

COMPARACIÓN DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO
CORTANTE EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL PARA
ARENAS LIMOSAS

BETSY CAROLINA RINCÓN GOMEZ
LAURA JOHANNA SUÁREZ PINZÓN

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012

COMPARACIÓN DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO
CORTANTE EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL PARA
ARENAS LIMOSAS

BETSY CAROLINA RINCÓN GOMEZ
LAURA JOHANNA SUÁREZ PINZÓN

Proyecto de grado para optar al título profesional en ingeniería civil

DIRECTOR DE TESIS
Msc. GERARDO BAUTISTA GARCIA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL
JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bucaramanga, Julio de 2012

DEDICATORIA

Queremos dedicar el fruto de este trabajo a nuestros padres, hermanos y familiares que gracias a su entrega, empeño y confianza depositada, nos mantuvieron firmes por el camino que hoy nos conduce a la realización de uno de nuestros sueños y a escalar un peldaño más hacia una vida llena de éxitos profesionales, laborales y personales.

Betsy Carolina Rincón Gómez

Y

Laura Johanna Suárez Pinzón

AGRADECIMIENTOS

Queremos manifestar nuestro agradecimiento a LUZ MARINA TORRADO y GERARDO BAUTISTA GARCIA, quienes más que docentes han sido nuestros amigos y guías constantes. Además a todos los docentes que nos instruyeron a lo largo de nuestra carrera, porque gracias a los conocimientos que nos transmitieron obtuvimos las herramientas necesarias para ejecutar este trabajo.

Agradecemos a la Universidad Pontificia Bolivariana por el apoyo manifestado para la ejecución de este proyecto, y que se ve representado en la planta física, personal calificada y todas las herramientas que nos facilitaron a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES	16
2. JUSTIFICACIÓN	17
2.1. CUADRO DE INVOLUCRADOS.....	18
3. OBJETIVOS	19
3.1. OBJETIVOS GENERALES.....	19
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. UBICACIÓN DEL PROYECTO	20
5. ALCANCE.....	21
6. MARCO TEORICO	22
6.1. ARENAS LIMOSAS	22
6.2. LIMITES DE ATTERBERG.....	23
6.3. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE	24
6.4. TRANSMISIÓN DE FUERZAS A TRAVÉS DEL SUELO	24
6.5. COHESIÓN	24
6.6. CONDICIONES DRENADAS Y NO DRENADAS DE UN ENSAYO DE SUELOS 25	
6.7. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	26
6.7.1. PRUEBA TRIAXIAL	26
6.8. PRUEBA DE CORTE DIRECTO	27
6.9. ANALISIS DEL LIMITE PROBLEMA DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS COHESIVOS	28
6.10. ECUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE MEYERHOF	29
6.11. CÍRCULO DE MOHR-COULOMB	30
8. RESULTADOS OBTENIDOS.....	33
8.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	33
8.2. DATOS PROCTOR MODIFICADO	33
8.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	34
8.4. RESULTADOS ENSAYOS TRIAXIALES.....	35

8.5.	ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS DATOS OBTENIDOS	36
8.5.1.	ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARAMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO.....	36
	Figura 11. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO	36
	EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO	36
8.5.2.	ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO	37
	Figura 12. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO.....	37
	EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO	37
8.5.3.	ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.	38
	Figura 13. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO	38
8.5.4.	ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARAMETRO DE ANGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE COMPRESION TRIAXIAL	39
8.6.	RESULTADOS OBTENIDOS DE CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO.....	40
9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
9.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	41
9.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL ..	41
9.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS CAPACIDAD PORTANTE.....	42
9.3.1.	ZAPATAS CUADRADAS	42
9.3.2.	ZAPATAS RECTANGULARES (L/B = 1,5).....	43
9.3.3.	ZAPATAS RECTANGULARES (L/B = 2)	44
10.	POSIBLES FUENTES DE ERROR.....	45
11.	REGISTRO FOTOGRAFICO	46
12.	CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS TRAZADOS	47
13.	RECOMENDACIONES.....	48
14.	CONCLUSIONES.....	49
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	51
16.	WEB-GRAFIA	51

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. FOTOGRAFÍA ÁREA DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2. FOTOGRAFÍA DE ARENA LIMOSA UBICADA EN LA</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. CARTA DE PLASTICIDAD.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4. CAMARA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL</i>	<i>26</i>
<i>Figura 5. CAJA DE CORTE DIRECTO DIGITAL</i>	<i>27</i>
<i>Figura 6. MÁQUINA DIGITAL DE CORTE</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7. DIAGRAMA DE FUERZAS QUE SE PRESENTAN.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 8. DIAGRAMA DE MECANISMO DE FALLA PROPUESTOS POR MEYERHOF.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 9. DIAGRAMA DE CIRCULO DE MOHR</i>	<i>30</i>
<i>Figura 10. DIAGRAMA DE METODOLOGÍA</i>	<i>31</i>
<i>Figura 11. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO</i>	<i>37</i>
<i>Figura 13. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO EN ...</i>	<i>39</i>

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. INVESTIGACIONES REALIZADAS ANTERIORMENTE.....	16
TABLA 2. CUADRO DE INVOLUCRADOS.....	18
TABLA 3. CUADRO COMPARATIVO DE CONDICIONES DRENADAS Y NO DRENADAS DE UN ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS.....	25
TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYOS GRANUMETRICOS Y LIMITES DE ATTERBERG	33
TABLA 5. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO.....	33
TABLA 6. RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....	34
TABLA 7. RESULTADOS DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYOS TRIAXIALES.....	35
Tabla 8. CAPACIDAD DE SOPORTE.....	40
Tabla 9. TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	47

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN.....</i>	<i>53</i>
<i>Anexo B. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN.....</i>	<i>60</i>
<i>Anexo C. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO.....</i>	<i>64</i>
<i>Anexo D. ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.....</i>	<i>185</i>
<i>Anexo E. CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE.....</i>	<i>336</i>
<i>Anexo F. NORMAS INVIAS.....</i>	<i>340</i>

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: COMPARACIÓN DE PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL PARA ARENAS LIMOSAS.
AUTOR: BETSY CAROLINA RINCÓN GOMEZ
LAURA JOHANNA SUÁREZ PINZÓN
FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL
DIRECTOR: Msc. GERARDO BAUTISTA GARCIA

RESUMEN

El presente trabajo se basa en la determinación de la cohesión y el ángulo de fricción en arenas limosas (SM) en el aparato triaxial y corte directo, con el fin de establecer una relación entre ellos. En el ámbito ingenieril es más factible la utilización del corte directo por bajos costos y subestimación del suelo. Sin embargo, es importante considerar el uso del ensayo triaxial puesto que simula las condiciones in situ de dicho material granular. Para la ejecución de esta investigación se realizó revisiones bibliográficas; gracias a la recopilación de estos datos y las consultas realizadas se obtuvo conceptos y herramientas necesarias para clasificar el suelo e identificar el material adecuado para cursar la investigación. Después de haber identificado el lugar y las características del suelo se procedió a realizar ensayos de compactación tipo proctor modificado en el aparato mecánico de compactación, que arrojaron los datos para calcular el peso específico seco máximo y la humedad óptima. Una vez realizados los ensayos de corte directo y triaxial sobre muestras compactadas con la humedad óptima, se calculó la presión máxima admisible por el suelo sin alcanzar la falla mediante la teoría de Meyerhof. Con los datos obtenidos en cada uno de los ensayos y se determinó un factor de correlación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, encontrando que el ensayo de corte directo subestima la capacidad portante del suelo dando lugar al diseño de cimentaciones de mayor tamaño, lo que produce aumento en los costos y en el impacto ambiental.

En esta investigación se determinó la cohesión y el ángulo de fricción tanto en el aparato triaxial como en el de corte directo y se estableció una relación entre ellos. A parte de encontrar nuevos factores y relaciones entre parámetros físicos y capacidad de soporte, se abren puertas a nuevas investigaciones relacionadas con análisis de costos e impacto ambiental, que puedan comparar con más detalle la factibilidad y economía en la realización de estos ensayos.

PALABRAS CLAVES: ángulo de fricción, arenas limosas, capacidad portante, cohesión, corte directo, compresión triaxial.

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: COMPARISON OF RESISTANCE PARAMETERS IN SHEAR CUTTING APPARATUS FOR DIRECT AND TRIAXIAL SILTY SANDS.
AUTHOR: BETSY CAROLINA RINCÓN GOMEZ
LAURA JOHANNA SUÁREZ PINZÓN
FACULTY: CIVIL ENGINEERING
DIRECTOR: Msc. GERARDO BAUTISTA GARCIA

The current report is intended to cover the determination of internal friction angle or more correctly the “angle of shear resistance” of silty sands (SM) and the apparent cohesion value using Triaxial test equipment and Direct shear apparatus and establish a relationship between the strength parameters. For practical purposes is more feasible to carry out direct shear tests due to low costs and simplicity of the procedure obtaining a reliable criterion of failure to produce a graph which It represents is known as the “failure envelope” however, Triaxial test might be considered to represent more closely the in situ conditions.

As part of this scientific research a wide bibliography and several papers were reviewed as well a large amount of date was compiled. To develop this research was necessary the acquirement of soils mechanics knowledge and several other fundamentals of engineering to perform soil characterization establish a site investigation and organize the work load.

A brief description of the laboratory tests performed and determination of values to follow. Modified proctor test, dry unit weight, Specific gravity, optimum moisture content, direct shear test and triaxial tests.

Once the direct shear and Triaxial tests on remolded samples at optimum moisture content were completed, the Meyerhof theory was applied to calculate the maximum bearing capacity of the soil before the failure. With the collected data a correlation factor between shear strength parameters was determined and a general conclusion base on this research was provided. “Direct Shear Test provides values that underestimate the ultimate bearing capacity of the soil therefore; larger foundations will be design increasing costs and environmental impact”.

KEY WORD: angle of shear resistance, direct shear, cohesion, silty sands, triaxial tests.

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta la forma de vida de la sociedad actual, la industrialización, el auge de la globalización y el desarrollo que ha dado lugar a mega construcciones que pretenden cada vez mayor comodidad, seguridad y menor impacto ambiental, debe entenderse la importancia del factor suelo en el medio de la construcción y de aquí surge la necesidad de analizar las propiedades mecánicas de este recurso con el fin de obtener en los ensayos, resultados más cercanos a la realidad que permitan desarrollar mejores proyectos que aumenten la calidad de vida de las personas.

Esta investigación pretende establecer una relación entre la cohesión y el ángulo de fricción obtenidos tanto en el aparato de corte directo como en el triaxial para arenas limosas, encontradas en la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA (UPB) SECCIONAL BUCARAMANGA de manera que se pueda analizar la relevancia de estos factores a la hora de materializar las ideas y relacionar la producción, con los costos sin dejar de crear estructuras seguras y confortables. Para lograr este fin, se van a realizar una serie de ensayos en el laboratorio de suelos de la UPB, teniendo en cuenta las normas establecidas y especificaciones existentes para su ejecución. Todo esto, con el fin de analizar los resultados de los mismos y llegar a entender en tema de costos, seguridad e impacto ambiental, la importancia de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo como propiedad mecánica fundamental para cualquier diseño estructural de cimiento de obras civiles .

1. ANTECEDENTES

La información disponible se enuncia en la tabla 1, allí se muestran los resultados relevantes y que sirvieron como marco referencial para el presente trabajo.

ANTECEDENTES			
TRABAJOS DE GRADO	PARTICIPANTES	AÑO	RESULTADOS
Correlación entre el ángulo de fricción interna y el CBR tipo I para arenas limosas (SM)	Paul Alvarado Iván Muñoz	2010	Con 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 recomendaciones respectivas.
Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y compresión simple para arenas limosas.	Sergio Quesada Luis Carlos Duran	2010	Los ensayos de corte directo y compresión simple permitieron la comparación de parámetros de resistencia al esfuerzo cortante con el fin de analizar la relación entre ellos en arenas limosas.
Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas	Alexis Villamizar José Jaime Díaz	2010	Se realizó un análisis estadístico para la cohesión, el ángulo de fricción, la densidad húmeda y la densidad seca para cada humedad de compactación de manera tal que en análisis se pudo determinar la incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas.
Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcilla de baja compresibilidad	Ricardo Cepeda Juan D. Trujillo	2007	Después de haber hecho los respectivos análisis estadísticos para la cohesión, el ángulo de fricción, la densidad húmeda y la densidad seca se pudo establecer la incidencia de la compactación en la resistencia al corte de una arcilla de baja compresibilidad.

TABLA 1. INVESTIGACIONES REALIZADAS ANTERIORMENTE

Fuente: (Tomado de la Biblioteca JUAN PABLO II, UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIA SECCIONAL BUCARAMANGA)

2. JUSTIFICACIÓN

El ángulo de fricción y la cohesión de un suelo son determinantes a la hora de calcular la capacidad portante de los mismos. Mediante los dos ensayos se obtienen resultados que difieren el uno del otro, puesto que la prueba de corte mientras que el ensayo triaxial permite simular las condiciones a las que se encuentra la muestra sometida en campo, por tanto a la hora de calcular la capacidad de soporte, los valores obtenidos mediante el ensayo de compresión serán menos conservadores y el diseño de la cimentación se hará más económica sin dejar de ser segura.

Este trabajo es importante, porque evidencia la relevancia de incluir en los estudios geotécnicos el ensayo de corte triaxial, el cual presenta una visión más objetiva de la muestra a estudiar, porque considera todas las fuerzas involucradas a las cuales está sometida el terreno, generando así, predicciones más acertadas a la hora de diseñar los elementos estructurales de las zapatas. Esto no quiere decir que se deba descartar la técnica clásica de corte directo, sino por el contrario acoplar ambas y encontrar un eje central que las relacione mejorando sustancialmente la calidad de los diseños y la visión presupuestal. En consecuencia, se produce una actualización en las técnicas actuales identificando las falencias y posibles mejoras, además de dar lugar a la revisión de conceptos, leyes y teorías creadas épocas atrás, permitiendo simular que tan representativo y trascendental son estos ensayos, generando beneficios económicos, sociales, ambientales y estructurales.

2.1. CUADRO DE INVOLUCRADOS

CUADRO DE INVOLUCRADOS			
GRUPO	INTERESES	PROBLEMATICAS PERCIBIDOS	RECURSOS Y MANDATOS
Propietario ó dueño del proyecto	<p>Reducir inversión en el diseño de la cimentación del proyecto a ejecutar.</p> <p>Incrementar utilidades en la ejecución, elaboración y puesta en marcha del proyecto de construcción.</p>	Cimentaciones sobre diseñadas.	NTC 2010
Ingenieros civiles-Geotecnias	Reducir impacto ambiental y optimización de materiales como el acero de refuerzo que se emplean en la cimentación de un proyecto de construcción.	Diseño de cimentaciones muy grandes y con exceso de acero de refuerzo por requerimientos legales.	
Población	Reducir el impacto que tiene la construcción en el medio que viven para garantizar que la futuras generaciones tengan un habitad optima y con menos contaminación.	Afectación al entorno en el que vive el ser humano donde la necesidad de cumplir los parámetros legales lleva a consumir más recursos de los que realmente se requieren en las cimentaciones de los proyectos de construcción.	
Ambientalistas	Defensa del Medio Ambiente	Mayor gasto de recursos generado por el sobre-dimensionamiento de zapatas.	

TABLA 2. CUADRO DE INVOLUCRADOS.

Fuentes: (Propia)

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GENERALES

Determinar la cohesión y el ángulo de fricción tanto en el aparato triaxial como en el de corte directo para establecer una relación entre ellos de arenas limosas (SM).

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la ubicación del suelo con el cual se va a realizar la investigación.
- Extraer la cantidad suficiente de material para poder llevar a cabo los ensayos pertinentes.
- Clasificar el suelo con ayuda de los ensayos de laboratorio como: granulometría y límites de Atterberg.
- Realizar ensayos de compactación tipo Proctor modificado para determinar la humedad óptima y el peso específico seco máximo.
- Desarrollar los ensayos de corte Directo y Triaxial sobre muestras compactadas con la humedad óptima.
- Analizar similitudes y diferencias entre resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.
- Calcular la capacidad portante del suelo estudiado para diferentes dimensiones de zapatas, utilizando los parámetros de resistencia obtenidos mediante las pruebas de laboratorio.

4. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El desarrollo de el objeto de este trabajo de grado fue ejecutado en la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA, que se encuentra localizado en Autopista Piedecuesta Kilometro 7 Tel: +(577) 679 6220. Cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: 6° 14' 32.81" N, 75° 35' 23.39" O



Figura 1. FOTOGRAFÍA ÁREA DE LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA¹

¹ Tomada de GOOGLE EARTH

5. ALCANCE

Este proyecto pretende “Comparar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante en el aparato de corte directo y triaxial para arenas limosas”, se llevó a cabo un proceso investigativo mediante prácticas de laboratorio en la UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA durante el presente año. Los datos obtenidos por los ensayos de clasificación granulométrica límites de Atterberg y Proctor modificado; fueron utilizados para la ejecución de las pruebas de corte directo y el triaxial.

Con los resultados obtenidos se verificaron que las características del suelo fueran las esperadas; donde se elaboró su respectivo análisis. Teniendo establecido y clasificado el material, se calculó la cohesión y el ángulo de fricción en el aparato de corte directo y triaxial, de manera que se estableció un factor de relación existente entre cada uno de los ensayos planteados.

Este proyecto permitió calcular un factor cuantitativo de las semejanzas que existen entre el corte directo y triaxial. Teniendo en cuenta las diferencias operacionales existentes entre cada tipo de ensayo, se revisó y justificó la utilidad de esa información en el medio ingenieril. Con referencia a lo anteriormente planteado, se considera que se cumplieron cada uno de los objetivos específicos planteados al inicio del trabajo de grado haciendo posible concluir la importancia de este tipo de estudio de suelo con las especificaciones técnicas y legales que se exigen en nuestro país

6. MARCO TEORICO

6.1. ARENAS LIMOSAS

Se refiere a un tipo de asuelo arenoso con una representativa cantidad de finos no plásticos. Donde el contenido de material fino afecta directamente las propiedades mecánicas del suelo tales como la resistencia y la relación entre el esfuerzo aplicado y al deformación del mismo, además de influir en la capacidad de drenaje de la fracción gruesa. Por medio de ensayos de laboratorio se ha podido observar que esto ocurre debido a que para este caso los porcentajes de finos son superiores a 12% en peso de la muestra analizada, por lo que esa cantidad se toma como frontera inferior de dicho contenido de partículas finas. Otra propiedad relevante es la plasticidad de los finos; que para este tipo de suelo puede considerarse en un intervalo entre “nula” y “media”; lo que indica que es requisito que los limites de plasticidad ubique a la fracción que pasa por la malla numero 40 debajo de la línea A.²

A continuación en la **figura 2**, se observa el color, la textura y las condiciones visuales reales del material que fue extraído para la ejecución de esta tesis.



Figura 2. FOTOGRAFÍA DE ARENA LIMOSA UBICADA EN LA UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

Fuente: (Propia)

² Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo I editorial Limusa. 1985

6.2. LÍMITES DE ATTERBERG

Esta es una característica que se encuentra sujeta a la cantidad de material fino que presenta en su estado natural el suelo, dado que con base en ese parámetro se determina la plasticidad que tiene el terreno in situ. Por otra parte basado en las investigaciones realizadas por el sueco ATTERBERG, se generó una metodología que permite establecer los límites que tienen las partículas de suelo como los son: índice de plasticidad (LP), índice de retracción (LR) e índice de liquides (LL).³

Es relevante mencionar que para el cálculo de los índices de plasticidad (LP) y liquides (LL), se requiere de la carta de plasticidad que se encuentra en la **Figura3**. Con respecto a los antes mencionados se sabe que dicha carta de plasticidad facilita identificar, clasificar y establecer la simbología que tiene cada suelo en particular ; de tal forma se ha unificado y generalizado en el ámbito de la geotecnia para clasificar los suelos.

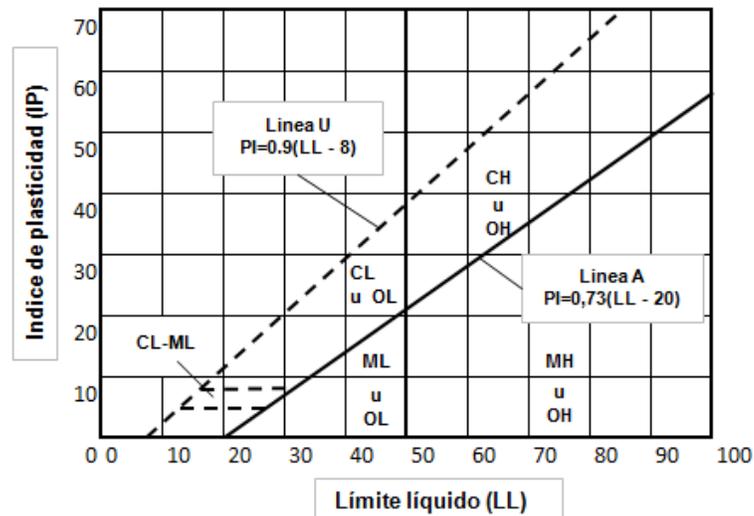


Figura 3. CARTA DE PLASTICIDAD

Fuente: (Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo I editorial Limusa. 1985.)

³SANZ, Ilanos Juan JOSE ;MECÁNICA DE SUELOS, reunión de ingenieros; 1^aedición ; editores técnicos asociados SA., Barcelona Pág. 36

6.3. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

Utilizando las teorías de resistencia de materiales puede hacerse la representación matemática del fenómeno de falla por cortante; un suelo al fallar se comporta según lo descrito en las teorías sobre fricción y cohesión de Coulomb que tiene en cuenta parámetros como la cohesión, el esfuerzo normal total, el ángulo de fricción interna del material y la presión de poros, si el suelo está saturado; si el suelo está parcialmente saturado además de los factores anteriores se vincula también la presión de aire intersticial y el ángulo de fricción del material no saturado.

Para poder analizar el esfuerzo de resistencia al cortante mediante la ecuación de Coulomb se requiere un previo estudio de las propiedades intrínsecas del suelo como el ángulo de fricción y la cohesión mediante ensayos de laboratorio tales como el de corte directo y el triaxial. Además, se debe tener en cuenta que la presencia de agua reduce el valor de la resistencia dependiendo de las presiones de poros.

6.4. TRANSMISIÓN DE FUERZAS A TRAVÉS DEL SUELO

Representa el coeficiente entre las partículas del material y depende del tamaño de los granos, su forma, la distribución y la densidad de cada partícula existente en el material. Corresponde a la pendiente de la envolvente de falla en un plano de esfuerzos de resistencia al cortante Vs la presión normal; además este parámetro es el que más influye en la capacidad portante de un suelo.

6.5. COHESIÓN

Es el parámetro que se encarga de medir la adherencia entre las partículas del suelo, es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación; es la resistencia al corte en ausencia de un esfuerzo normal y se representa como la distancia desde la intersección de la envolvente de falla con el eje de la resistencia al esfuerzo cortante y el origen de coordenadas.

6.6. CONDICIONES DRENADAS Y NO DRENADAS DE UN ENSAYO DE SUELOS

Las condiciones con las que se ejecuta un ensayo de laboratorio es relevante saber que las características de tensión. Deformación de los suelos, se encuentra sujeto a las relaciones de presión - Volumen depende del contenido de agua que presenta la muestra a ensayar. Con base en los estudios realizados se considera que simulando estas condiciones de drenaje o no de la muestra, por lo cual se puede entender el comportamiento del suelo. Estos estudios se realizaron anteriormente y permitieron identificar las características que se encuentran en la **tabla 3**⁴

DRENADA	NO DRENADA
El cambio de presión se aplica tan lentamente que nos permite que la simulación de dicho ensayo no genere una presión de poros adicional a la cual estaba sometido el suelo que se está ensayando.	El cambio de las presiones las cuales se encuentra sometida la muestra varían tan abruptamente que nos permite alterar la capacidad que tiene el suelo para disipar las presión entre las partículas del mismo suelo ; es decir que se altera la condición de presión de poros que tenia la muestra en su estado natural.

TABLA 3. CUADRO COMPARATIVO DE CONDICIONES DRENADAS Y NO DRENADAS DE UN ENSAYO DE LABORATORIO DE SUELOS.

⁴ Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. 2da Ed. 1976 Pág. 90

6.7. ENSAYOS DE LABORATORIO

6.7.1. PRUEBA TRIAXIAL

Se denomina ensayo de compresión triaxial a todos los suelos que se somete a una presión hidrostática de confinamiento que se es aplicada bajo la acción tensiones y deformaciones en una cámara herméticamente sellada; donde se pueden simular todas las fuerzas reales a las cuales se puede encontrar sometida la muestra ensayada en el terreno natural. Como se puede observar en la **figura4**.



Figura 4. CAMARA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Fuente: (Propia)

Las condiciones de ejecución de la prueba presenta diferentes etapas. Primero, aplicación y acondicionamiento de la maquina triaxial para que ponga en funcionamiento la presión de la cámara. Segundo, el incremento de la carga axial que varía en el tiempo y nos da como resultado la capacidad de soporte que presenta el terreno bajo las condiciones que fue ensayado.⁵

⁵Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. 2da Ed. 1976 87.89

6.8. PRUEBA DE CORTE DIRECTO

El ensayo de corte directo es también denominado compresión simple, a razón que la tensión σ_1 de rotura es considerada la resistencia que permite soportar el suelo con base en el comportamiento de las partículas o mecánica que presentan. La ejecución de dicho ensayo requiere de un espécimen de suelo cuadrado o circular, a la cual se le es aplicada una fuerza externa que ocasiona una fatiga y deformación, mediante la caja que se muestran en la **figura 5**. La cual consta de una marco fijo y uno móvil que contiene la muestra de suelo y dos placas de confinamiento una superior y una inferior.



Figura 5. CAJA DE CORTE DIRECTO DIGITAL

Fuente: (Propia)

La caja de corte mostrada anteriormente se coloca dentro de la máquina digital que se observa en la Figura 6. La parte móvil de la caja permite aplicar una fuerza que provoca la falla de la probeta a través de un plano definido.



Figura 6. MÁQUINA DIGITAL DE CORTE

Fuente: (Propia)

Como resultado de puesta en marcha de dicho ensayo, ocasiona que el diagrama de relación de fuerzas y esfuerzos al cual se encuentra sometido la probeta de suelo se muestra en la ilustración 9. Donde aparecen un esfuerzo normal (σ_n), ocasionado por la carga vertical aplicada (P_v) y un esfuerzo cortante (τ) generado por la aplicación de carga horizontal⁶.

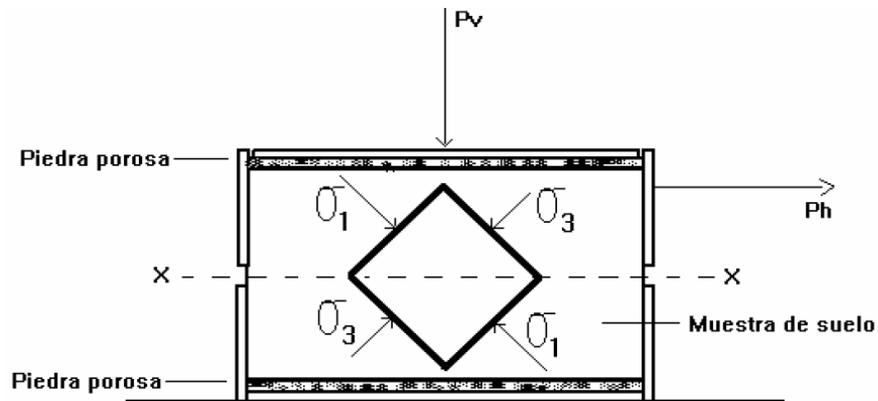


Figura 7. DIAGRAMA DE FUERZAS QUE SE PRESENTAN DENTRO DE LA CAMARA DE CORTE DIRECTO.

Fuente: (Manual de laboratorio de JOSEPH BOWLES)

6.9. ANALISIS DEL LIMITE PROBLEMA DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE SUELOS COHESIVOS

El suelo presenta diversas características particulares propias de cada área dónde se pretende ubicar un proyecto de construcción, en consecuencia se recurre a ciertas teorías que permiten establecer el estado de esfuerzos semi-finito que se plantea en la teoría de la elasticidad. Donde sus pilares fundamentales son los lineamientos elásticos, homogéneos e isótropos que se distribuyen en la banda de dos veces la base y de la longitud infinita.⁷

No obstante con los fundamentos planteados se garantiza que las condiciones de esfuerzos cumplan el estado de equilibrio y las fronteras admisibles que no sobrepasa la resistencia que puede soportar el material ensayado. Donde, el momento resistente que se presenta entre las partículas es mayor a la energía

⁶ http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/cortedirecto.pdf: [Citado Julio 2]

⁷ CUEVAS, José A y FLORES Carrillo, Naborr; MECANICA DE SUELOS pág. 243 – 245.

cinemática admisible que puede soportar el suelo. Así que, que las velocidades de deslizamiento entre las partículas son superadas a las condiciones naturales del terreno, que ocasiona que se genere una sobre carga que fractura las condiciones de equilibrio llevando consigo a fallas geológicas como deslizamientos, asentamientos entre otros.

6.10. ECUACIÓN DE CAPACIDAD PORTANTE DE MEYERHOF

Se sabe que el campo de la geotecnia existen diferentes teorías propuestas por grandes y reconocidos científicos, que permiten calcular la capacidad portante de las zapatas que pueden soportar el peso de cualquier estructura. Se determinó la capacidad de carga de cimientos poco profundos, bajo la teoría propuesta Otto Fritz Meyerhof. Con respecto a los lineamientos de la teoría mencionada anteriormente; Él planteo despreciar los esfuerzos cortantes, que soportan la superficie del cimiento. Permitiendo que la propagación de las ondas de la sobre carga sea de forma flexible generado por el deslizamiento que ocurre entre las partículas del suelo dando como resultado que se desarrollen la resistencia del esfuerzo cortante.

Debe notarse que los parámetros investigativos que desarrollo Meyerhof, se plantearon el cálculo de factores capacidad portante, forma y profundidad. Los cuales según el estudio realizado por este científico permiten identificar el comportamiento del mecanismo de falla que presenta el suelo a diferentes profundidades como se muestra en la siguiente **Figura 8**.

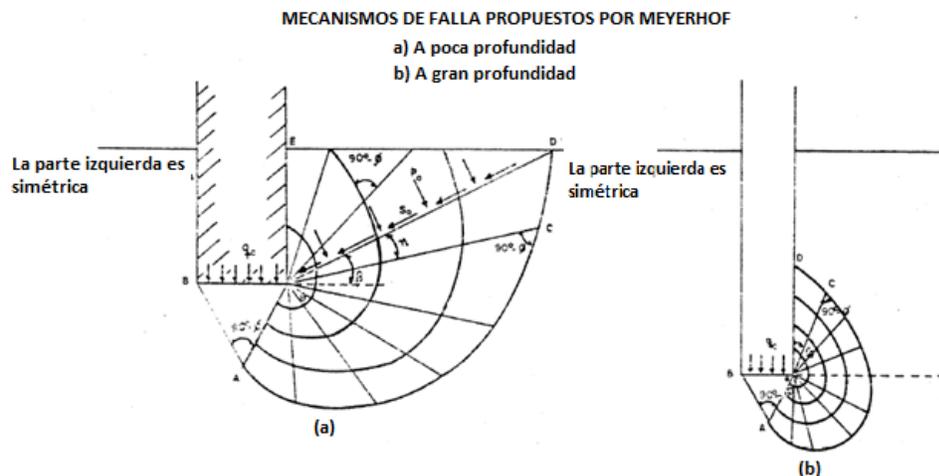


Figura 8. DIAGRAMA DE MECANISMO DE FALLA PROPUESTOS POR MEYERHOF.

Fuente: (Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo I editorial Limusa)

6.11. CÍRCULO DE MOHR-COULOMB

El círculo de Mohr nos permite graficar los datos obtenidos mediante el ensayo de corte directo y triaxial, donde nos permite determinar la envolvente de falla que presenta dicho suelo bajo las condiciones ensayadas. Es importante mencionar que esta teoría de falla propuesta por el científico Otto Mohr evalúa los problemas bidimensionales que pueden presentarse en determinado material granular, con base en que no se puede operar en la tercera tensión σ_2 . Esa afirmación se da porque a pesar que el ensayo triaxial se tienen en cuenta esas fuerzas que afectan las propiedades del suelo usualmente como resultado da que el $\sigma_2 = \sigma_3$. Además, según Taylor menciona que las variaciones de σ_2 influyen muy poco en la resistencia con la rotura.

Esta es una técnica fácil y rápida para calcular los esfuerzos principales, los cuales son dibujados en el plano de Mohr donde sus ejes organizados perpendicularmente, el cual en el espacio real el ángulo de separación es de 180° . Donde se debe tener en cuenta que un ángulo en el plano de Mohr tiene dos valores iguales en el plano. Como se muestra en la ilustración 9.

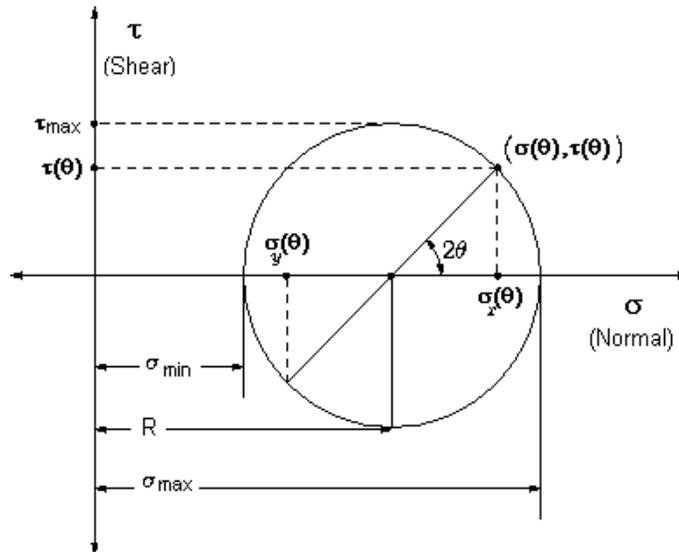


Figura 9. DIAGRAMA DE CIRCULO DE MOHR⁸

Fuente: (Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería)

⁸Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. 2da Ed. Pág. 48

7. METODOLOGÍA

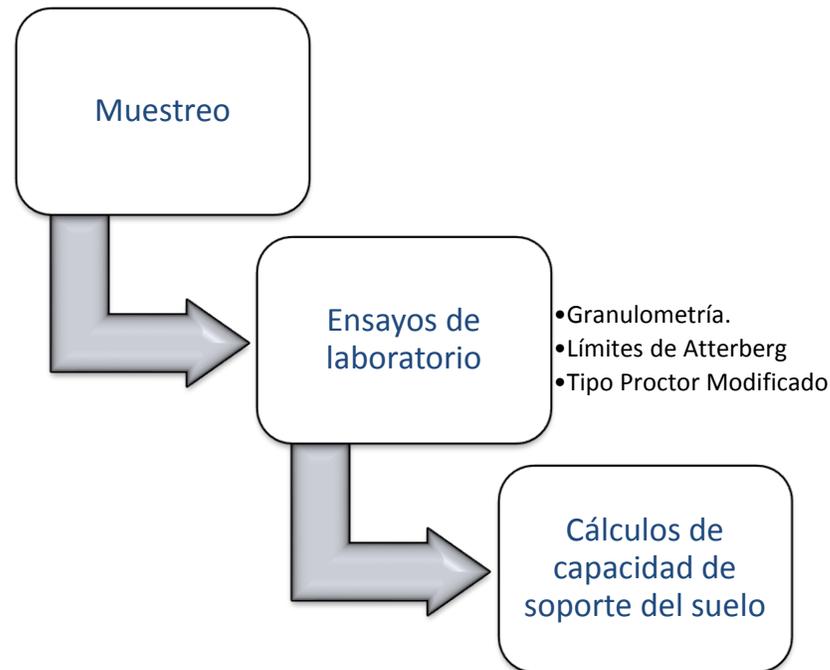


Figura 10. DIAGRAMA DE METODOLOGÍA

Fuente: (Propia)

En la figura 10 se muestra una generalidad de la metodología empleada para obtener la “comparación de parámetros de resistencia al esfuerzo cortante en el aparato de corte directo y triaxial para arenas limosas”.

- 7.1. **Muestreo:** La toma de muestras se realizó en el campus de la UPB, en el área demarcada en la **Figura 2**. Las muestras se colectaron y se transportaron al laboratorio para su estudio.
- 7.2. **Ensayos de laboratorio:** De las muestras colectadas se realizó un muestreo aleatorio para realizar mediciones de Granulometría, Pruebas de Atterberg y Proctor modificado con el fin de clasificar el suelo y establecer la humedad óptima y el peso específico seco máximo de este tipo de suelo para análisis posteriores. Cada una de estas pruebas se realizó por triplicado. Normatividad aplicada: INV E-123, INV E-125, INV E-126, INV E-142.

- 7.3. **Ensayos de Corte directo y triaxial:** Se realizan 30 repeticiones con el fin de comparar los resultados obtenidos y establecer alguna relación entre cada uno de estos métodos. Normatividad aplicada: INV E-153 e INV E-154.
- 7.4. **Cálculos de Capacidad de soporte del suelo:** Se utilizaron los parámetros de resistencia obtenidos en los ensayos de corte directo como en el triaxial ; se calculo la capacidad portante del suelo para diferentes dimensiones de zapatas con lo cual se puede analizar cuál de los dos métodos es mas conservativo.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

8.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Se realizaron tres (3) ensayos de granulometría y tres (3) de límites de Atterberg a partir de los cuales se procedió a la clasificación del suelo mediante el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), los resultados obtenidos fueron los siguientes:

MUESTRA	GRANULOMETRIA			LIMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN
	% G	% A	% F	LL (%)	LP (%)	IP (%)	
1	1,09	49,89	49,02	38,24	28,23	10,01	ARENA LIMOSA (SM)
2	2,65	55,18	42,17	36,13	28,47	7,66	
3	0,98	55,52	43,50	36,81	28,47	8,34	

TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYOS GRANUMETRICOS Y LIMITES DE ATTERBERG

Fuente: (Propia)

8.2. DATOS PROCTOR MODIFICADO

Teniendo en cuenta que para la realización de los ensayos de corte directo y compresión triaxial según los cuales sería posible la obtención de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante para arenas limosas, fue indispensable conocer mediante el ensayo de Proctor modificado la humedad óptima y el peso específico seco máximo de este tipo de suelo, por lo cual se realizaron tres (3) ensayos de compactación que arrojaron los siguientes resultados:

MUESTRA	HUMEDAD ÓPTIMA (%)	$\rho_{d \max}$ (g/cm ³)
1	11,50	1,87
2	11,50	1,94
3	11,50	1,91
PROMEDIO	11,50	1,91

TABLA 5. RESULTADOS DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

Fuente: (Propia)

8.3. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Una vez conocido el tipo de suelo, la humedad óptima y el peso específico seco máximo se procedió a realizar treinta (30) ensayos de corte directo sobre muestras compactadas con la humedad óptima, estos ensayos arrojaron los resultados que se muestran a continuación:

<i>ARENA LIMOSA (SM)</i>							
ENSAYO No.	COHESION (Kg/cm ²)		ANGULO DE FRICCION (°)		γ	γ _{d max} (g/cm ³)	HUMEDAD (%)
	MAX	RES	MAX	RES			
1	0,229	0,029	23,346	28,493	2,130	1,912	11,414
2	0,177	0,020	26,536	32,640	2,113	1,891	11,687
3	0,169	0,012	30,976	34,938	2,129	1,908	11,574
4	0,190	0,037	24,268	30,433	2,126	1,906	11,540
5	0,182	0,020	26,395	32,893	2,113	1,891	11,751
6	0,169	0,029	24,880	31,603	2,133	1,912	11,570
7	0,186	0,025	25,208	31,476	2,135	1,916	11,412
8	0,165	0,033	23,742	29,663	2,137	1,918	11,415
9	0,216	0,024	23,478	25,731	2,146	1,927	11,346
10	0,207	0,025	22,675	26,525	2,130	1,908	11,592
11	0,182	0,029	25,339	30,582	2,133	1,915	11,372
12	0,195	0,033	24,410	30,187	2,141	1,922	11,399
13	0,207	0,024	25,742	32,513	2,122	1,901	11,574
14	0,165	0,020	26,395	32,376	2,134	1,918	11,239
15	0,169	0,029	27,316	27,975	2,109	1,889	11,646
16	0,173	0,016	26,123	28,891	2,135	1,916	11,438
17	0,195	0,020	25,208	27,975	2,147	1,930	11,281
18	0,216	0,020	23,214	29,535	2,124	1,902	11,664
19	0,233	0,024	23,203	28,363	2,141	1,924	11,290
20	0,203	0,020	24,410	29,020	2,117	1,895	11,749
21	0,182	0,020	24,541	26,916	2,132	1,912	11,515
22	0,178	0,024	26,786	28,105	2,127	1,903	11,779
23	0,173	0,025	27,975	28,105	2,133	1,913	11,491
24	0,199	0,016	29,073	29,674	2,111	1,888	11,811
25	0,190	0,025	25,590	27,835	2,131	1,910	11,567
26	0,212	0,029	24,935	26,916	2,105	1,882	11,869
27	0,216	0,016	22,939	27,316	2,099	1,877	11,810
28	0,199	0,016	27,186	29,148	2,130	1,909	11,583
29	0,212	0,029	22,532	27,186	2,125	1,903	11,660
30	0,220	0,016	23,346	25,731	2,131	1,910	11,525
PROMEDIO	0,194	0,023	25,259	29,291	2,127	1,907	11,552
MEDIANA	0,192	0,024	25,072	28,955	2,130	1,909	11,569
DESVIACION	0,020	0,006	1,983	2,297	0,012	0,013	0,170
% ERROR	10%	26%	8%	8%	1%	1%	1%

TABLA 6. RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Fuente: (Propia)

8.4. RESULTADOS ENSAYOS TRIAXIALES

Luego de conocer a ciencia cierta el tipo de material y la humedad en la que este llega al peso específico seco máximo, se procedió a realizar treinta (30) ensayos de compresión triaxial sobre muestras compactadas con la humedad óptima, estos ensayos arrojaron los resultados que se muestran a continuación:

<i>ARENA LIMOSA (SM)</i>					
ENSAYO No.	COHESION (Kg/cm ²)	ANGULO DE FRICION (°)	γ	$\gamma_{\delta \text{ max}}$	(g/cm ³) HUMEDAD (%)
1	0,437	45,862	2,155	1,934	11,432
2	0,417	45,220	2,165	1,943	11,383
3	0,395	45,934	2,138	1,918	11,500
4	0,422	44,765	2,161	1,935	11,690
5	0,389	44,140	2,124	1,902	11,705
6	0,404	44,627	2,145	1,919	11,760
7	0,376	44,819	2,147	1,923	11,647
8	0,383	43,064	2,147	1,926	11,469
9	0,392	44,553	2,161	1,942	11,304
10	0,411	43,155	2,144	1,918	11,784
11	0,451	43,507	2,165	1,940	11,607
12	0,452	43,946	2,164	1,941	11,449
13	0,429	43,927	2,174	1,950	11,531
14	0,412	43,673	2,167	1,945	11,433
15	0,392	45,404	2,124	1,899	11,838
16	0,413	44,216	2,160	1,940	11,339
17	0,435	42,916	2,129	1,909	11,496
18	0,434	43,800	2,117	1,894	11,780
19	0,387	43,546	2,127	1,904	11,678
20	0,388	45,051	2,139	1,919	11,442
21	0,415	45,631	2,151	1,931	11,402
22	0,388	43,891	2,129	1,908	11,592
23	0,373	45,947	2,141	1,922	11,406
24	0,365	45,275	2,132	1,911	11,538
25	0,459	43,449	2,146	1,919	11,543
26	0,385	43,897	2,130	1,908	11,658
27	0,374	44,571	2,138	1,918	11,467
28	0,383	45,223	2,141	1,920	11,485
29	0,414	44,290	2,131	1,911	11,516
30	0,412	44,558	2,139	1,920	11,427
PROMEDIO	0,406	44,429	2,144	1,922	11,543
MEDIANA	0,408	44,421	2,143	1,919	11,508
DESVIACION	0,025	0,876	0,015	0,015	0,142
% ERROR	6%	2%	1%	1%	1%

TABLA 7. RESULTADOS DE DATOS OBTENIDOS EN ENSAYOS TRIAXIALES

Fuente: (Propia)

8.5. ANÁLISIS GRÁFICO DE LOS DATOS OBTENIDOS

8.5.1. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARAMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO

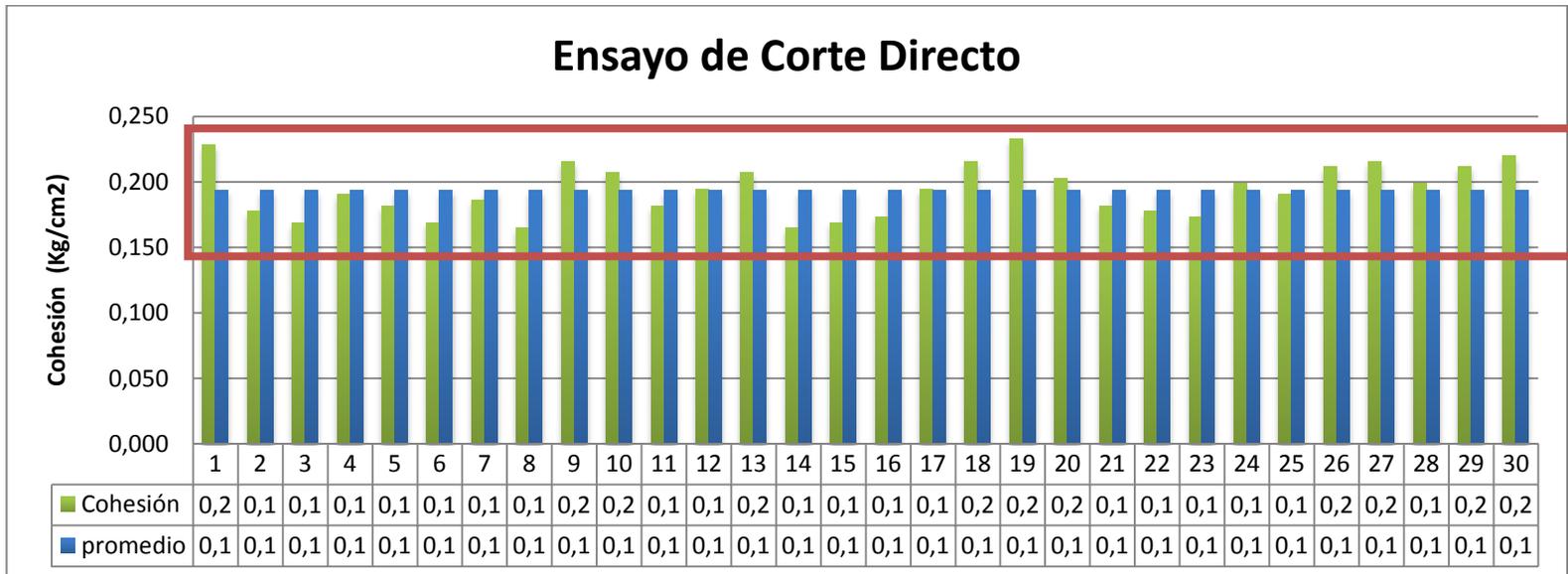


Figura 11. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO

Fuente: (Propia)

En la **figura 11**. El valor de cohesión obtenido para cada ensayo de corte directo comparado con el promedio calculado a partir de una muestra representativa de 30 probetas de suelo compactado con la humedad óptima. Se observa el comportamiento de los datos en cuanto a dispersión y desviación. Promedio: 0,194 kg/cm² Desviación; 0,020 y un porcentaje de error del 10%.

8.5.2. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO

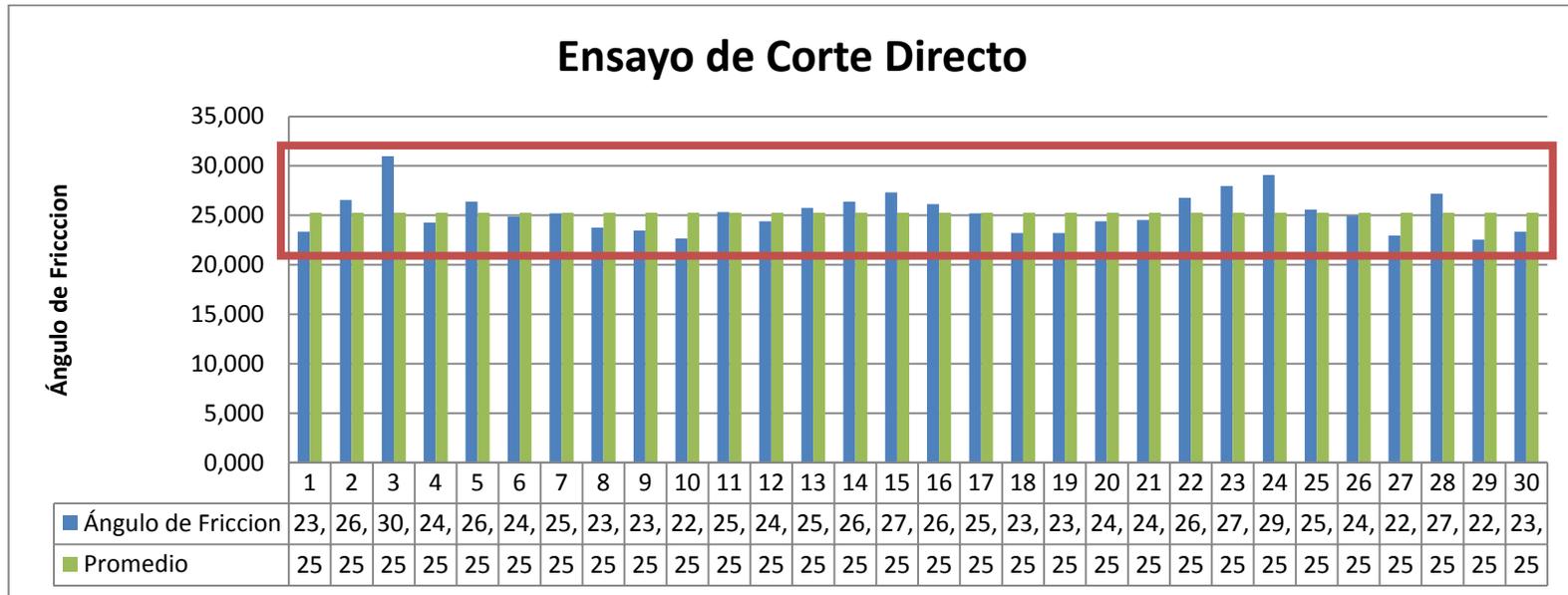


Figura 12. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE CORTE DIRECTO

Fuente: (Propia)

En la **figura 12**. El valor de ángulo de fricción obtenido para cada ensayo de corte directo comparado con el promedio calculado a partir de una muestra representativa de 30 probetas de suelo compactado con la humedad óptima. Se observa el comportamiento de los datos en cuanto a dispersión y desviación. Promedio: 25,259°. Desviación; 1,983 y un porcentaje de error del 8%.

8.5.3. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.

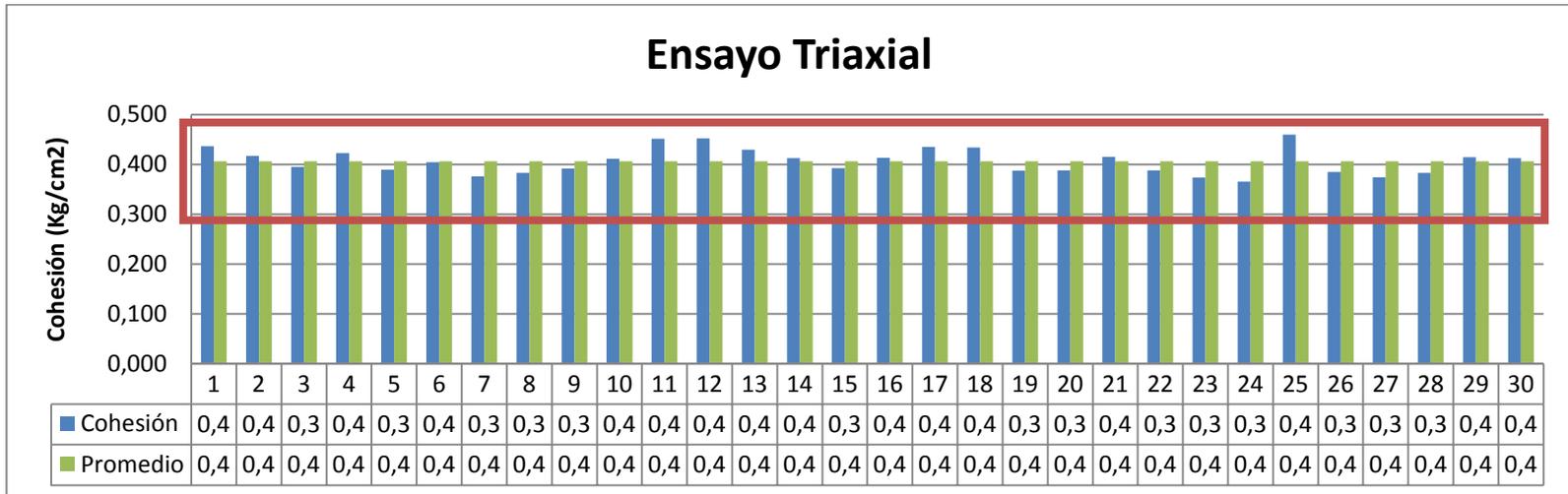


Figura 13. ANÁLISIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE COHESIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.

Fuente: (Propia)

En la **figura 13**. El valor de cohesión obtenido para cada ensayo de compresión triaxial comparado con el promedio calculado a partir de una muestra representativa de 30 probetas de suelo compactado con la humedad óptima. Se observa el comportamiento de los datos en cuanto a dispersión y desviación. Promedio: 0,406 kg/cm². Desviación; 0,025 y un porcentaje de error del 6%.

8.5.4. ANALISIS GRAFICO DEL PARAMETRO DE ANGULO DE FRICCION OBTENIDO EN EL APARATO DE COMPRESION TRIAXIAL

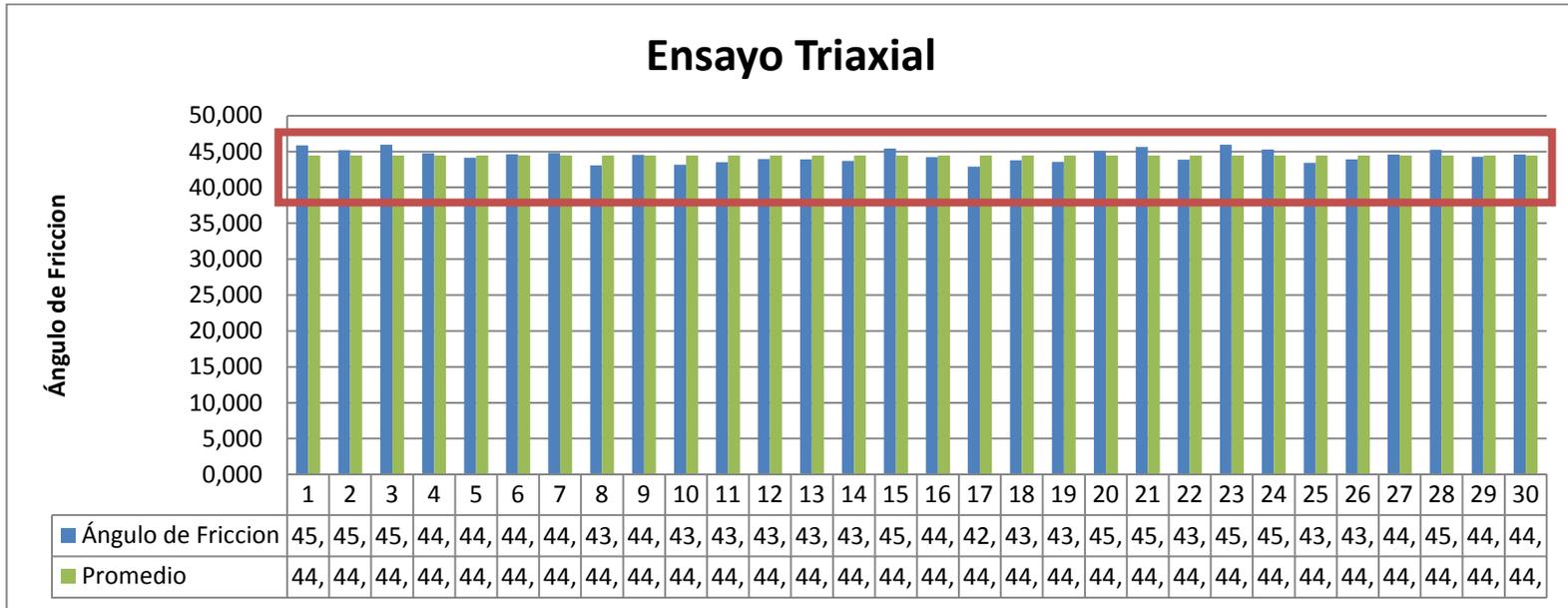


Figura 14. ANÁLIS GRÁFICO DEL PARÁMETRO DE ÁNGULO DE FRICCIÓN OBTENIDO EN EL APARATO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

En la **figura 14**. El valor de ángulo de fricción obtenido para cada ensayo de compresión triaxial comparado con el promedio calculado a partir de una muestra representativa de 30 probetas de suelo compactado con la humedad óptima. Se observa el comportamiento de los datos en cuanto a dispersión y desviación. Promedio: 44.429 °. Desviación; 0,876 y un porcentaje de error del 2%.

8.6. RESULTADOS OBTENIDOS DE CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO

Una vez conocidos los parámetros físicos del suelo estudiado mediante los ensayos de corte directo y compresión triaxial, se procedió a determinar la capacidad de carga última (q_{ult}) según el método de Meyerhof, los cálculos realizados arrojaron los siguientes resultados:

		ZAPATA CUADRADAS	ZAPATAS RECTANGULARES (L/B : 1,5)	ZAPATAS RECTANGULARES (L/B : 2)
Profundidad de cimentación (m)			1,5	
Carga calculada triaxial q último(Ton/m ²)	ultima por	3117,21	2658,44	2429,06
Carga calculada por corte directo q último(Ton/m ²)	ultima corte	145,47	132,45	125,94
Relación ensayos	entre	21,43	20,07	19,29

Tabla 8. CAPACIDAD DE SOPORTE

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

9.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

- Después de realizar los ensayos de granulometría y límites de Atterberg para conocer el tipo de suelo, se obtuvo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) que el material estudiado corresponde a una arena limosa.
- Una vez realizados los ensayos de compactación tipo proctor modificado en el aparato mecánico de compactación al suelo anteriormente clasificado como arena limosa, se determinó que la humedad óptima del material corresponde al 11,5% y el peso específico seco máximo del mismo es de 1,91 g/cm³.

9.2. ANALISIS DE RESULTADOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL

Se realizaron treinta (30) ensayos de corte directo y treinta (30) ensayos de compresión triaxial a muestras compactadas con la humedad óptima en el aparato mecánico de compactación; con los datos obtenidos en cada uno de estos fue posible la determinación de la cohesión y el ángulo de fricción. Conociendo estos factores que influyen directamente en las características mecánicas del suelo, se hizo posible establecer una comparación en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante tanto en el aparato de corte directo como en el de compresión triaxial, a partir de unas constantes que indican la relación existente entre la cohesión y el ángulo de fricción hallado en cada uno de los ensayos.

$$\phi \text{ corte } (^{\circ}) = 25,27$$

$$\phi \text{ triaxial } (^{\circ}) = 44,43$$

$$K = \frac{\phi \text{ triaxial}}{\phi \text{ corte}} = 1,76$$

El ángulo de fricción interna calculado a partir de los datos obtenidos mediante los ensayos realizados en el aparato de compresión triaxial, corresponde a 1,76 veces el ángulo de fricción interna calculado a partir de los datos obtenidos mediante los ensayos realizados en el aparato de corte directo.

$$C \text{ corte} = 0,19 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$C \text{ triaxial} = 0,41 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$K = \frac{C \text{ triaxial}}{C \text{ corte}} = 2,10$$

La cohesión calculada a partir de los datos obtenidos mediante los ensayos realizados en el aparato de compresión triaxial, es 2,1 veces mayor a la cohesión calculada a partir de los datos obtenidos mediante los ensayos realizados en el aparato de corte directo.

9.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS CAPACIDAD PORTANTE

Teniendo en cuenta los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos de los datos que arrojaron los ensayos realizados, se hizo posible el cálculo de la capacidad de carga ultima del suelo tanto para los resultados encontrados luego de la realización del ensayo de corte directo como para los de compresión triaxial para diferentes dimensiones de zapatas; una vez conocida la máxima presión admisible por el suelo sin alcanzar la falla se procedió a determinar una relación entre la capacidad portante calculada con la cohesión y en ángulo de fricción obtenido en el ensayo triaxial y en el ensayo de corte directo.

9.3.1. ZAPATAS CUADRADAS

Carga ultima calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial

$$q_{ult}(\text{Ton/m}^2) = 3117,21$$

Carga ultima calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de corte directo

$$q_{ult}(\text{Ton/m}^2) = 145,47$$

Relación calculada a partir de la carga ultima obtenida con los parámetros físicos dados por el ensayo de compresión triaxial y el ensayo de corte directo.

$$K = \frac{q_{ult-TRI}}{q_{ult-CD}} = 21,43$$

La capacidad portante obtenida utilizando los parámetros que arrojo el ensayo triaxial es 21,43 veces mayor a la capacidad de soporte calculada a partir del ángulo de fricción y la cohesión obtenidos en el ensayo de corte directo.

9.3.2. ZAPATAS RECTANGULARES (L/B = 1,5)

Carga ultima calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial

$$q_{ult}(\text{Ton/m}^2) = 2658,44$$

Carga ultima calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de corte directo

$$q_{ult}(\text{Ton/m}^2) = 132,45$$

Relación calculada a partir de la carga ultima obtenida con los parámetros físicos dados por el ensayo de compresión triaxial y el ensayo de corte directo.

$$K = \frac{q_{ult-TRI}}{q_{ult-CD}} = 20,07$$

La capacidad portante obtenida utilizando los parámetros que arrojo el ensayo triaxial es 20,07 veces mayor a la capacidad de soporte calculada a partir del ángulo de fricción y la cohesión obtenidos en el ensayo de corte directo.

9.3.3. ZAPATAS RECTANGULARES (L/B = 2)

Carga ultima calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial

$$q_{ult}(\text{Ton/m}^2) = 2429,06$$

Carga ultima calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de corte directo

$$q_{ult}(\text{Ton/m}^2) = 125,94$$

Relación calculada a partir de la carga ultima obtenida con los parámetros físicos dados por el ensayo de compresión triaxial y el ensayo de corte directo.

$$K = \frac{q_{ult- TRI}}{q_{ult - CD}} = 19,29$$

La capacidad portante obtenida utilizando los parámetros que arrojo el ensayo triaxial es 19,29 veces mayor a la capacidad de soporte calculada a partir del ángulo de fricción y la cohesión obtenidos en el ensayo de corte directo.

En promedio, la capacidad de soporte del suelo calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial corresponde a 20,26 veces la capacidad de carga última del suelo calculada teniendo en cuenta los parámetros físicos encontrados con la realización del ensayo de corte directo.

10. POSIBLES FUENTES DE ERROR

Dentro de las posibles fuentes de error se pueden mencionar: Respecto de la toma de muestras y almacenamiento, hubo dificultad por espacio a la hora de mantener las muestras en el laboratorio previo a su análisis, esto pudo representar variaciones en los porcentajes de humedad evaluados que no corresponden a las propiedades del suelo estudiado PER SE, sino a la incluida en el almacenamiento.

La calibración de los equipos de medición no fue verificada, por lo tanto no hubo certeza de que los datos arrojados por el equipo estén ajustados a la realidad, y que haya algún error estándar que no se haya tenido en cuenta a la hora de calcular y analizar la información colectada.

Otra fuente de error se puede atribuir a la falta de experiencia de los estudiantes en cuanto al manejo de los equipos y a la toma de muestras. Sin embargo, esta no es determinante como un causal de error, puesto que se puede corregir en el momento que ocurra.

Sería prudente estandarizar la batería de equipos de manera que se pueda evaluar los ensayos en equipos electrónicos y no intercalados entre un equipo mecánico y uno electrónico, porque esto genera un mayor sesgo en el análisis de datos.

11. REGISTRO FOTOGRAFICO



Fuente: (Propia)

12. CHEQUEO DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS TRAZADOS

OBJETIVOS/ ACTIVIDAD REALIZADA	CUMPLIDO	MEDIO	FIN
Identificar la ubicación del suelo con el cual se va a realizar la investigación	Si	Caminatas de campo en los predios de la universidad que permitiera localizar el material con el cual se idealizaba trabajar.	localizar en el campus de la UPB de BUCARAMANGA, un lugar donde extraer la arena limosa con la que se planteo trabajar.
Extraer la cantidad suficiente de material para poder llevar a cabo los ensayos pertinentes.	Si	Se utilizaron picas, palas, cabuya y costales, donde mediante esas herramientas se realizo el hueco del apique .	Sacar el material suficiente, el cual nos permitiría realizar todos los ensayos propuestos para concluir el objeto final de dicha tesis.
Clasificar el suelo con ayuda de los ensayos de laboratorio como: granulometría y límites de Atterberg	Si	Se utilizo las herramientas de laboratorio de la institución (Tamices, cucharas, probetas, agua, copa de casa grande, etc)	Clasificar el suelo extraído del apique realizado, el cual da como resultado una ARENA LIMOSA.
Realizar ensayos de compactación tipo proctor modificado para determinar la humedad óptima y el peso específico seco máximo.	Si	Se utiliza maquina de compactación MECANICA, se elaboraron diagramas y cálculos que nos arroja la humedad optima y el peso especifico seco máximo de dicho suelo.	El cálculo de la humedad óptima y peso específico seco máximo del suelo extraído del apique.
Desarrollar los ensayos de corte directo y triaxial sobre muestras compactadas con la humedad óptima.	Si	Utilizar maquina de corte directo digital y triaxial, teniendo los aditamentos.	Obtener el ángulo de fricción y la cohesión en cada uno de los ensayos.
Analizar similitudes y diferencias entre resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.	Si	Desarrollo de hojas de cálculo, que faciliten la comprensión de los datos que se obtuvieron en el laboratorio.	Calcular las el factor de correlación entre el ensayo triaxial y corte directo.
Calcular la capacidad portante del suelo estudiado para diferentes dimensiones de zapatas	Si	Elaboración de una hoja de cálculo bajo la TEORIA DE CAPACIDAD PORTANTE de Meyerhof, teniendo en cuenta las relaciones L/B.	Determinar una relación entre la capacidad portante calculada con los parámetros obtenido en el ensayo triaxial y corte directo.

Tabla 9. TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Fuente: (Propia)

13. RECOMENDACIONES

- ➔ Adaptar en la parte superior de la cámara utilizada en el ensayo de compresión triaxial una placa que permita la colocación del deformimetro digital y la estabilidad del mismo durante la etapa en la cual se lleva la muestra a la falla, esto con el fin de facilitar las lecturas de deformación y hacerlas más confiables.
- ➔ Adquirir más deformimetro digitales con el fin de permitir la realización de varios ensayos simultáneamente, de manera que no sea necesario parar un ensayo por falta de este elemento.
- ➔ Se recomienda para futuros proyectos hacer un análisis de costos que permita conocer la incidencia en un presupuesto de la utilización de los parámetros físicos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial y en el ensayo de corte directo, para el diseño de cimentaciones.
- ➔ Adquirir membranas para la adecuada realización del ensayo de compresión triaxial, ya que su labor es fundamental para la correcta obtención de resultados.
- ➔ Adquirir un modulo de lectura de presiones axiales con el fin de permitir una menor lectura de las cargas ejercidas sobre la muestra, debido a que el que se encuentra actualmente en el laboratorio muestra valores de carga aun sin que el pistón este ejerciendo efecto alguno sobre la probeta.

14. CONCLUSIONES

- ➔ La humedad óptima hallada para una arena limosa con las características granulométricas como las del material utilizado corresponde al 11,5% y El peso específico seco máximo calculado a partir del ensayo de Proctor modificado utilizando el aparato mecánico de compactación es de 1,91 g/cm³.
- ➔ Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante hallados en el ensayo de compresión triaxial son mayores a los obtenidos en el ensayo de corte directo.
 - a) El ángulo de fricción interna alcanzado en el ensayo de compresión triaxial corresponde a 1,76 veces el ángulo de fricción interna del ensayo de corte directo.
 - b) La cohesión del ensayo de compresión triaxial es 2,1 veces mayor a la obtenida en el ensayo de corte directo.
- ➔ Teniendo en cuenta que los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante calculados durante el ensayo de compresión triaxial son mayores a los de corte directo, el cálculo de la capacidad de soporte del suelo mediante la teoría de Meyerhof permite percibir que la presión máxima admisible por el suelo sin alcanzar la falla, es mayor utilizando los valores de cohesión y ángulo de fricción interna conocidos por el ensayo de compresión triaxial.
 - a) Usando los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos mediante el ensayo de compresión triaxial se da lugar al diseño de cimentaciones más pequeñas, por lo cual se incurrirá a un menor costo en la elaboración y una disminución en el impacto ambiental debido a la menor utilización de recursos.
 - b) La capacidad de carga última calculada a partir de los datos obtenidos en el ensayo de compresión triaxial es en promedio 20,26 veces mayor que la calculada a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo, tanto para zapatas cuadradas como para zapatas rectangulares con una relación (L/B) de 1,5 y 2.

- El ángulo de fricción interna obtenido en el ensayo de corte directo parece ser bajo para el tipo de suelo al que corresponde, mientras que en el ensayo de compresión triaxial dicho parámetro resulta ser muy alto para corresponder a una arena limosa; este tipo de ángulos generalmente se refieren a parámetros físicos de arenas sin cohesión y rocas. El incremento en el ángulo de fricción obtenido pudo ser causado por :
- a) Constante oscilación en los valores del modulo de lectura de presión axial, por lo cual los valores de carga leídos pueden ser mayores a los que realmente soporta el suelo.
 - b) Perdida de presión en el sistema de mangueras encargadas de transmitirla; lo que ocasiona variaciones en los resultados debido a que el suelo no está sujeto a las condiciones que debería.
 - c) Errores de tipo sistemático, causados por manipulación, manejo y procesamiento de muestras.

15. BIBLIOGRAFÍA

- Eulalio Juárez Badillo, Alfonso Rico Rodríguez, Mecánica de Suelos, Tomo I editorial Limusa. 1985. Pp: 96-121, 97-163, 382-386, 576-580.
- José A. Cuevas, Nabor Carrillo Flores Mecánica de Suelos.1967.pp: 256-266Gregory P. Tschebotarioff. Mecánica del Suelo: Cimientos y estructuras de tierra. 4ta ed. 1967.pp: 302-321
- Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. 2da Ed. 1976.pp: 3-126.
- SANZ, Ilanos Juan JOSE ;MECÁNICA DE SUELOS, reunión de ingenieros; 1ªedición ; editores técnicos asociados SA., Barcelona Pág. 36

16. WEB-GRAFIA

- <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/geotecnia-i/materiales-de-clase/capitulo4.pdf> [Citado Julio 04]
- <http://ingeniar.com.ve/Docencia/Resistencia.pdf> [Citado Julio 05]
- http://ocw.uis.edu.co/ingenieria-civil/estabilidad-de-taludes/clase-3/RESISTENCIA_DE_LOS_SUELOS_AL_CORTANTE.pdf [Citado Julio 05]
- <http://escueladeporfora.files.wordpress.com/2011/09/10-presiones-de-formacic3b3n.pdf> [Citado Julio 05]
- <http://lim.ii.udc.es/docencia/din-sismec/circulos.pdf> [Citado Julio 09]
- <http://es.scribd.com/doc/50821332/9/Esfuerzos-geostaticos> [Citado Julio 15]
- <http://www.galeon.com/geomecanica/cap5.pdf> [Citado Julio 19]

ANEXOS

Anexo A. ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN

Anexo B. ENSAYOS DE COMPACTACIÓN

Anexo C. ENSAYOS DE CORTE DIRECTO

Anexo D. ENSAYOS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

Anexo E. CÁLCULO DE CAPACIDAD PORTANTE

Anexo F. NORMAS INVIAS