

**CORRELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y EL CBR  
PARA ARENAS ARCILLOSAS (SC)**

**CARLOS ANDRES OCHOA OSORIO  
ELKIN YEBRAIL BONILLA GALLO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**2010**

**CORRELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y EL CBR  
PARA ARENAS ARCILLOSAS (SC)**

**CARLOS ANDRES OCHOA OSORIO  
ELKIN YEBRAIL BONILLA GALLO**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:  
GERARDO BAUTISTA GARCÍA  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL  
AREA DE GEOTECNIA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**2010**

## **DEDICATORIA**

Este proyecto esta dedicado muy especialmente a mi familia por darme siempre palabras de aliento que me ayudaron a crecer como persona.

A mis padres por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, porque siempre me brindaron su apoyo y amor incondicional logrando con esto que fuera una mejor persona.

A mis hermanos, pero especialmente a mi hermano Jaime Albeiro quien siempre estuvo pendiente de mis acciones y que fuera una persona de bien, por sus consejos y confianza puesta en mí.

A Dios por darme la oportunidad de vivir y ayudarme a recorrer este camino.

Carlos Andrés Ochoa Osorio

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo y a la vez un triunfo en mi vida, a Dios por regalarme sabiduría y entendimiento para poder realizarlo. A mis padres, que con mucho esfuerzo y dedicación me han traído hasta este punto del camino, a mi hermano y a mis familiares que de una u otra forma han estado pendientes de que esta meta se haga realidad.

De igual manera quiero agradecer a muchos de mis amigos, compañeros de carrera y demás, por haberme acompañado en muchas de mis alegrías y tristezas, a la comunidad Bolivariana por haber transmitido todos sus conocimientos y por su gran empeño a la hora de formar grandes profesionales, a muchas de las personas que hicieron y que aun hacen parte de mi vida.

**ELKIN YEBRAIL BONILLA GALLO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos de manera especial al ingeniero Gerardo Bautista por habernos brindado la oportunidad de estar con él en este trabajo, por haber permitido que tomáramos de su gran experiencia parte de ella para la culminación de este.

De igual manera a Vicente Páez y Heli Rueda, laboratoristas de la Universidad Pontificia Bolivariana, por guiarnos y haber contribuido con su experiencia y consejos profesionales para que todo saliera de la mejor manera.

## TABLA DE CONTENIDO

### INTRODUCCION

<b>1. OBJETIVOS</b>	13
<b>1.1 OBJETIVO GENERAL</b>	13
<b>1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	13
<b>2. ANTECEDENTES</b>	14
<b>3. METODOLOGIA</b>	16
<b>3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA</b>	18
<b>4. MARCO TEORICO</b>	19
<b>4.1 CLASIFICACION DE LOS SUELOS</b>	19
<b>4.1.1 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE LOS SUELOS</b>	19
<b>4.1.2 GRUPO DE SUELOS GRUESOS</b>	20
<b>4.1.3 GRUPO DE SUELOS FINOS</b>	21
<b>4.1.4 GRUPOS O CASOS FRONTERA O DOBLE NOMENCLATURA</b>	22
<b>4.2 COMPACTACIÓN DE SUELOS</b>	23
<b>4.2.1 ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO</b>	25
<b>4.3 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS</b>	26
<b>4.3.1 DETERMINACION DEL ESFUERZO DE CORTE</b>	27
<b>4.3.2 PRUEBA DE CORTE DIRECTO</b>	27
<b>4.4 ENSAYO DE CBR TIPO I</b>	28
<b>4.4.1 CONDICIONES DE ENSAYO</b>	28
<b>4.4.2 ENSAYO CBR SOBRE MUESTRAS COMPACTADAS EN LABORATORIO</b>	29
<b>4.4.3 METODOS DE ENSAYO EN LABORATORIO</b>	30
<b>4.4.3.1 METODO I</b>	30

<b>5. PRESENTACION DE RESULTADOS</b>	<b>32</b>
<b>5.1 ANÁLISIS GRANULOMETRICO POR MALLAS</b>	<b>32</b>
<b>5.2 LIMITE LÍQUIDO Y LIMITE PLÁSTICO</b>	<b>33</b>
<b>5.3 ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO (ENSAYOS DE COMPACTACIÓN)</b>	<b>34</b>
<b>5.4 CORTE DIRECTO</b>	<b>34</b>
<b>5.5 CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)</b>	<b>38</b>
<b>6. ANALISIS DE RESULTADOS</b>	<b>43</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>49</b>
<b>8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>52</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS</b>	
<b>ANEXO A REGISTRO FOTOGRAFICO</b>	
<b>ANEXO B ENSAYOS LIMITES DE PLASTICIDAD</b>	
<b>ANEXO C ENSAYOS DE GRANULOMETRIA</b>	
<b>ANEXO D ENSAYOS DE COMPACTACION</b>	
<b>ANEXO E ENSAYOS CBR TIPO I</b>	
<b>ANEXO F ENSAYOS CORTE DIRECTO</b>	
<b>ANEXO G NORMA INVIAS PARA ENSAYO CBR TIPO I</b>	
<b>ANEXO H NORMA INVIAS PARA ENSAYO DE CORTE DIRECTO</b>	
<b>ANEXO I NORMA INVIAS PARA ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO</b>	
<b>ANEXO J NORMA INVIAS PARA LIMITES DE PLASTICIDAD</b>	
<b>ANEXO K NORMA INVIAS PARA GRANULOMETRIA</b>	

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Datos granulometrías tipo de suelo seleccionado	32
<b>Tabla 2.</b> Datos limites de plasticidad tipo d e suelo seleccionado	33
<b>Tabla 3.</b> Datos ensayos de compactación tipo de suelo seleccionado	34
<b>Tabla 4.</b> Resultados obtenidos ensayos corte directo humedad 8 %	35
<b>Tabla 5.</b> Resultados obtenidos ensayos corte directo humedad 12 %	36
<b>Tabla 6.</b> Resultados obtenidos ensayos corte directo humedad 16 %	37
<b>Tabla 7.</b> Resumen resultados obtenidos ensayos corte directo	38
<b>Tabla 8.</b> Resultados obtenidos ensayos CBR tipo I humedad 8 %	39
<b>Tabla 9.</b> Resultados obtenidos ensayos CBR tipo I humedad 12 %	40
<b>Tabla 10.</b> Resultados obtenidos ensayos CBR tipo I humedad 16 %	41
<b>Tabla 11.</b> Resumen resultados obtenidos ensayos CBR tipo I	42



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama metodología	18
<b>Figura 2.</b> Carta de plasticidad para clasificación de los suelos	23
<b>Figura 3.</b> Curvas granulométricas tipo de suelo seleccionado	33
<b>Figura 4.</b> Relación Angulo de fricción interna Vs. Humedad	44
<b>Figura 5.</b> Relación Cohesión Vs. Humedad	45
<b>Figura 6.</b> Relación CBR tipo I Vs. Humedad	46
<b>Figura 7.</b> Relación cohesión Vs. CBR tipo I	47
<b>Figura 8.</b> Relación ángulo de fricción interna Vs. CBR tipo I	48

## **RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** CORRELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y EL CBR PARA ARENAS ARCILLOSAS (SC)

**AUTORES:** ELKIN YEBRAIL BONILLA GALLO  
CARLOS ANDRES OCHOA OSORIO

**FACULTAD:** INGENIERIA CIVIL

**DIRECTOR:** GERARDO BAUTISTA GARCIA, MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL EN EL AREA DE GEOTECNIA

### **RESUMEN**

El presente trabajo de grado, tuvo como propósito hallar la correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I. Para dar cumplimiento a este objetivo se realizaron 90 ensayos de CBR tipo I y 90 de corte directo con diferentes valores de humedad (30 con la humedad óptima, 30 con cuatro puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima y 30 con cuatro puntos porcentuales por encima de la humedad óptima).

Este trabajo se empezó con la ubicación del sitio en el cual se obtuvieran muestras de arena arcillosa, una vez ubicado el material a estudiar se procedió a realizar los ensayos de clasificación tales como granulometría y límites de Atterberg, obteniendo que el material era una arena arcillosa (SC), la cual fue extraída del costado norte de la cancha de futbol de la Universidad Pontificia Bolivariana, luego se procedió a hallar la humedad óptima y el peso específico seco máximo del material con la prueba de proctor modificado para finalmente realizar los ensayos de CBR tipo I y corte directo con las humedades ya mencionadas.

Finalmente con los resultados obtenidos se procedió al análisis de estos mismos dando como resultado una serie de tendencias que fueron analizadas para dar conclusiones y recomendaciones teniendo en cuenta que el objetivo principal de esta tesis era la correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I.

**PALABRAS CLAVES:** CBR, corte directo, limites de atterberg, arena arcillosa (SC), proctor modificado.

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE**

**TITLE:** CORRELACIÓN ENTRE EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y EL CBR PARA ARENAS ARCILLOSAS (SC)

**AUTHORS:** ELKIN YEBRAIL BONILLA GALLO  
CARLOS ANDRES OCHOA OSORIO

**FACULTY:** CIVIL ENGINEERING

**DIRECTOR:** GERARDO BAUTISTA GARCIA, MAGISTER IN CIVIL ENGINEERING

### **ABSTRACT**

This degree project, aimed to find the correlation between the angle of inner friction and the CBR type I. To achieve this goal, 90 CBR type I rehearsals were made and other 90 of direct cut with different values of humidity (30 with optimal humidity, 30 with four percental points under the optimal humidity and 30 with four percental points above the optimal humidity).

This work started by finding the place where the samples of clay sands were found, once it was located the classification tests were made, such as grain size distribution and Atterberg limits, the material was found in the north side of soccer court of Universidad Pontificia Bolivariana, then the optimal humidity and the specific dried maximal weight of the material was found with the test of modified proctor to finally made the test of CBR type I and direct cut with the humidity mentioned before.

Finally the results were analysed and a series was studied to give conclusions and recommendations, taking into account that the principal aim of this thesis was the correlation between the angle of inner friction and the CBR type I.

**KEY WORDS:** CBR, direct cut, Atterberg limits, clay sands, modified proctor.

## INTRODUCCION

El presente proyecto plantea la correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR para arenas arcillosas. El objeto del presente trabajo consistió en hallar una relación directa entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I, dada la dificultad para obtener muestras inalteradas en suelos arenosos.

Durante el proyecto se tuvo algunos problemas a la hora de realizar los ensayos mencionados, debido a que como en múltiples ocasiones no fue posible realizarlos inmediatamente después de la toma de muestra, las humedades disminuían con respecto a los valores buscados; por esta razón se vio la necesidad de repetir varios ensayos.

En total se realizaron 90 ensayos de CBR tipo I y 90 de corte directo para diferentes humedades y luego establecer una serie de relaciones entre las diferentes propiedades físicas del suelo estudiado.

# 1. OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo general

Hallar la relación existente entre el ángulo de fricción interna y el CBR para arenas arcillosas.

## 1.2 Objetivos específicos

- Encontrar el suelo adecuado para realizar el proyecto.
- Obtener la relación densidad/humedad mediante ensayos de compactación para hallar la densidad seca máxima y la humedad óptima.
- Realizar ensayos de corte directo y CBR sobre muestras compactadas con: la humedad óptima, cuatro puntos porcentuales por encima y por debajo de la humedad óptima.
- Obtener relaciones entre CBR, ángulo de fricción interna, densidad y humedad de compactación.

## 2. ANTECEDENTES

En el año 2007 la Universidad Pontificia Bolivariana, junto con un grupo de estudiantes aspirantes al título de ingenieros civiles, realizó dos investigaciones para tesis de grado, las cuales consistían en hallar la incidencia de la compactación en la resistencia al corte para arcillas arenosas, hecha por los estudiantes Flórez y Villamizar<sup>1</sup>, la segunda encontrar la incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas de baja compresibilidad, de las cuales se obtuvo una relación entre el ángulo de fricción interna y la humedad de compactación hecha por los estudiantes Cepeda y Trujillo<sup>2</sup>.

Luego en el año 2010 se realizaron tres investigaciones, la primera consistió en hallar la correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I para arenas limosas, hecha por los estudiantes Muñoz y Alvarado<sup>3</sup>, la segunda hallar la relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas limosas hecha por los estudiantes Quesada y Duran<sup>4</sup>, finalmente se realizó una última investigación para hallar la relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante

---

<sup>1</sup> FOLREZ JAMSA, Sara, y VILLAMIZAR MENDEZ, Yelissa. Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2007.

<sup>2</sup> CEPEDA VARGAS, Ricardo, y TRUJILLO BOLIVAR, Juan D. Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas de baja compresibilidad: Universidad Pontificia Bolivariana. 2007.

<sup>3</sup> MUÑOZ, Iván Darío, y ALVARADO SALCEDO, Paul Andrés. Correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo 1 para arenas limosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2010

<sup>4</sup> QUESADA OREJARENA, Sergio Andrés, y DURAN RUEDA, Luis Carlos. Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas limosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2010.

obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas arcillosas hecha por los estudiantes Villamizar y Díaz<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> VILLAMIZAR LEMOS, Alexis Fernando, y DIAZ GUTIERREZ, José Jaime. Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas arcillosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2010.

### 3. METODOLOGIA

La metodología planteada para la realización del presente proyecto fue la siguiente:

- Revisión bibliográfica: se hizo un estudio pertinente de cada uno de los ensayos realizados.
- Muestreo: se buscó una serie de lugares donde probablemente existía este material para así tomar diferentes cantidades de suelo.
- Luego de llevar al laboratorio las diferentes cantidades de suelo se procedió a clasificarlo, dando como única fuente proveedora de material (arena arcillosa SC) el costado norte de la cancha de futbol de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Una vez clasificado el suelo se procedió a realizar el ensayo Proctor modificado para hallar su humedad óptima y luego realizar los ensayos de CBR tipo I y corte directo.
- Con los resultados obtenidos se analizaron los diferentes tipos de tendencia existentes entre estos dos tipos de ensayos.



- Con las tendencias halladas se procedió a dar conclusiones y recomendaciones.
- Posteriormente se redactó el informe final.

### 3.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE LA METODOLOGIA

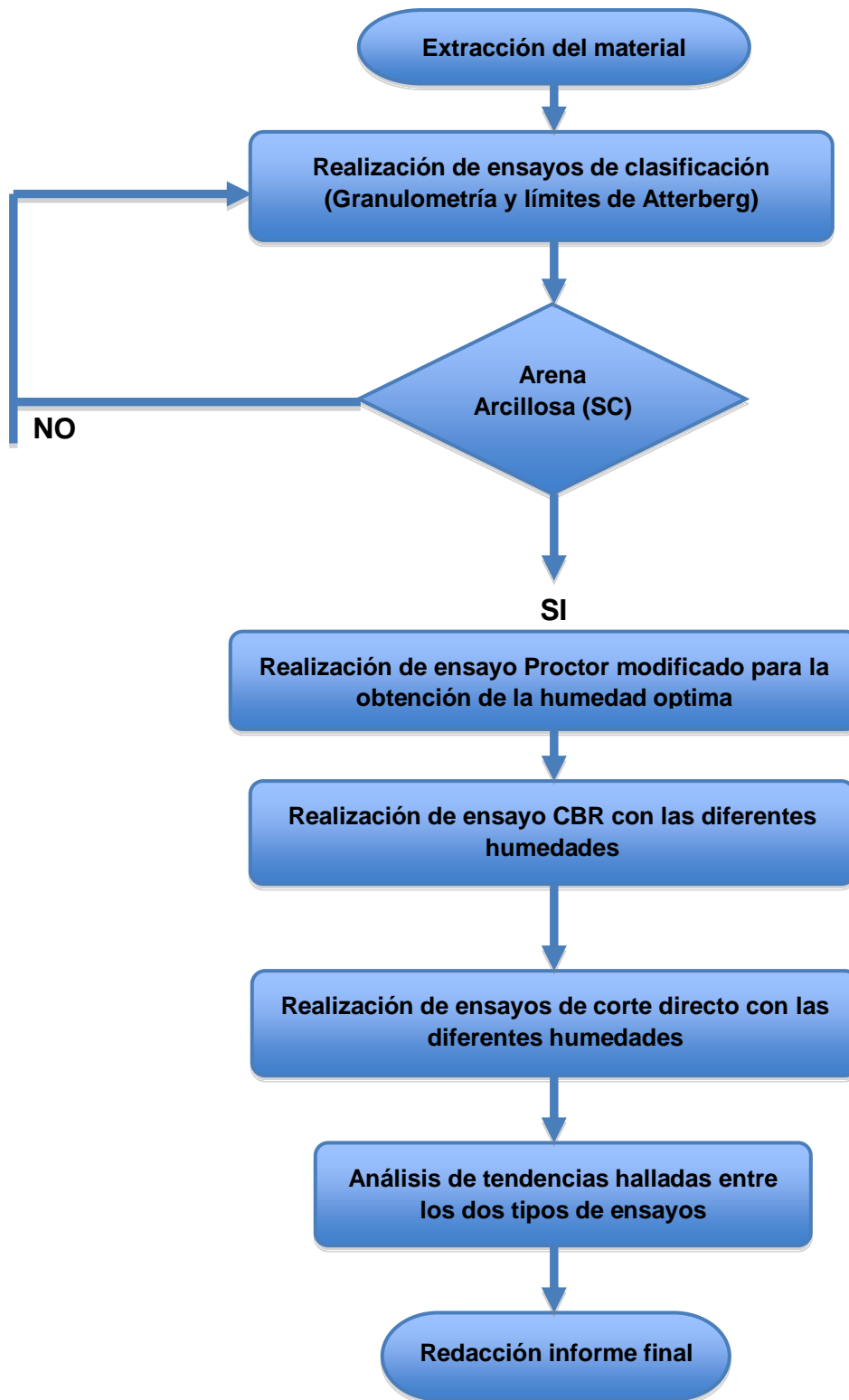


Figura 1. Diagrama metodología

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Clasificación de los Suelos**

#### **4.1.1 Sistema Unificado de clasificación de los suelos**

En el año de 1942 fue presentado por el Ingeniero Arthur Casagrande el primer sistema unificado de clasificación de los suelos (S.U.C.S) y posteriormente reformada por él mismo, dicha publicación se hizo en la segunda guerra mundial durante la construcción de aeropuertos militares y clasifica a los suelos de la siguiente manera.

Suelos Gruesos: En este grupo se puede encontrar las gravas (G) y las arenas (S), y la manera de clasificar a un suelo grueso en estos dos subgrupos es la siguiente:

Si más del 50% de la fracción gruesa pasa a través del tamiz No. 4 este será una arena (S) y si dicho porcentaje es retenido estará clasificado como una grava (G), dichas gravas y arenas presentan cuatro clasificaciones diferentes cada una respectivamente: Gravitas bien gradadas (GW), gravitas mal gradadas (GP), gravitas limosas (GM) y las gravitas arcillosas (GC), por otra parte las arenas bien gradadas (SW), arenas mal gradadas (SP), arenas limosas (SM) y las arenas arcillosas (SC).

Suelos Finos: Este tipo de suelos se presenta cuando una fracción del suelo representada por un 50% o más pasa por el tamiz N° 200 y se denotan por las

letras M, C y O, de igual manera se encuentran clasificados en dos subgrupos de tres, de acuerdo al porcentaje de su límite líquido.

Cuando su límite líquido es menor del 50% se les llama de baja o media compresibilidad y se les agrega la letra (L) clasificándolos de la siguiente manera.

Limos inorgánicos de baja compresibilidad (ML), arcillas inorgánicas de baja compresibilidad (CL) y limos orgánicos de baja compresibilidad (OL), cuando dicho límite es mayor al 50% se les añade la letra (H) denotándolos así:

Limos orgánicos de alta compresibilidad (MH), arcillas inorgánicas de alta compresibilidad (CH) y arcillas orgánicas de alta compresibilidad (OH).

#### **4.1.2 Grupos de suelos gruesos**

Las gravas y las arenas se subdividen en subgrupos cada uno.

GW y SW: Estos tipos de suelos son gravas y arenas bien graduados y con pocos finos o limpios por completo<sup>6</sup>. El coeficiente de uniformidad para GW debe ser  $>4$  y para SW debe ser  $>6$ , y el coeficiente de curvatura tanto para GW y SW debe ser  $1 \leq C_c \leq 3$ .

GP y SP: Estos tipos de suelos son gravas y arenas mal graduados. Este grupo es de apariencia uniforme pero no cumplen los requisitos del coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura del grupo GW y SW.

---

<sup>6</sup> JUAREZ BADILLO - RICO RODRIGUEZ. Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. Tomo I

GM y SM: La plasticidad de los finos puede permutar entre nula y media. Este grupo tiene como requerimiento que el límite de plasticidad este situado por debajo de línea A de la carta de plasticidad.

GC y SC: La plasticidad de los finos puede permutar entre media y alta. Este grupo tiene como requerimiento que el límite de plasticidad este situado por encima de línea A de la carta de plasticidad y además debe cumplir que su índice plástico sea mayor de 7.

#### **4.1.3 Grupos de suelos finos**

Estos se dividen en subgrupos.

CL y CH: Son arcillas inorgánicas, ambos están ubicados por encima de la línea A de la carta de plasticidad con la diferencia que el límite líquido para CL debe ser menor del 50 % y su índice de plasticidad mayor del 7%, mientras para CH el límite líquido debe ser mayor del 50%.

ML y MH: Son limos inorgánicos, el grupo ML tiene un límite líquido inferior al 50% y se ubica o bien por debajo de la línea A o en el sector por encima de la línea A con un IP menor al 4%. El grupo MH tiene un límite líquido superior al 50% y se ubica por debajo de la línea A.

OL y OH: Son limos y arcillas orgánicas, con las mismas características de los grupos ML y MH con la diferencia de que su límite líquido aumenta debido a la adición de materia orgánica sin aumentar su índice de plasticidad.

Pt: Son suficientemente orgánicos, su límite líquido esta entre 300% y 500% y su índice plástico esta entre 100% y 200%.

#### **4.1.4 Grupos o casos de frontera o doble nomenclatura**

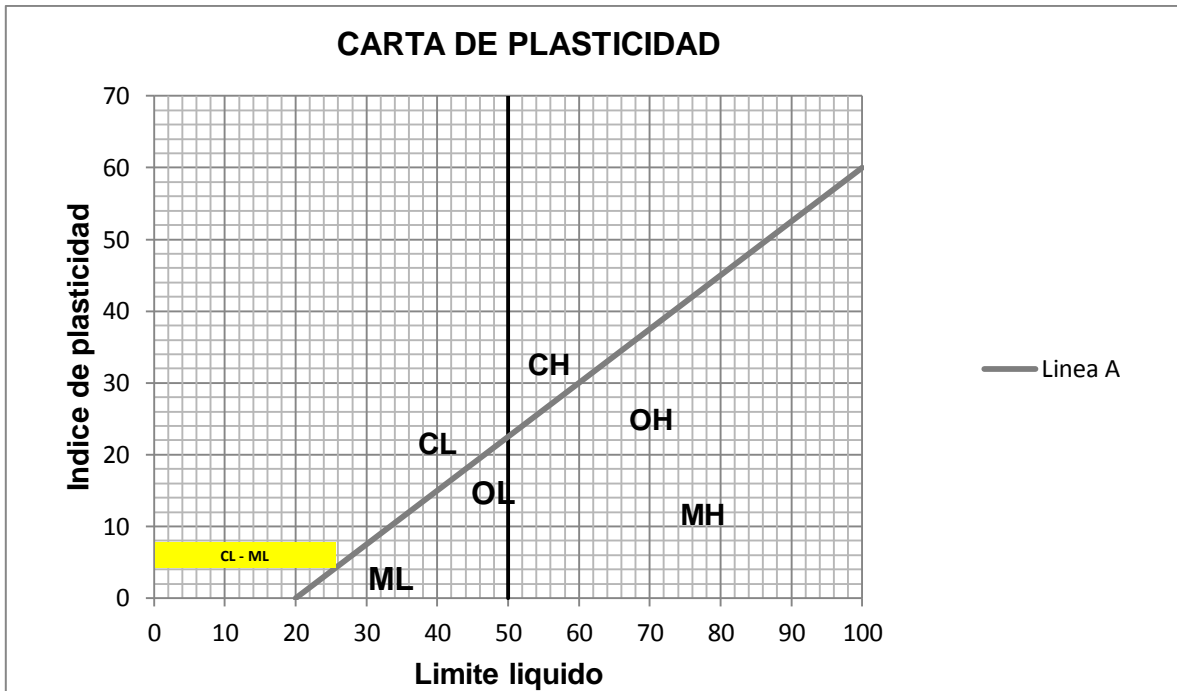
Para suelos gruesos y finos existen muestras de suelos que al clasificarlos no cae notoriamente dentro de un grupo por lo que hay que usar símbolos dobles esto se presenta cuando el contenido de finos esta entre el 5% y 12%.

GW-SW: Corresponde a un material bien gradado, con menos de 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena<sup>7</sup>.

ML-CL: Corresponde al material arcilla limosa de baja compresibilidad, ubicada por encima de la línea A y su índice de plasticidad debe estar entre 4% y 7%.

---

<sup>7</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. Tomo I



**Figura 2. Carta de plasticidad para clasificación de los suelos**

**Grafico tomado del libro fundamentos de la mecánica de suelos de Juárez Badillo**

## **4.2 Compactación de suelos**

La intención de la compactación de los suelos es mejorar las propiedades mecánicas mediante medios mecánicos. Este proceso se diferencia de la consolidación en que el peso específico aumenta poco a poco mediante la aplicación gradual de cargas naturales, pero se podría decir que los dos procesos son iguales. La importancia de la compactación radica en el aumento de su resistencia y disminución de deformaciones, este proceso es utilizado en rellenos artificiales tales como: diques, terraplenes, muelles, pavimentos, etc. Hay casos en

los que se ve la necesidad de compactar el terreno natural, es el caso de las cimentaciones en arenas<sup>8</sup>.

Los métodos usados de compactación varían de acuerdo a los materiales, por ejemplo en las arenas se utilizan métodos vibratorios y en suelos plásticos se utilizan compactaciones de carga estática por ser el mas efectivo en estos materiales, algunos equipos de los cuales se dispone para compactar son las plataformas vibratorias, rodillos lisos, neumáticos o patas de cabra.

Existen algunos factores que afectan la compactación de un suelo entre estos se encuentran:

- Tipo de suelo: debido a que el método de compactación a utilizar no es el mismo para todos los tipos de suelo, también depende del tamaño de las partículas a compactar<sup>9</sup>.
- Energía de compactación: La fuerza que se le aplique al suelo sobre el área de compactación.
- Contenido de agua del suelo: El porcentaje de humedad del suelo debe ser ideal a la hora de compactar ya que influye para alcanzar la máxima densidad.

---

<sup>8</sup> JUAREZ BADILLO – RICO RODRIGUEZ. Mecánica de suelos. Fundamentos de la mecánica de suelos. Editorial Limusa. Tomo I

<sup>9</sup> SANCHEZ SABOGAL FERNANDO. Curso de laboratorio de pavimentos



#### 4.2.1 Ensayo de Proctor modificado

Esta prueba tiene como objetivo principal determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima que debe alcanzar y tener un material. Consiste en agregar humedad al material actuando como un lubricante, permitiendo que las partículas del material se acomoden mejor y así de evitar la reducción de vacíos dando como resultado una mayor resistencia al esfuerzo de compactación.

Esta prueba está limitada para los suelos que pasen totalmente la malla No 4, o que por máximo su porcentaje retenido no sobrepase el 10% de esta malla, pero que además ese porcentaje pase totalmente por la malla de 3/8<sup>10</sup>.

El ensayo está fundamentado en el ensayo de Proctor estándar, tiene la misma teoría solo que se adecuaron sus moldes, martillo, número de golpes por capas, por que en la actualidad se han mejorado los equipos de compactación en relación con la prueba de Proctor estándar.

Para el ensayo modificado se utiliza un molde de 6 pulgadas de diámetro, un martillo cuyo peso es de 10 libras, la altura de caída de dicho martillo es de 18 pulgadas, el número de capas usado para la compactación es de 5 y el número de golpes por capa es de 55.

---

<sup>10</sup> CRESPO CARLOS. Mecánica de suelos y cimentaciones. Editorial Limusa

### 4.3 Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

La resistencia al corte es imprescindible para el análisis relacionado con el equilibrio de una masa de suelo<sup>11</sup>.

Un suelo siempre está sometido a un esfuerzo de corte lo que significa que parte de la masa de ese suelo tiende a desplazarse entre sí con respecto de la masa total.

La resistencia al corte de un suelo está dada por la ecuación de Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot (\tan \phi)$$

$\tau$  = resistencia al corte del suelo (Kg/cm<sup>2</sup>)

$c$  = cohesión del suelo (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = esfuerzo normal (Kg/cm<sup>2</sup>)

$\phi$  = ángulo de fricción interna del suelo, el cual se supone que es constante.

Los suelos usualmente tienen al mismo tiempo cohesión y fricción interna, sin embargo existen dos casos particulares:

- Las arenas lavadas y secas que no poseen cohesión, en las que la carga de ruptura se obtiene por un valor de:

$$\tau = \sigma \cdot \tan \phi$$

---

<sup>11</sup> PETER L. BERRY – DAVID REID. Mecánica de suelos. Editorial Mc Graw Hill.

- Las arcillas blandas, las que se comportan como si el ángulo de fricción interna “ $\phi$ ” fuese igual a cero dando como resultado que la carga de ruptura es constante e igual a la cohesión del suelo.

$$\tau = c$$

#### **4.3.1 Determinación del esfuerzo de corte**

La cohesión y el ángulo de fricción interna son parámetros de un suelo que se pueden encontrar mediante los ensayos de corte directo y la prueba de compresión triaxial.

#### **4.3.2 Prueba de corte directo**

Esta prueba consiste en tomar una muestra inalterada y someterla a un esfuerzo tangencial  $\tau$  y una carga vertical a cierta velocidad determinada; esta carga vertical se varía hasta lograr la ruptura tangencial y con los valores de esfuerzo hallados se dibuja la envolvente de falla, obteniendo como resultados la cohesión y el ángulo de fricción interna.

Los ensayos de corte directo se clasifican de la siguiente manera:

- Ensayo no consolidado – no drenado: la muestra falla antes de consolidarse bajo la carga vertical. Este ensayo es semejante al triaxial no consolidado drenado.

- Ensayo consolidado - no drenado: Se aplica la fuerza normal y se toman los valores del deformímetro en sentido vertical hasta que su asentamiento sea nulo y en seguida se procede a aplicar sin drenaje la fuerza cortante<sup>12</sup>.
- Ensayo consolidado drenado: Se aplica la fuerza normal en sentido vertical y la fuerza cortante se aplica de último hasta que la muestra esté totalmente asentada.

#### **4.4 Ensayo de CBR TIPO I**

Relación de soporte de california (California Bearing Ratio) o CBR, este ensayo mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo con humedades y densidades controladas. Este ensayo nos da como resultado el esfuerzo que se requiere para introducir un pistón con dichas especificaciones ya normalizadas hasta una profundidad determinada del molde de este mismo<sup>13</sup>.

##### **4.4.1 Condiciones de ensayo**

La resistencia de este ensayo varía de acuerdo a algunos factores como su densidad, contenido de humedad a la hora de compactarse el molde y a la de ensayarse. Lo que se busca en el laboratorio es reproducir las condiciones del

---

<sup>12</sup> BOWLES JOSEPH E. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Editorial Mc Graw Hill.

<sup>13</sup> SANCHEZ SABOGAL FERNANDO. Curso de laboratorio de pavimentos

terreno en campo por lo cual hay que tener cuidado al momento de ensayar el molde controlando todos estos factores<sup>14</sup>.

Lo que se busca en el laboratorio con el suelo es representar su estado natural pero en condición crítica o sea que antes de fallarlas se saturan sumergiéndolas en agua previamente por unos días y así de esta forma se garantiza este estado; este ensayo también se puede realizar en campo con la humedad natural del terreno o llevándolo a la saturación total previamente<sup>15</sup>. Si el suelo no va a estar expuesto a condiciones de saturación en campo, esto último se omite.

#### **4.4.2 Ensayo CBR sobre muestras compactadas en laboratorio**

El equipo que se debe tener a la hora de realizar este ensayo es el siguiente:

- Moldes para ensayo CBR (diámetro = 6", altura = 5") con el collar de extensión, su placa base y su falso fondo respectivamente.
- Martillo de 10 libras de peso y 18" de caída.
- 2 pesas de sobrecarga de 5 libras cada una.
- Maquina para aplicar carga a velocidad controlada.
- Papeles de filtro.
- Trípode con dial medidor de perforaciones.
- Balanzas, tanque de curado, flexómetro, etc.

---

<sup>14</sup> SANCHEZ SABOGAL FERNANDO. Curso de laboratorio de pavimentos

<sup>15</sup> SANCHEZ SABOGAL FERNANDO. Curso de laboratorio de pavimentos

### 4.4.3 Métodos de ensayo en laboratorio

Existen tres métodos para hacer las muestras de laboratorio para este tipo de ensayo con diferentes tipos de suelos.

- Método I: Para suelos con gravas, arenas y suelos con cohesión baja o nula.
- Método II: Para suelos con plasticidad baja y media y que no sean expansivos.
- Método III: Para suelos expansivos.

#### 4.4.3.1 Método I

Se empieza con la preparación de las muestras y se debe pesar 45 kilogramos de suelo que traspasen el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " con la humedad que se dese realizar para obtener un solo ensayo, luego se toman tres moldes con su respectiva extensión y se compactan con 55 golpes, 26 golpes y 12 golpes cada uno, en 5 capas con un martillo de 5 kilogramos de peso y a una altura de 45.7 cm, previo a la preparación de la muestra se ha colocado el falso fondo y filtro de papel, después de tener terminado cada molde compactado se retira la extensión y se voltea para colocarle 2 pesas perforadas de 5 kilogramos cada una que van a simular una sobrecarga en el suelo<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> SANCHEZ SABOGAL FERNADO. Curso de laboratorio de pavimentos.

Si las condiciones de campo que pretenden modelarse en el laboratorio muestran que el suelo va a estar saturado, se curan las muestras sumergiéndolas en agua con la placas base por unos días y tomando al inicio de la inmersión la lectura inicial de expansión, igualmente a la hora de retirar la muestra del tanque de agua se toma una segunda lectura hasta que se repita la lectura anterior y que el suelo no se expanda más, también se puede realizar este ensayo sin sumergir los moldes en agua.

Finalmente se penetran cada uno de los moldes en la máquina de compresión y tomando las lecturas del dial para poder graficar las curvas de compactación. Ver procedimiento completo en el Anexo G.

## 5. PRESENTACION DE RESULTADOS

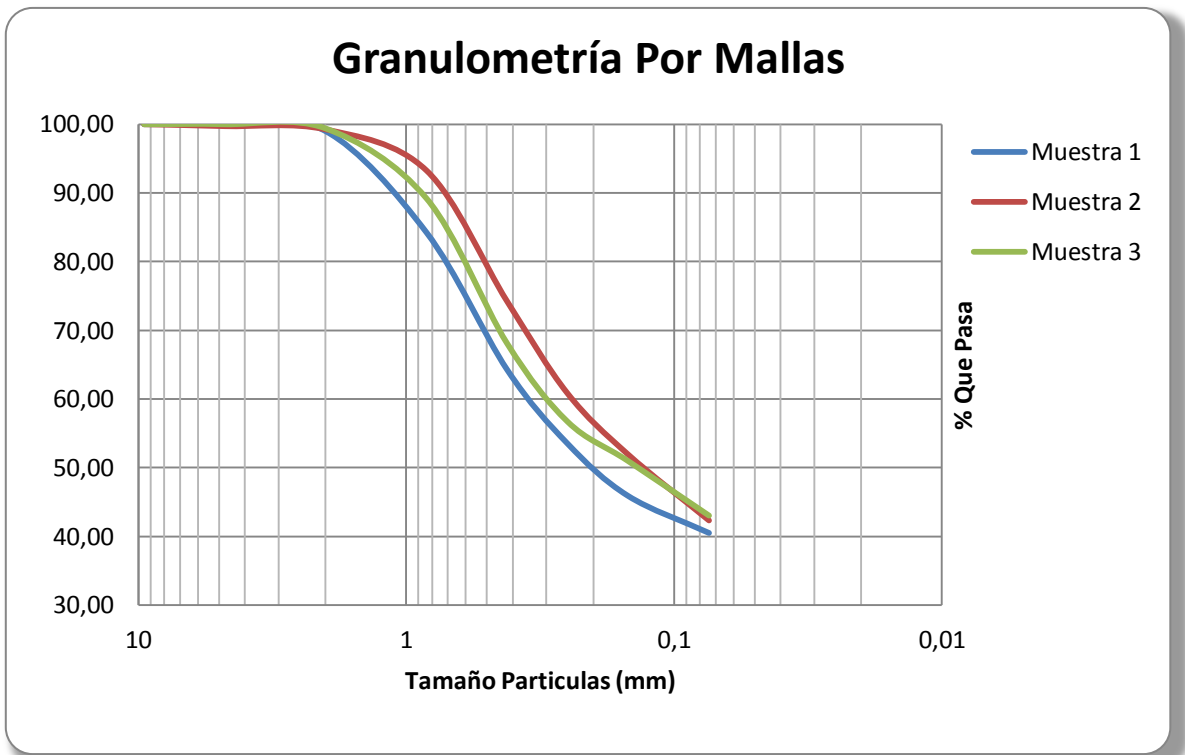
### 5.1 Análisis granulométrico por mallas.

De acuerdo a los ensayos realizados en el laboratorio se obtuvo los siguientes resultados.

	% ARENAS	% GRAVAS	%FINOS
MUESTRA 1	59.51	0	40.49
MUESTRA 2	57.42	0.28	42.31
MUESTRA 3	56.98	0	43.02
PROMEDIO	57.97	0.09	41.94

**Tabla 1. Datos granulométrías tipo de suelo seleccionado**





**Figura 3. Curvas granulométricas tipo de suelo seleccionado**

### 5.2 Limite líquido y limite plástico

De igual manera se llevo a cabo tres ensayos para límites de Atterberg de los cuales se obtuvo.

	LI	LP	IP
MUESTRA 1	37.70	23.83	13.87
MUESTRA 2	37.20	20.26	16.94
MUESTRA 3	39.30	22.69	16.61
PROMEDIO	38.06	22.26	15.80

**Tabla 2. Datos limites de plasticidad tipo de suelo seleccionado**

### 5.3 Ensayos de proctor modificado (Ensayos de compactación)

Para determinar la humedad óptima y densidad seca máxima de compactación se realizaron tres ensayos proctor modificado de los cuales se obtuvo la siguiente información.

ENSAYO #	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	$\gamma_{dmax}(T/m^3)$
1	12.5	1.82
2	11.5	1.84
3	11.8	1.85
PROMEDIO	11.93	1.84

**Tabla 3. Datos ensayos de compactación tipo de suelo seleccionado**

### 5.4 Corte directo

Una vez obtenida la humedad óptima se realizó una serie de ensayos de corte directo con diferentes humedades presentadas a continuación.

8 % (Cuatro puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima).

12 % (humedad óptima).

16 % (Cuatro puntos porcentuales por encima de la humedad óptima).

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA HUMEDAD DE 8%					
ENSAYO No	HUMEDAD (%)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	8.30	2.25	2.07	47.80	0.31
2	8.35	2.16	1.99	48.70	0.13
3	8.35	2.26	2.08	46.50	0.17
4	8.32	2.25	2.07	45.80	0.03
5	8.15	2.23	2.06	33.90	0.93
6	7.71	2.20	2.05	41.10	0.32
7	8.37	2.23	2.06	27.80	0.01
8	8.36	2.16	1.99	47.70	0.10
9	8.25	2.30	2.11	30.10	0.69
10	8.48	2.24	2.06	31.30	0.47
11	8.50	2.29	2.12	39.10	0.54
12	8.25	2.24	2.07	38.00	0.29
13	8.30	2.11	1.94	36.50	0.11
14	8.40	2.28	2.10	37.50	0.10
15	7.64	2.28	2.13	46.03	0.15
16	8.31	2.17	1.99	39.80	0.40
17	7.74	2.27	2.11	49.30	0.03
18	8.04	2.05	1.91	31.20	0.70
19	7.60	2.25	2.10	33.80	0.62
20	8.32	2.22	2.03	42.40	0.07
21	8.32	2.13	1.95	30.30	0.75
22	8.27	2.31	2.11	49.60	0.06
23	7.78	2.28	2.13	43.20	0.23
24	8.16	2.17	2.03	44.50	0.05
25	7.59	2.19	2.04	52.20	0.43
26	7.87	2.29	2.13	31.20	1.34
27	7.56	2.09	1.94	44.50	0.29
28	8.50	2.22	2.04	44.90	0.23
29	8.40	2.15	1.99	44.70	0.20
30	8.24	2.05	1.89	34.20	0.73
<b>Promedio</b>	8.15	2.21	2.04	40.45	0.35
<b>Desviación</b>	0.30	0.07	0.07	7.04	0.32
<b>Error (%)</b>	3.72	3.29	3.35	17.40	91.12

**Tabla 4. Datos resultados obtenidos ensayo corte directo humedad 8 %**

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA HUMEDAD DE 12%					
Ensayo #	HUMEDAD (%)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	12.07	2.09	1.87	32.6	0.63
2	12.23	2.02	1.83	53.1	0.27
3	12.25	2.02	1.85	57.0	0.00
4	11.87	2.17	1.95	55.5	0.12
5	11.99	1.85	1.6	44.8	0.94
6	11.53	2.12	1.91	50.6	0.33
7	12.01	2.23	1.99	49.6	0.26
8	12.27	2.13	1.91	45.9	0.54
9	12.3	2.14	1.9	52.0	0.12
10	11.97	2.25	2.01	45.3	0.20
11	12.12	2.21	1.96	38.0	0.23
12	12.2	2.01	1.79	56.4	0.05
13	12.01	2.25	1.95	21.6	0.39
14	11.73	2.22	1.93	27.9	0.26
15	12.17	2.17	1.96	23.9	0.62
16	11.65	2.24	2.02	45.1	0.10
17	11.66	2.11	1.86	58.3	0.23
18	11.7	2.42	2.17	56.5	0.23
19	12.18	2.3	2.14	38.1	0.12
20	12.01	2.21	1.99	38.1	0.12
21	11.53	2.21	1.99	42.7	0.34
22	12.28	2.22	2	41.6	0.23
23	11.78	2.09	1.86	37.2	0.45
24	12.34	2.3	2.06	37.2	0.39
25	12.4	2.06	1.84	41.6	0.34
26	12.14	1.9	1.69	44.5	0.27
27	12.15	2.06	1.84	37.6	0.23
28	12.16	1.85	1.65	52.0	0.02
29	12.14	1.85	1.65	47.8	0.06
30	11.72	2.06	1.84	40.4	0.27
<b>Promedio</b>	<b>12.02</b>	<b>2.13</b>	<b>1.90</b>	<b>43.77</b>	<b>0.28</b>
<b>Desviación</b>	<b>0.25</b>	<b>0.14</b>	<b>0.13</b>	<b>9.62</b>	<b>0.20</b>
<b>Error (%)</b>	<b>2.08</b>	<b>6.63</b>	<b>7.07</b>	<b>21.98</b>	<b>73.62</b>

**Tabla 5. Resultados obtenidos ensayo corte directo humedad 12 %**

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA HUMEDAD DE 16%					
Ensayo #	HUMEDAD (%)	$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	16.46	2.25	1.93	<b>21.9</b>	0.14
2	16.45	2.23	1.93	<b>18.7</b>	0.16
3	16.41	2.23	1.91	<b>13.6</b>	0.20
4	16.36	2.24	1.94	<b>17.4</b>	0.15
5	16.16	2.24	1.92	<b>23.4</b>	0.12
6	15.7	2.25	1.93	<b>27.0</b>	0.11
7	16.24	2.22	1.89	<b>18.2</b>	0.22
8	16.49	2.14	1.83	<b>18.1</b>	0.32
9	16.45	2.21	1.89	<b>19.4</b>	0.20
10	16.42	2.21	1.9	<b>18.6</b>	0.16
11	16.44	2.24	1.96	<b>20.2</b>	0.11
12	16.23	2.31	1.99	<b>25.2</b>	0.07
13	16.02	2.25	1.92	<b>26.6</b>	0.34
14	16.45	2.2	1.94	<b>22.8</b>	0.00
15	15.96	2.24	1.95	<b>29.4</b>	0.27
16	15.94	2.21	1.93	<b>26.0</b>	0.26
17	15.73	2.17	1.89	<b>32.7</b>	0.14
18	15.51	2.2	1.9	<b>27.6</b>	0.21
19	15.78	2.27	2.01	<b>31.5</b>	0.23
20	15.8	2.14	1.85	<b>30.2</b>	0.27
21	15.89	2.28	1.98	<b>29.1</b>	0.19
22	16.11	2.19	1.91	<b>20.7</b>	0.18
23	16.11	2.31	1.98	<b>27.3</b>	0.10
24	16.18	2.23	1.97	<b>25.5</b>	0.00
25	16.04	2.22	1.89	<b>34.3</b>	0.06
26	15.89	2.26	1.94	<b>34.3</b>	0.01
27	15.71	2.24	1.92	<b>24.9</b>	0.18
28	15.59	2.27	1.96	<b>20.4</b>	0.22
29	15.61	2.19	1.89	<b>24.9</b>	0.24
30	16.39	2.27	1.96	<b>33.9</b>	0.01
<b>Promedio</b>	16.08	2.23	1.93	24.79	0.16
<b>Desviación</b>	0.31	0.04	0.04	5.60	0.09
<b>Error (%)</b>	1.93	1.84	2.09	22.58	56.25

**Tabla 6. Resultados obtenidos ensayo corte directo humedad 12 %**

A continuación se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de corte directo.

HUMEDAD %	$\phi$ (°)	C (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )
8	40.45	0.35	2.21	2.04
12	43.77	0.28	2.23	1.93
16	24.79	0.16	2.13	1.9

**Tabla 7. Resumen resultados obtenidos ensayo corte directo**

### 5.5 CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)

Una vez obtenida la humedad óptima se realizó una serie de ensayos CBR con diferentes humedades presentadas a continuación.

8 % (Cuatro puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima).

12 % (humedad óptima).

16 % (Cuatro puntos porcentuales por encima de la humedad óptima).

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CBR PARA HUMEDAD DE 8%		
# ENSAYO	% HUMEDAD	%CBR
1	8.19	64
2	8.18	62
3	8.07	66
4	8.03	47
5	8.61	60
6	8.28	65
7	8.6	66
8	8.26	55
9	8.12	50
10	8.03	58
11	7.91	58
12	8.54	48
13	7.99	58
14	7.44	55
15	7.97	57
16	7.89	55
17	7.88	75
18	8.28	58
19	7.84	68
20	7.87	76
21	8.12	61
22	8.2	85
23	8.12	60
24	7.95	57
25	7.96	67
26	8.09	73
27	8.32	65
28	8.3	63
29	8	63
30	8.26	57
PROMEDIO	8.11	61.73
DESV STD	0.24	8.28
% ERROR	2.99	13.42

**Tabla 8. Resultados obtenidos ensayo CBR tipo I humedad 8 %**

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CBR PARA HUMEDAD DE 12%		
# ENSAYO	% HUMEDAD	%CBR
1	12.29	53
2	12.1	47
3	12.14	42
4	12.28	41
5	12.2	47
6	12	52
7	12.07	55
8	12.13	46
9	12.09	79
10	12.04	50
11	12.11	51
12	12.03	51
13	12.04	53
14	12.31	55
15	12.03	49
16	12.25	48
17	11.95	47
18	12.1	45
19	12.13	42
20	12.09	45
21	12.15	50
22	12.09	43
23	11.9	45
24	12.04	46
25	12	45
26	11.93	50
27	12.03	50
28	12.33	44
29	12.11	45
30	12.18	46
PROMEDIO	12.10	48.73
DESV STD	0.11	6.86
% ERROR	0.90	14.08

**Tabla 9. Resultados obtenidos ensayo CBR tipo I humedad 12 %**



RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CBR PARA HUMEDAD DE 16%		
# ENSAYO	% HUMEDAD	%CBR
1	15.8	30
2	15.93	32
3	15.8	34
4	15.88	29
5	15.94	36
6	16.34	35
7	16	28
8	16.09	28
9	15.96	28
10	16.01	32
11	16.48	25
12	15.95	24
13	16.35	31
14	16.22	37
15	16.22	36
16	16.18	28
17	15.74	37
18	16.12	38
19	15.84	32
20	16.38	36
21	15.95	23
22	15.96	29
23	16.07	34
24	15.8	21
25	15.88	24
26	16.35	34
27	15.95	23
28	16.14	32
29	16.22	37
30	16.09	24
PROMEDIO	16.05	30.57
DESV STD	0.20	5.02
% ERROR	1.23	16.41

**Tabla 10. Resultados obtenidos ensayo CBR tipo I humedad 16 %**

A continuación se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos CBR tipo I con sus respectivas humedades.

Humedad (%)	8	12	16
CBR (%)	61.73	48.73	30.57

**Tabla 11. Resumen resultados obtenidos ensayo CBR tipo I**

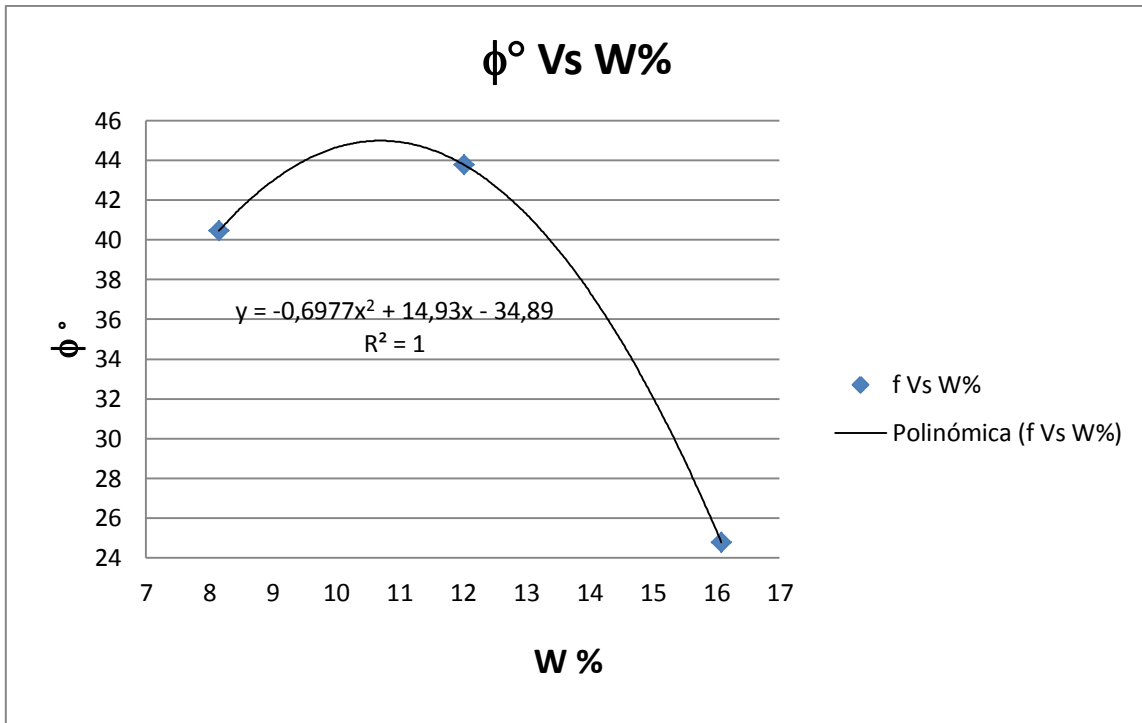
## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

A partir de la clasificación del tipo de material “arena arcillosa” se realizaron una serie de ensayos de CBR tipo 1 y corte directo para establecer una serie de tendencias.

Con este tipo de material y mediante la prueba de proctor modificado se estableció que la humedad óptima fue del 12% y basándonos en esta humedad realizamos los ensayos dichos anteriormente con 4 puntos por encima y por debajo de la misma.

Las tendencias que analizamos fueron las siguientes:

- Angulo de fricción interna Vs Humedad (  $\phi^\circ$  Vs  $\omega\%$  )
- Cohesión Vs Humedad ( C Vs  $\omega\%$  )
- CBR Vs Humedad ( CBR Vs  $\omega\%$  )
- Cohesión Vs CBR ( C Vs CBR )
- Angulo de fricción interna Vs CBR (  $\phi^\circ$  Vs CBR )



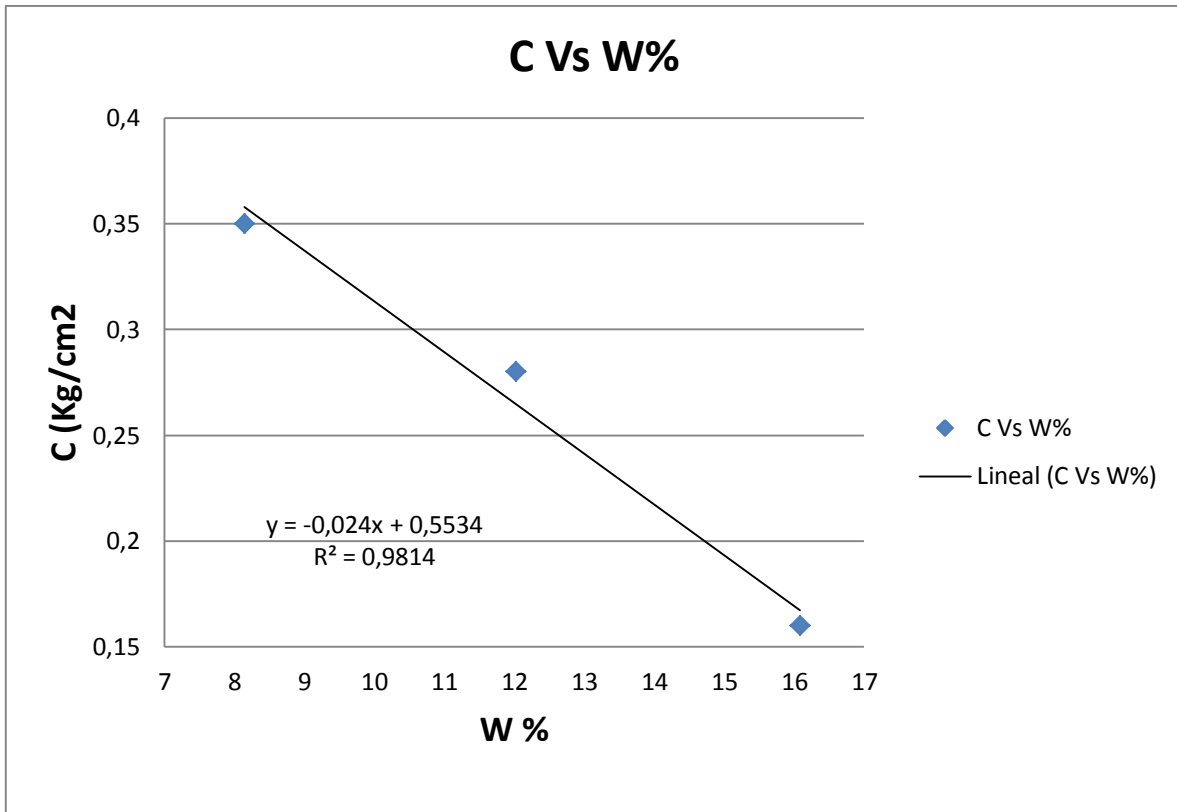
**Figura 4. Relación ángulo de fricción interna Vs. Humedad**

Se observa que el ángulo de fricción interna ( $\phi^\circ$ ) máximo se alcanza con una humedad del 10.71% y no con la humedad óptima como se esperaba inicialmente.

Se observa que después de la humedad óptima a medida que se incremente la humedad el ángulo de fricción interna disminuye cada vez más.

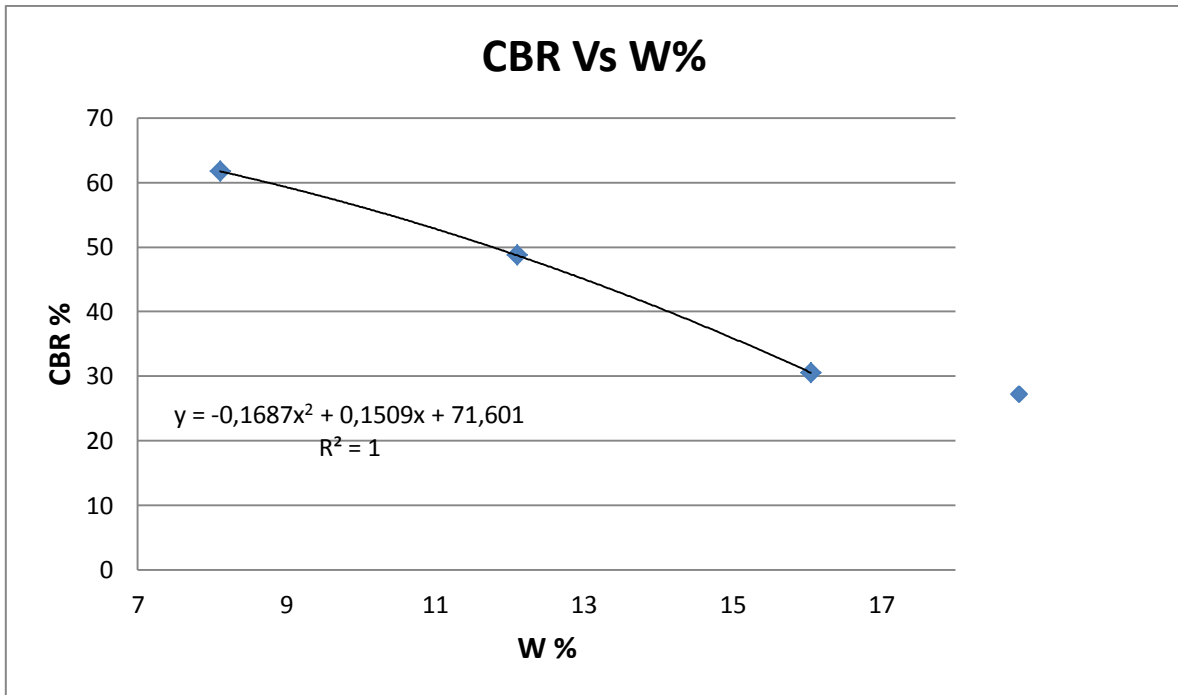
Se observó que el ángulo de fricción interna máximo es de  $45.07^\circ$  y se logra con una humedad del 10.71%, y no con la humedad óptima como era de esperarse, este resultado se obtuvo de la siguiente ecuación:

$$0 = -1.394X + 14.93$$



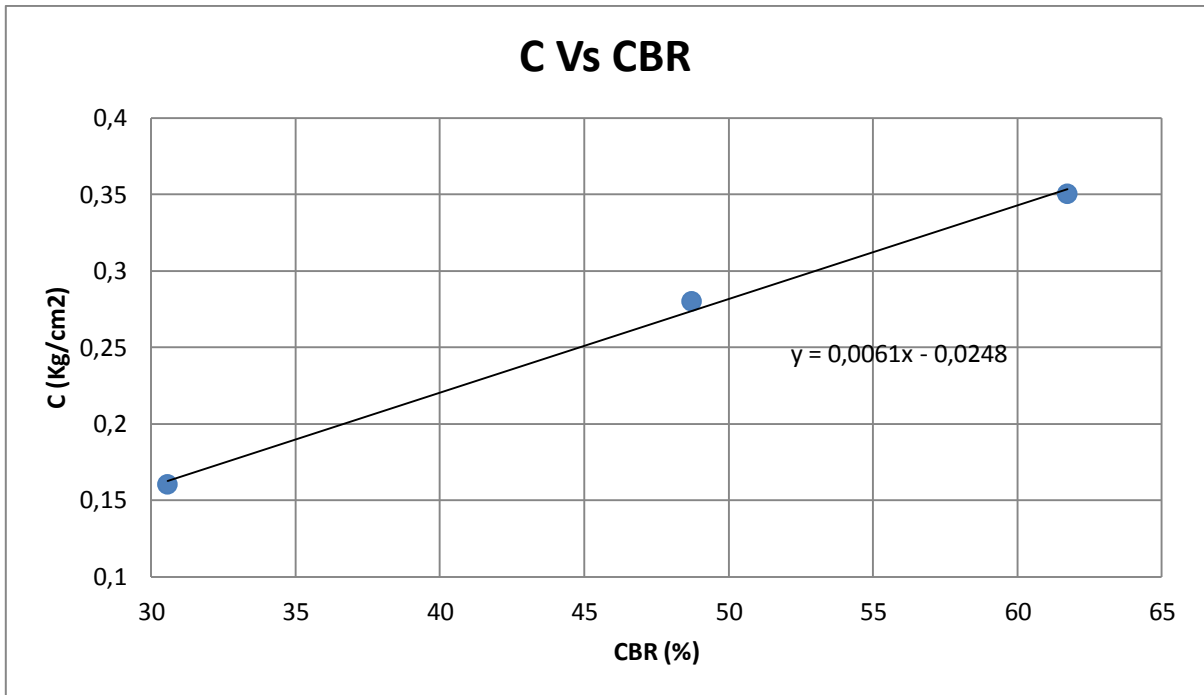
**Figura 5. Relación Cohesión Vs. Humedad**

Se observa que a medida que se aumenta la humedad empezando desde el 8% hay menos cohesión, es decir disminuye como era de esperarse, ya que a medida que el suelo tiene más contenido de agua, los poros entre partículas son ocupados por agua o aire lo que hace menos cohesivo el material.



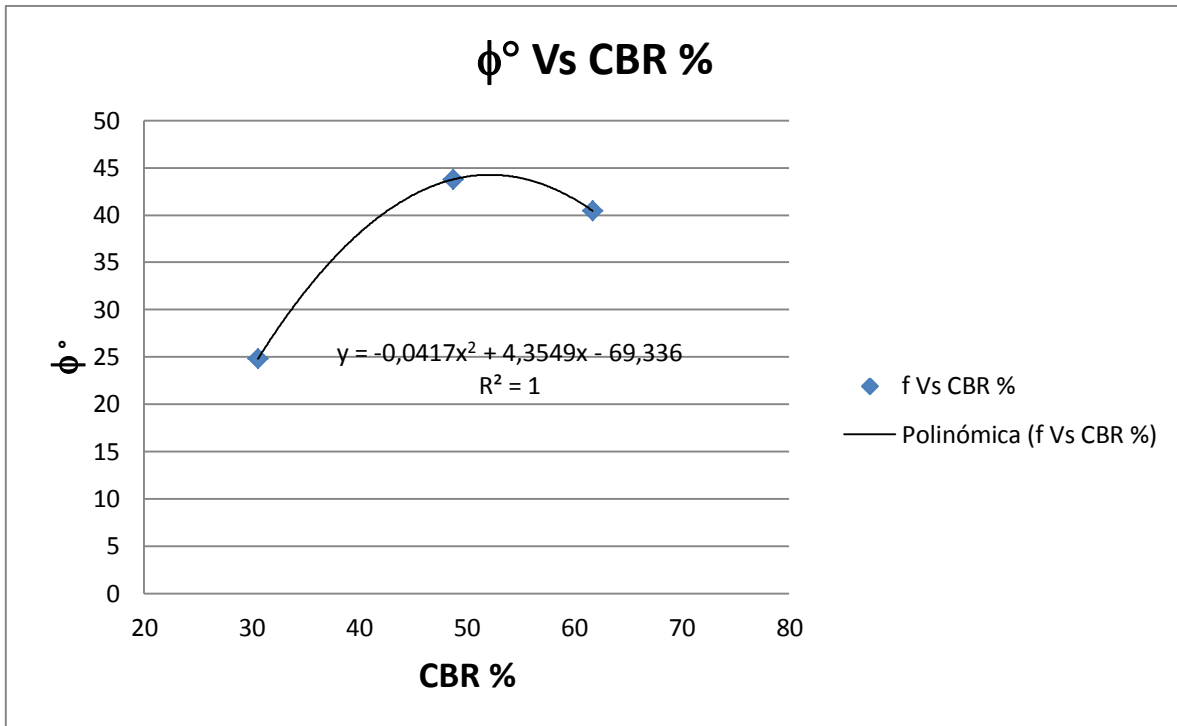
**Figura 6. Relación CBR tipo I Vs. Humedad**

Se observa que el CBR máximo se obtiene con la menor humedad y no con la humedad óptima, la razón para esto radica en que para suelos arenosos con matriz arcillosa como los estudiados, cuando estos tienen una humedad baja, estos se comportan como un cuerpo rígido.



**Figura 7. Relación cohesión Vs. CBR**

Se puede observar que a medida que aumenta el valor de CBR, de la misma manera lo hace la cohesión, estableciéndose una relación lineal entre estos dos parámetros.



**Figura 8. Relación Ángulo de fricción interna Vs. CBR tipo I**

De igual manera se puede observar que a medida de que el CBR aumenta el ángulo de fricción lo hace igualmente de manera proporcional hasta alcanzar su punto máximo con un CBR compactado con una humedad cercana a la óptima, de allí en adelante el material puede estar saturado y su ángulo de fricción empieza a disminuir.

Nos damos cuenta que el máximo valor de ángulo de fricción interna es de 46.3° alcanzado con un valor de CBR de 53.1% obtenido de la siguiente ecuación:

$$\phi = -0.082X + 4.354$$



## 7. CONCLUSIONES

- Una vez explorado el subsuelo en diferentes sectores de la universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga el material escogido se tomo del sector contiguo a la cancha de futbol costado norte. En este sector se tomaron inicialmente muestras para clasificación obteniéndose según el sistema unificado de clasificación de suelos una arena arcillosa (SC).
- Para el suelo seleccionado se obtuvo mediante la prueba de proctor modificado que su humedad óptima es del 12% y su densidad seca máxima es 1.84 g/cm<sup>3</sup>.
- Los ensayos realizados de corte directo arrojaron que el promedio de ángulo de fricción interna para las diferentes humedades estudiadas fue: humedad del 8% ángulo de fricción interna 40.45°, humedad del 12% ángulo de fricción interna 43.77°, humedad del 16% ángulo de fricción interna 24.79°.
- Los ensayos realizados de CBR tipo I arrojaron que el promedio de porcentaje CBR para las diferentes humedades estudiadas: humedad del 8% el porcentaje de CBR fue 61.73%, humedad del 12% el porcentaje de CBR fue 48.73%, humedad del 16% el porcentaje de CBR fue 30.57%.

- Para este tipo de material arena arcillosa se determinó que para las tres humedades estudiadas se puede establecer una correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR que era el objetivo principal planteado en esta investigación.
- Para este tipo de material arena arcillosa se encontró que la línea de tendencia que mejor relaciona CBR vs ángulo de fricción interna es un polinomio de grado dos y su ecuación es la siguiente:

$$y = -0.041x^2 + 4.354x - 69.33$$

- Los resultados obtenidos de estos ensayos son validos únicamente para este tipo de material arena arcillosa y compactados con humedades del 8%, 12% (humedad óptima) y 16%.
- Se puede observar que el máximo valor de CBR obtenido con estas tres humedades fue alcanzado con el 8% y no con la humedad óptima como se esperaba, debido a que es un ensayo de punzonamiento en el cual interfiere la densidad, lo cual nos indica que el material al presentar un contenido bajo de humedad empieza a comportarse como un sólido.
- A pesar de los errores tan altos obtenidos en el valor de la cohesión pudo establecerse una relación lineal entre dicho parámetro y el CBR. Esta

relación es lógica y era de preverse ya que tanto cohesión como CBR varían de manera inversa con la humedad.

- Se observa que el valor máximo de ángulo de fricción interna se alcanza con una humedad del 10.7% y no con la humedad óptima como podría esperarse.
- Si se quiere obtener la humedad con la cual se obtiene el máximo ángulo de fricción a partir de los resultados de un ensayo CBR, primero debe hallarse el valor del CBR con el cual se obtiene el máximo valor de dicho ángulo y luego en la curva CBR Vs Humedad obtener el valor del contenido de agua que corresponda al CBR con el cual se obtuvo en ángulo de fricción máximo.

## 8. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda para una próxima investigación de este tipo que a la hora de preparar el material para realizar los ensayos, es decir llevarlo a la humedad deseada, hacerlo teniendo en cuenta de adicionar un punto porcentual mas de dicha humedad, para evitar que esta se reduzca por diferentes factores tales como: manipulación del material, condiciones climáticas, factores de tiempo en el momento de realizar el ensayo.
- Cuando se presenta una cantera tan pequeña como esta de la cual se obtuvo el material para la investigación, no es recomendado utilizarlo más de dos de veces, ya que este puede fatigarse viéndose afectadas sus propiedades físicas y mecánicas y los resultados obtenidos no serían los esperados.
- Para un próximo trabajo de este tipo, es recomendable tomar presupuesto de la misma investigación y con ayuda de la universidad adquirir cierta cantidad de moldes para los ensayos de corte directo y CBR, debido a que la universidad cuenta con venta de servicios y no se tiene disponibilidad completa de estos equipos, viéndose afectados los investigadores en cuanto a su cronograma de actividades.

- Debido a las condiciones climáticas, es decir lluvias, es preciso tener un sitio adecuado de almacenamiento del material para que este no se vea afectado por la humedad y retrase las labores.
- Es necesario adoptar ó adquirir otro tipo de formaletas para el ensayo de corte directo. Sería recomendable diseñar formaletas desarmables para evitar alteraciones cuando la muestra se desencofra.
- Es fundamental que la universidad construya un cuarto con humedad y temperaturas controladas para preservar la humedad de las muestras que por motivos de la programación del laboratorio no puedan ser ensayadas inmediatamente.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CEPEDA VARGAS, Ricardo, y TRUJILLO BOLIVAR, Juan D. Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas de baja compresibilidad: Universidad Pontificia Bolivariana. 2007.
- FLOREZ JAMSA, Sara, y VILLAMIZAR MENDEZ, Yelissa. Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2007.
- QUESADA OREJARENA, Sergio Andrés, y DURÁN RUEDA, Luis Carlos. Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas limosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2010.
- MUÑOZ, Iván Darío, y ALVARADO SALCEDO, Paul Andrés. Correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I para arenas limosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2010.
- VILLAMIZAR LEMOS, Alexis Fernando, y DIAZ GUTIERREZ, José Jaime. Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas arcillosas: Universidad Pontificia Bolivariana 2010.

- CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.
- JUAREZ BADILLO EULALIO, RICO RODRIGUEZ ALFONSO. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo I. Editorial Limusa S. A. Grupo Noriega Editores. Tercera Edición. 1992.
- SANCHEZ SABOGAL, Fernando. Curso de Laboratorio de Pavimentos.
- BOWLES, Joseph E. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil. Editorial Mc GRAW – HILL. Traducción segunda edición 1981.
- PETER L. BERRY – DAVID REID. Mecánica de suelos. Editorial Mc Graw Hill.