabla 11 Datos ensayo hidrometría Inv. E-124. Elaboración propia.*

Haciendo una gráfica de diámetro contra el porcentaje que pasa, como se muestra en la siguiente ilustración se obtienen el análisis de finos contenido en la muestra evaluada.



*Gráfica No 15. Gráfico para análisis de finos. Elaboración propia.*

## Capítulo 5

### Metodología para la toma de muestras ensayo cámara de corte diseñada a escala.

Teniendo en cuenta el diseño que se realizó, simulando la máquina de corte directo, a continuación se relaciona la metodología de armado e instalación de dispositivo junto con el microscopio, que busca conocer el comportamiento del material antes, durante y después de la falla.

Para suelos cohesivos se deja una película de aceite para que sea fácil al momento de depositar la muestra de material arcilloso dentro del dispositivo. Para introducir el material, se cuenta con un instrumento fabricado en acrílico que ayuda a depositar la muestra en forma compactada dentro del dispositivo, éste cuenta con las dimensiones requeridas para realizar esta actividad. Se ilustra lo anteriormente escrito en la siguiente imagen:



*Figura No 16. Introducción de la muestra en dispositivo. Fuente: Autoría Propia.*

El microscopio que se utilizó para este proyecto cuenta con una capacidad de 1000x sobre la muestra que se va a estudiar, se conecta directamente al computador y se deja

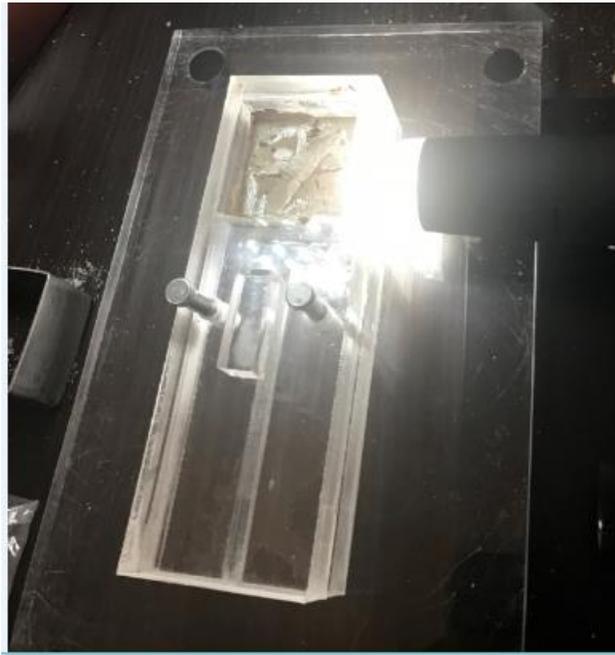
montado sobre su estructura para que permita la obtención de imágenes precisas y de alta calidad. A continuación se evidencia lo mencionado anteriormente:



*Figura No 17. Utilización del microscopio en ensayos de laboratorio. Fuente: Autoría Propia.*

Se colocan los tornillos para asegurar las dos capas del dispositivo y haciendo uso del instrumento en acrílico como también del molde metálico, se lleva la muestra al dispositivo, se tapa la abertura con un instrumento en acrílico que garantice que al momento de introducir la muestra al dispositivos esta no se salga por la abertura y se procede a dejar la muestra dentro del dispositivo.

Se introduce la muestra y se deja bien compactada con el instrumento soporte para introducir la muestra dentro del dispositivo, posterior a esa actividad se retira la tapa de la abertura y finalmente se instala el microscopio cerca del espacio determinado para observar el comportamiento de la muestra, se verifica el zoom para tener una imagen con alta calidad y se procede a fallar la muestra manualmente.



*Figura No 18. Muestra lista para someterse a análisis microscópico. Fuente: Autoría Propia.*

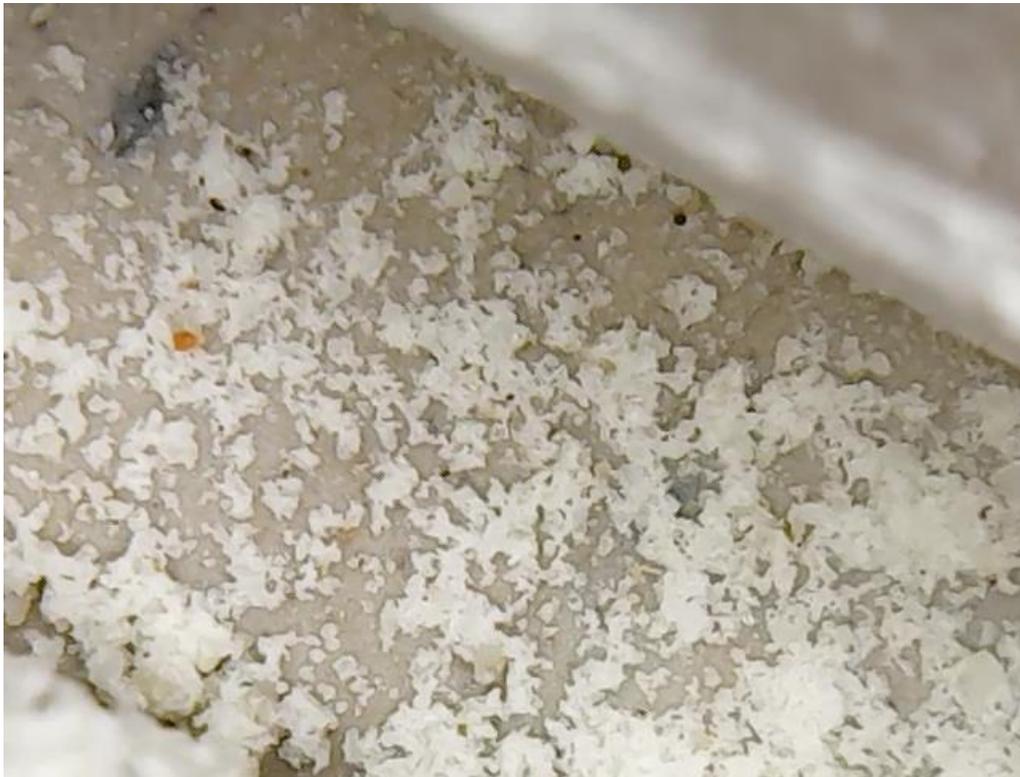
## **Capítulo 6.**

### **Análisis de resultados obtenidos ensayo cámara de corte directo diseñado.**

Terminados los ensayos realizados con el dispositivo de corte directo, se obtiene de manera clara el comportamiento de los materiales cohesivos utilizados para el presente proyecto, se evidencia como la muestra experimenta la fuerza horizontal aplicada a la misma dentro del dispositivo y cómo se va formando en la misma las bandas de corte y su falla. A continuación se presenta el comportamiento de mencionados materiales sometidos al dispositivo de corte directo y observación microscópica.

Para el material arcilloso se tuvo en cuenta el volumen requerido por esta muestra es de 125,30 gramos, se coloca un poco de caolín para diferenciar el lugar de falla ya que

la muestra arcillosa se presenta de manera muy parecida y no se permitía el análisis en un punto en específico, de esta manera se conoce un lugar donde se pueda evidenciar el comportamiento de la muestra.



*Figura No 19. Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a análisis microscópico. Fuente: Autoría Propia.*

La muestra de material cohesivo en la siguiente imagen permiten ver cómo se empiezan a generar bandas de corte y la superficie de falla, de igual forma el comportamiento de la muestra por la fuerza aplicada,



*Figura No 20. Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a resistencia a corte. Fuente: Autoría Propia.*

La siguiente imagen permite conocer tres aspectos, las bandas de corte, la superficie de falla y la compresión de la muestra en el lugar donde se le está aplicando la fuerza horizontal, el caolín ya se encuentra desplazado, lo que garantiza que la muestra está experimentado un proceso de movimiento en dirección a la falla,



*Figura No 21. Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a resistencia a corte. Fuente: Autoría Propia.*

Finalmente, la muestra queda en su punto de falla, como se muestra en la parte inferior de la imagen, las bandas de corte generadas en esta muestra se dan debido a la fuerza que le fue aplicada.



*Figura No 22. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'30''-74°00'46'') sometida a resistencia al corte. Fuente: Autoría Propia.*

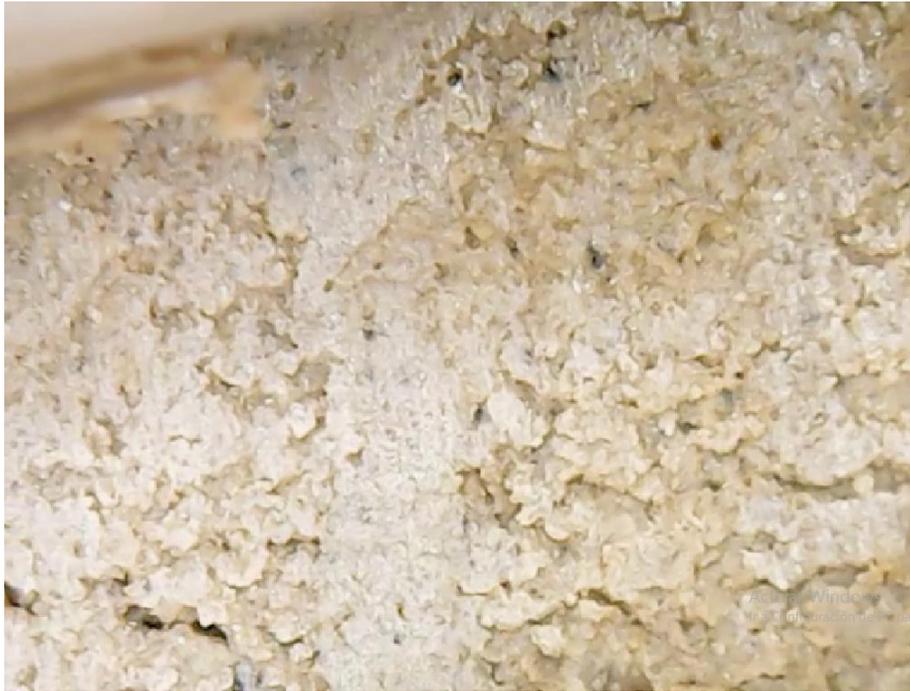
Se realizó un siguiente ensayo significativo donde se puede evidenciar cómo actúa una muestra de arcilla expansiva (muestra inalterada) sometida a ensayos con el dispositivo diseñado y de esta manera evaluar y complementar datos necesarios para la compresión del mismo material, generando la posibilidad de crear posibles patrones de comportamiento y realizar guías para solventar cada uno de estos, teniendo en cuenta que ya se tiene una idea física y visual del material se puede empezar a trabajar en ello. Las imágenes de los ensayos realizados quedarán reflejadas en los anexos del presente proyecto.

Como primera muestra se tiene el material de arcilla en su estado de reposo antes de aplicarse una fuerza horizontal,



*Figura No 23. Muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte. Fuente: Autoría Propia.*

Teniendo el dispositivo adaptado para la toma de imágenes significativas, se realiza el ensayo, lo que se permite observar en la siguiente imagen es una leve inclinación que se debe a la fuerza horizontal aplicada, de igual forma se puede visualizar la superficie de falla de manera muy leve.



*Figura No 24. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte. Fuente: Autoría Propia.*

En este punto la muestra refleja un considerable comportamiento del material, este no produjo bandas de cortes de manera significativa en el lugar donde se realizaba la observación de la muestra, pero permitió observar cómo se iba generando la superficie de falla del mismo, que siendo relacionado con un terreno natural para la construcción de obras viales estaría en grave riesgo el soporte estructural del mismo por factores como la humedad o CBR menor a 3%, Entre otros factores.



*Figura No 25. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte. Fuente: Autoría Propia.*

Finalmente se evidencia la superficie de falla del material, está comprendida por un desprendimiento significativo con la capa superior a la misma, lo que reflejado en un ámbito natural de este material, se conocería como grandes desprendimientos de masas, ocasionados por acumulación de agua y generando la pérdida de su capacidad de soporte por encontrarse en un nivel freático elevado. Esto produce debilidad en el poco soporte que posee la superficie de falla y genera accidentes naturales. Refiriéndose al aspecto de construcción de vías, los materiales arcillas cohesivos y expansivos abundan, por las condiciones geográficas de Colombia, de esta manera identificar este material es de gran importancia ya que con este proyecto se tiene una idea de cómo es su comportamiento para su expansión o falla, teniendo en cuenta el uso que se les esté dando. Dejar en firme

la posibilidad de realizar un mejoramiento del mismo si este se encuentra en condiciones de humedad elevadas.



*Figura No 26. Falla muestra arcilla sede U.M.N.G (4°56'40''-74°00'31'') sometida a resistencia a corte. Fuente: Autoría Propia.*

De acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorios realizados a la muestra de arcillas y las fallas de las mismas en la cámara a corte directo, podemos concluir que el material es demasiado expansivo muy apto para la filtraciones de agua lo cual hace que su resistencia sea muy poca y no óptima para un material de soporte de una estructura vial lo cual nos indica que se debe realizar un mejoramiento para mejorar las propiedades mecánicas sea con otro material o con cualquier proceso químico tipo cemento o con cal si se dese a utilizar como subrasante natural.

## **CONCLUSIONES.**

Se tomó como referente el marco teórico de la tesis de grado “Análisis microscópico de bandas de corte de suelos granulares y cohesivos”, Jose L. Sarmiento, junio 2018, UMNG, agregándole información de CBR en la ciudad de Bogotá, con finalidad de reforzar y continuar con la línea de investigación referente al estudio de suelos blandos, su comportamiento entre otros factores. Establecida en las recomendaciones de mencionado proyecto.

Se realiza mejora significativa en el diseño construido de la cámara de corte directo, esto se llevó a cabo después de realizado los ensayos determinados para suelos arcillosos (total de 12 ensayos), esto mejoró la observación en la toma de imágenes microscópicas de suelos cohesivos alterados e inalterados para generar una correcta toma de muestras con el fin de realizar lo propuesto en el presente proyecto.

El material arcilloso caracterizado, se toma de acuerdo con lo investigado y plasmado dentro del marco teórico donde se relacionaban los CBR de menor capacidad portante, ya que este reflejaba el comportamiento del mismo y los procesos que se pueden realizar para adecuarlos según la necesidad de obra establecida. Por otro lado la obtención de la muestra se dificulta debido a las autorizaciones y conductos jerárquicos que se debe seguir, por motivos de tiempo se solicitó ayuda al laboratorio de suelos de la universidad militar. El ingeniero Fredy Buitrago también tomó muestras locales de su lugar de trabajo.

Los resultados obtenidos permiten conocer la resistencia que producen los materiales arcillosos a cargas horizontales aplicadas, ya que siendo alteradas o inalteradas mantienen gran resistencia dentro de su estructura debido a un comportamiento visco-elástico determinado por la cantidad de agua en el mismo, teniendo en cuenta que estos suelos naturales (subrasante) soportan cargas puntuales verticales no muestran resistencia a su deformación lo que permitiría realizar un seguimiento total antes, durante y después de un mejoramiento del mismo, con esto se conocería como sería el cambio de una muestra del terreno natural sometida a una mejora y su reacción antes de aplicarse en mayor cantidad.

Los resultados obtenidos de los cbrs de las diferentes zonas de bogota y su relación con los factores de cohesión y ángulo de fricción interna y comparándolos con los resultados obtenidos del ensayo nos da como conclusión que para cbr menores del 3 % la resistencia del suelo natural y la subrasante es mala y no es apta para la construcción de ninguna estructura vial o edificación y se debe realizar cualquier tipo de mejoramiento ya sea mecanico o quimico a la subrasante para la construcción de una estructura vial o sobre el cual debe ir el soporte de la cimentación estructural de una edificación.

Finalmente, la utilización de este procedimiento (toma de muestras y análisis microscópico) optimizaría considerablemente costos en cuanto a mejoramiento de suelos y comportamientos en la estructura de pavimento para determinar cuáles serían los

materiales a utilizarse, teniendo certeza de haber realizado un análisis físico y visual de los elementos escogidos para tal fin.

## RECOMENDACIONES.

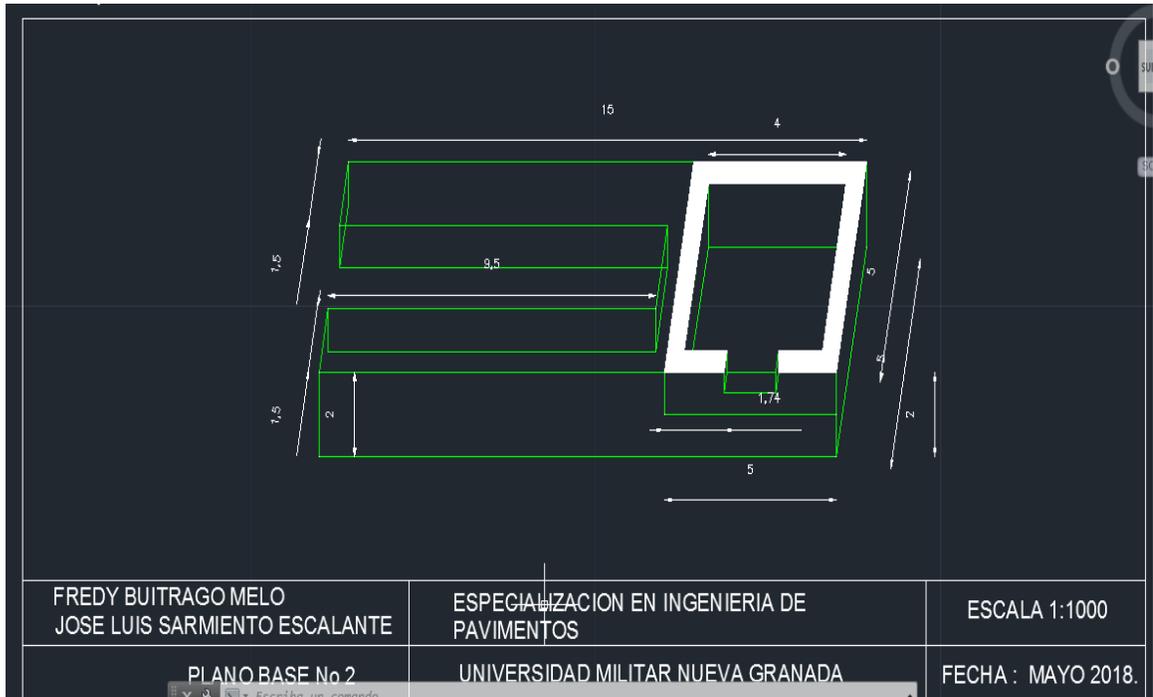
Se establecen las siguientes recomendaciones y consideraciones, que se producen y tiene en cuenta en el desarrollo del mismo:

- Se recomienda realizar un análisis de adquisición de equipos microscópicos para el laboratorio de suelos de la universidad militar nueva granada, esto con el fin de generar un impacto académico e interés de estudiantes de ingeniería civil en temas afines con las necesidades constantes en la sociedad.
- Realizar mejora en el dispositivo de corte directo diseñado para que se pueda realizar toma de datos por carga vertical aplicada, donde se evidencie un daño a una estructura de pavimento a escala y se conozca de primera instancia el comportamiento de falla de las capas.
- Se realice una tabla de referencia de constructoras o entidades que permitan la obtención de muestras arcillosas, con el fin de realizar un cuadro comparativo de las diferentes regiones del país en un tiempo adecuado.
- Se refuerce el marco teórico teniendo en cuenta los datos de CBR de suelos naturales (subrasante) de la región que sea estudiada, con el fin de contar con un estado de arte muy bien estructurada hacia la temática que presenta el proyecto.

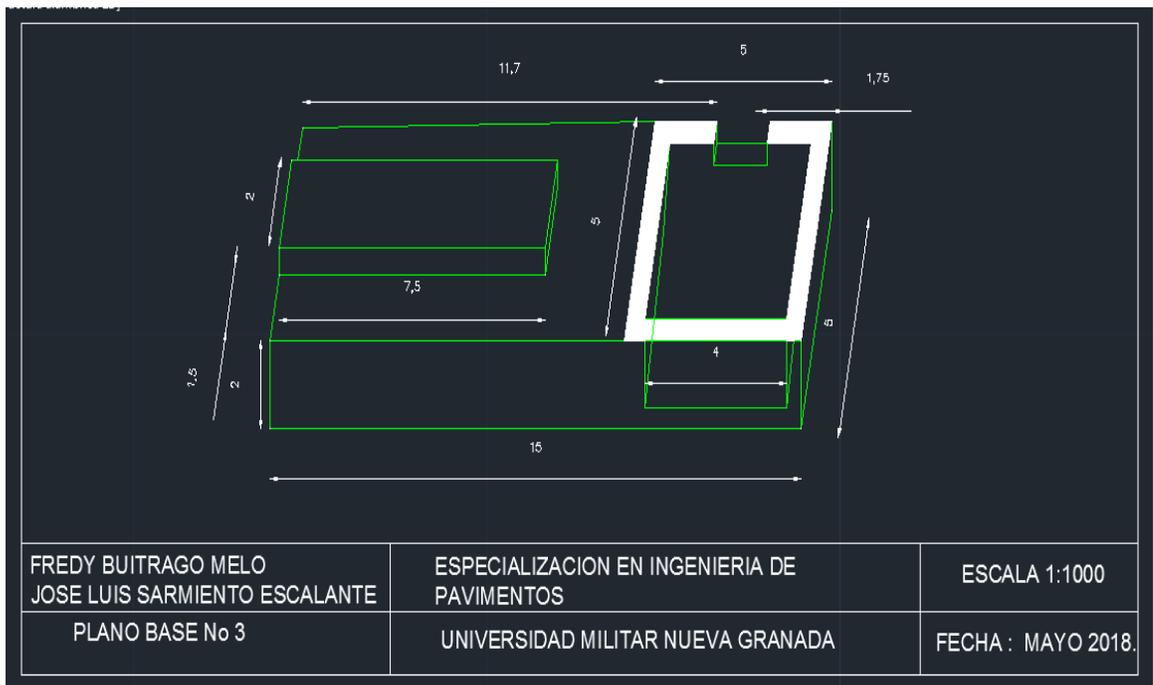
- Se recomienda que para la realización de cualquier proyecto vial en diferentes zonas de Bogotá se realizan todos los estudios pertinentes para determinar la estructura geológica de la subrasante, realizar todos los ensayos respectivos para determinar su resistencia, diseño de estructura adecuado y en caso de ser necesario realizar el mejoramiento de subrasante respectivo.

## ANEXOS

## 1. PLANOS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE CAMARA DE CORTE



*Diseño capa No.2 cámara de corte directo Fuente: Autoría Propia.*



*Diseño capa No.1 cámara de corte directo-Fuente: Autoría Propia.*

## 2. ENSAYO DE CORTE DIRECTO NORMA INVIAS 154-18

### NORMA I-N-V-E-154

<b>DIAMETRO DE LA MUESTRA</b>	<b>cm</b>	<b>5.0</b>
<b>ALTURA DE LA MUESTRA</b>	<b>cm</b>	<b>2.5</b>
<b>AREA MUESTRA</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>19.63</b>
<b>CARGA VERTICAL</b>	<b>kg</b>	<b>9.0</b>

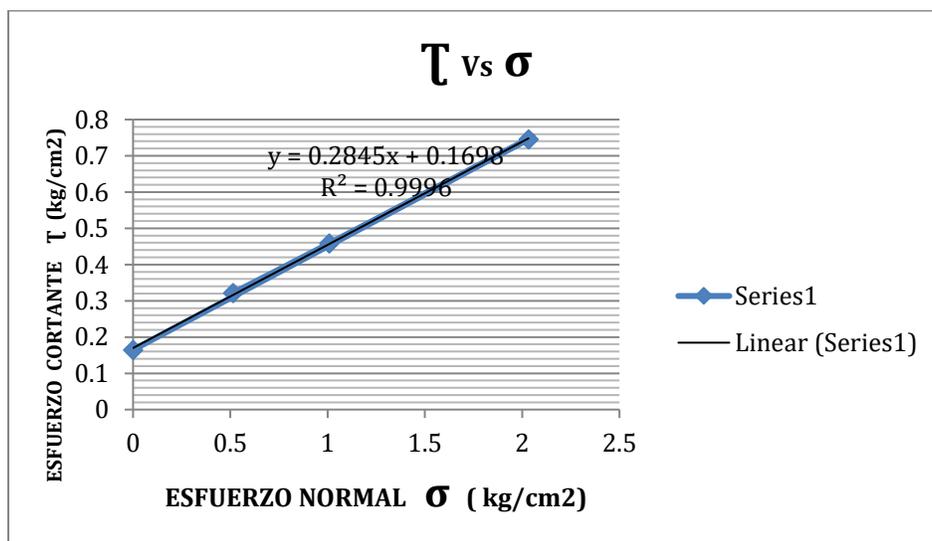
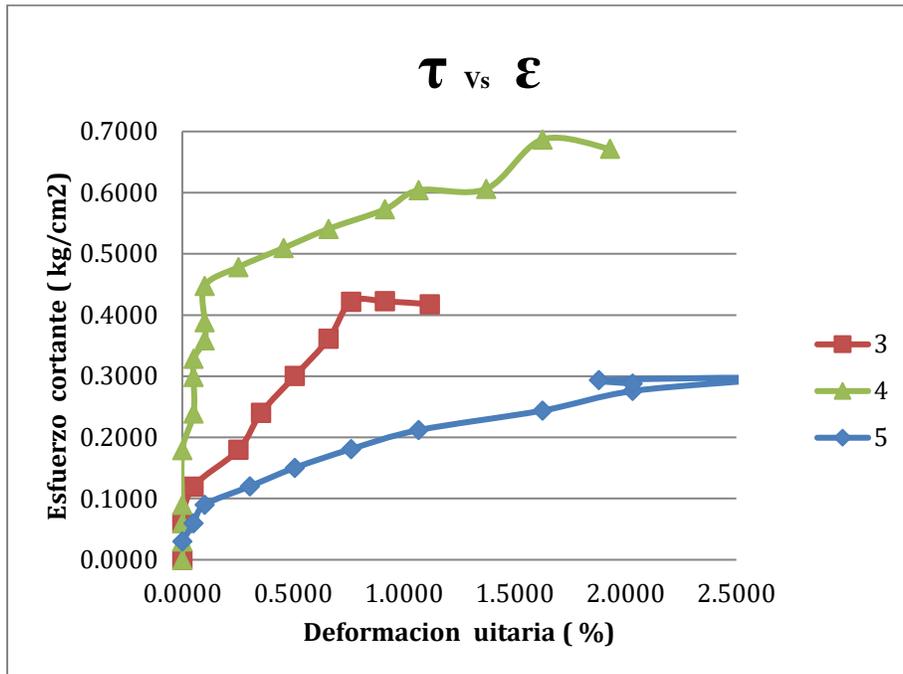
CARGA	CARGA EN KN	CARGA EN KG	DEF-HORIZ X10 <sup>-3</sup> "	DEF-HORIZ cm	DEF-VERT X10 <sup>-4</sup> "	θ	Ac cm <sup>2</sup>	σ kg/cm <sup>2</sup>	τ kg/cm <sup>2</sup>	ε
5	0,0058	0,5870	0	0,0000	0,1943	1,5708	19,6350	0,4584	0,0299	0,0000
10	0,0115	1,1738	1	0,0025	0,1934	1,5703	19,6223	0,4587	0,0598	0,0508
15	0,0173	1,7604	2	0,0051	0,1933	1,5698	19,6096	0,4590	0,0898	0,1016
20	0,0230	2,3467	6	0,0152	0,193	1,5677	19,5588	0,4602	0,1200	0,3048
25	0,0288	2,9328	10	0,0254	0,1928	1,5657	19,5080	0,4614	0,1503	0,5080
30	0,0345	3,5187	15	0,0381	0,1925	1,5632	19,4445	0,4629	0,1810	0,7620
35	0,0403	4,1043	21	0,0533	0,192	1,5601	19,3683	0,4647	0,2119	1,0668
40	0,0460	4,6897	32	0,0813	0,1918	1,5545	19,2286	0,4681	0,2439	1,6256
45	0,0517	5,2749	40	0,1016	0,1915	1,5505	19,1270	0,4705	0,2758	2,0320
48	0,0552	5,6259	52	0,1321	0,191	1,5444	18,9746	0,4743	0,2965	2,6416
48	0,0552	5,6259	37	0,0940		1,5520	19,1651	0,4696	0,2936	1,8796
47	0,0540	5,5089	40	0,1016		1,5505	19,1270	0,4705	0,2880	2,0320

<b>DIAMETRO DE LA MUESTRA</b>	<b>cm</b>	<b>5.0</b>
<b>ALTURA DE LA MUESTRA</b>	<b>cm</b>	<b>2.5</b>
<b>AREA MUESTRA</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>19.63</b>
<b>CARGA VERTICAL</b>	<b>kg</b>	<b>18.0</b>

CARGA	CARGA EN KN	CARGA EN KG	DEF-HORIZ X10 <sup>3</sup> "	DEF-HORIZ cm	DEF-VERT X10 <sup>-4</sup> "	θ	Ac cm <sup>2</sup>	σ kg/cm <sup>2</sup>	τ kg/cm <sup>2</sup>	ε
0,00	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0	1,5708	19,6350	0,9167	0,0000	0,0000
10,00	0,0115	1,1738	0,00	0,0000	2	1,5708	19,6350	0,9167	0,0598	0,0000
20,00	0,0230	2,3467	1,00	0,0025	5	1,5703	19,6223	0,9173	0,1196	0,0508
30,00	0,0345	3,5187	5,00	0,0127	7	1,5683	19,5715	0,9197	0,1798	0,2540
40,00	0,0460	4,6897	7,00	0,0178	9	1,5672	19,5461	0,9209	0,2399	0,3556
50,00	0,0575	5,8599	10,00	0,0254	12	1,5657	19,5080	0,9227	0,3004	0,5080
60,00	0,0689	7,0291	13,00	0,0330	14	1,5642	19,4699	0,9245	0,3610	0,6604
70,00	0,0804	8,1974	15,00	0,0381	16	1,5632	19,4445	0,9257	0,4216	0,7620
70,00	0,0804	8,1974	18,00	0,0457	19	1,5617	19,4064	0,9275	0,4224	0,9144
69,00	0,0792	8,0806	22,00	0,0559	22	1,5596	19,3556	0,9300	0,4175	1,1176

<b>DIAMETRO DE LA MUESTRA</b>	<b>cm</b>	<b>5.0</b>
<b>ALTURA DE LA MUESTRA</b>	<b>cm</b>	<b>2.5</b>
<b>AREA MUESTRA</b>	<b>cm<sup>2</sup></b>	<b>19.63</b>
<b>CARGA VERTICAL</b>	<b>kg</b>	<b>36.0</b>

CARGA	CARGA	CARGA	DEF-HORIZ	DEF-HORIZ	DEF-VERT		Ac	$\sigma$	$\tau$	$\epsilon$
	KN	kg	X10 <sup>-3</sup> "	cm	X10 <sup>-4</sup> "	$\theta$	cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	
0,0	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0	1,5708	19,6350	1,8335	0,0000	0,0000
5,0	0,0058	0,5870	0,00	0,0000	1	1,5708	19,6350	1,8335	0,0299	0,0000
10,0	0,0115	1,1738	0,00	0,0000	1	1,5708	19,6350	1,8335	0,0598	0,0000
15,0	0,0173	1,7604	0,00	0,0000	3	1,5708	19,6350	1,8335	0,0897	0,0000
30,0	0,0345	3,5187	0,00	0,0000	7	1,5708	19,6350	1,8335	0,1792	0,0000
40,0	0,0460	4,6897	1,00	0,0025	10	1,5703	19,6223	1,8347	0,2390	0,0508
50,0	0,0575	5,8599	1,00	0,0025	13	1,5703	19,6223	1,8347	0,2986	0,0508
55,0	0,0632	6,4446	1,00	0,0025	17	1,5703	19,6223	1,8347	0,3284	0,0508
60,0	0,0689	7,0291	2,00	0,0051	20	1,5698	19,6096	1,8358	0,3585	0,1016
65,0	0,0747	7,6134	2,00	0,0051	23	1,5698	19,6096	1,8358	0,3882	0,1016
75,0	0,0861	8,7812	2,00	0,0051	27	1,5698	19,6096	1,8358	0,4478	0,1016
80,0	0,0918	9,3648	5,00	0,0127	30	1,5683	19,5715	1,8394	0,4785	0,2540
85,0	0,0976	9,9482	9,00	0,0229	33	1,5662	19,5207	1,8442	0,5096	0,4572
90,0	0,1033	10,5313	13,00	0,0330	36	1,5642	19,4699	1,8490	0,5409	0,6604
95,0	0,1090	11,1142	18,00	0,0457	40	1,5617	19,4064	1,8551	0,5727	0,9144
100,0	0,1147	11,6968	21,00	0,0533	43	1,5601	19,3683	1,8587	0,6039	1,0668
100,0	0,1147	11,6968	27,00	0,0686	46	1,5571	19,2921	1,8661	0,6063	1,3716
113,0	0,1296	13,2107	32,00	0,0813	48	1,5545	19,2286	1,8722	0,6870	1,6256
110,0	0,1261	12,8615	38,00	0,0965	51	1,5515	19,1524	1,8797	0,6715	1,9304



Angulo de fricción $\phi$	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> ) C
14,3	0,16

### **3. GUIA ENSAYO COMPLEMENTARIO DE CORTE DIRECTO (OBTENCION DE IMÁGENES REPRESENTATIVAD)**

El siguiente proyecto tiene como finalidad, primeramente, ser un complemento del ensayo de corte directo (INV E 154), ya que con este se obtendrían de manera gráfica los comportamientos de los materiales blandos normalmente encontrados en suelos naturales en Colombia. Conocer como el su comportamiento, brindara una información extra acerca de cómo se debe actuar ante una situación dada como la que se ha mencionado en este texto.

A continuación se relacionara una guía práctica para la realización del ensayo complementario de corte directo, realizado con el dispositivo fabricado y probado bajo la tesis de grado “Análisis de bandas de corte de suelos granulares y cohesivos” Jose L. Sarmiento (junio, 2018) UMNG,

1. Se debe realizar en un laboratorio de suelos, con el fin de contar con las herramientas necesarias para la manipulación de los materiales a fallas. De igual forma se educa para mantener los estándares de seguridad industrial.
2. Se debe tener conocimiento del volumen de la muestra, caracterización de la misma, para que al momento de realizar el ensayo se tenga conocimiento de donde y cual material se está tratando.
3. Ensamblar el microscopio de mínimo 1000x con vista de imagen instantánea al dispositivo (computador, Tablet, proyector, etc.), realizar pruebas del zoom, para obtener imágenes de buena calidad.
4. Utilizar dispositivo metálico de forma cuadrada para contener la muestra -si se realiza ensayo con material blando: dejar una película de aceite en el interior para que la muestra se pueda deslizar dentro del dispositivo de corte directo, de igual forma, confinar la muestra hasta que ocupe todo el volumen del mismo, utilizar pala para dejar a ras. Acercarlo al orificio para la toma de muestra y con el dispositivo en acrílico en forma de empujador, llevar la muestra dentro del espacio para la falla y compactar con el mismo. La muestra debe estar en estado visco elástico debido a su condición de humedad.

- si se realiza ensayo con material granular: considerar el volumen que se debe someter a falla, pesarlo contenido con el material granular a su interior con una hoja como base, de esta manera al retirarlo del peso, se alza el dispositivo cuadrado y la hoja sirve de embudo para introducir la muestra en el orificio destinado para la falla, ya contenido en el espacio de falla, agregar agua para simular su condición freática.
- \*el procedimiento anterior se debe realizar con el dispositivo de seguridad puesto y ajustado en el orificio destinado para la toma de imágenes microscópicas.
5. Se retira dispositivo de seguridad, se acerca el microscopio al orificio de 1cmx0.5cm para la toma de imágenes microscópicas y se enfoca de manera adecuada, esto con el fin de obtener imágenes claras y de buena calidad, de igual forma identificar la distancia de falla de la muestra sobre el lugar donde se está haciendo la observación del material a fallar.
  6. Luego de haber enfocado la imagen del microscopio sobre la muestra, se retiran los seguros (dos tornillos en la capa superior, que permiten la correcta alineación de espacio cuadrado para someter el material a la falla), se ejerce una fuerza horizontal aplicada de forma manual hasta obtener la falla del material. Durante este procedimiento, se hace necesario la intervención de dos personas:
    - persona 1: realiza fuerza horizontal aplicada de forma manual para fallar las muestras
    - persona 2: realiza la toma de imágenes (video – fotografías), desde el dispositivo donde esté conectado el microscopio.
  7. Una vez fallada la muestra, se realizan procedimiento de verificación:
    - en el dispositivo: con el fin de verificar la calidad de las imágenes y videos obtenidos
    - en el dispositivo: se halla fallado la muestra, en se defecto que la muestra no haya generado alteraciones en el dispositivo al momento de la falla, tales como una presión vertical o falla de forma diagonal por la misma presión vertical ejercida por la muestra (esto es producto de no ejercer una fuerza constante y con la inclinación requerida).
  8. Si la toma de imágenes fue satisfactoria, se procede hacer limpieza del dispositivo, de lo contrario se realiza la limpieza para un nuevo ensayo, teniendo en cuenta los errores que se pudieron presentar.
  9. Conservar la muestra fallada, ya que cada material blando presenta su falla de manera diferente, algunas por encontrarse en el límite de arena arcilla.

**4. SECUENCIA IMAGENES DE LA FALLA OBTENIDA CON EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO (DISPOSITIVO CONSTRUIDO)**



**Estado inicial muestra**



**Muestra a 2 segundos**



**Muestra a 4 segundos**



**Muestra a 5 segundos**



**Muestra a 6 segundos**



**Muestra a 7 segundos**



**Muestra a 7,5 segundos**



**Muestra a 8 segundos**



**Muestra a 9 segundos**



**Muestra a 10 segundos**



**Muestra a 13 segundos**



**Muestra a 15 segundos**

**\*Distancia de evidencia de material fallado 0,6cm**

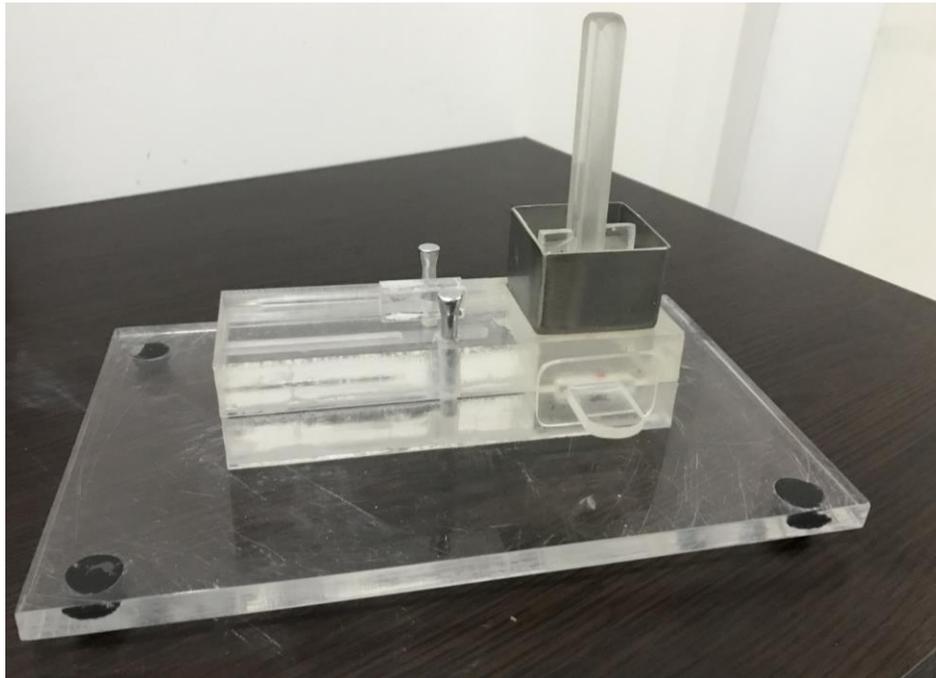
## 5. EXPERIENCIAS DEL ENSAYO

Teniendo en cuenta que este proyecto se estableció en la innovación y de enfocarse como un complemento del ensayo de corte directo con un representación gráfica, fueron totalmente empírico los realizados para el mismo, ya que se buscaba comprobar y obtener evidencias graficas de los materiales blandas sometidos a un ensayo de corte directa, que busca establecer condiciones de resistencia y capacidad portante de un suelo natural en estado saturado para una obra de ingeniería.

Los materiales que se establecieron fueron en acrílico, ya que este permitía visualizar todo el componente en un solo conjunto, y facilitaba la obtención de imágenes por penetración de luz hacia el lugar de la muestra,



*Primer diseño en acrílico. Fuente: Autoría Propia.*



*Diseño en acrílico finalizado. Fuente: Autoría Propia.*

La preparación del ensayo fue guiada por el ingeniero y laboratorista Eduardo Dulcey del laboratorio de suelos de la U.M.N.G, quien de manera detallado relaciono los aspectos a consideras para que durante la preparación de la muestra para ser sometida a falla no se saliera del contexto respecto a la norma Inv. E 154. Tanto la muestra de material blando como los instrumentos instalados para la obtención de la imagen fueron requisitos necesarios para obtener los resultados evidenciados durante este manuscrito. Este procedimiento no tiene diferencias grandes respecto al ensayo de corte directo, exceptuando por la fuerza con la que se sometía la falla, ya que esta no era automatizada sino con una fuerza horizontal aplicada de forma manual,



*Dispositivo sometiendo muestra a falla de forma manual. Fuente: Autoría Propia.*

La distancia en la que se pudo evidenciar las primeras evidencias de deformación, bandas de corte y superficie de falla, se obtenían normalmente a una distancia entre 0,5cm a 0,6cm, con un tiempo entre 8 y 10 segundos después de haber sometido la muestra a falla,



**Muestra a 9 segundos**



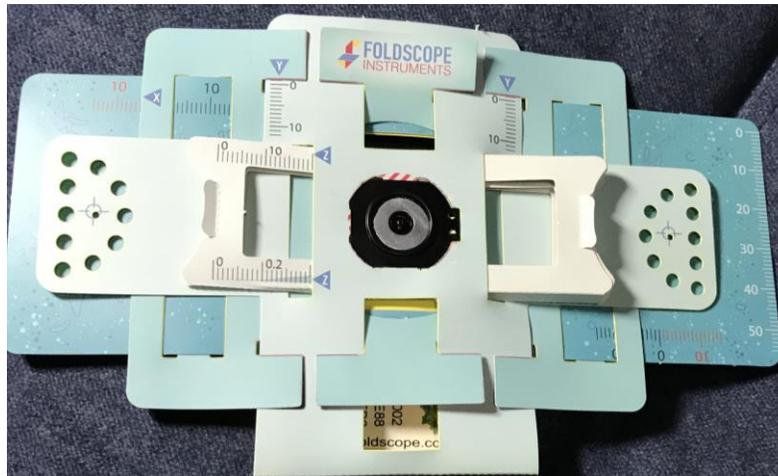
**Muestra a 10 segundos**

Con este dispositivo fue posible la obtención de registros gráficos que acompañan el ensayo de corte directo, de manera satisfactoria se puede evidenciar el comportamiento de la falla según sean las condiciones y características de los materiales blandos

utilizados, esto arroja datos de confianza para seguir trabajando en este tipo de proyecto que busca de una manera llamativa dar a conocer parámetros que normalmente se relacionan con números a comportamientos gráficos, este también ayuda a caracterizar en que rango puede encontrarse un material si no se cuenta con un estudio previo, ya que se puede asociar a los parámetros de  $c_e$  y  $f_i$ , que arrojan datos numéricos asociados a  $c_{br}$  de baja capacidad portante y que los mismos requieren de manera casi que obligatoria un mejoramiento del suelo, con el fin de incrementar sus condiciones físicas y mecánicas.

Finalmente es importante relacionar este proyecto con los dispositivos que fueron seleccionados para la toma de imágenes representativas, ya que el empleo de 3 de ellos nos llevó a escoger el adecuado para lo que se busca en este proyecto. Inicialmente se intentó obtener un registro de imágenes con unos lentes de aumento para celulares, pero esto no resulto provechoso ya que se obtenía prácticamente la misma imagen sin aumento y sin muestras significativas.

Posteriormente se realizaron ensayos con un **foldscope**, pero era muy complicado la toma de imágenes representativas ya que debía estar la muestra muy pegada para poder ver una imagen de baja calidad, este microscopio es utilizado para analizar muestras con sus respectivos implementos, pero también viene equipado de un lente que se adapta al lente de un dispositivo móvil y permite la obtención de imágenes, pero nuevamente era necesario tener la muestra demasiado cerca para poder hacer el registro, este no era posible de utilizar ya que corría el riesgo de no obtener imágenes significativas, pues el dispositivo estaría en movimiento al momento de la falla.



*Foldscope ensamblado para toma de muestras. Fuente: Autoría Propia.*

Por último se adquirió un microscopio con capacidad de 1000x, con luces led adheridas al lente con capacidad de graduar su intensidad lumínica, este resultado perfecto para este proyecto, ya que se conecta directo al computador y permite ver las imágenes de manera inmediata y con una buen buena calidad. Los primeros ensayos fueron con muestras de huella dactilar, la cual fue un gran suceso, puesto que daba garantía de que el zoom era el apropiado para los ensayos que se realizarían. Este microscopio fue adquirido por una página de compra y venta online.



*Microscopio de 1000x seleccionado para proyecto de investigación. Fuente: Autoría Propia.*

## BIBLIOGRAFÍA

- República de Chile, universidad de Santiago de Chile, facultad de ingeniería, departamento de ingeniería en obras civiles, guía de laboratorio de materiales, incluye ensayos de laboratorio para la asignatura: materiales de ingeniería, Lientur Guzmán Meza, 2008, tomada de la página web:  
[https://laultimaresistencia.weebly.com/uploads/6/8/2/7/6827657/guia\\_lab\\_materiales.pdf](https://laultimaresistencia.weebly.com/uploads/6/8/2/7/6827657/guia_lab_materiales.pdf)
- Práctica 13: Masa unitaria suelta y apisonada de los agregados, S. Rocha. tomado de la página web: <http://www.construaprende.com/docs/lab/331-practica-masa-unitaria-agregados>
- Ministerio de obras públicas, Curso Laboratorista Vial Clase C, Rodolfo Jeria H. Laboratorio Nacional de Viabilidad. Densidad. Tomado de la página web: <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Aridos3densidades.pdf>
- Estudios Geotécnicos, Frankie, 10 marzo, 2017. Tomado de la página web: <http://www.estudiosgeotecnicos.info/index.php/resistencia-al-corte-de-los-suelos-1-el-criterio-de-rotura-de-mohr-coulomb/>
- Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería Agrimensura, Geología y Geotecnia, Tema: Estabilidad de taludes, Álvaro F. De Matteis, Ing. Silvia Angelone, Ing. María Teresa Garibay, Agosto, 2013. Tomado de la página web: <http://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/Estabilidad%20de%20Taludes.pdf>
- Capítulo 3, Guía para identificar problemas de deslizamiento, tomado de la página web: <http://www.disaster-info.net/watermitigation/e/publicaciones/EstudioVEN/cap3.PDF>
- Capítulo 2, comportamiento de los suelos granulares. Tomado de la página web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4244/fichero/CAPITULO2%252FCAPITULO2.pdf>
- Shear band formation during cold working of metal, tomada de la página web: <http://www.dierk-raabe.com/shear-banding/>
- Potential “ways of thinking” about the shear-banding phenomenon, M.A. Fardin, 1, 2 T.J. Ober, 2 C. Gay, 1 G. Gregoire, 1 G.H. McKinley, 2 and S. Lerouge 1, \* 1 Laboratoire Metiere et Systemes Complexes, CNRS UMR 7057 Université Paris Diderot, 10 rue Alice Domont et Léonie Duquet, 75205 Paris Cedex 13, France 2Department of Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, 77 Massachusetts Avenue, MA 02139-4307 Cambridge, USA (Dated: September 13, 2011). Tomado de la página web: <http://web.mit.edu/nmf/publications/GHM174.pdf>
- Techniques of mineral characterization and their use in mining exploration and exploitation, Joan Carles Melgarejo, Joaquín A. Proenza, Salvador Dalí, Xavier

- Llovet. Tomado de la página web:  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222010000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222010000100002)
- Micromorfología de suelos, Segunda parte: programa interactivo multimedia para el autoaprendizaje de las preparaciones Microscópicas de suelo, Reconocimiento de la arcilla iluvial, Carlos Dorronsoro. Tomada de la página web:  
<http://www.edafologia.net/miclogia/iluarc2.htm>
  - Micromorfología de suelos, Segunda parte: programa interactivo multimedia para el autoaprendizaje de las preparaciones Microscópicas de suelo, Reconocimiento de la arcilla iluvial, Ejemplos de arcilla Iluvial, Carlos Dorronsoro. Tomada de la página web: <http://www.edafologia.net/miclogia/iluarc3.htm>
  - álef-libera el conocimiento, los minerales, química y estructura del suelo, Ciencia diciembre 8, 2015. Tomado de la página web: <http://alef.mx/wp/los-minerales-quimica-y-estructura-del-suelo/>
  - muestreo de agregados para construcción de carreteras INV E -201-13. Tomado de la página web: <ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/SECCI%C3%93N%20200.pdf>
  - Análisis granulométrico por medio del hidrómetro I.N.V. E – 124 -07. Tomado de la página web:  
[ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-124-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-124-07.pdf)
  - Determinación del límite líquido de los suelos I.N.V. E – 125. Tomado de la página web: <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/23-normas-de-ensayo-de-materiales-para-carreteras.html?download=263:891-e-125>.
  - Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua, sección 100- suelos, INV E – 128 – 13. Tomada de la página web:  
<ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Normas%20de%20Ensayo%20de%20materiales%20para%20carreteras/SECCI%C3%93N%20100.pdf>
  - Estudios de evaluación, factibilidad y diseño definitivo del sistema regional de agua potable Esmeraldas, 3.1 material de mejoramiento. Tomado de la página web:  
<http://www.bde.fin.ec/sites/default/files/BDE2015/LICESMERALDAS/3%20Materiales%20de%20Construcci%C3%B3n.pdf>
  - Arquigrafico, architecture, engineering, construction, cómo estabilizar un suelo arcilloso a la hora de construir. Tomado de la página web:  
<https://arquigrafico.com/como-estabilizar-suelo-arcilloso-a-la-hora-de-construir/>
  - Publicación del I.E.T.c.c., colaboraciones, mejora geotécnica del suelo, Álvaro López Ruiz. Tomado de la página web:

- <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2001/2201>
- Grupo CIPSA, CIPSA-Noticias, Diferencias entre suelos cohesivos y granulares. Tomado de la página web: <https://www.cipsa.com.mx/26/noticias/diferencias-entre-suelos-cohesivos-y-granulares/>
  - Universidad del Cauca – Facultad de Ingeniería Civil – Mec. Suelos 1 (Geo tecnología) – Prof. Lucio Gerardo Cruz Velasco, Tipos de suelos desde el punto de vista de la mecánica de suelos. Tomado de la página web: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/.cuentasbajadas29092009/lucruz/docs/Curso%20Mec%20E1nica%20de%20Suelos%20I/Mecanica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20\(17\\_18\).pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/.cuentasbajadas29092009/lucruz/docs/Curso%20Mec%20E1nica%20de%20Suelos%20I/Mecanica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20(17_18).pdf)
  - Geología y geotecnia 2014 (4° edición), Tipos de suelos: Características tacto visuales, ings. Silvia Angelone y M. Teresa Garibay. Tomado de la página web: [https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Caracteristicas%20tacto%20visuales%202014\\_2s.pdf](https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiygeotecnia/Caracteristicas%20tacto%20visuales%202014_2s.pdf)
  - Apuntes Ingeniería Civil. Proyectos, apuntes y normas técnicas de ingeniería civil para compartir con todos, como también el conocimiento, algunos ejemplos y ejercicios teórico prácticos. Suelos finos. Tomado de la página web: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com.co/2010/10/suelos-finos.html>
  - ARQHYS, Suelos granulares. Tomado de la página web: <http://www.arqhys.com/construccion/granulares-suelos.html>
  - fuente: monografía correlación pdc y cbr para suelos en la localidad de suba, ing. José Fernando Osorio Martínez, ing. Ana nivel casas gerena, universidad militar nueva granada 2011.
  - fuente: ensayo aproximación a la zonificación de la localidad de chapinero, luis Gabriel salgado Rivas, universidad militar nueva granada
  - fuente: tesis grado, validación de la ecuación para cálculo de cbr a partir de la plasticidad en al upz Ismael Perdomo de la localidad de ciudad bolívar, Ing. Jaime Suárez, universidad militar nueva granada.
  - fuente: proyecto auscultación y análisis del deterioro del pavimento de la av. centenario (calle 13), entre la av. caracas hasta la carrera 46, costado norte calzada mixta en la ciudad de Bogotá, para determinar las implicaciones de la correlación del cbr módulo resiliente en su durabilidad” presentado por Herbert Hamid torres Giraldo, jeffer arley Sandoval y Héctor Fabio Zambrano rodríguez universidad de la Salle,
  - Relación de soporte del suelo en el laboratorio (CBR de laboratorio) inv. E -148 – 07, tomado de la página web: [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-148-07.pdf).
  - ¿Qué es el CBR de un suelo?, Freddy J. Sánchez Leal, tomado de la página web: <https://civilgeeks.com/2012/08/14/que-es-el-cbr-de-un-suelo/>
  - 3.4 determinación de la capacidad de soporte CBR del suelo. Tomado da la página web:

- [http://icc.ucev.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/cbr.pdf](http://icc.ucev.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/cbr.pdf)
- Universidad de los Andes. Comportamiento del suelo, A. Lizcano. Geotechnical Research Group, department of civil & Environmental Engineering Bogotá, Colombia. December 2007. Tomado de la página web:  
<http://geotecnia.uniandes.edu.co/LinkClick.aspx?fileticket=fDlpFO--gtw%3D&tabid=412&mid=1054>
  - Construmatica, metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción, deformabilidad del terreno. Tomado de la página web:  
[http://www.construmatica.com/construpedia/Deformabilidad\\_del\\_Terreno](http://www.construmatica.com/construpedia/Deformabilidad_del_Terreno)
  - Escuela Colombiana de ingeniería “Julio Garavito”, Facultad de ingeniería civil, programa en ingeniería civil, Bogotá, 2014. Tesis de grado para optar al título de magister en ingeniería civil con énfasis en geotecnia, Análisis de variación de esfuerzo durante excavaciones en suelos blandos Camilo Alexis Romero porras, tomado de la página web:  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/122/1/AN%C3%81LISIS%20DE%20VARIACION%20DE%20ESFUERZOS%20DURANTE%20EXCAVACIONES%20EN%20SUELOS%20BLANDOS.pdf>
  - La construcción en pruebas de laboratorio, redacción el tiempo, 19 de noviembre 1994, 1200 a.m. tomado de la página web:  
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-252407>
  - Método de ensayo normal para el uso del penetrometro dinámico de cono en aplicaciones de pavimentos a poca profundidad I.N.V.E – 172 – 07, tomado de la página web:  
[ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones\\_Normas\\_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-172-07.pdf](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Especificaciones_Normas_INV-07/Normas/Norma%20INV%20E-172-07.pdf)
  - La mecánica de suelos y las cimentaciones en las construcciones industriales, Prof. Dr. Jorge A. Capote Abreu, tomado de la página web:  
<https://grupos.unican.es/gidai/web/assignaturas/CI/Cimentaciones.pdf>
  - 8. Consistencia del suelo. Tomado de la página web:  
[http://www.fao.org/fishery/static/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6706s/x6706s08.htm](http://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s08.htm)