

**RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO
CORTANTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y
COMPRESIÓN SIMPLE PARA ARENAS ARCILLOSAS**

**ALEXIS FERNANDO VILLAMIZAR LEMOS
JOSÉ JAIME DÍAZ GUTIÉRREZ**

**DIRECTOR:
GERARDO BAUTISTA GARCÍA
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**



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

2010

**RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO
CORTANTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y
COMPRESIÓN SIMPLE PARA ARENAS ARCILLOSAS**

**ALEXIS FERNANDO VILLAMIZAR LEMOS
JOSÉ JAIME DÍAZ GUTIÉRREZ**

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

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



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

2010

DEDICATORIA

A Dios que me ha dado la fuerza para sortear los obstáculos que se han presentado en el largo camino de mi vida Universitaria.

A mi madre y mi familia que han sido siempre y seguirán siendo el mayor de los ejemplos tanto personal como académicamente; por su apoyo moral, económico y por su respaldo incondicional en todas las decisiones de mi vida.

A mis grandes amigos: Sergio Quesada, Elkin Bonilla, Fernando Duarte, Carlos Ochoa, Edgar Gómez, Fabián Echeverry, Heyner García, Luis Carlos Durán, José Jaime Díaz, Aldemar Cuadros, Ricardo Mosquera, Julio Bohórquez. También a todas las personas cercanas que de una u otra manera me han colaborado o han aportado su granito de arena para la realización de este tan anhelado sueño.

Al Ingeniero Rafael Ortiz y Sandrita, que son excelentes personas y nunca dudaron en ofrecer su colaboración a la hora que la situación lo ameritara.

GRACIAS POR TODO

ALEXIS FERNANDO VILLAMIZAR LEMOS

DEDICATORIA

Hoy que logro dar este gran paso en mi vida, quiero dedicarle este éxito primero que todo a Dios por darme la inteligencia y perseverancia durante el desarrollo de mi carrera, en segundo lugar a mis padres por darme su apoyo cuando tuve dificultades en mi vida estudiantil, a mis hermanos por su ayuda, a mi hijo que se ha convertido en un motor para mi desarrollo personal.

JOSÉ JAIME DÍAZ GUTIÉRREZ

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por ofrecernos su campus y permitirnos realizar esta investigación en sus instalaciones además de sus laboratorios y equipos para la culminación de este.

A los docentes: Claudia Retamoso, Rafael Ortíz, Juan Carlos Forero, Aldemar Remolina, Luz Marina Torrado, Ricardo Pico, Néstor Prado, entre otros que ayudaron en nuestra formación tanto académica como personal en el transcurso de la carrera.

Al Ingeniero Gerardo Bautista, por ofrecernos su tiempo y experiencia para asesorarnos y dirigir nuestra investigación.

A los señores Vicente Páez y Helí Rueda; quienes además de ayudarnos en despejar cualquier tipo de dudas en el laboratorio, también nos ofrecieron su amistad y su calidez personal.

También a todas aquellas personas que colaboraron directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

	PÁGINA
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	15
1.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2. ANTECEDENTES	16
2.1. INCIDENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN LA RESISTENCIA AL CORTE DE ARCILLAS ARENOSAS	17
2.2. INCIDENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN LA RESISTENCIA AL CORTE DE ARCILLAS DE BAJA COMPRESIBILIDAD.....	18
2.3. RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y COMPRESIÓN SIMPLE PARA ARENAS LIMOSAS.....	19
2.4. CORRELACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y EL CBR TIPO I PARA ARENAS LIMOSAS (SM)	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	22
3.2. MUESTREO	22
3.3. ENSAYOS DE LABORATORIO	22
3.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
3.5. REDACCIÓN DEL INFORME	22
4. MARCO TEÓRICO	23
4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA	23
4.1.1. SUELOS GRUESOS	24
4.1.1.1. GRUPO SC (ARENAS ARCILLOSAS)	24
4.1.1.2. SUELOS FINOS	24
4.2. PLASTICIDAD DE LOS SUELOS	26
4.2.1. LÍMITE LÍQUIDO (LL)	26
4.2.2. LÍMITE PLÁSTICO (LP)	26
4.2.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP)	26
4.3. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS	27

4.3.1. ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD DE LA COMPACTACIÓN	27
4.4. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS	28
4.4.1. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE	29
4.4.2. PRUEBA DE CORTE DIRECTO	29
4.4.2.1. PROCEDIMIENTO	29
4.4.3. PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL	31
4.4.3.1. PROCEDIMIENTO	31
4.4.3.2. PRUEBA RÁPIDA O SIN DRENAJE	32
4.4.3.3. PRUEBA RÁPIDA CONSOLIDADA	32
4.4.3.4. PRUEBA LENTA	33
4.4.3.5. PRUEBA GIGANTE	33
4.4.4. PRUEBA DE COMPRESIÓN AXIAL NO CONFINADA O COMPRESIÓN SIMPLE	33
4.4.4.1. PROCEDIMIENTO	34
5. RESULTADOS OBTENIDOS	35
5.1. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL	35
5.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA	36
5.3. PROCTOR MODIFICADO	37
5.4. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	38
5.4.1. HUMEDAD DE 8 %.....	38
5.4.2. HUMEDAD DE 12 %	39
5.4.3. HUMEDAD DE 16 %	40
5.5. ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA	41
5.5.1. HUMEDAD DE 8 %	41
5.5.2. HUMEDAD DE 12 %	42
5.5.3. HUMEDAD DE 16 %	43
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CORTE DIRECTO	45
6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE COMPRESIÓN SIMPLE	47
6.3. RELACIÓN ENTRE EL CORTE DIRECTO Y LA COMPRESIÓN SIMPLE.....	48

7.	RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES	50
8.	CONCLUSIONES	53
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
TABLA 1. RESULTADOS DE GRANULOMETRÍAS	35
TABLA 2 . RESULTADOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	36
TABLA 3. RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.....	37
TABLA 4. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA UNA HUMEDAD DE 8 %... 38	
TABLA 5. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA UNA HUMEDAD DE 12 % . 39	
TABLA 6. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA UNA HUMEDAD DE 16%.. 40	
TABLA 7. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA UNA HUMEDAD DE 8 %	41
TABLA 8. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA UNA HUMEDAD DE 12 %	42
TABLA 9. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA UNA HUMEDAD DE 16 %	43

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
FIGURA 1 . GRANULOMETRÍA POR MALLAS	35
FIGURA 2 . RELACIÓN ENTRE ϕ Y ω	45
FIGURA 3. RELACIÓN ENTRE C Y ω	46
FIGURA 4. RELACIÓN ENTRE q_u Y ω	47
FIGURA 5. RELACIÓN ENTRE ϕ Y q_u	48
FIGURA 6. RELACIÓN ENTRE C Y q_u	49

LISTA DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO	58
ANEXO B . ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA.....	59
ANEXO C. ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG	60
ANEXO D. ENSAYOS DE PROCTOR MODIFICADO.....	61
ANEXO E. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO	62
ANEXO F. ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE	63
ANEXO G. NORMAS DE INVIAS I. N. V. E-123-07. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA.....	64
ANEXO H. NORMAS DE INVIAS I. N. V. E-125-07. Y E-126-07. ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG.....	65
ANEXO I. NORMAS DE INVIAS I. N. V. E-142-07. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.....	66
ANEXO J. NORMAS DE INVIAS I. N. V. E-154-07. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....	67
ANEXO K. NORMAS DE INVIAS I. N. V. E-152-07. ENSAYO DE COMPRESIÓN INCONFINADA.....	68
ANEXO 1. METODOLOGÍA	69

RESUMEN GENERAL DEL PROYECTO

TÍTULO: RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y COMPRESIÓN SIMPLE PARA ARENAS ARCILLOSAS

AUTORES: JOSE JAIME DÍAZ GUTIÉRREZ

ALEXIS FERNANDO VILLAMIZAR LEMOS

FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR: GERARDO BAUTISTA GARCÍA

RESUMEN

El proyecto inicia con la recolección del material, para posteriormente realizar los ensayos pertinentes de identificación del tipo de suelo (granulometrías, límites); el material usado, fue hallado en la parte posterior de la cancha de fútbol ubicada en las instalaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

A continuación se realizó el ensayo de Proctor modificado para determinar la densidad máxima y la humedad óptima de compactación del material, que en este caso fue del 12%. Seguidamente se realizaron 90 ensayos de corte directo y 90 ensayos de compresión simple divididos así: 30 ensayos con la humedad óptima, 30 ensayos con 4 puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima y 30 ensayos con 4 puntos porcentuales por encima de la humedad óptima.

Luego de la recolección y digitalización de los datos se procedió a realizar los cálculos, análisis respectivos, para así establecer tendencias de las características físicas del material. Por último, se elaboraron las conclusiones, observaciones y recomendaciones pertinentes.

PALABRAS CLAVES: Suelo, Proctor, Humedad, Compresión, Corte.

GENERAL SUMMARY OF THE PROJECT

TITLE: RELATION BETWEEN THE PARAMETERS OF RESISTANCE TO THE SHEAR FORCE OBTAINED IN THE TESTS OF DIRECT CUT AND SIMPLE COMPRESSION FOR CLAYEY SANDS

AUTHORS: JOSE JAIME DÍAZ GUTIERREZ

ALEXIS FERNANDO VILLAMIZAR LEMOS

AUTHORIZE: CIVIL ENGINEERING

THE DIRECTOR: GERARDO BAUTISTA GARCÍA

ABSTRACT

The project initiates with the compilation of the material, to realize the pertinent tests of identification of the type of soil (granulometries, limits); the secondhand material used was found in the later part of a field of football located in the University Pontificia Bolivariana sectional Bucaramanga.

Later Proctor's test was realized modified to determine the maximum density and the ideal dampness of compaction of the material, which in this case was 12 %. Immediately afterwards there were realized 90 tests of direct cut and 90 tests of simple compression divided like that:30 tests with the ideal dampness, 30 tests with 4 percentage points below the ideal dampness,30 tests with 4 percentage points over the ideal dampness.

After the compilation and digitalization of the information, we proceeded to realize the calculations, respective analyses, to establish trends of the physical characteristics of the material. Finally, there were elaborated the conclusions, observations and pertinent recommendations.

KEY WORDS: Soil, Proctor, dampness, cut, compression.

INTRODUCCIÓN

Con la presente tesis de grado se busca obtener, la relación entre la compresión simple y el ángulo de fricción interna existente entre suelos de tipo arenas-arcillosas, compactados con diferentes porcentajes de humedad.

La obtención del valor del ángulo de fricción interna de un suelo, se hace medio de ensayos respectivos de corte en el laboratorio en muestras inalteradas de dicho suelo.

Para efectos de esta investigación; como se posee un suelo con un alto porcentaje de finos, va a ser fácil la obtención de las muestras ya que, al introducir los moldes en el suelo compactado y luego retirarlos, el suelo va a mantenerse en este por sus características cohesivas.

El ensayo de compresión simple mide el valor de la resistencia a la compresión no confinada en suelos cohesivos; por esta razón se van a ensayar muestras de suelo que hayan sido compactadas con diferentes humedades.

Así mismo se pretende establecer una correlación entre la resistencia a la compresión inconfiada y los parámetros de resistencia obtenidos en el ensayo de corte directo. La obtención de esta correlación se basa en el hecho que los ensayos de corte directo requieren de un mayor tiempo y su costo es mayor.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Hallar la relación existente entre el ángulo de fricción interna y la compresión inconfiada de arenas arcillosas.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer estudios pertinentes para la identificación del suelo.
- Obtener la relación densidad/humedad mediante ensayos de compactación para hallar la densidad seca máxima y la humedad óptima.
- Optimizar el proceso de toma de muestras del suelo; para así brindar un alto porcentaje de confiabilidad en los resultados obtenidos.
- Realizar ensayos de corte directo y compresión simple sobre muestras inalteradas, compactadas con la humedad óptima, cuatro puntos porcentuales por encima y por debajo de dicha humedad.
- Obtener relaciones entre la compresión inconfiada del suelo, ángulo de fricción interna, densidad y humedad de compactación.

2. ANTECEDENTES

La Universidad Pontificia Bolivariana, junto con un grupo de estudiantes aspirantes al título de Ingenieros Civiles, realizó cuatro investigaciones para tesis de grado.

La primera lleva por nombre **“Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas”** de **Flórez y Villamizar (2007)**¹; la segunda **“incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas de baja compresibilidad”**, de **Cepeda y Trujillo (2007)**²; la tercera **“relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas limosas”**, de **Quesada y Durán (2010)**³; la cuarta **“correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR Tipo I para arenas limosas”**, de **Muñoz y Alvarado (2010)**⁴; de las cuales se obtuvo una relación entre el ángulo de fricción interna, la humedad de compactación y la resistencia a la compresión para arenas limosas.

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

² 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.

³ 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.

⁴ 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.

2.1. INCIDENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN LA RESISTENCIA AL CORTE DE ARCILLAS ARENOSAS

La tesis presentada por Flórez y Villamizar (2007) tuvo como objetivo principal comparar la variación de los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción), con respecto a las humedades y grados de compactación para arcillas arenosas de baja compresibilidad color amarillo.

Se realizaron los apiques necesarios para tomar las muestras requeridas y de esta manera clasificar el tipo de suelos a estudiar, realizando los ensayos de granulometría y límites de plasticidad.

Luego de esto se realizaron ensayos de compactación tipo Proctor Modificado para determinar la humedad óptima y el peso específico máximo para el tipo de suelo estudiado. Para las humedades escogidas, se compactaron moldes y se tomaron muestras para el ensayo de corte directo con el fin de obtener c y ϕ .

Antes de finalizar el proyecto se realizó un análisis estadístico para la cohesión, el ángulo de fricción, la densidad húmeda y la densidad seca para cada humedad de compactación. Para concluir se hizo el análisis de los resultados y a partir de este se establecieron tendencias, dando recomendaciones y conclusiones.

2.2. INCIDENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN LA RESISTENCIA AL CORTE DE ARCILLAS DE BAJA COMPRESIBILIDAD

Al igual que la tesis expuesta anteriormente se comparó la variación de los parámetros de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción) con respecto a las humedades y grados de compactación.

Por otro lado Cepeda y Trujillo (2007), realizaron los procedimientos adecuados para la extracción, clasificación y estudio de las muestras de suelos, que en este caso son arcillas de baja compresibilidad color violeta.

También se determinó la humedad óptima y el peso específico máximo para el tipo de suelo estudiado mediante ensayos de compactación tipo Proctor Modificado y para las humedades de compactación escogidas, se compactaron moldes y de ellos se tomaron muestras con el mismo fin, obtener c y ϕ .

El análisis de los resultados se llevó a cabo a partir de este, se establecieron tendencias, dando recomendaciones y conclusiones, después de haber hecho los respectivos análisis estadísticos para la cohesión, el ángulo de fricción, la densidad húmeda y la densidad seca de cada humedad.

2.3. RELACIÓN ENTRE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y COMPRESIÓN SIMPLE PARA ARENAS LIMOSAS

En esta investigación se ubicó en primer lugar una fuente adecuada que contenía el material a ser estudiado, ubicándose en la Universidad Pontificia Bolivariana; luego se procedió a hacer los estudios pertinentes de clasificación del suelo (granulometría, límites de Atterberg) y el ensayo de Proctor modificado para saber su densidad máxima y su humedad Óptima de compactación. Posteriormente, se realizaron 90 ensayos de corte directo y 90 ensayos de compresión inconfiada; distribuidos de la siguiente manera:

- 30 ensayos de corte directo con la humedad óptima que en este caso fue del 12,5%.
- 30 ensayos de corte directo con una humedad del 16,5%.
- 30 ensayos de corte directo con una humedad del 8,5%.

De igual manera se realizaron los ensayos de compresión inconfiada.

A partir de los resultados obtenidos y la comparación de estos se obtuvieron tendencias:

- γ_d VS ω
- ϕ VS ω
- C VS ω
- q_u VS ω
- ϕ VS q_u
- C VS q_u

De allí se hicieron los análisis que llevaron a las observaciones y respectivas conclusiones.

2.4. CORRELACIÓN DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA Y CBR TIPO I PARA ARENAS LIMOSAS (SM)

Esta tesis tuvo como objetivo principal la determinación de la relación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I para arenas limosas mediante la realización de los ensayos de corte directo y ensayo de CBR (california Bearing Ratio) tipo I.

El trabajo comenzó con la selección del material el cual se tomó del sector donde se encuentra el muro en tierra armada en la parte superior del Bloque D.

Una vez seleccionado el material se procedió a realizar los ensayos de clasificación para corroborar que efectivamente se tratara de arenas limosas (SM). Posteriormente se realizaron los ensayos de compactación para determinar la humedad óptima; conocida la humedad óptima se procedió a realizar 90 ensayos de corte directo y 90 ensayos de CBR tipo I, de los cuales la tercera parte se realizaron con muestras compactadas con una humedad de 8,5%, otra tercera parte con una humedad de 12,5% y una tercera parte adicional con una humedad de 16,5%.

Con los resultados de los ensayos de corte directo y CBR tipo I se buscaron tendencias entre las diferentes propiedades físicas de las arenas limosas estudiadas, para finalmente hacer las conclusiones y recomendaciones respectivas.

3. METODOLOGÍA

Para la realización del proyecto se llevaron a cabo los siguientes pasos:

3.1. Revisión bibliográfica: Se averiguó qué tipos de normas y ensayos; junto con trabajos hechos con anterioridad están ligados a esta investigación.

3.2. Muestreo: Se extrajo la cantidad suficiente de material para los ensayos de Proctor modificado, granulometría, límites, compresión inconfiada y corte directo.

3.3. Ensayos de laboratorio:

- Se llevaron a cabo 3 ensayos de granulometría, 3 de límites de Atterberg y 3 pruebas tipo Proctor modificado con el fin de clasificar el suelo y conocer su humedad óptima y su densidad seca máxima, para posteriormente promediarlas.
- Se llevaron a cabo 90 ensayos de corte directo y 90 ensayos de compresión simple distribuidos de la siguiente forma:
 - 30 ensayos con la humedad óptima.
 - 30 ensayos con 4 puntos porcentuales por debajo de la humedad óptima
 - 30 ensayos con 4 puntos porcentuales por encima de la humedad óptima.

3.4. Análisis de resultados: Se obtuvieron tendencias entre las diferentes propiedades físicas de los suelos obtenidas en los ensayos de corte directo y compresión inconfiada.

3.5. Redacción del informe: A partir del análisis de los resultados de los datos obtenidos; se realizó un informe detallado de los parámetros y comparaciones pertinentes que se buscaban en los objetivos del trabajo. Se establecieron además conclusiones a partir de los resultados obtenidos, buscando cumplir con los objetivos planteados en el anteproyecto.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA PROPÓSITOS DE INGENIERÍA

Debido a la gran variedad de suelos que existen, hoy en día se ha optado por unificar la clasificación de estos ya que; es necesario que incluya todos los depósitos naturales de este, excepto los más raros y aún así, debe ser razonable, sistemático y conciso; también se deberá analizar desde la perspectiva de quien lo está estudiando pues; no analizará de igual forma un Ingeniero, un Geólogo o un Agrónomo.

Sin embargo, las características y propiedades mecánicas de cada uno es lo que en general, se busca conocer desde cualquier rama que se le observe; es por esto que en la actualidad el sistema de clasificación que más se acomoda para estas situaciones es el **SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S. U. C. S.)**.

De la manera en que se distribuye el tamaño de las partículas del material, el suelo se clasifica en fino o granular dependiendo de lo retenido o lo que pasa a través del tamiz N° 200.⁵

⁵ WITHLOW ROY. Fundamentos de mecánica de suelos. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. Primera Edición en Español. 1994.

CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.

4.1.1. SUELOS GRUESOS

En este tipo de suelos , el material se clasifica como gravas (**G**) y arenas (**S**) teniendo en cuenta la cantidad de suelo que pasa o se retiene en el tamiz N°4;

Si es retenida más del 50% del material es grava (**G**), si pasa más del 50% del material es arena (**S**). A si mismo las gravas y arenas se dividen en cuatro grupos

(**GW, GP, GM, GC**) y (**SW, SP, SM, SC**), respectivamente. El sufijo **W** quiere decir bien gradado, el **P** significa mal gradado, el **M** limoso y el **C** arcilloso.

4.1.1.1. GRUPO SC (ARENAS ARCILLOSAS)

A este grupo pertenecen los tipos de suelos con un contenido de finos en peso de 12% o mayor, lo cual implica que sus características de resistencia esfuerzo vs deformación y su capacidad de drenaje libre en la fracción gruesa se alteren. los finos para este grupo deben ser de media a alta plasticidad.

Para la caracterización de este suelo, los límites de Atterberg deben situarlo sobre **la línea A** en la carta de plasticidad (**S. U. C. S.**) además; su índice de plasticidad debe ser mayor a 7.

4.1.1.2.SUELOS FINOS

En este tipo de material, el sistema unificado de clasificación de suelos los divide en tres grupos para los limos y Arcillas con límite líquido menor del 50%; en tres grupos para los limos y arcillas con límite líquido mayor del 50% y en un grupo para los suelos finos altamente orgánicos. Las convenciones usadas son:

(**M**) – para limos

(C) – para arcillas

(O) – para suelos altamente orgánicos.

Los suelos que se encuentran con el límite líquido menos al 50%, son considerados como suelos de baja compresibilidad; por esta razón a las convenciones nombradas anteriormente se les agrega el sufijo L, lo que significaría:

(ML) – Limos inorgánicos de baja compresibilidad

(CL) – Arcillas de baja compresibilidad.

(OL) – Limos orgánicos de baja compresibilidad.

De igual manera para los suelos que se encuentran en el grupo del límite líquido mayor del 50%, son considerados como suelos de alta compresibilidad; por lo cual a las convenciones utilizadas se les agrega el sufijo H, clasificando los suelos así:

(MH) – Limos orgánicos de alta compresibilidad.

(CH) – Arcillas inorgánicas de alta compresibilidad.

(OH) – Arcillas orgánicas de alta compresibilidad.⁶

⁶ CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.

4.2. PLASTICIDAD DE LOS SUELOS

Es una característica que permite a los suelos deformarse hasta cierto punto, sin resquebrajarse. A través de esta se mide el comportamiento de los suelos.

Si se desea determinar la plasticidad de un suelo se hace uso de los límites de Atterberg que son:

4.2.1. LÍMITE LÍQUIDO (LL): Es la cantidad de agua expresada en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, con el cual el suelo cambia del estado líquido al plástico.

4.2.2. LÍMITE PLÁSTICO (LP): Está definido como la humedad expresada en porcentaje, con respecto al peso seco de la muestra secada en el horno para el cual los suelos cohesivos pasan del estado semisólido a un estado plástico.

4.2.3. ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP): Es la diferencia entre el valor del límite líquido y el límite plástico e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico.

$$IP = LL - LP^7$$

⁷ CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.

4.3. COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

A diferencia de la consolidación que es, un proceso natural en el que, a medida que se va variando la carga natural de este, el mismo va eliminando el exceso de agua haciéndose más denso; es decir aumenta su peso específico y disminuye su volumen con el pasar del tiempo. La compactación consiste en aumentar la densidad del suelo por medio de procesos mecánicos es decir mejorar sus propiedades mecánicas dependiendo del uso que se le vaya a dar a este ya sea en terraplenes, presas, vías férreas o automovilísticas o para fundaciones de viviendas o edificios, entre otras.

Al aplicar cierta energía de compactación a un suelo, el peso volumétrico obtenido varía según el contenido de humedad, para esto se han estandarizado ensayos y procesos en el laboratorio con el fin de aplicarse en el campo.⁸

4.3.1. ESPECIFICACIONES Y CONTROL DE CALIDAD DE LA COMPACTACIÓN

- ❖ **Cantidad de energía de compactación:** Esto depende del tipo de equipo que se utilice, del número de veces que se aplica la carga del equipo y también del espesor de cada capa.

⁸ JUAREZ BADILLO EULALIO, RICO RODRIGUEZ ALFONSO. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo I. Editorial Limusa S. A. Grupo Noriega Editores. Tercera Edición. 1992.

- ❖ **Contenido de humedad:** Este factor es necesario modificarlo con el fin de alcanzar la humedad óptima de compactación dependiendo de las condiciones climáticas donde se trabaje, se hace necesario aumentar o disminuir ésta característica.
- ❖ **Tipo de suelo:** Dependiendo de la distribución granulométrica, forma de los granos, cantidad de finos, porosidad, cohesión, plasticidad, entre otras características físicas.⁹

4.4. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS

Podría llamarse la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos, como la máxima capacidad de resistencia que dicho suelo tiene para oponerse a ceder ante fuerzas de deslizamientos, rotación, avalanchas, fallas en excavaciones, etc. Es por esta razón que los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante se deben tener en cuenta para el diseño de muros de contención, cimentaciones y taludes, lo que nos lleva a tratar estas fuerzas con las características propias de un modelo de fricción.

Este modelo debe tener en cuenta factores tales como: la variación del volumen del suelo, la humedad, la velocidad de aplicación de la carga, el tipo de suelo, entre otras.¹⁰

⁹ WITHLOW ROY. Fundamentos de mecánica de suelos. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. Primera Edición en Español. 1994.

¹⁰ WITHLOW ROY. Fundamentos de mecánica de suelos. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. Primera Edición en Español. 1994.

4.4.1. DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE CORTE

Los parámetros de resistencia al corte que son la cohesión (C) y el ángulo de fricción interna (ϕ), se pueden hallar por medio del aparato de corte directo y compresión Triaxial.¹¹

4.4.2. PRUEBA DE CORTE DIRECTO

Por medio de esta prueba se puede medir directamente los esfuerzos cortante y normal en el plano de falla los cuales están representados por c y ϕ ; esta prueba mantiene uniforme el esfuerzo normal en el desarrollo de toda la prueba.

Este ensayo presenta una gran ventaja pues, se pueden analizar fácilmente suelos no cohesivos, también permite apreciar cambios de volumen de la muestra a medida que se aplica la carga, sin embargo hay quienes afirman que el esfuerzo cortante aplicado no es uniforme en el área de falla.

4.4.2.1. PROCEDIMIENTO

Para la ejecución de este ensayo se debe cortar una muestra de suelo en forma de prisma rectangular, según las dimensiones que correspondan a la máquina de ensayo, que por lo general son de 60 X 60 mm.

Se introduce la muestra en una caja metálica dividida en dos mitades similar a un emparedado que en sus extremos posee dos placas metálicas acanaladas y dos piedras porosas; en la parte superior de dicha caja se coloca una almohadilla de

¹¹ CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.

presión, para mantener la muestra asegurada se incorporan dos tornillos que mantienen fija la caja que sostiene la muestra.

La anterior caja mencionada a su vez, se introduce dentro de otra caja (la cual sirve de baño de agua dependiendo del ensayo).

La caja que contiene la muestra se mueve a través de rodillos.

Luego de retirar los tornillos que mantienen unida la muestra, se aplica una carga vertical previamente determinada usando un suspensor estático de pesas.

Se aplica un esfuerzo horizontal a una velocidad controlada, la magnitud de esta fuerza se mide por medio de un anillo de carga o transductor de carga.

Se repite este procedimiento para varios especímenes, variando la carga del suspensor con el fin de obtener más exactitud en los parámetros de resistencia del suelo.¹²

¹² WITHLOW ROY. Fundamentos de mecánica de suelos. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. Primera Edición en Español. 1994.

4.4.3. PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Este ensayo es el más comúnmente usado para todo tipo de suelos a excepción de arcillas muy sensitivas; se usa con el propósito de conocer las características esfuerzo vs deformación y resistencia de los suelos al esfuerzo cortante o envolvente de Mohr¹³.

4.4.3.1. PROCEDIMIENTO

Esta prueba se inicia envolviendo en una membrana impermeable, una muestra de suelo de forma cilíndrica; los extremos de ésta están en contacto con cabezas sólidas que poseen piedras porosas las cuales hacen las veces de filtros. Dichos filtros a su vez tienen conexión por medio de tubos delgados a válvulas que permiten controlar el flujo de entrada o salida de agua en la muestra, estos tubos están conectados a una bureta graduada para así conocer el volumen de entrada y salida de agua.

Para estar seguros de la hermeticidad del ensayo las piedras porosas se aseguran con bandas elásticas a la muestra, todo este conjunto sellado va contenido en una cámara que se conecta a un tanque de agua a presión. La parte superior de la cámara es sellada por una tapa que a su vez es traspasada por un vástago que pasa por un depósito de grasa a presión que permite que no haya fugas a lo largo del vástago y reduce la fricción de esta contra la tapa.

¹³ JUAREZ BADILLO EULALIO, RICO RODRIGUEZ ALFONSO. Fundamentos de la Mecánica de Suelos. Tomo I. Editorial Limusa S. A. Grupo Noriega Editores. Tercera Edición. 1992.

4.4.3.2. PRUEBA RÁPIDA O SIN DRENAJE

En esta prueba se aplica una presión de agua a la cámara que es transmitida hidrostáticamente a la muestra de ensayo actuando sobre la membrana y las cabezas. Las válvulas de drenaje son cerradas antes de aplicar la presión al agua, y permaneciendo cerradas se comienza a cargar axialmente la muestra desde el exterior de la cámara, hasta que el espécimen falle, el cual generalmente falla de manera inclinada.

4.4.3.3. PRUEBA RÁPIDA CONSOLIDADA

Este ensayo se realiza aplicando presión al agua de la cámara, posteriormente se abren las válvulas de drenaje de la muestra para permitir la consolidación del suelo, disipando la presión de los fluidos de los poros debido al incremento de presión externa. Una vez alcanzada totalmente la consolidación del suelo, se cierran las válvulas y se procede a aplicar una carga axial hasta que falle la probeta, a diferencia del proceso anterior en este ensayo se permite la salida de los fluidos a (agua y gases).

4.4.3.4. PRUEBA LENTA

El procedimiento de esta prueba es similar al de la prueba rápida, solo que al aplicar la carga axial no se cierran las válvulas y la carga se aplica incrementándola gradualmente en intervalos de tiempo muy largos.

4.4.3.5. PRUEBA GIGANTE

El objetivo principal de esta prueba es ensayar gravas, arenas o mezclas de ellos; las dimensiones de los especímenes es de 15 cm de diámetro y una relación de esbeltez de 2,5 a 3 (37,5 a 45 cm). El procedimiento de ensayo es similar a los ya mencionados¹⁴.

4.4.4. PRUEBA DE COMPRESIÓN AXIAL NO CONFINADA O COMPRESIÓN SIMPLE

El objetivo principal de este ensayo es el de determinar la resistencia al corte para suelos arcillosos amenos que; se justifique otro tipo de ensayo para hallar este parámetro del suelo¹⁵.

¹⁴ CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.

¹⁵ CRESPO V. CARLOS. Mecánica de suelos y Cimentaciones. Editorial Limusa S. A. Noriega Editores. Cuarta Edición. 1990.

4.4.4.1. PROCEDIMIENTO

Las muestras a ensayar se obtienen por medio de tubos de pared delgada de un diámetro aproximado de 3,5 cm y de largo 10 cm, que son hincados en el suelo a estudiar.

Las muestras son extraídas posteriormente de los tubos con la ayuda de una prensa manual o una prensa mecánica y luego preparadas para ser falladas.

Las probetas son cortadas con la ayuda de un cuchillo o espátula, de tal manera que sus extremos queden enrazados y cumpliendo una relación altura diámetro 2 a 3 como lo indica la norma.

A continuación la muestra es colocada en la máquina de compresión, la cual debe estar ajustada a una velocidad de 1mm/seg.

Se efectúa el ensayo aplicando carga axial a la probeta hasta que esta falle o hasta que el lector de carga empiece a marcar una disminución repentina. Se deben tomar lecturas de carga cada cierto intervalo de tiempo para así construir la gráfica carga (q_u) vs deformación (τ).

5. RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL:

Luego de haberse realizado los ensayos respectivos de granulometría al material recolectado, los resultados encontrados fueron los siguientes:

ARENA ARCILLOSA				
EVALUADO	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO
% GRAVAS	0,62	0,60	1,3	0,84
% ARENAS	55,31	51,94	51,38	52,87
% FINOS	44,07	47,56	47,33	46,32

TABLA 1. Resultados de granulometrías

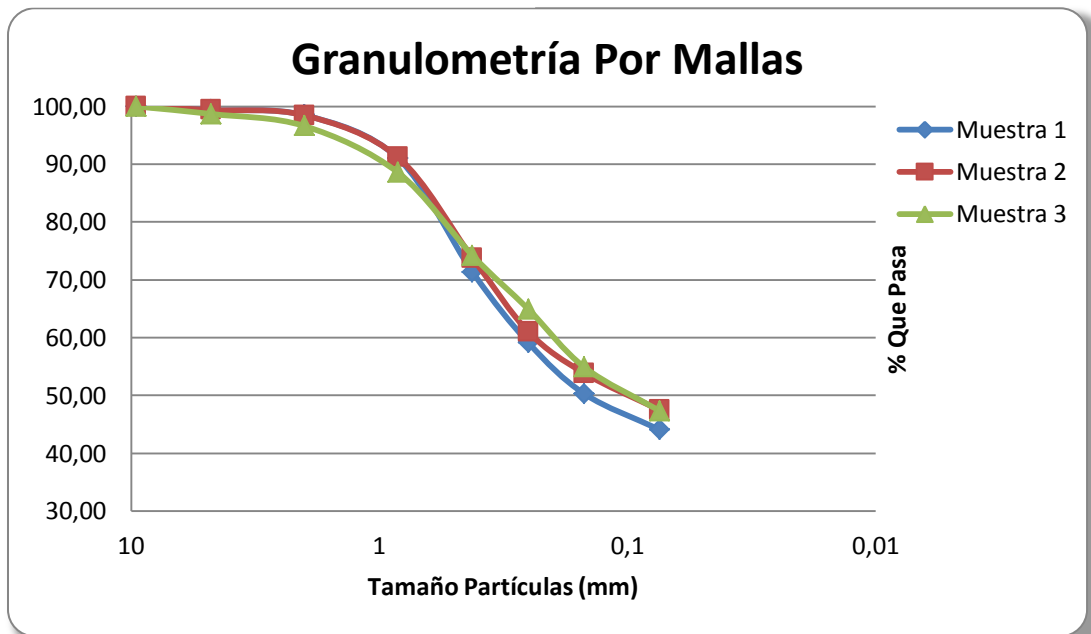


FIGURA 1. Granulometría por mallas

5.2. LÍMITES DE CONSISTENCIA

Después de realizar los ensayos de límites respectivos en el suelo hallado, los promedios encontrados fueron los siguientes:

ARENA ARCILLOSA				
EVALUADO	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO
LI	44,46	38,32	37,63	40,13
Lp	23,73	24,07	22,69	23,49
Ip	20,22	14,25	14,94	16,47

TABLA 2. Resultados de Límites de consistencia

A partir de los resultados obtenidos por la granulometría por mallas y los límites de Atterberg; se clasificó según el Sistema Unificado de clasificación de suelos como un suelo perteneciente al grupo tipo SC (arena arcillosa).

5.3. PROCTOR MODIFICADO

Después de realizar los ensayos correspondientes de compactación se encontró una humedad óptima promedio de 11,9% y una densidad seca promedio 1,83 (Ton/m³). Los cuales provienen de la tabla mostrada a continuación.

Ensayo N°	W (%)	γ_d(Ton/m³)
1	12,4	1,81
2	11,4	1,84
3	11,9	1,85
Promedio	11,9	1,83

TABLA 3. Resultados del Ensayo de Proctor modificado

5.4. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

5.4.1. HUMEDAD DE 8,0%

Se llevaron a cabo 30 ensayos de corte directo para una arena arcillosa, con una humedad de compactación de 8%, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

ENSAYO No	HUMEDAD (%)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)
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
Promedio	8,15	2,21	2,04	40,45	0,35
Desviación	0,30	0,07	0,07	7,04	0,32
Error (%)	3,72	3,29	3,35	17,40	91,12

TABLA 4. Ensayos de corte directo para una humedad de 8%

5.4.2. HUMEDAD DE 12%

Se llevaron a cabo 30 ensayos de corte directo para una arena arcillosa, con una humedad de compactación de 12%, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Ensayo #	HUMEDAD (%)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)
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
Promedio	12,02	2,13	1,90	43,77	0,28
Desviación	0,25	0,14	0,13	9,62	0,20
Error (%)	2,08	6,63	7,07	21,98	73,62

TABLA 5. Ensayos de corte directo para una humedad de 12%

5.4.3. HUMEDAD DE 16%

Se llevaron a cabo 30 ensayos de corte directo para una arena arcillosa, con una humedad de compactación de 16%, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Ensayo #	HUMEDAD (%)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)
1	16,46	2,25	1,93	21,9	0,14
2	16,45	2,23	1,93	18,7	0,16
3	16,41	2,23	1,91	13,6	0,20
4	16,36	2,24	1,94	17,4	0,15
5	16,16	2,24	1,92	23,4	0,12
6	15,7	2,25	1,93	27,0	0,11
7	16,24	2,22	1,89	18,2	0,22
8	16,49	2,14	1,83	18,1	0,32
9	16,45	2,21	1,89	19,4	0,20
10	16,42	2,21	1,9	18,6	0,16
11	16,44	2,24	1,96	20,2	0,11
12	16,23	2,31	1,99	25,2	0,07
13	16,02	2,25	1,92	26,6	0,34
14	16,45	2,2	1,94	22,8	0,00
15	15,96	2,24	1,95	29,4	0,27
16	15,94	2,21	1,93	26,0	0,26
17	15,73	2,17	1,89	32,7	0,14
18	15,51	2,2	1,9	27,6	0,21
19	15,78	2,27	2,01	31,5	0,23
20	15,8	2,14	1,85	30,2	0,27
21	15,89	2,28	1,98	29,1	0,19
22	16,11	2,19	1,91	20,7	0,18
23	16,11	2,31	1,98	27,3	0,10
24	16,18	2,23	1,97	25,5	0,00
25	16,04	2,22	1,89	34,3	0,06
26	15,89	2,26	1,94	34,3	0,01
27	15,71	2,24	1,92	24,9	0,18
28	15,59	2,27	1,96	20,4	0,22
29	15,61	2,19	1,89	24,9	0,24
30	16,39	2,27	1,96	33,9	0,01
Promedio	16,08	2,23	1,93	24,79	0,16
Desviación	0,31	0,04	0,04	5,60	0,09
Error (%)	1,93	1,84	2,09	22,58	56,25

TABLA 6. Ensayos de corte directo para una humedad de 16%

5.5. ENSAYOS DE COMPRESION INCONFINADA

5.5.1. HUMEDAD DE 8%

Se llevaron a cabo 30 ensayos de compresión inconfiada para una arena arcillosa, con una humedad de compactación de 8%, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Ensayo No	HUMEDAD (%)	q _u (Kg/cm ²)	γ (g/cm ³)
1	8,44	13,81	2,23
2	8,12	15,74	2,26
3	8,02	13,67	2,19
4	7,81	11,34	2,15
5	7,71	12,06	2,20
6	7,67	13,70	2,24
7	7,94	10,16	2,19
8	7,95	12,31	2,20
9	8,23	9,47	2,25
10	7,54	14,91	2,06
11	8,09	14,91	2,19
12	8,05	12,01	2,21
13	7,75	12,78	2,24
14	8,07	9,09	2,23
15	7,73	15,65	2,23
16	7,94	12,42	2,19
17	7,71	12,59	2,20
18	7,83	13,76	2,20
19	7,86	10,84	2,14
20	8,39	11,23	2,20
21	8,27	11,18	2,11
22	8,50	10,17	2,13
23	8,25	11,32	2,22
24	8,09	11,37	2,19
25	7,87	15,23	2,15
26	8,10	16,11	1,92
27	8,24	11,27	2,17
28	7,77	12,91	2,20
29	8,03	11,09	2,15
30	7,73	12,93	2,19
Promedio	7,99	12,53	2,18
Desviación Estándar	0,24	1,90	0,07
Error %	3,07	15,17	3,00

TABLA 7. Ensayos de compresión simple para una humedad de 8%

5.5.2. HUMEDAD DE 12%

Se llevaron a cabo 30 ensayos de compresión inconfiada para una arena arcillosa, con una humedad de compactación de 12%, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Ensayo No	HUMEDAD (%)	q _u (Kg/cm ²)	γ (g/cm ³)
1	11,92	6,45	2,19
2	11,60	6,45	2,22
3	11,85	4,89	2,17
4	11,96	4,52	2,17
5	12,03	5,33	2,20
6	11,89	6,41	2,21
7	11,91	5,33	2,17
8	12,09	5,53	2,17
9	11,64	5,88	2,20
10	12,05	4,94	2,24
11	11,52	5,05	2,17
12	12,38	3,82	2,16
13	11,83	6,80	2,21
14	11,62	5,41	2,20
15	12,36	3,45	2,14
16	12,06	7,72	2,21
17	12,37	3,37	2,14
18	11,63	5,40	2,15
19	11,52	5,20	2,13
20	11,61	6,11	2,19
21	12,39	5,75	2,14
22	11,54	5,44	2,18
23	11,81	5,60	2,18
24	12,25	3,41	2,17
25	12,11	5,11	2,15
26	12,28	4,74	2,12
27	11,68	6,50	2,19
28	11,94	5,40	2,15
29	11,91	4,72	2,18
30	12,41	3,50	2,11
Promedio	11,94	5,27	2,17
Desviación Estándar	0,29	1,06	0,03
Error %	2,43	20,11	1,44

TABLA 8. Ensayos de compresión simple para una humedad de 12%

5.5.3. HUMEDAD DE 16%

Se llevaron a cabo 30 ensayos de compresión inconfiada para una arena arcillosa, con una humedad de compactación de 16%, los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Ensayo No	ω (%)	q_u (Kg/cm ²)	γ (g/cm ³)
1	16,44	1,44	2,04
2	16,12	1,68	2,16
3	15,99	1,02	2,09
4	16,13	1,35	2,09
5	16,41	1,09	2,07
6	15,97	1,25	2,13
7	16,41	1,89	2,07
8	15,77	1,91	2,09
9	15,65	1,85	2,05
10	16,10	1,68	2,13
11	15,96	1,53	1,99
12	16,15	1,95	2,10
13	16,13	1,58	2,07
14	16,01	1,81	2,18
15	15,51	0,91	2,04
16	15,91	2,29	2,10
17	16,22	2,00	2,08
18	16,46	1,73	2,12
19	15,77	1,29	1,99
20	16,08	2,14	2,11
21	15,92	1,93	2,07
22	16,00	1,71	2,07
23	15,94	1,40	2,04
24	16,21	1,78	2,06
25	16,37	1,86	2,08
26	16,07	1,60	2,11
27	16,14	1,48	2,11
28	16,42	1,82	2,08
29	16,10	2,07	2,17
30	16,29	1,80	2,10
Promedio	16,09	1,66	2,09
Desviación	0,23	0,33	0,04
Error %	1,44	19,78	2,07

TABLA 9. Ensayos de compresión simple para una humedad de 16%

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los ensayos realizados de corte directo y compresión simple en el laboratorio sobre un tipo de suelo clasificado como arena arcillosa y analizando los resultados obtenidos, se establecieron tendencias.

Como parte fundamental de esta investigación se busca obtener la relación existente entre la resistencia a la compresión inconfiada y el corte directo del tipo de suelo mencionado con anterioridad.

Los parámetros que se pudieron relacionar fueron los siguientes:

- ϕ vs ω
- C vs ω
- q_u vs ω
- ϕ vs q_u
- C vs q_u

De todas las tendencias analizadas se tenía como objetivo principal calcular una relación directa entre el ángulo de fricción interna y la resistencia a la compresión inconfiada. Ya que; para las humedades y el tipo de suelo estudiados bastaría conocer la resistencia a la compresión inconfiada y mediante la relación hallada entre estos dos parámetros se podría estimar el ángulo de fricción interna sin necesidad de realizar ensayos de corte.

A continuación se presenta el análisis de cada una de dichas relaciones.

6.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE CORTE DIRECTO

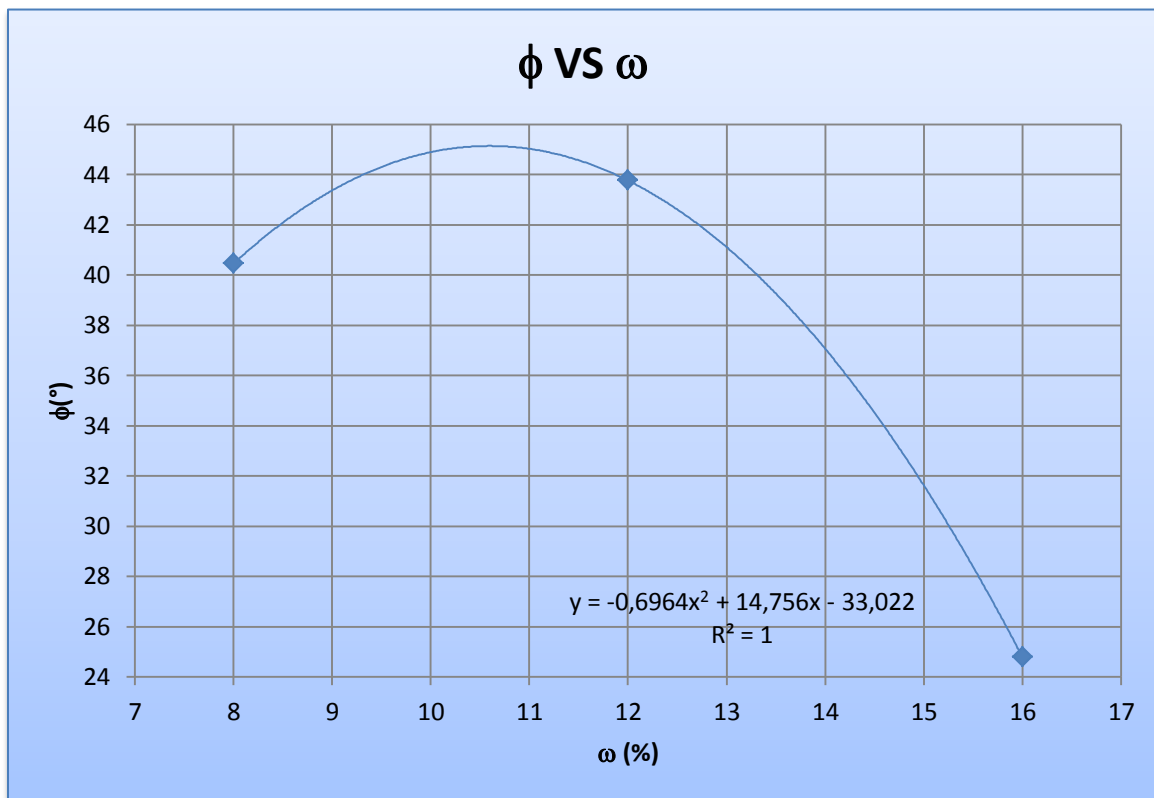


FIGURA 2. Relación entre ϕ y ω

En la gráfica se observa que, para una humedad del 10,7% se obtiene el valor máximo del ángulo de fricción interno (ϕ), el cual es de 45°.

También se observa que, al aumentar la humedad (ω), a partir de una humedad inicial de 8% el ángulo de fricción crece hasta un valor máximo y luego decrece al continuar aumentando esta por lo cual presenta el comportamiento de un polinomio de grado 2.

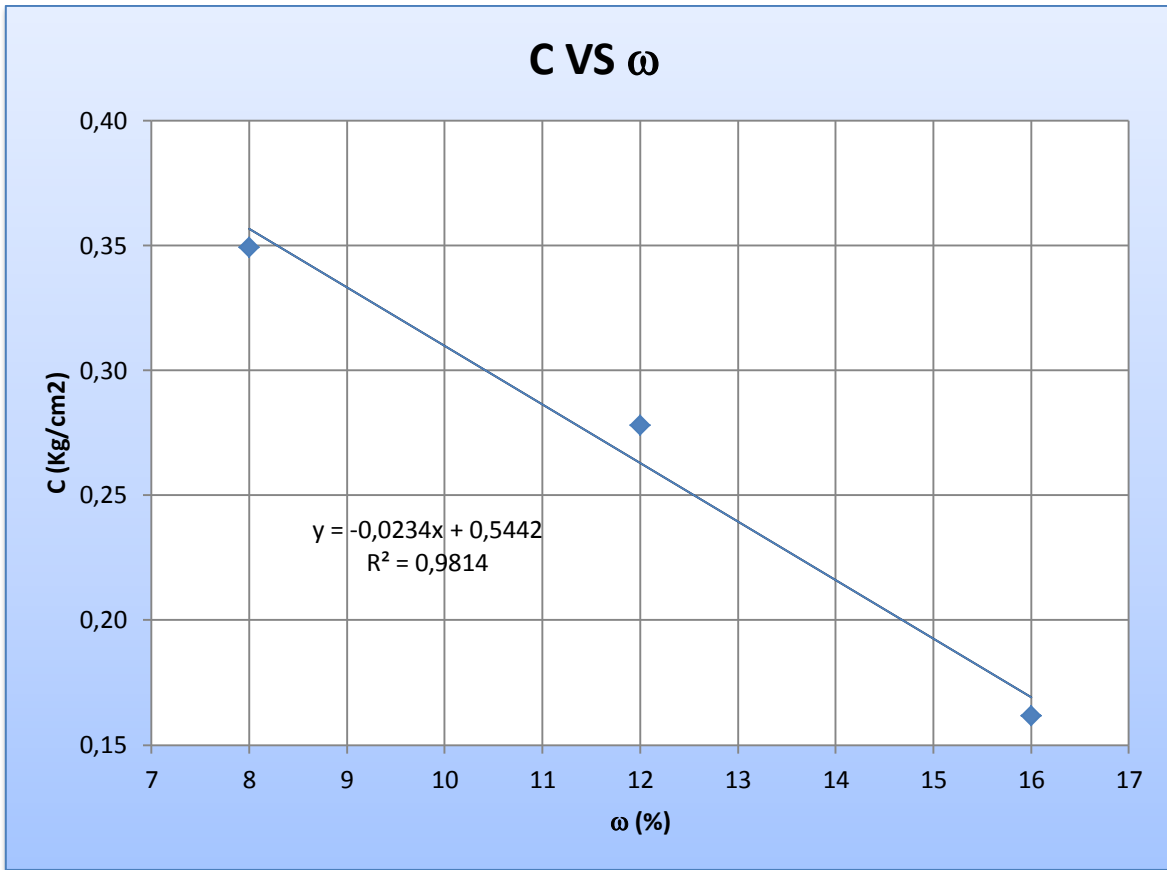


FIGURA 3. Relación entre C y ω

Al aumentar la humedad, la cohesión siempre disminuye es decir; la tendencia de la cohesión versus la humedad es lineal con pendiente negativa, como era de esperarse ya que, en la mecánica de suelos moderna se ha demostrado esta tendencia.

6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

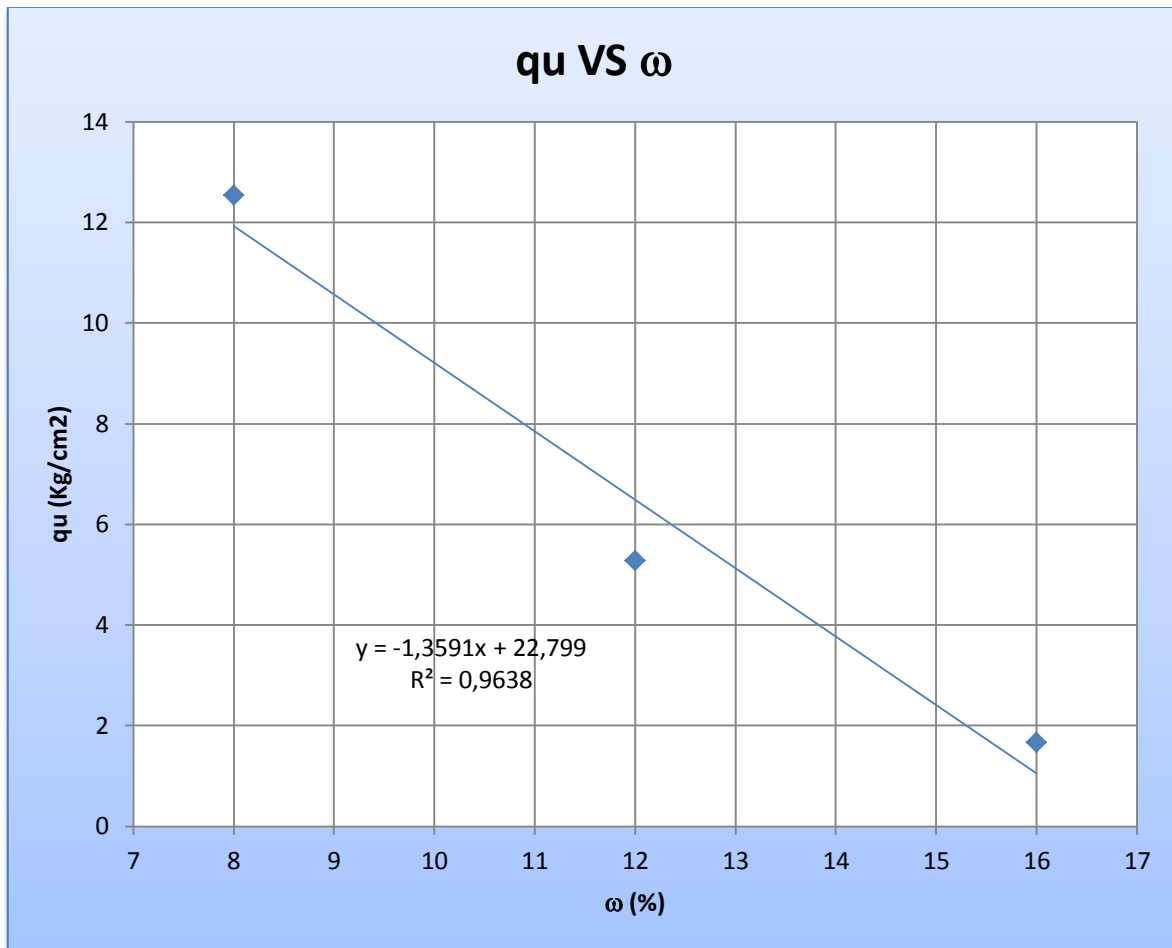


FIGURA 4. Relación entre q_u y ω

En la gráfica anterior observamos que existe una relación inversa entre la resistencia a la compresión inconfiada (q_u), y la humedad (ω).

Esta relación inversa es explicada porque los suelos de matriz arcillosa como es el caso nuestro, tienden a comportarse como un sólido a medida que la humedad disminuye.

6.3. RELACIÓN ENTRE EL CORTE DIRECTO Y LA COMPRESIÓN SIMPLE

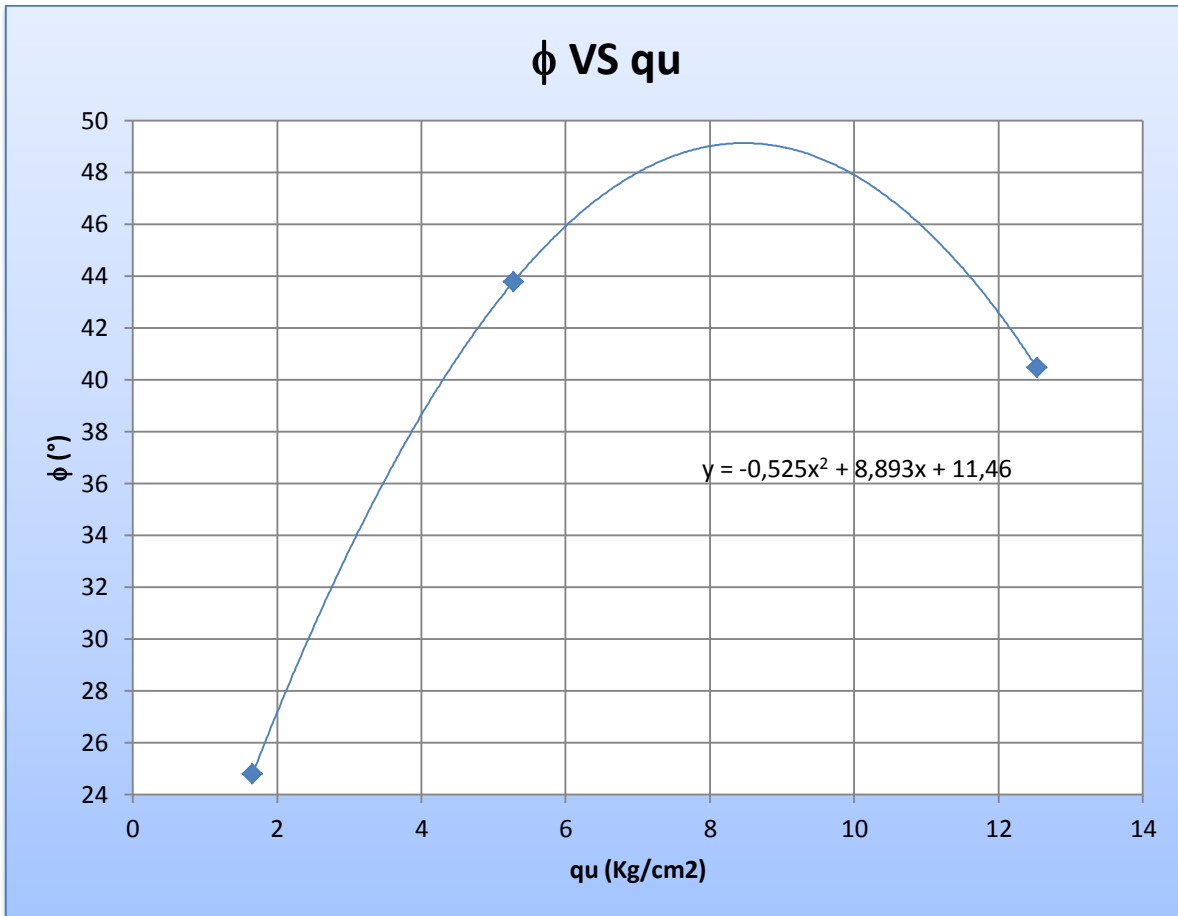


FIGURA 5. Relación entre ϕ y q_u

En la anterior gráfica se observa que la ecuación que mejor explica la variación del ángulo de fricción interno (ϕ) contra la resistencia a la compresión inconfiada, es un polinomio de grado 2.

De esta misma gráfica se observa que para una resistencia a la compresión inconfiada de $8,47 \text{ Kg/cm}^2$ el ángulo de fricción interno es de $49,12^\circ$ (el máximo).

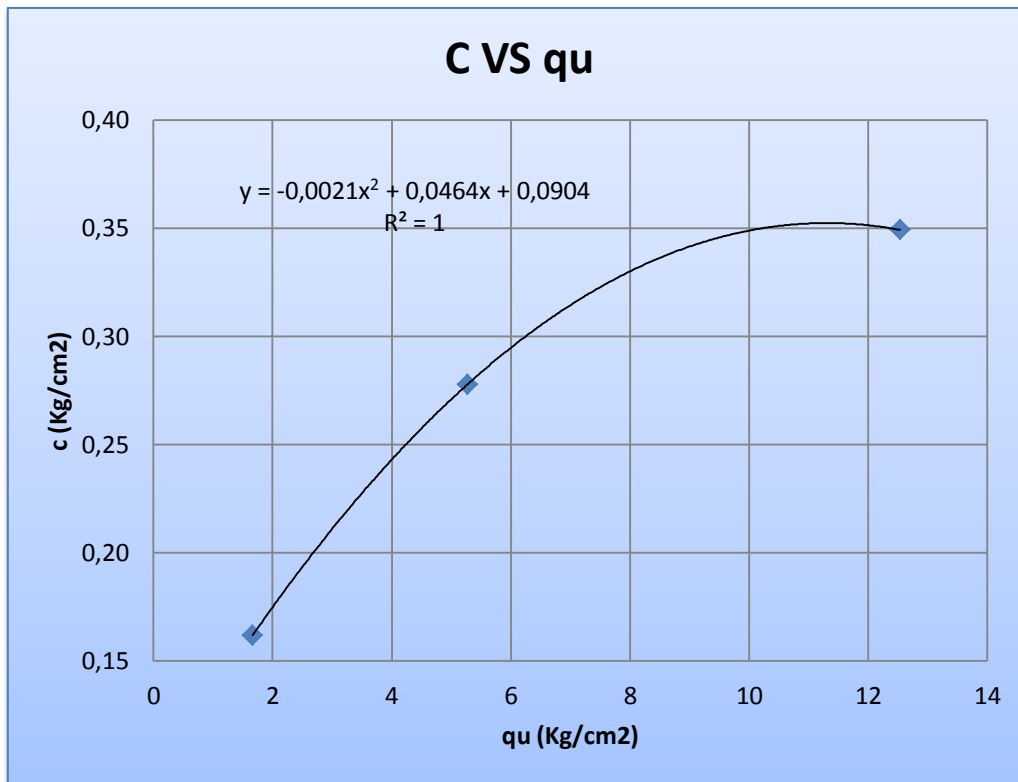


FIGURA 6. Relación entre C y qu

Para esta gráfica la línea de tendencia que mejor explica su comportamiento es un polinomio de grado 2.

Para los datos obtenidos la resistencia a la compresión inconfiada (q_u), siempre aumenta a medida que disminuye la humedad. Sin embargo, la figura 6 parece mostrar que para valores de la resistencia a la compresión inconfiada mayores a 12 Kg/cm², la cohesión se mantiene en un valor constante de 0.35 Kg/cm² lamentablemente para este suelo y las humedades estudiadas no se obtuvo ningún valor de q_u mayor. Debido a esto no se podría identificar el comportamiento de la curva, por ello se recomienda realizar este mismo estudio con humedad inferior al 8 % para así, registrar de una mejor forma esta tendencia; aclarando que para este tipo de material entre menos humedad tenga se dificulta la extracción de la probeta de su molde.

7. RECOMENDACIONES Y OBSERVACIONES

- En los ensayos de compresión simple, así como en los de corte directo se observó que a medida que se disminuía la humedad en las muestras, estas se hacían más difíciles de manejar, esto se debe a las características del material; por tratarse de una arena con un alto porcentaje de arcilla las muestras de humedad baja se vuelven rígidas y se desmoronan al tratar de sacarlas.
- Se debería aumentar la cantidad de moldes para los ensayos de corte directo y también para los de compresión inconfiada ya que; debido a la venta de servicios ofrecidos por la Universidad al público, se presentan situaciones en las cuales este tipo de elementos se vuelven insuficientes, lo cual atrasa el trabajo que se esté realizando.
- Debido a la dificultad de llevar el material a una humedad específica, se recomienda deshacer los grumos haciéndolo pasar por el tamiz #4 de tal forma, que este no quede con una gran cantidad estos, los cuales van a absorber en gran parte el agua agregada al material. Además se recomienda no trabajar con grandes cantidades de material; para así garantizar la homogeneidad de su humedad.
- Para posteriores investigaciones, se puede tener en cuenta utilizar moldes de otro tipo para la extracción de muestras en los ensayos de compresión

inconfiada ya que; en las muestras de baja humedad se dificulta la extracción de estas, para este fin se recomienda utilizar moldes de media caña, dado que en el proceso de extracción de la muestra no se modificaría la densidad del material al sacarlo del molde.

- Es recomendable llevar a cabo periódicamente ensayos de granulometría y límites para así tener un control del material con el que se trabaja.
- Es de gran importancia que en el momento de montar la muestra en la máquina de corte directo no se deje caer sobre la base, debido a que se puede fallar la muestra antes de realizar el ensayo y los resultados serán erróneos.
- Se recomienda a la facultad de Ingeniería Civil, tener en mejores condiciones las herramientas y elementos que se utilizan para investigación debido a que algunos de estos no estaban en buenas condiciones para su uso.
- Sería de gran importancia para los grupos de investigación que los horarios de trabajo se extendieran para que así puedan llevar a cabo con mayor celeridad los diferentes procesos.

- Para investigaciones que se lleven a cabo en el futuro, la Universidad debería implementar laboratorios dedicados específicamente para tal fin, dado que si se mezclan con los laboratorios de clases pueden interferir con el normal desarrollo de estas debido a que en muchos ensayos se utilizan herramientas que emiten gran cantidad de ruido.
- A pesar que esta institución cuenta con máquinas y equipos nuevos, no se les permite a los estudiantes trabajar en estos; sería recomendable que los alumnos tengan acceso a dichos equipos con una capacitación previa al uso del mismo, para que así puedan realizar sus distintos proyectos de investigación en un menor tiempo.
- Con el fin de no alterar las características del suelo en este caso arena arcillosa se recomienda no utilizar más de tres veces el mismo material.

8. CONCLUSIONES

- Se logró ubicar una fuente de material idóneo para la investigación que consistía en una arena arcillosa; después de realizar varios sondeos en diferentes puntos de la Universidad Pontificia Bolivariana.
- Para la arena arcillosa estudiada se obtuvo mediante ensayos de compactación en el laboratorio tipo Proctor Modificado, una humedad óptima de 12 % y una densidad seca máxima de 1.83 g/cm³.
- Por medio de los ensayos de corte directo se determinó que el ángulo de fricción interna (ϕ), en teoría debería alcanzar su valor máximo en la humedad óptima de compactación que era 12% sin embargo; analizando los resultados obtenidos, el valor máximo de dicho ángulo fue de 45° para una humedad (ω) de 10,7%, esto podría explicarse en el hecho en que el ensayo Proctor modificado solamente se busca obtener una densidad alta, mientras que en el ensayo de corte directo se obtienen los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo, es decir que con una humedad del 10,7% se obtiene para el suelo estudiado una mayor fricción entre las partículas que lo conforman independiente de la densidad lograda con esta humedad.

- Para el suelo estudiado, tipo arena arcillosa (**SC**), se encontró una relación entre el ángulo de fricción interno (ϕ) y la resistencia a la compresión inconfiada (q_u); que obedece al comportamiento de un polinomio de grado 2, el cual está dado por la siguiente ecuación:

$$\phi = -0,525q_u^2 + 8,893q_u + 11,46$$

Al conocer el valor de (q_u), por medio del ensayo de compresión inconfiada y reemplazando este valor en la ecuación anterior, se obtiene un valor muy cercano del ángulo de fricción interno (ϕ) de dicho suelo, vale la pena aclarar que esto es válido solamente para el suelo estudiado y para estos tres puntos de humedad que se trabajaron.

- Debido a que la ecuación hallada no nos dice con exactitud el valor del ángulo (ϕ), partiendo del valor de q_u ; se debería complementar esta investigación estudiando los mismos parámetros de resistencia con humedades de 10% y 14%, para de esta forma volver a calcular la ecuación de (ϕ) vs q_u pero, esta vez con cinco puntos.
- Una tendencia que se determinó en las arenas arcillosas es el aumento de la resistencia a la compresión (q_u), a medida que se disminuye la humedad; cuyos valores fueron:
 - Para una humedad de 16% - 1,66 Kg/cm²
 - Para una humedad de 12% - 5,27 Kg/cm²
 - Para una humedad de 8% - 12,53 Kg/cm²

Esto se explica a que la matriz arcillosa se rigidiza con la pérdida de humedad.

En contraste a esta tendencia, se encontró que las muestras de mayor resistencia fallan en menor tiempo mientras que; las de menor resistencia tardaron mucho más tiempo en fallar.

- Para las arenas arcillosas, la cohesión es un parámetro que arroja valores muy diferentes incluso trabajando con la misma humedad de compactación de allí que, los errores en la dispersión de datos son altos. Los autores no se atreven a dar una explicación lógica para este comportamiento, si embargo el concepto de este parámetro ha cambiado mucho en los últimos años, llegando incluso algunos investigadores a decir que dicho parámetro no existe y que si se pudieran realizar ensayos de corte con valores muy bajos de la presión normal (σ) esta teoría se podría comprobar.
- Para establecer las tendencias existentes entre las propiedades físicas y mecánicas del suelo estudiado tipo arena arcillosa; se realizaron 90 ensayos de corte directo y 90 ensayos de compresión inconfiada, de los cuales 30 ensayos se trabajaron con una humedad del 12% (óptima), 30 ensayos con humedad del 8% y 30 ensayos con humedad del 16%; respectivamente en ensayos de corte directo y de compresión inconfiada.

- Debido a la gran dificultad para extraer las muestras de compresión inconfiada cuando poseen una humedad baja; es necesario usar moldes adecuados o desarmables, para la correcta extracción de estas minimizando los errores.
- Desafortunadamente no se cumplió el objetivo de optimizar el proceso en la toma de muestras debido a la falta de presupuesto y a una extensión del tiempo de trabajo estipulado en el cronograma; por lo cual la toma de muestras se realizó de la manera convencional. Sin embargo es conveniente que para trabajos futuros similares al contenido en este documento, se adquieran tubos muestreadores desarmables, ya que para suelos arenosos con baja humedad las muestras se desmoronan al desencofrarlas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FLOREZ JAMSA, Sara, y VILLAMIZAR MENDEZ, Yelissa. Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas: Universidad Pontificia Bolivariana. 2007.
- 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.
- 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.
- WITHLOW ROY. Fundamentos de mecánica de suelos. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. México. Primera Edición en Español. 1994.
- 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.

ANEXO A

REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO B

ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA

ANEXO C

ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG

ANEXO D

ENSAYOS DE PROCTOR

MODIFICADO

ANEXO E

ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

ANEXO F

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE

ANEXO G

NORMAS DE INVIAS I. N. V. E-123-07.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

ANEXO H

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 125 – 07

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 126 – 07

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG

ANEXO I

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 142 – 07

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

ANEXO J

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 154 – 07

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

ANEXO K

NORMAS DE INVIAS I.N.V. E – 152 – 07

ENSAYO DE COMPRESIÓN

INCONFINADA

ANEXO 1

METODOLOGÍA