

**COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL DE UNA
ARENA ARCILLOSA**

**KELLY JOHANA PEÑA ROJAS
IDER KARINA PEREZ BALLEEN**

Proyecto de grado para optar al título profesional en Ingeniería Civil

**Director
GERARDO BAUTISTA GARCIA
Ingeniero Civil**

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

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Agosto de 2012

DEDICATORIA

*A Dios Todopoderoso
Quien me ha guiado en cada paso que doy
Y me ayuda a cumplir con mis metas,
Quien me protege y me permite vivir.*

*A mi Madre, Ana Beatriz Ballén
Que me ha brindado durante toda
Mi vida su apoyo y su comprensión
Para que pueda obtener mis logros.
Gracias Madre por tus días de preocupación
Que me ayudaron a esforzarme
Más en éste proyecto.*

*A mi Padre, Rafael Pérez Rodríguez,
Que me ha ofrecido toda la ayuda monetaria
Y toda su sabiduría en mi vida,
Gracias Padre por todos los consejos
Que me enseñaron a crecer como persona
Y a poder ser lo que soy y estar donde estoy.*

*A mi Hermano, Rafael Enrique Pérez Ballén,
Que ha estado a mi lado siempre dándome
Su mano y enseñándome el camino correcto,
Mostrándome por medio de su ejemplo
El valor del conocimiento.*

KARINA PEREZ

*A Dios por ser mi guía en esta etapa
De formación profesional y llenarme de bendiciones.*

*A mi madre, Yolanda Rojas por creer en mí,
Por enseñarme a luchar por mis sueños y
Por su infinito amor y confianza.*

*A mi papito, Isaías Peña quien le agradezco mucho
Porque gracias a su trabajo y sacrificio
Pude alcanzar este sueño.
A mis hermanos que hicieron parte
De estos cinco años de formación con sus consejos.*

*A mi novio Fernando Silva por estar ahí
En los momentos buenos y malos brindándome
Su amor y apoyo incondicional.*

*Y finalmente quiero alzar una mirada al cielo
Y decirte abuelita Elvia gracias por tener siempre
Una palabra de aliento para seguir adelante;
Sé que te llena de orgullo y alegría que hoy
Este culminando esta etapa por eso quiero decirte
Que te Quiero Mucho y que siempre mantendré vivo tu recuerdo.*

KELLY PEÑA

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por permitirnos culminar satisfactoriamente esta etapa de formación profesional.
- Al laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, especialmente a los laboratoristas Vicente Páez, Elí Rueda y Leonel Ojeda quienes con su colaboración y paciencia nos orientaron en la elaboración de los ensayos, muchas gracias por enseñarnos y compartir sus experiencias profesionales.
- A nuestro Director de Trabajo de Grado Gerardo Bautista por su ayuda y sus sugerencias durante la asesoría.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
RESUMEN	
ANTECEDENTES	
1. OBJETIVOS	14
1.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. METODOLOGÍA	15
3. MARCO TEÓRICO	16
3.1 SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS	16
3.1.1. Método AASHTO	16
3.1.2. Método USCS	17
3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	18
3.3. TIPOS DE SUELOS	19
3.4. GRANULOMETRÍA	20
3.5. COHESIÓN	20
3.6. MODALIDADES DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO	21
3.6.1. Ensayo no Consolidado no Drenado (UU)	21
3.6.2. Ensayo Consolidado no Drenado (CU)	21
3.6.3. Ensayo Consolidado Drenado (CD)	21
3.7. MODALIDADES DE ENSAYO DE TRIAXIAL	21
3.7.1. Ensayo no Consolidado no Drenado (UU)	21
3.7.2. Ensayo Consolidado no Drenado (CU)	21
3.7.3. Ensayo Consolidado Drenado (CD)	21
3.8. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS	22
3.8.1. Tipos de Prueba de corte	23
3.8.1.1. Prueba de la caja de corte directo	23
3.8.1.2. Compresión triaxial	25
3.9. PRINCIPIOS DE MOHR – COULOMB	26

3.10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO Y EL TRIAXIAL.	28
3.11. CAPACIDAD PORTANTE	29
3.11.1. Método de Meyerhof	31
4. RESULTADOS OBTENIDOS	32
4.1. Resultados Clasificación	32
4.2. Resultados ensayos de Corte Directo y Triaxial	33
4.3. Resultados Capacidad Portante	38
5. ANALISIS DE RESULTADOS	39
5.1 Equipo de Corte Directo Manual	39
5.2 Equipo de Corte Directo Digital	39
5.3 Equipo de Triaxial	40
5.4 Comparación de resultados	40
5.5. Comparación de resultados Capacidad Portante	41
5.5.1. Zapatas cuadradas B=2	42
5.5.2. Zapatas rectangulares B=2 L=3	43
5.5.3. Zapatas rectangulares B=2 L=4	43
RECOMENDACIONES	44
CONCLUSIONES	45
BIBLIOGRAFIA	46
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de Clasificación AASHTO	17
Figura 2. Carta de Plasticidad para la clasificación de los suelos	19
Figura 3. Máquina de Corte Directo	24
Figura 4. Caja de Corte Directo	24
Figura 5. Cámara de equipo de Triaxial	25
Figura 6. Partes Máquina Triaxial	26
Figura 7. Mecanismos de falla propuestos por Meyerhof	30
Figura 8. Relación entre la Capacidad Portante y L/B	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis Granulométrico	32
Tabla 2. Arena arcillosa (SC). Equipo corte directo manual	34
Tabla 3. Arena arcillosa (SC). Equipo corte directo digital	35
Tabla 4. Arena arcillosa (SC). Equipo de triaxial	36
Tabla 5. Análisis del ángulo de fricción y la cohesión	37
Tabla 6. Análisis de la capacidad portante método de Meyerhof	38

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. RESULTADOS ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS, LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO, PROCTOR MODIFICADO.
- ANEXO B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO PARA UNA ARENA ARCILLOSA (SC) EN EL EQUIPO MANUAL.
- ANEXO C. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE TRIAXIAL PARA UNA ARENA ARCILLOSA (SC) EN EL EQUIPO DE TRIAXIAL.
- ANEXO D. NORMAS INVIAS PARA LA EJECUCIÓN DE LOS ENSAYOS.
- ANEXO E. REGISTRO FOTOGRÁFICO

RESUMEN GENERAL DEL PROYECTO

TITULO: COMPARACION DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDO POR MEDIO DE LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL PARA UNA ARENA ARCILLOSA (SC)

AUTORES: IDER KARINA PEREZ BALLEEN
KELLY JOHANA PEÑA ROJAS

FACULTAD: INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR: GERARDO BAUTISTA GARCIA

RESUMEN

La ejecución de este proyecto se inició mediante la realización de apiques en diferentes sitios dentro del perímetro de la Universidad Pontificia Bolivariana, con el objetivo de encontrar un tipo de suelo como la arena arcillosa SC.

Seguidamente, se realizó la toma de muestras, se transportaron al laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, donde se clasificó y se caracterizó éste suelo por medio de los ensayos de granulometría y límites de plasticidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos se procedió a realizar el ensayo de proctor modificado para obtener los valores de humedad óptima y peso específico máximo, seguidamente se realizaron los ensayos de corte directo digital, corte directo manual y triaxial.

Los resultados obtenidos y los análisis del presente trabajo se basaron en la comparación de la cohesión y el ángulo de fricción de cada uno de los dos equipos de corte directo y el equipo de triaxial para el tipo de suelo escogido.

La realización de éste proyecto es de gran importancia ya que la Universidad Pontificia Bolivariana, tendrá un estudio de la variación de los valores del ángulo de fricción y de cohesión producto de la comparación de los equipos de corte directo y triaxial y así beneficiar a los estudiantes de pregrado y postgrado, al sector constructor y consultor para que sirva de referencia para futuros estudios semejantes en éste tema.

PALABRAS CLAVES: triaxial, ensayos, ángulo, corte directo, cohesión.

PROJECT OVERVIEW

TITLE: COMPARISON OF SHEAR STRENGTH PARAMETERS OBTAINED BY THE DIRECT SHEAR TEST AND TRIAXIAL OF SAND LOAM SOIL (SC)

AUTHORS: IDER KARINA PEREZ BALLEEN
KELLY JOHANA PEÑA ROJAS

FACULTY: CIVIL ENGINEERING

DIRECTOR: GERARDO BAUTISTA GARCIA

SUMMARY

The implementation of this project began by conducting excavation at different sites within the perimeter of the Universidad Pontificia Bolivariana, in order to find a type of sand loam soil (SC).

Next, we performed the sampling, transported to the laboratory of Civil Engineering at Pontificia Bolivariana University, where he ranked and was characterized by soil particle size test and limits of plasticity.

According to the results we proceeded to perform the modified proctor test for optimum moisture values and maximum specific gravity, then were made digital direct shear tests, direct shear and triaxial Manual.

The results and analysis of this study were based on comparison of cohesion and friction angle of each of the two teams direct shear and triaxial equipment for soil type chosen.

The realization of this project is of great importance since the Universidad Pontificia Bolivariana, will study the variation of the values of friction angle and cohesion of comparing product teams direct shear and triaxial and to benefit students undergraduate and graduate students, the construction sector and consultant to serve as reference for future similar studies in this issue.

KEYWORDS: triaxial tests, angle, direct shear, cohesion.

INTRODUCCION

La Ingeniería Civil comprende varias disciplinas, entre ellas se encuentra la mecánica de suelos, la cual estudia la forma de evaluar y determinar sistemas de soporte para la construcción de obras civiles.

La determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos constituye uno de los puntos fundamentales de toda mecánica de suelos, para ello existen diferentes métodos de cálculo que nos permiten determinar la estabilidad de las obras civiles; entre ellos encontramos: Ensayo de corte directo manual o digital, pruebas de compresión inconfiada, ensayo de triaxial y veleta miniatura, entre otros.

En búsqueda de saber la exactitud de los ensayos se hizo necesario evaluar dos de ellos y realizar la comparación entre los parámetros de resistencia al corte de los ensayos de corte directo y triaxial; analizar el ángulo y la cohesión para una arena arcillosa, presente en la Universidad Pontificia Bolivariana.

Por lo tanto se llevo a cabo la realización de la exploración de campo, donde se ubico el suelo y se le realizaron los ensayos de clasificación hasta obtener una arena arcillosa (SC), una vez se ha definido el tipo de material a usar se realizaron los ensayos de compactación por proctor modificado para determinar la humedad óptima, el peso específico seco máximo y finalmente se hicieron los ensayos de corte director y triaxial para obtener los parámetros del ángulo de fricción y la cohesión.

Una vez culminada la etapa de laboratorio se realizó un análisis de resultados y se determinaron conclusiones y recomendaciones con respecto a los resultados para futuros trabajos que se deriven a partir de éste.

ANTECEDENTES

La universidad ha realizado proyectos de investigación junto con un grupo de estudiantes aspirantes al título de Ingenieros Civiles, entre las investigaciones realizadas se encuentran:

AÑO	PROYECTO DE GRADO	AUTORES
2006	Comparación entre los Parámetros de Resistencia al Esfuerzo Cortante, Obtenidos en el Aparato de corte Directo Manual y el Aparato de corte Directo Digital, para Arenas Arcillosas y Arenas Limosas Presentes en la Universidad Pontificia Bolivariana.	Peña y Meneses
2006	Comparación entre los Parámetros de Resistencia al Esfuerzo Cortante, Obtenidos en el Aparato de Corte Directo Manual y en el Aparato de Corte Directo Digital, para las Arcillas y los Limos de Alta Compresibilidad Presentes en la Universidad Pontificia Bolivariana y Zonas Aledañas.	Barajas y Vanegas
2010	Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y comprensión simple para arenas arcillosas.	Villamizar y Díaz
2007	Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas arenosas	Flórez y Villamizar
2007	Incidencia de la compactación en la resistencia al corte de arcillas de baja compresibilidad	Cepeda y Trujillo
2010	Relación entre los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante obtenidos en los ensayos de corte directo y comprensión simple para arenas limosas.	Quesada y Durán

En cada uno de los proyectos que se realizaron, se obtuvo como resultado el ángulo de fricción interna, la cohesión y el peso específico de diferentes tipos de suelos.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Determinar la relación entre el ángulo de fricción interna y la cohesión obtenidos por medio de los ensayos de corte directo y triaxial.

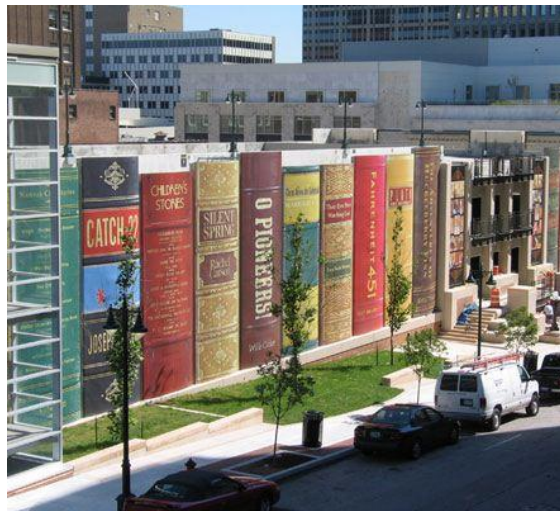
1.2. Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de clasificación para determinar el tipo de suelo.
- Determinar la humedad óptima y el peso específico seco máximo por medio del ensayo de Proctor modificado.
- Determinar el ángulo de fricción y la cohesión en muestras compactadas con la humedad óptima en el ensayo de corte directo.
- Determinar el ángulo de fricción y la cohesión en muestras compactadas con la humedad óptima en el ensayo de triaxial.
- Determinar el efecto de los parámetros de resistencia al corte obtenidos en los ensayos de corte directo y triaxial al calcular la capacidad portante.
- Comparación de los parámetros de resistencia al corte obtenidos por los ensayos de corte directo y triaxial.

2. METODOLOGIA

Para realizar el trabajo de manera organizada se siguió la siguiente secuencia de actividades:

1. Revisión bibliográfica: Se recolectó la información basada en libros y tesis de grado concierne al tema de las arenas arcillosas y ensayos de resistencia al esfuerzo cortante.



2. Obtención de muestras: Se realizó una visita de campo para determinar la ubicación del tipo de material, se tomaron las muestras, en predios de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga.



3. Ensayos de laboratorio: Se realizaron ensayos de clasificación: Granulometría y límites de plasticidad. Seguidamente se compactó el suelo a través del ensayo de proctor modificado para determinar la humedad óptima y el peso específico seco máximo; finalmente se realizaron 60 pruebas, las cuales 30 se efectuaron en la máquina triaxial y las otras 30 en la máquina de corte directo.

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA: NORMA I.N.V.E. 123-07



**ENSAYO DE LIMITES: NORMA I.N.V.E. 125-07
Y NORMA I.N.V.E. 126-07**



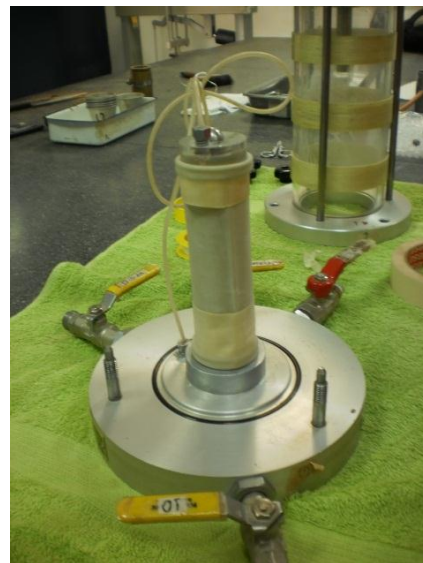
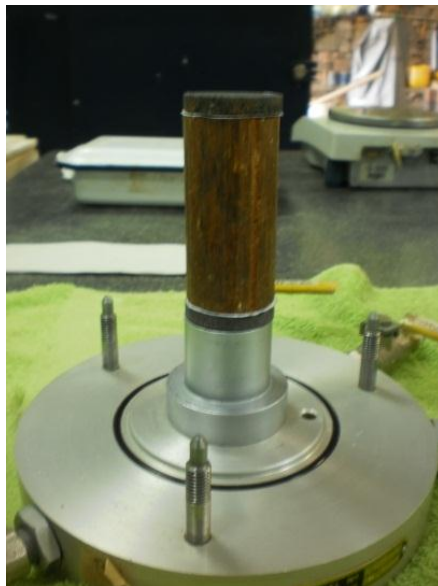
**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO:
NORMA I.N.V.E.142**



ENSAYO DE CORTE DIRECTO: NORMA I.N.V.E.154-07



ENSAYO DE TRIAXIAL: NORMA I.N.V.E.153-07





TIPO DE FALLA PRESENTADA EN LAS MUESTRAS DE SUELO:



4. Análisis de resultados: Finalizados los ensayos de laboratorio se procedió a hacer un análisis estadístico y una comparación entre la cohesión y el ángulo de fricción obtenidos en cada ensayo (corte directo – triaxial).
5. Redacción del informe: Se recopiló la información, datos y resultados para que sean de guía para los estudiantes y/o profesionales de la universidad.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. SISTEMAS DE CLASIFICACION DE SUELOS

Existen varios métodos de clasificación de suelos; el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), el de la Asociación Americana de Agencias Oficiales de Carreteras y Transporte (AASHTO), el Sistema Británico (BS) y el Sistema de la Agencia Federal de Aviación (FAA).

Debido a que existen mucha similitud entre los diferentes métodos, los más usados en la práctica de laboratorio son: Método USCS y el Método AASHTO.

Los sistemas de clasificación más aplicados a la Mecánica de Suelos se destacan los estudiados por el doctor A. Casagrande en la universidad de Hartad, los cuales aplacaron el conocido sistema de clasificación de Aeropuertos.

Este sistema reconoce las propiedades mecánicas e hidráulicas de los suelos constituidos por partículas menores que pasan por la malla N° 200, pueden deducirse cualitativamente a partir de sus características de plasticidad. En cuanto a los suelos formados por partículas mayores que no pasan por la malla N° 200; el criterio básico de clasificación es aun el granulométrico y puede usarse como base de clasificación en los materiales granulares.

3.1.1. Sistema de Clasificación de suelos por medio del método AASHTO:

Este sistema es básicamente un sistema de clasificación de los diferentes tipos de suelos en 7 grupos, cada uno de estos grupos esta determinado por ensayos de laboratorio, granulometría, límite líquido e índice de plasticidad. Estos ensayos determinan el “índice de grupo”, número que clasifica a cada suelo el que esta determinado por la siguiente formula empírica. [1]

$$IG = (F-35) (0,2+0,005 (WI-40)) + 0,01 (F-15) (IP-10)$$

F = Porcentaje que pasa por el tamiz N°200

WI = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

¹ JUAREZ BADILLO Eulalio y RICO RODRIGUEZ, A. *Mecanica de suelos: fundamentos de la mecanica de suelos* (Vol. TOMO I). Mexico DF: Limusa Noriega Editores

Este tipo de clasificación es más usada para definir calidad de suelos empleados para la confección de terraplenes, material de sub-rasante, sub-bases y bases. Luego de obtenido el “Índice de Grupo” con la formula anterior, se ingresa a la siguiente figura 1 para determinar a que grupo pertenece el suelo.

Figura1. Sistema de Clasificación Método AASHTO

Clasif. General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla nº 200)							Limos y Arcillas (35% pasa malla nº 200)			
Grupos	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Subgrupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A-7-5/A-7-6
% que pasa tamiz :											
Nº 10	50 máx										
Nº 40	30 máx	50 máx	51 mín								
Nº 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	
Caract. Bajo Nº 40											
LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
IP	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
IG	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas				Suelos Limosos		Suelos arcillosos	
Terreno fundación	Excelente		Excelente	Excelente a bueno				Regular a malo			

El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 5 es menor o igual a (LL - 30)
El índice de Plasticidad del subgrupo A - 7 - 6 es mayor a (LL - 30)

Fuente. (Tomado de JOSEPH BOWLES. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil).

3.1.2. Sistemas de Clasificación de Suelos por medio de Método USCS

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS es el de uso más extendido en la práctica geotécnica. Fue inicialmente propuesto por Arthur Casagrande, adoptado por el Departamento de ingeniería de los EEUU y presentado a la ASCE.

Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos. [2]

² JUAREZ BADILLO Eulalio y RICO RODRIGUEZ, A. *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos* (Vol. TOMO I). Mexico DF: Limusa Noriega Editores.

La primera y más importante decisión esta dada por el contenido de finos, definido como el correspondiente a partículas de diámetro equivalente menor a 0,075 mm, pasante del tamiz #200. Si menos del 50% en peso del suelo pasa el tamiz #200, entonces el suelo es “grueso” y se sub-clasifica en arena o grava usando el tamiz #4. De otro modo, el suelo es “fino” y se sub-clasifica en limo o arcilla, usando los límites de plasticidad.

El sistema unificado, básicamente un suelo es:

1. Grava o Arena:

GW, GP, SW o SP

Si menos del 5% del material pasa a través del tamiz N°200; G = grava; S = arena; W = bien gradada; P = pobremente gradada. La designación bien gradada o pobremente gradada depende de los valores característicos CU y CC, que se determinan por medio del ensayo de granulometría.

2. Gravas y arenas:

GM, GC, SM, SC

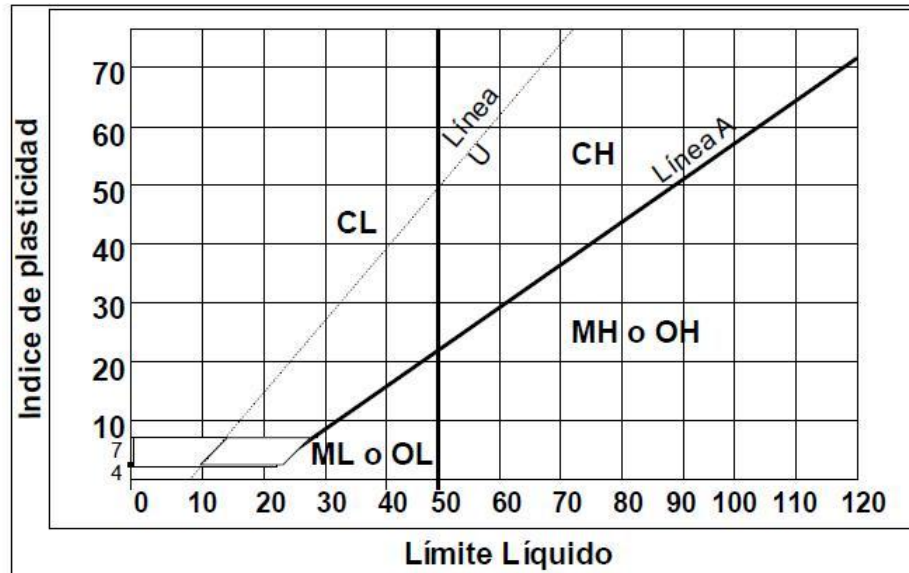
Si más del 12% del material pasa a través del tamiz N° 200; M = limo; C = arcilla; la designación limo o arcilla se determina después de obtener los valores de los límites líquido y plástico (figura 1) de la fracción menor al tamiz N°40, y utilizando los criterios de la carta de plasticidad. [3]

3.2. CLASIFICACION DE LOS SUELOS

Los materiales constituidos por partículas gruesas se identifican en el campo sobre una base prácticamente visual. Para distinguir las gravas de las arenas puede usarse el tamaño de ½ cm como equivalente a la malla N° 4, y para la estimación de los finos solo se considera las partículas de tamaño que corresponde a la malla N° 200.

³ WHITLOW, R. (1994). *Fundamentos de Mecanica de suelos* (primera edicion ed.). Mexico: Compañía editorial continental S.A.

Figura 2. Carta de plasticidad para la clasificación de suelos



Línea A = 0,73 (LL - 20)

Línea U = 0,90 (LL - 8)

Fuente. (Tomado de JOSEPH BOWLES. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil).

3.3. TIPOS DE SUELOS

GRUPOS GM Y SM: En estos grupos el contenido de finos afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y a la capacidad de drenaje libre de la fracción gruesa esto es para suelos con contenido de finos superiores a 12% en peso.

La plasticidad de estos finos varía entre “nula” y “media”; es un requisito que los límites de plasticidad se localicen en la fracción que pasa de la malla N° 40 sobre la línea A, o que su índice de plasticidad sea menor que 4.

GRUPOS GC Y SC: El contenido de finos en estos suelos debe ser superior al 12% en peso, ya que afecta las características de resistencia y esfuerzo-deformación y a la capacidad de drenaje libre. Sin embargo, en estos casos, los finos son de “media” a “alta” plasticidad; es un requisito que los límites de plasticidad se localicen en la fracción que pasa de la malla N° 40 sobre la línea A, y el índice de plasticidad sea mayor que siete. [4]

⁴ JUAREZ BADILLO Eulalio y RICO RODRIGUEZ, A. *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos* (Vol. TOMO I). Mexico DF: Limusa Noriega Editores.

A los suelos con contenido de finos entre el 5% y el 12% en peso el sistema unificado los considera casos de frontera, y se le adjudica un símbolo doble; por ejemplo GP-GC la cual indica una grava mal gradada, con un contenido entre 5% y el 12% de finos plásticos (arcillosos).

3.4. GRANULOMETRIA

Denominamos granulometría a la clasificación por tamaños en la que se encuentran distribuidas las partículas presentes en un suelo; la prueba se basa en calcular el porcentaje de suelo que pasa a través de tamices, de abertura rectangular las cuales son de diferente tamaño.

Para realizar el ensayo se ubican los tamices de forma ascendente empezando por la malla de menor diámetro.

Antes de realizar el tamizado la muestra debe ser llevada al horno para que pierda toda la humedad, luego se toma el peso de la muestra, y se procede a lavar sobre el tamiz N° 200 para extraer las partículas más finas en el suelo. Después se lleva al horno la muestra durante 24 horas, y se toma nuevamente el peso para saber que tanto se perdió en el lavado. [5]



3.5. COHESION

Corresponde al esfuerzo cortante en una muestra en ausencia de una presión normal. En un plano de esfuerzos T vs σ la cohesión corresponde a la distancia entre la intersección de la envolvente de falla con el eje T y el origen de coordenadas de dicho plano.

La consistencia plástica de un suelo arcilloso, depende del contenido de humedad, que es la relación de masa de agua a masa sólida. Con bajas humedades, el agua presente se sitúa en las capas adsorbidas, por lo que las partículas de arcilla desarrollan fuerzas de atracción entre sí. El efecto enlazante de ésta succión produce un cierto tipo de tensión interna que se llama cohesión. [6]

⁵ Ibíd.

⁶ COMBE, T. W. *Mecánica de suelos* (primera ed.). Mexico : Limusa Noriega Editores.

3.6. MODALIDADES DE ENSAYO DE CORTE DIRECTO

3.6.1. Ensayo No Consolidado No Drenado (UU)

Es un ensayo rápido, donde el corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal (P_v); si el suelo es cohesivo y saturado, se desarrollará exceso de presión de poros. Generalmente la recta intrínseca en el diagrama de τ contra σ es horizontal, donde $\tau = C_u$. No se permite el drenaje de la muestra en todo el ensayo.

3.6.2. Ensayo Consolidado No Drenado (CU)

En éste ensayo se permite que la muestra drene o se consolide durante la aplicación de la carga vertical, de modo que en el momento de aplicar el esfuerzo de corte las presiones intersticiales sean nulas, pero no durante la aplicación del esfuerzo cortante. La tensión de corte es rápida para que la presión de poros no pueda disiparse en el transcurso del ensayo.

3.6.3. Ensayo Consolidado Drenado (CD)

La velocidad de corte es lenta, se permite el drenaje de la muestra durante todo el ensayo siendo las presiones intersticiales nulas durante la aplicación del esfuerzo cortante ($u = 0$) esto implica que: $\bar{\sigma} = \sigma$, $C = C$, $\phi = \phi$. [7]

3.7. MODALIDADES DE ENSAYO DE TRIAXIAL:

Un ensayo no drenado se realiza cerrando el sistema de suelo a la atmósfera de tal forma que nada del fluido de los poros pueda escapar durante el ensayo. Un ensayo drenado es aquel en donde se abre la válvula de drenaje del fluido de los poros. Existen diferentes tipos de ensayo que se pueden realizar abriendo o cerrando la válvula de salida de presión del fluido de los poros, se pueden describir algunos:

3.7.1. Ensayo no drenado:

Éste ensayo se realiza con la válvula de drenaje cerrada en todas las fases del ensayo y antes de que la muestra tenga posibilidades de consolidarse. Se puede comenzar el ensayo cuando esté estabilizada la presión en la cámara.

⁷ RICO RODRIGUEZ, A. (s.f.). *Mecánica de Suelos: Fundamentos de la Mecánica de Suelos* (Tercera ed., Vol. TOMO I). Mexico DF: Limusa Noriega.

3.7.2. Ensayo consolidado – no drenado:

Se realiza cuando la muestra se ha consolidado con la válvula de drenaje abierta y manteniendo una presión de cámara constante. Se controla con un aparato que permita controlar la muestra para determinar cuándo ha terminado el cambio de volumen, esto indica que la consolidación ha terminado. En materiales arcillosos se utilizan filtros espaciada alrededor del perímetro superficial de la muestra adyacente a la membrana para acelerar el drenaje. Terminada la consolidación, se cierran las válvulas de drenaje y se aplica el esfuerzo desviador a la muestra hasta la falla.

3.7.3. Ensayo consolidado – drenado:

Se abre la válvula de drenaje, se aplica presión de cámara y se controla la consolidación en la muestra; mientras la válvula de drenaje continúa abierta, se aplica el esfuerzo desviador. Éste esfuerzo que debe aplicarse es tan bajo que las presiones de los poros que siempre se desarrollan durante el proceso de corte son suficientemente pequeñas para que los parámetros de suelos no se afecten.

Éste ensayo es muy detallado y requiere de tiempo necesario, es económicamente justificable para grandes proyectos. [8]

3.8. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS

La resistencia al esfuerzo cortante de un suelo se define como el valor máximo de la resistencia al corte que se induce dentro de su masa antes que el suelo ceda.

La evaluación de los parámetros de resistencia al corte es parte necesaria en el análisis y diseño de cimientos, muros de contención y pendientes de terreno.

Los suelos generalmente fallan por cortante, la resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla es igual o mayor a la resistencia media del suelo. Las partículas se deslizan una sobre la otra a lo largo de la superficie de falla, de manera que no hay rotura de granos individuales.

⁸ BOWLES, J. E. (s.f.). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil* (Segunda ed.). Bogota DC: MC GRAW HILL.

3.8.1. Tipos de pruebas de corte:

En nuestro medio encontramos diversas pruebas, tanto para realizar en el laboratorio como in situ. En cualquiera de las pruebas se debe tener en cuenta la manipulación, empaque y transporte de las muestras especialmente cuando se requieren inalteradas, donde se debe preservar la estructura, el contenido de humedad y la densidad.

Entre las diversas pruebas encontramos:

Pruebas de Laboratorio:

Caja de corte directo, compresión triaxial, consolidación isotrópica, aparato de corte para torsión y trayectoria de esfuerzos.

Pruebas in situ:

Caja de corte directo, aparato de veleta de corte y penetración.

3.8.1.1. PRUEBA DE LA CAJA DE CORTE DIRECTO:

En este ensayo se miden los esfuerzos normal y de corte en el plano de falla. Primero se prepara la muestra rectangular, se introduce con mucha precisión en la caja metálica que está dividida en dos mitades horizontales, manteniendo la unión entre las dos mitades de la caja metálica, el espécimen del suelo se coloca entre las dos placas metálicas. En la parte superior de la caja se coloca una almohadilla de presión y la caja se coloca en una caja externa. Después se aplica una carga vertical sobre el suelo, usando un suspensor estático de pesas. Se retiran los dos tornillos que ajustan la caja metálica que mantienen unida las dos mitades; el suelo se somete a una fuerza horizontal aplicada con un gato de tornillo a una velocidad de deformación constante. La magnitud de la fuerza cortante se mide mediante un anillo de carga. Se realiza el mismo procedimiento para otros tres o cuatro especímenes tomados de la misma muestra de suelo. Se calculan y se grafican los valores del esfuerzo normal y del esfuerzo cortante en el plano horizontal de falla. [9]

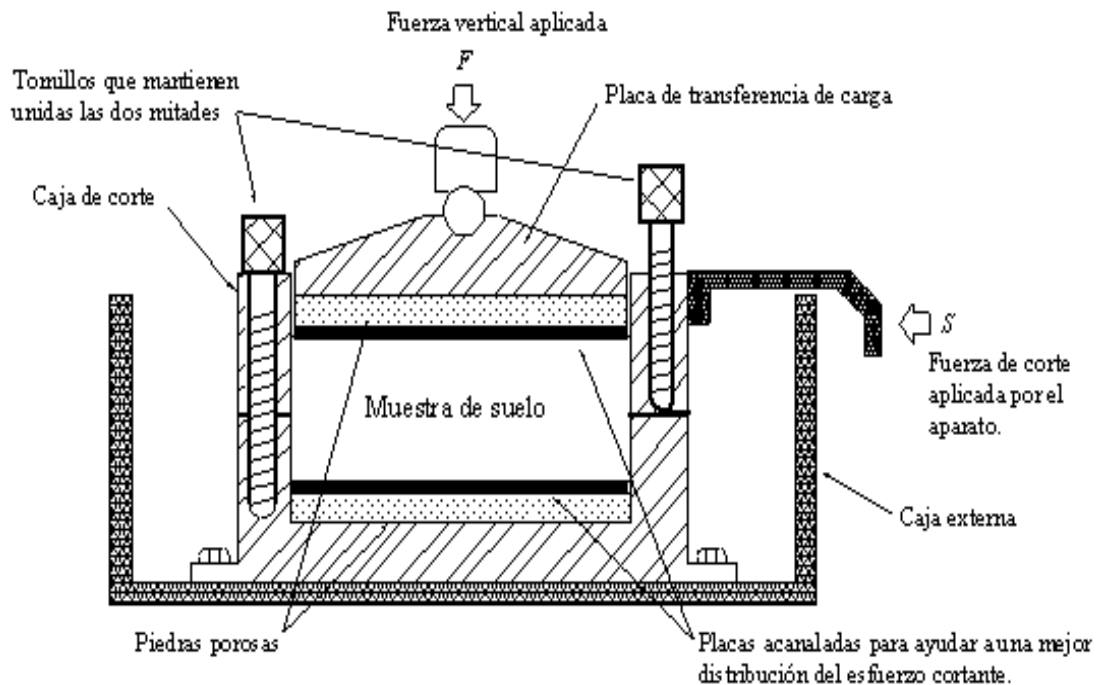
⁹ WHITLOW, R. (1994). *Fundamentos de Mecánica de suelos* (primera edición ed.). Mexico: Compañía editorial continental S.A.

Figura 3. Máquina de Corte Directo



Fuente: http://icc.ucv.cl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/corte.jpg

Figura 4. Caja corte directo



Fuente: http://www.ingenierocivilinfo.com/2011_02_01_archive.html

3.8.1.2. COMPRESIÓN TRIAXIAL:

Es el ensayo mas común, la prueba se lleva a cabo en un espécimen cilíndrico de suelo que tiene una relación altura/diámetro de 2:1; los tamaños usuales son de 76 x 38 mm y 100 x 50 mm. [10]

Éste espécimen se introduce en la cámara del equipo de triaxial (figura 5) para ser ensayado por medio de la aplicación de presiones.

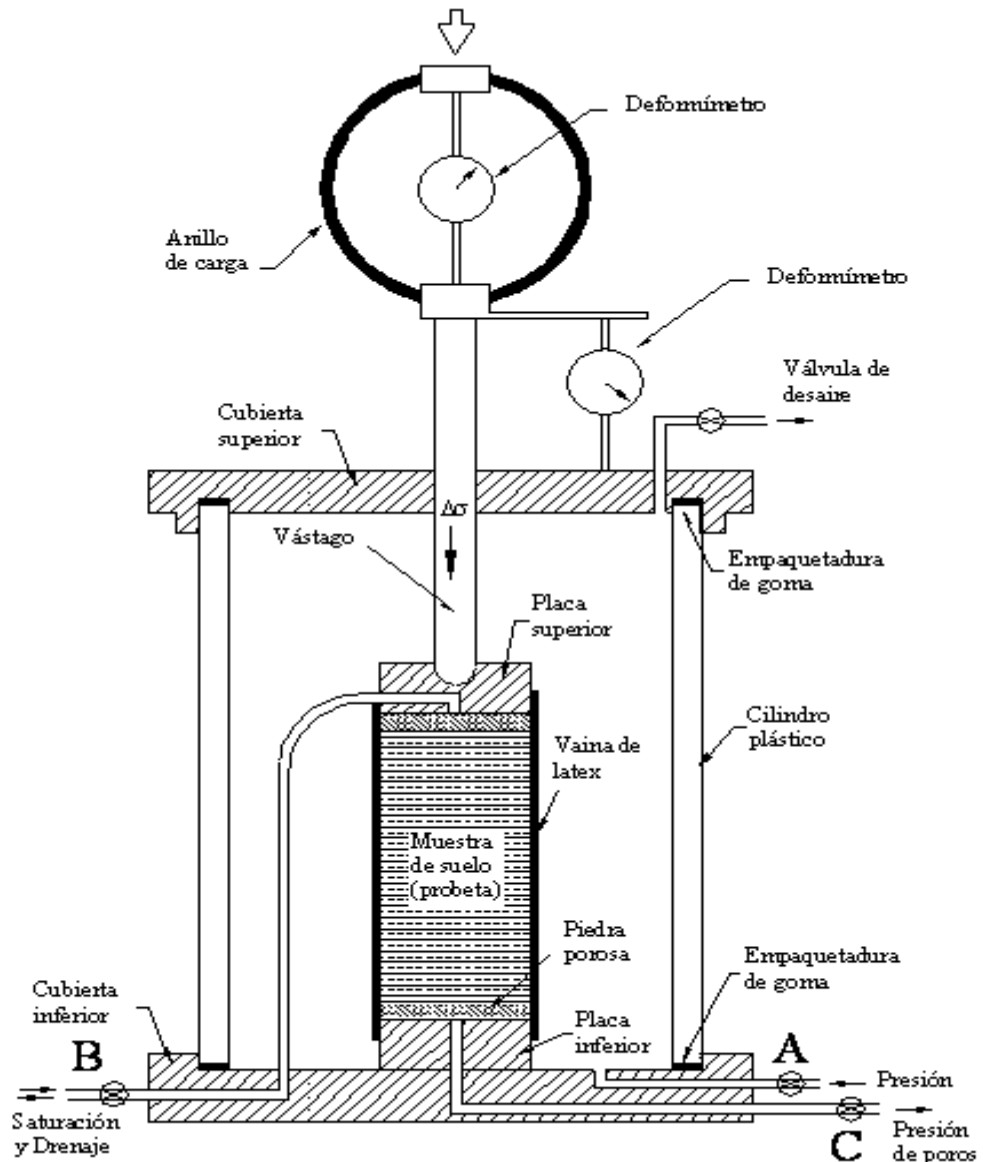
Figura 5. Cámara del equipo de triaxial



Fuente: Fotografía tomada del Laboratorio de Suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana

¹⁰ WHITLOW, R. (1994). *Fundamentos de Mecánica de suelos* (primera edición ed.). Mexico: Compañía editorial continental S.A.

Figura 6. Partes Máquina de triaxial



Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/30ámara-triaxial-y-preparacion-de-la.html>

3.9. PRINCIPIO DE MOHR – COULOMB

El círculo de Mohr se utiliza para representar o describir la resistencia al cortante de los suelos, utilizando la envolvente de falla, lo cual equivale a que una combinación crítica de esfuerzos se ha alcanzado. Los esfuerzos por encima de la envolvente de falla no pueden existir.

La envolvente de falla es generalmente una línea recta que puede representarse en la forma:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi$$

Donde:

τ : Resistencia al cortante

σ : Esfuerzo normal

c : Intercepto del eje de resistencia (Cohesión)

ϕ : Pendiente de la envolvente (Ángulo de fricción)

En la mayoría de los suelos, la envolvente de falla para niveles de esfuerzos pequeños no es recta sino curva y el error de asumida como recta puede modificar sustancialmente los resultados de un análisis. En la realidad, no existe un ángulo de fricción para esfuerzos normales bajos y es preferible utilizar los valores de la envolvente. Sin embargo, los ensayos normales de resistencia al cortante no se realizaran con suficientes puntos para determinar las características de la curva en el rango de fricción como una fricción de las presiones normales.

El círculo de Mohr puede extenderse también al análisis de suelos parcialmente saturados, teniendo en cuenta las presiones en el agua y el aire en los vacíos.
[11]

¹¹ SUAREZ DIAS, j. (s.f.). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*.

3.10. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PRUEBA DE CORTE DIRECTO VS TRIAXIAL:

Ventajas:

- a) Se miden directamente tanto el esfuerzo cortante como el esfuerzo normal en el plano de falla; los parámetros de resistencia al corte (ϕ y C) se definen en términos de estos esfuerzos.
- b) Es posible mantener un esfuerzo normal absolutamente constante durante toda la prueba.
- c) Es más fácil ensayar suelos sin cohesión tales como gravas y arenas; las pruebas con drenaje en este tipo de suelos pueden llevarse a cabo en un tiempo bastante corto.
- d) Es más fácil medir los cambios de volumen durante la prueba.
- e) Usando una caja de corte directo reversible, es posible llevar a cabo pruebas que requieran grandes desplazamientos; por ejemplo, pruebas de resistencia en arcillas.

Desventajas:

- a. La distribución del esfuerzo cortante sobre el plano se supone uniforme, pero de hecho no lo es.
- b. No es posible controlar el drenaje de la muestra o medir la presión de poro en el agua dentro de la muestra. Por consiguiente, sólo se pueden llevar a cabo mediciones del esfuerzo total, excepto cuando la rapidez de corte se mantiene lo suficientemente baja como para asegurar que no hay aumento en la presión de poro, por ejemplo en suelos sin cohesión. El esfuerzo normal no puede no puede variarse fácilmente. [12]

¹² WHITLOW, R. (1994). *Fundamentos de Mecánica de suelos* (primera edición ed.). Mexico: Compañía editorial continental S.A.

3.11. CAPACIDAD PORTANTE

La cimentación es la parte de la estructura que permite la transmisión de las cargas que actúan, hacia el suelo o hacia la roca subyacente.

Cuando los suelos reciben las cargas de la estructura, se comprimen en mayor o en menor grado, y producen asentamientos de los diferentes elementos de la cimentación y por consiguiente de toda la estructura. Durante el diseño se deben controlar tanto los asentamientos absolutos como los asentamientos diferenciales.

El suelo constituye el material de ingeniería más heterogéneo y más impredecible en su comportamiento, es por ello que los coeficientes de seguridad que suelen utilizarse son al menos de 3 con relación a la resistencia. La presencia de diferentes tipos de suelos y de distintos tipos de estructuras da lugar a la existencia de distintos tipos de cimentaciones.

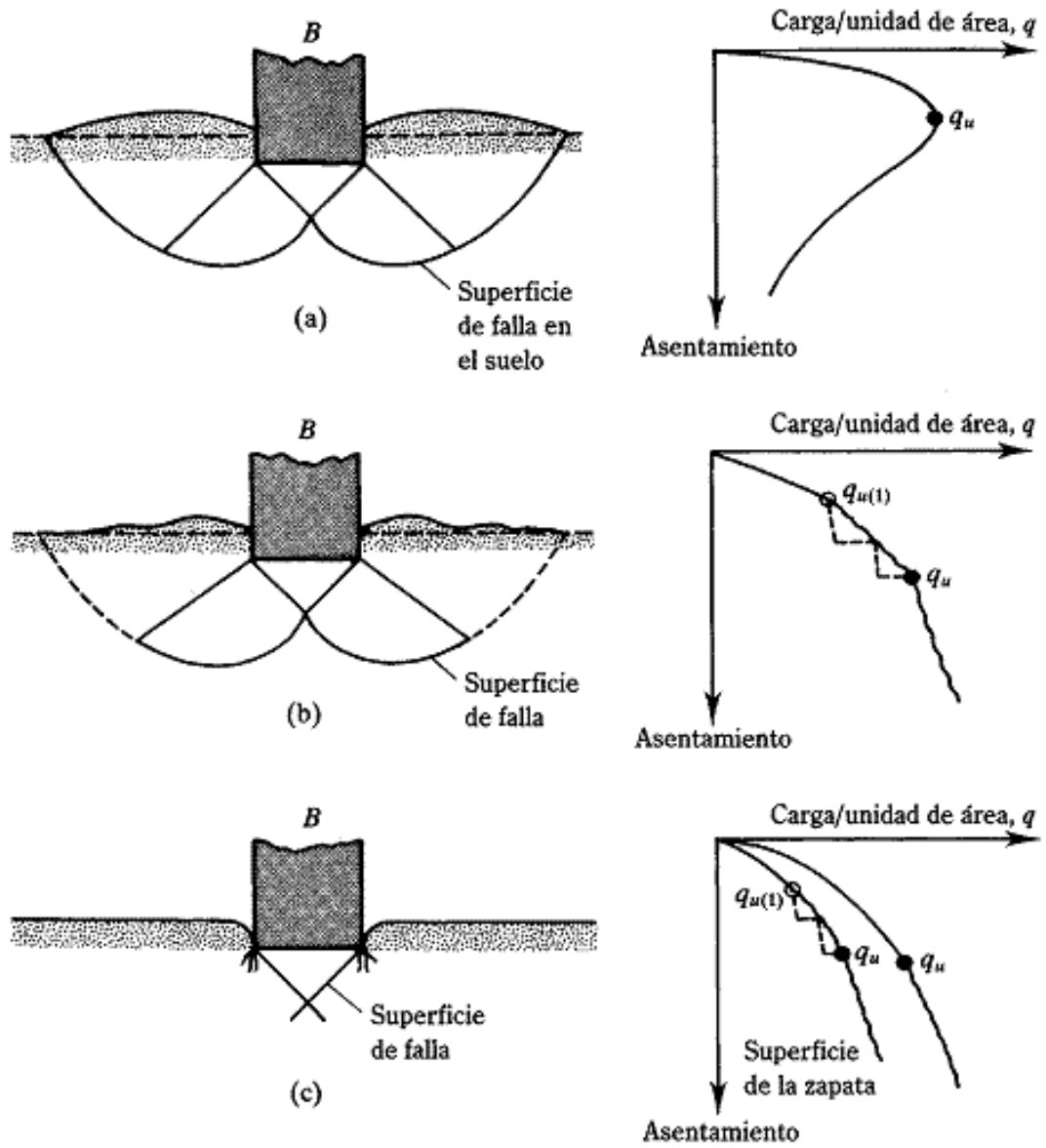
3.11.1. METODO DE MEYERHOF

En la teoría de Terzaghi, no se toman en cuenta los esfuerzos cortantes desarrollados en el suelo arriba del nivel de desplante del cimiento; el suelo arriba del plano de apoyo del cimientos se toma en cuenta solamente como una sobrecarga perfectamente flexible, pero no como un medio a través del cual puedan propagarse superficies de deslizamiento o en el cual puedan desarrollarse resistencias al esfuerzo cortante.

Meyerhof trató de cubrir ésta deficiencia en una Teoría de Capacidad de Carga; en ésta teoría y para el caso de cimientos largos, se supone que la superficie de deslizamiento con la que falla el cimiento tiene la forma que se muestra en la siguiente figura: [13]

¹³ JUAREZ BADILLO Eulalio y RICO RODRIGUEZ, A. *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos* (Vol. TOMO I). Mexico DF: Limusa Noriega Editores.

Figura 7. Mecanismos de Falla propuestos por Meyerhof



Fuente: <http://www.ingenieriaciviltips.com/>

La expresión a que se llega finalmente al desarrollar la Teoría de Meyerhof es la siguiente:

- En el caso de carga vertical:

$$q_u = CN_c S_c d_c + QN_q S_q d_q + 0,5\gamma B N_\gamma S_\gamma d_\gamma$$

Donde:

q_u = Capacidad de carga ultima

C = Cohesión

B = Base

S = Factor de Forma

D = Profundidad

- En el caso de carga inclinada:

$$q_u = CN_c d_c i_c + QN_q d_q i_q + 0,5\gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

- Se calculan los factores de capacidad de carga:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \cdot \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$N_g = (N_q - 1) \cdot \tan(1,4 \phi)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi$$

- Se calculan los factores de forma:

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$S_c = 1 + 0,2 \cdot K_p \cdot B/L, \text{ para cualquier valor de } \phi$$

$$S_q = S_g = 1 + 0,1 \cdot K_p \cdot B/L, \text{ para } \phi > 10$$

$$S_q = S_g = 1, \text{ para } \phi = 0$$

- Se calculan Factores de Profundidad:

$$d_c = 1 + 0,2 * \text{Raiz}(K_p) * Df/L, \text{ para cualquier valor de } \phi$$

$$d_q = d_g = 1 + 0,1 * \text{Raiz}(K_p) * Df/L, \text{ para } \phi > 10$$

$$d_q = d_g = 1, \text{ para } \phi = 0$$

Se calcula la capacidad portante reemplazando cada uno de los valores obtenidos de los factores en la fórmula de Meyerhof.

La ecuación de Terzaghi se recomienda para suelos cohesivos donde $Df/B < 1$ o para un valor estimado rápido de la capacidad de carga última (q_u) para comparar con otros métodos.

Las ecuaciones de Hansen, Meyerhof y Vesic pueden utilizarse en cualquier situación dependiendo de la preferencia o familiarización que se tenga con un método en particular. Las ecuaciones de Hansen y Vesic son útiles cuando la base es inclinada o cuando $Df/B > 1$. [14]

¹⁴ JUAREZ BADILLO Eulalio y RICO RODRIGUEZ, A. *Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos* (Vol. TOMO I). Mexico DF: Limusa Noriega Editores.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1. RESULTADOS CLASIFICACIÓN

- De acuerdo con los resultados en los ensayos de granulometría y límites de plasticidad, se puede concluir que para las tres muestras de suelo se obtuvo una arena arcillosa (SC), cuya distribución de tamaños de partículas y plasticidad se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Análisis granulométrico.

TIPO DE SUELO	ENSAYO	DESCRIPCION	
SC	1	%GRAVAS =	4,4
		%ARENAS =	52,1
		% FINOS =	43,5
		LL (%) =	48,9
		LP (%) =	26
		IP (%) =	23,3
	2	%GRAVAS =	5
		%ARENAS =	56,9
		% FINOS =	38,2
		LL (%) =	45,6
		LP (%) =	26,5
		IP (%) =	19,1
	3	%GRAVAS =	3,2
		%ARENAS =	50,6
		% FINOS =	46,2
		LL (%) =	43,3
		LP (%) =	21,9
		IP (%) =	21,4

4.2. RESULTADOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL

- Se realizaron 30 pruebas de corte directo y 30 pruebas de triaxial para el tipo de suelo arena arcillosa. Con estos datos se obtuvieron los valores promedio, la desviación estándar y el porcentaje de error de: la cohesión, el ángulo de fricción interna, el peso específico húmedo, el peso específico seco (γ_d), y la humedad $\omega(\%)$.

- Para cada tipo de ensayo corte directo manual y triaxial se realizaron los cálculos y las graficas obtenidas con base a los esfuerzos cortante máximos.
- Según los resultados de los ensayos de compactación y proctor modificado para las tres muestras tomadas el peso especifico seco $\gamma_{\text{seco máx.}} = 1,95 \text{ g/cm}^3$ y el porcentaje de humedad $\omega(\%) = 13 \%$
- Una vez realizados los ensayos se procedió a tabularlos en un cuadro resumen en donde se concretó un resultado final para cada uno de los ensayos.
Se aprecia en el cuadro resumen 6 columnas las cuales están asignadas: Ensayo N^o, Ángulo de fricción, Cohesión (Kg/cm²), Peso específico húmedo (gr/cm²), peso específico seco (gr/cm²) y humedad.

En el cuadro resumen, El ángulo de fricción y la Cohesión fueron calculados; Los pesos específicos y la humedad son un promedio de los datos tomados en los ensayos.

Tabla 2. Arena Arcillosa (SC). Equipo corte Directo Manual

ARENA ARCILLOSA (SC). EQUIPO MANUAL					
ENSAYO N°	ANGULO DE FRICCION $\phi(^{\circ})$	COHESION (Kg/cm ²)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	ω (%)
1	49,80	0,64	1,61	1,45	10,77
2	47,52	0,66	1,59	1,44	10,82
3	45,24	0,73	1,61	1,45	10,65
4	44,04	0,74	1,58	1,42	10,90
5	40,83	0,87	1,63	1,47	10,83
6	43,72	0,66	1,59	1,43	11,25
7	36,50	1,12	1,88	1,69	11,60
8	41,40	1,38	1,99	1,78	11,29
9	40,11	0,75	1,77	1,60	10,64
10	49,44	0,63	1,81	1,63	10,63
11	37,46	0,71	1,78	1,61	10,61
12	34,55	0,80	1,75	1,58	10,54
13	39,00	1,14	1,90	1,70	12,08
14	34,80	1,21	1,89	1,68	12,50
15	46,26	0,41	1,80	1,61	11,74
16	42,80	0,51	1,82	1,64	11,22
17	48,80	0,68	1,81	1,62	11,71
18	53,00	0,58	1,94	1,72	12,89
19	34,60	0,71	1,86	1,66	12,31
20	33,76	1,07	1,91	1,69	12,89
21	35,15	0,72	1,88	1,67	11,92
22	35,20	0,61	1,75	1,56	12,72
23	34,00	0,58	1,85	1,65	12,02
24	34,50	1,34	1,91	1,70	12,26
25	48,60	1,09	1,90	1,68	12,71
26	34,70	1,03	1,94	1,72	12,39
27	53,26	0,49	1,94	1,73	12,16
28	52,36	0,50	1,84	1,64	11,89
29	48,90	0,72	1,90	1,70	11,80
30	52,93	0,06	1,89	1,68	12,40
PROMEDIO	42,44	0,77	1,81	1,62	11,67
DESVIACION	6,83	0,29	0,12	0,10	0,77
ERROR	16,08	37,74	6,68	6,27	6,62

Tabla 3. Arena Arcillosa (SC). Equipo corte Directo Digital

ARENA ARCILLOSA (SC). EQUIPO DIGITAL					
ENSAYO N°	ANGULO DE FRICCION $\phi(^{\circ})$	COHESION (Kg/cm ²)	γ (g/cm ³)	γ_d (g/cm ³)	ω (%)
1	27,67	0,17	1,61	1,45	10,77
2	26,40	0,18	1,59	1,44	10,82
3	25,13	0,20	1,61	1,45	10,65
4	24,47	0,20	1,58	1,42	10,90
5	22,68	0,23	1,63	1,47	10,83
6	24,29	0,18	1,59	1,43	11,25
7	20,28	0,30	1,88	1,69	11,60
8	23,00	0,37	1,99	1,78	11,29
9	22,28	0,20	1,77	1,60	10,64
10	27,47	0,17	1,81	1,63	10,63
11	20,81	0,19	1,78	1,61	10,61
12	19,19	0,21	1,75	1,58	10,54
13	21,67	0,31	1,90	1,70	12,08
14	19,33	0,32	1,89	1,68	12,50
15	25,70	0,11	1,80	1,61	11,74
16	23,78	0,14	1,82	1,64	11,22
17	27,11	0,18	1,81	1,62	11,71
18	29,44	0,15	1,94	1,72	12,89
19	19,22	0,19	1,86	1,66	12,31
20	18,76	0,29	1,91	1,69	12,89
21	19,53	0,19	1,88	1,67	11,92
22	19,56	0,16	1,75	1,56	12,72
23	18,89	0,16	1,85	1,65	12,02
24	19,17	0,36	1,91	1,70	12,26
25	27,00	0,29	1,90	1,68	12,71
26	19,28	0,28	1,94	1,72	12,39
27	29,59	0,13	1,94	1,73	12,16
28	29,09	0,13	1,84	1,64	11,89
29	27,17	0,19	1,90	1,70	11,80
30	29,41	0,02	1,89	1,68	12,40
PROMEDIO	23,58	0,21	1,81	1,62	11,67
DESVIACION	3,79	0,08	0,12	0,10	0,77
ERROR	16,08	37,74	6,68	6,27	6,62

Tabla 4. Arena Arcillosa (SC). Equipo de Triaxial

ARENA ARCILLOSA (SC). EQUIPO TRIAXIAL				
ENSAYO N°	ANGULO DE FRICCION ϕ (°)	COHESION (Kg/cm ²)	γ (g/cm ³)	ω (%)
1	48	0,895	2,18	12,90
2	47	0,848	2,18	12,68
3	47	0,932	2,15	12,75
4	52	0,621	2,14	12,60
5	48	1,343	2,16	12,93
6	47	1,420	2,12	13,00
7	51	0,882	2,10	12,92
8	52	1,000	2,14	12,75
9	50	1,176	2,16	13,05
10	53	0,866	2,25	12,63
11	50	1,072	2,16	12,80
12	45	1,596	2,16	12,50
13	47	1,152	2,12	12,94
14	47	1,367	2,11	12,88
15	45	1,358	2,18	12,82
16	45	1,840	2,18	12,82
17	48	1,010	2,10	12,79
18	46	1,206	2,06	12,84
19	45	1,103	2,12	12,97
20	46	1,283	2,13	12,42
21	49	0,923	2,12	12,85
22	45	1,200	2,11	12,79
23	47	0,856	2,06	12,78
24	45	1,223	2,13	13,00
25	45	1,188	2,09	13,10
26	45	1,201	2,15	13,06
27	45	1,073	2,15	13,05
28	45	1,167	2,18	12,87
29	45	1,048	2,20	12,97
30	46	0,873	2,16	13,00
PROMEDIO	47,2	1,124	2,14	12,85
DESVIACION	2,44	0,25	0,04	0,17
ERROR	5,17	22,20	1,90	1,28

Tabla 5. Análisis de ángulo de fricción y la cohesión

COMPARACION EQUIPO DE TRIAXIAL VS EQUIPO CORTE DIRECTO MANUAL

	TRIAXIAL	CORTE DIRECTO MANUAL
$\phi(^{\circ})$	47,20	42,44
c (Kg/cm ²)	1,12	0,77

$\phi_{\text{triaxial}}/\phi_{\text{Cd-manual}}$	1,11
$c_{\text{triaxial}}/c_{\text{Cd-manual}}$	1,46

COMPARACION EQUIPO DE TRIAXIAL VS EQUIPO CORTE DIRECTO DIGITAL

	TRIAXIAL	CORTE DIRECTO DIGITAL
$\phi(^{\circ})$	47,20	23,58
c (Kg/cm ²)	1,12	0,21

$\phi_{\text{triaxial}}/\phi_{\text{Cd-digital}}$	2,00
$c_{\text{triaxial}}/c_{\text{Cd-digital}}$	5,44

CORRELACION DEL ANGULO DE FRICCION Y LA COHESION

$K\phi$	1,80
Kc	3,73

4.3. RESULTADOS CAPACIDAD PORTANTE

- De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo digital y ensayo triaxial se realizó el análisis comparativo de la capacidad portante calculada por el método de Meyerhof para tres tipos de zapatas; cuadradas de base por longitud (2x2), zapatas (2x3) y zapatas (2x4).
- Con estos datos se obtuvieron los valores de la capacidad portante de arenas arcillosas analizadas en el equipo de corte directo para cada tipo de zapata, así mismo la capacidad portante para arenas arcillosas analizadas en el equipo de triaxial para cada una de las zapata.
- Los resultados se presentan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6. Análisis de la capacidad portante método de Meyerhof.

EQUIPO	ANGULO DE FRICCIÓN $\phi(^{\circ})$	COHESION (Ton/m ²)	γ (Ton/m ³)	B (m)	L (m)	D (m)	Capacidad q_{ult}
Corte Directo Digital	23,58	2,1	1,62	2	2	1,5	113,58
	23,58	2,1	1,62	2	3	1,5	103,0
	23,58	2,1	1,62	2	4	1,5	98,31
Triaxial	47,2	11,24	2,14	2	2	1,5	9435,19
	47,2	11,24	2,14	2	3	1,5	7830,44
	47,2	11,24	2,14	2	4	1,5	7028,07

5. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. Ensayo de Corte Directo Manual:

- Para el ensayo de Corte Directo Manual se presento un ángulo de fricción interna promedio obtenido de la envolvente de falla de esfuerzos cortante máximo de $42,44^\circ$ con una desviación estándar de $6,83^\circ$, y un porcentaje de error de $16,08\%$. Estos resultados fueron obtenidos para una humedad promedio de las muestras de $11,67\%$.
- La cohesión promedio obtenida de la envolvente de falla de esfuerzos cortantes máximos de $0,77 \text{ kg/cm}^2$ con una desviación estándar de $0,29 \text{ kg/cm}^2$ y un porcentaje de error de $37,74\%$.
- Debido a los resultados obtenidos se considera que el ángulo de fricción $42,44 \%$ para este tipo de suelo arena arcillosa es muy alto.

5.2. Ensayo de Corte Directo Digital:

- Para el ensayo de Corte Directo Digital se presento un ángulo de fricción interna promedio obtenido de la envolvente de falla de esfuerzos cortante máximo de $23,58^\circ$ con una desviación estándar de $3,79^\circ$, y un porcentaje de error de $16,08\%$. Estos resultados fueron obtenidos para una humedad promedio de las muestras de $12,97\%$.
- La cohesión promedio obtenida de la envolvente de falla de esfuerzos cortantes máximos de $0,21 \text{ kg/cm}^2$ con una desviación estándar de $0,08 \text{ kg/cm}^2$ y un porcentaje de error de $37,74$.
- Los resultados obtenidos en el ensayo de corte directo digital se consideran propios de una arena arcillosa (SC); teniendo en cuenta que la mitad del material corresponde a un material fino.

5.3. Ensayo de Triaxial:

- Para el ensayo de Triaxial se presento un ángulo de fricción interna promedio obtenido de la envolvente de falla de esfuerzos cortantes máximo de 47,2%, con una desviación estándar de 2,44 y un porcentaje de error de 5,17%. Estos resultados fueron obtenidos para una humedad promedio de las muestras de 12,85%.
- la arena arcillosa presento una cohesión promedio obtenida de la envolvente de falla de esfuerzos cortantes máximos de 1,124 kg/cm², la desviación estándar de 0,25 y un porcentaje de error de 22,20%.
- Debido a los resultados obtenidos se considera que el ángulo de fricción 47,2% para este tipo de suelo arena arcillosa es muy alto.

5.4. COMPARACION DE RESULTADOS:

- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que para la Arena Arcillosa estudiada la relación entre el ángulo de fricción interna del ensayo de Triaxial con respecto al ángulo de fricción interna de ensayo de Corte Directo Manual es de 1,11.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que para la Arena Arcillosa estudiada la relación entre la cohesión del ensayo de Triaxial con respecto a la cohesión del ensayo de Corte Directo Manual es de 1,46.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que para la Arena Arcillosa estudiada la relación entre el ángulo de fricción interna del ensayo de Triaxial con respecto al ángulo de fricción interna de ensayo de Corte Directo Digital es de 2,00.
- De acuerdo con los resultados obtenidos se puede concluir que para la Arena Arcillosa estudiada la relación entre la cohesión del ensayo de Triaxial con respecto a la cohesión del ensayo de Corte Directo Digital es de 5,44.

- Debido a que se realizaron 11 ensayos en el equipo de corte directo digital, este aparato se dañó y se optó por concluir los 19 restantes con el equipo de corte directo manual. Dado a que los resultados obtenidos son tan diferentes se vio en la necesidad de hallar una fórmula de correlación tanto para la cohesión como para el ángulo de fricción partiendo de la base que los resultados que más se aproximan a los valores propios de una arena arcillosa (SC) son los del equipo de corte directo digital; los resultados del corte directo manual fueron llevados a sus equivalentes obtenidas en el equipo digital.
- En el trabajo de grado titulado: "Mejoramiento del ángulo de fricción interno en Arenas Arcillosas mediante la adición de geotextil tejido T 2400. Realizado por los estudiantes Robinson Ramírez y Diana Moreno Cáceres, se obtuvo una correlación entre el ángulo de fricción interna de los ensayos de Corte Directo Manual y Corte Directo Digital el cual fue $k\phi = 1,8$ y también se obtuvo una correlación entre la cohesión de los ensayos de Corte Directo Manual y Corte Directo Digital el cual fue $k_c = 3,73$. Estos datos de $k\phi$ y k_c se utilizaron para llevar los resultados del corte directo manual del proyecto de grado "Comparación de los Parámetros de Resistencia al Corte obtenidos por medio de los Ensayos de Corte Directo y Triaxial" a los que se obtuvieron en el corte directo digital, ya que se vio que en los dos trabajos de grado se ensayó el mismo tipo de suelo y en las mismas máquinas.

5.5. COMPARACION DE RESULTADOS CAPACIDAD PORTANTE

5.5.3 ZAPATAS CUADRADAS B = 2 Metros, L= 2 Metros

CARGA	TRIAxIAL	CORTE DIRECTO DIGITAL
q_{ult}	9435,19	113,74

$L / B =$	1
$q_{ult \text{ triaxial}} / q_{ult \text{ cd-digital}} =$	82,95

- Se observa que al calcular la capacidad portante para zapatas cuadradas por medio del Método de Meyerhof para el ensayo de corte directo digital es de 113,74 Ton/ m².
- Se observa que al calcular la capacidad portante para zapatas cuadradas por medio del Método de Meyerhof para el ensayo de triaxial es de 9435,19 Ton/ m²
- La relación de la capacidad portante obtenida el ensayo de corte directo digital y triaxial es de 82,95, con un L/B = 1.

5.5.4 ZAPATAS RECTANGULARES B = 2 Metros, L = 3 Metros

CARGA	TRIAxIAL	CORTE DIRECTO DIGITAL
q_{ult}	7830,44	103,44

L / B =	1,5
$q_{ult \text{ triaxial}}/q_{ult \text{ cd-digital}}=$	75,7

- Se observa que la capacidad portante para zapatas cuadradas obtenida por los datos del ensayo de corte directo digital es de 103,44 Ton/ m².
- Se observa que la capacidad portante para zapatas cuadradas obtenida por los datos del ensayo de triaxial es de 7830,44 Ton/ m²
- La relación de la capacidad portante obtenida el ensayo de corte directo digital y triaxial es de 75,71 con un L/B = 1,5.

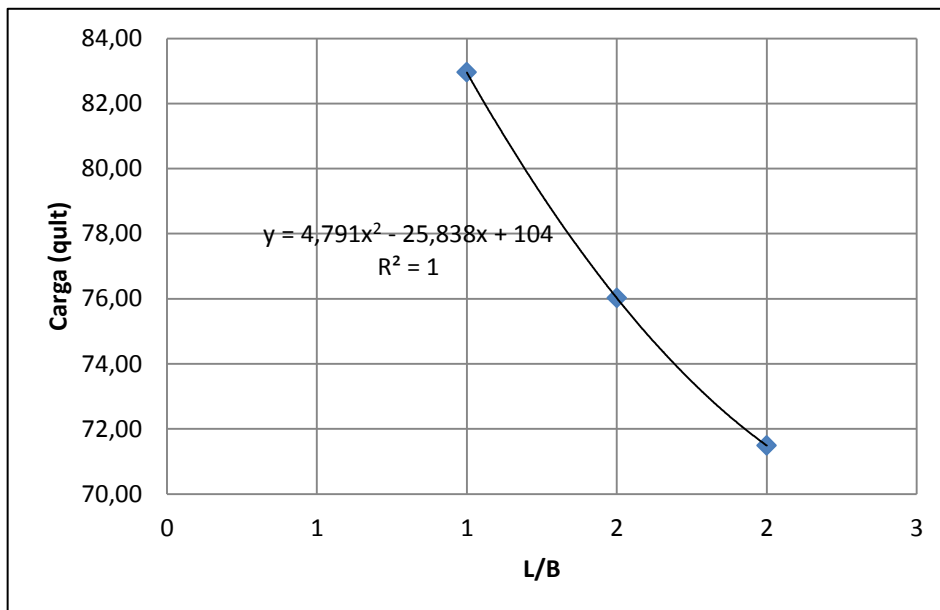
5.5.5 ZAPATAS RECTANGULARES B = 2 Metros, L = 4 Metros

	TRIAxIAL	CORTE DIRECTO DIGITAL
q_{ult}	7028,07	98,31

$L / B =$	2
$q_{ult \text{ triaxial}} / q_{ult \text{ cd-digital}} =$	71,49

- Se observa que la capacidad portante para zapatas cuadradas obtenida por los datos del ensayo de corte directo digital es de 98,31 Ton/ m².
- Se observa que la capacidad portante para zapatas cuadradas obtenida por los datos del ensayo de triaxial es de 7028,07 Ton/ m²
- La relación de la capacidad portante obtenida el ensayo de corte directo digital y triaxial es de 71,49 con un L/B = 2,0.

Figura 8. Relación entre la Capacidad Portante y L/B



RECOMENDACIONES

- El manejo del equipo corte digital debe ser realizado por personal capacitado para evitar que se presenten datos erróneos y a su vez evitar que por el mal uso se dañe el equipo.
- Es importante realizar los ensayos de corte directo el mismo día que se toman las muestras para evitar pérdida de humedad, si esto no es posible deben mantener la humedad por medio de bolsas térmicas y guardarlas en un cuarto húmedo.
- Se recomienda tomar las muestras de suelo a profundidades mayores a un metro para evitar materia orgánica en la muestra.
- Es importante tener en cuenta que en el ensayo triaxial, antes de aplicar la presión a la muestra se retiren todos los vacíos para que esta no se altere.
- Se recomienda adquirir un modulo de lectura de presiones en el cual la lectura se estabilice, ya que en el desarrollo de este trabajo las lecturas de carga axial siempre variaban incluso antes de aplicar dicha carga axial.
- Es necesario adquirir membranas ya que el laboratorio cuenta con un número escaso de ellas.
- Al realizar los ensayos se concluye que el ensayo de Triaxial conlleva un procedimiento más tedioso por lo que se tiene que manipular con cuidado las muestras y tener más precaución con respecto al proceso del ensayo, puesto que para el ensayo de corte directo es más sencillo.

CONCLUSIONES

- Tomadas las muestras de suelo y realizado los ensayos previos a la clasificación del suelo se determinó que los suelos predominantes de la excavación del edificio k corresponden a Arenas Arcillosas.
- La arena arcillosa tiene un peso específico seco máximo de $1,95 \text{ g/cm}^3$ y una humedad 13%, obtenidos en los ensayos de compactación Proctor modificado.
- El aparato de corte directo digital tiene la ventaja de obtener los esfuerzos cortantes residuales, en cambio en el aparato de corte directo manual se pudo observar que una vez alcanza el valor máximo se pierde el control del ensayo.
- Los resultados de los parámetros de resistencia al corte obtenidos en el aparato de corte directo digital se acercan más a los esperados para el tipo de suelo estudiado que los obtenidos en el aparato de corte directo manual y que el aparato triaxial (según los resultados obtenidos).
- El ángulo de fricción obtenido con el equipo digital para arenas arcillosas estudiadas es aproximadamente el doble del obtenido en el equipo manual; muy probablemente esto se deba a las fuentes de error propias del equipo de corte directo manual tales como: la velocidad de deformación que es controlada por el operador y esta nunca será constante, aparte de estar pendiente de esta velocidad el operador tiene que estar constantemente leyendo las lecturas del anillo de carga y de los deformímetros vertical y horizontal.
- Después de realizar los ensayos de corte directo digital y triaxial, se puede concluir que los resultados obtenidos para el ángulo de fricción interna del ensayo de triaxial es aproximadamente 2,00 veces mayor al obtenido en el corte directo digital (ver tabla 5).
- Después de realizar los ensayos de corte directo digital y triaxial, se puede concluir que los resultados obtenidos para la cohesión del ensayo de triaxial es aproximadamente 5,44 veces mayor al obtenido en el corte directo digital.
- Se observa que a medida que se aumenta la relación L/B la capacidad portante por el método de Meyerhof, con los parámetros obtenidos en los ensayos de corte directo digital y triaxial disminuye polinómicamente.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS

COMBE, T, William, y WHITMAN, Robert V. Mecánica de suelos: Primera edición. Limusa Noriega Editores México.

CRESPO VILLALAZ, Carlos. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Cuarta edición. México DF Limusa Noriega Editores.

JOSEPH BOWLES. Foundation Analysis and Desing. Fifth Edition. MC GRAW HILL COMPANIES, Inc. pg 220.

JOSEPH E. BOWLES. Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Segunda Edición. Bogotá DC. MC GRAW HILL.

JUAREZ BADILLO, Eulalio y RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I Tercera Edición. México DF Limusa Noriega Editores.

R. WHITLOW. Fundamentos de Mecánica de suelos: segunda edición en inglés (Primera edición en español). Compañía editorial continental, S.A. de C.V. México. 1994.

RICO RODRÍGUEZ, Alfonso. Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos TOMO I Tercera Edición. México DF Limusa Noriega Editores.

SUAREZ DIAZ, Jaime. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales, pg. 85.

NORMAS

Norma I.N.V.E. 123-07 Ensayo de Granulometría

Norma I.N.V.E. 125-07 Ensayo de Límite Líquido

Norma I.N.V.E. 126-07 Ensayo de Límite de Plasticidad

Norma I.N.V.E. 142 Ensayo de Proctor Modificado

Norma I.N.V.E. 153-07 Ensayo de Triaxial

Norma I.N.V.E. 154-07 Ensayo de Corte Directo

INTERNET

[http:// http://www.ingenierocivilinfo.com/2011_02_01_archive.html](http://www.ingenierocivilinfo.com/2011_02_01_archive.html)

<http://www.ingenierocivilinfo.com/2011/02/camara-triaxial-y-preparacion-de-la.html>

http://icc.ucv.cl/geotecnia/11_nuestro_laboratorio/corte.jpg

[//www.argentinawarez.com/ebooks-gratis/1031351-descargar-libros-y-material-sobre-mecanica-de-suelos-gratis.html](http://www.argentinawarez.com/ebooks-gratis/1031351-descargar-libros-y-material-sobre-mecanica-de-suelos-gratis.html)

<http://www.ingenieriaciviltips.com/>