



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**VARIACIÓN DE LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA
OBTENIDOS POR LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL CON
MATERIALES GRANULARES Y ARCILLOSOS**

Rodolfo Rosales Bermúdez

Asesorado por el Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

Guatemala, junio de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VARIACIÓN DE LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA
OBTENIDOS POR LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL CON
MATERIALES GRANULARES Y ARCILLOSOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR:

RODOLFO ROSALES BERMÚDEZ
ASESORADO POR EL ING. CARLOS LEONEL PÉREZ ARIAS
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

VARIACIÓN DE LA COHESIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA OBTENIDOS POR LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL CON MATERIALES GRANULARES Y ARCILLOSOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 9 de octubre de 2006.

Rodolfo Rosales Bermúdez

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres** Ing. Erik Rosales Torres.
Mariana Sofía Bermúdez de Rosales.
Quienes con su amor, enseñanza, apoyo, dedicación, han logrado hacer de mí, lo que ahora soy.
- Mis hermanos** Erik Mauricio Rosales Bermúdez.
Igor Rosales Bermúdez y Familia.
Quienes con su amor y apoyo, me han enseñado muchas cosas de la vida.
- Mi asesor** Ing. Carlos Leonel Pérez Arias.
Por su valiosa colaboración y apoyo continuo, como asesor, instructor y amigo.
- Al laborista** Walter Omar Velásquez Fuentes.
Por su valiosa colaboración en el desarrollo de los ensayos de laboratorio.
- Mi prima** Dra. Ningsia Nidbeth Lam Rodríguez.
Por su valiosa colaboración y apoyo incondicional.
- Mi novia** Flor de Maria Martínez Gorrochategui.
Con sus consejos he logrado realizar mis objetivos.
- Mis amigos y
compañeros** Por los momentos compartidos y el apoyo brindado en distintas actividades.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Laboratorio Servicios Unificados de Ingeniería

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de Toda Sabiduría.
Mis padres	Ing. Erik Rosales Torres. Mariana Sofía Bermúdez de Rosales.
Mis hermanos	Erik Mauricio Rosales Bermúdez. Igor Rosales Bermúdez y Familia.
Mis abuelitos	Juan Bermúdez, Marta López de Bermúdez. Carlos Rosales Bamaca, M. Olga Torres Q.E.P.D. Amada Luisa Rodríguez.
Mi asesor	Ing. Carlos Leonel Pérez Arias y Familia.
Al laborista	Walter Omar Velásquez Fuentes.
Mi novia	Flor de Maria Martínez Gorrochategui y Familia.
Mis tíos y primos en general, en especial a	Ing. Carlos Enrique Monzón Arriola y Familia. Lissete Belinda Rosales de Rodríguez y Familia. Lic. Zuigly Sol Rodríguez de Lam y Familia. Wildna Noemí Rodríguez de Castillo y Familia. Ludwin Wildberth Lam Rodríguez y Familia. Dra. Ningsia Nidbeth Lam Rodríguez y Esposo.

Mis padrinos

Lic. Carlos Aníbal Ronquillo Marín y Familia.
Lic. Oswaldo Pineda Sandoval y Familia.

Al señor

Gustavo Adolfo Castro Álvarez y Familia.

Mis compañeros

Quique, Irunga, Amilcar, Tavo, Lupe, Bimbo, Beto,
Tosho, Annie, Maria Andrea, Deify, Silvia, Ale, Manolo,
Chino, Zompopo, Diego, Julio, Caba, Fa, Gie, Goofy.

Mis amigos

Denis, Nando, Erick, Luis, Gusta, Cuto, Aaron, Reny,
Nora, Guisela, Lucia, Augusto, Blenda, Lula, Mario,
Checha, Palenz, Ale, Zaida, Mariela, Dolores.

Mi patria

Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ESFUERZO Y RESISTENCIA AL CORTE	01
1.1 Ángulo de fricción interna	02
1.2 Cohesión	02
1.3 Esfuerzo efectivo	03
1.3.1 Resistencia máxima	03
1.3.2 Resistencia residual	04
2. CÍRCULO DE MOHR	05
2.1 Envoltente de falla	05
3. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE	07
3.1 Selección de las muestras	07
4. ENSAYOS DE LABORATORIO	11
4.1 Ensayo triaxial	11
4.1.1 Ensayo no consolidado – no drenado	13
4.1.2 Ensayo consolidado – no drenado	14
4.1.3 Ensayo consolidado – drenado	15
4.1.4 Variables del ensayo triaxial	16

4.1.5	Características de la muestra	16
4.1.6	Preparación de la muestra	17
4.2	Ensayo de corte directo	19
4.2.1	Resumen del método de ensayo	20
4.2.2	Significado y uso	23
4.2.3	Ensayos con deformación controlada	24
4.2.4	Tasa de corte	24
4.2.5	Cargas normales	25
4.2.6	Características de la muestra	26
4.2.7	Preparación de la muestra	27
5.	SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS	29
5.1	Selección de las muestras	29
5.2	Ubicación de la procedencia de las muestras	32
6.	ENSAYOS DE LABORATORIO	35
6.1	Ensayo triaxial	35
6.2	Ensayo corte directo	36
6.3	Preparación de las muestras remoldeadas	37
6.3.1	Especímenes para los ensayos	37
6.3.2	Introducción del espécimen a la recámara de C.D.	38
6.3.3	Introducción del espécimen a la recámara triaxial	40
7.	RESULTADOS	43
7.1	Descripción de las muestras	43
7.2	Resultados de los ensayos	46
7.2.1	Propiedades físicas	46
7.2.2	Propiedades mecánicas	49

8.	CORRELACIÓN DE RESULTADOS	51
8.1	Correlación del ángulo de fricción interna	51
8.2	Correlación de la cohesión	52
	CONCLUSIONES	55
	RECOMENDACIONES	59
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÉNDICE A	63
	APÉNDICE B	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Envolvente de falla y círculo de Mohr_____	06
2	Aparato de ensayo triaxial_____	12
3	Detalle de la celda para el ensayo triaxial_____	13
4	Diagrama del ensayo triaxial_____	14
5	Círculo de Mohr y envolvente de falla del triaxial_____	15
6	Aparato de corte directo_____	21
7	Detalle de la caja para ensayo de corte directo_____	22
8	Esfuerzo de falla y envolvente del corte directo_____	23
9	Diagrama del ensayo de corte directo_____	25
10	Caja para muestras y accesorios_____	26
11	Sitio el Frutal, Villa Nueva_____	32
12	Sitio Villalobos, Mixco_____	33
13	Sitio finca Alta Vista, el Manzanillo, Mixco_____	34
14	Correlación del ángulo de fricción interna_____	52
15	Correlación de la cohesión_____	53
16	Aparato de corte directo_____	63
17	Aparato de compresión triaxial_____	63
18	Muestra de suelo de corte directo_____	64
19	Tallado de muestra de corte directo_____	64
20	Medición de muestra de corte directo_____	65
21	Muestra de suelo en caja de ensayo de corte directo_____	65

22	Muestra montada en aparato de corte directo_____	66
23	Muestra de suelo después del ensayo de corte directo_____	66
24	Accesorios para la preparación de la muestras_____	67
25	Muestra de suelo para ensayo de triaxial_____	67
26	Preparando la muestra en la cámara de triaxial_____	68
27	Muestras de suelo después del ensayo de triaxial_____	68

TABLAS

I	Propiedades físicas de los materiales en estudio_____	18
II	Datos de los especímenes del corte directo_____	39
III	Datos de los especímenes del triaxial_____	41
IV	Propiedades físicas de los materiales en estudio_____	45
V	Propiedades mecánicas con el ensayo corte directo_____	48
VI	Propiedades mecánicas con el ensayo triaxial_____	48

GLOSARIO

Ángulo de fricción interna	Es el ángulo que forma la envolvente de falla, en la representación gráfica del ensayo triaxial; o en la línea de tendencia en el corte directo. Depende de la uniformidad de las partículas del suelo, del tamaño y forma de los granos y de la presión normal.
Arcilla	Partículas de suelo que pasan el tamiz estándar Núm. 200 (75 μm), cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua y que expone una fuerza considerable cuando el aire seca.
Arena fina	Partículas de roca o de suelo que pasan por el tamiz Núm. 40 (425 μm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 200 (75 μm).
Arena gruesa	Partículas de roca o de suelo que pasan por el tamiz estándar Núm. 4 (4.75 mm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 10 (2 mm).
Arena media	Partículas de roca o de suelo que pasan por el tamiz estándar Núm. 10 (2 mm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 40 (425 μm).
Cantos	Fragmentos de roca, usualmente redondeados por abrasión, que son retenidos en el tamiz estándar Núm. 3 (75 mm).

Cohesión	Es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas del suelo debido a la atracción entre ellas, en virtud de las fuerzas moleculares.
Densidad máxima	Es la mayor densidad posible, alcanzada por el suelo al aplicarle el proceso normalizado de compactación en función de la variación del agua, para obtener una buena lubricación para el mejor acomodo de las partículas del suelo.
Grava fina	Partículas de roca que pasan por el tamiz estándar Núm. 3/4 (19 mm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 4 (4.75 mm).
Grava gruesa	Partículas de roca que pasan por el tamiz estándar Núm. 3 (75 mm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 3/4 (19 mm).
Humedad óptima	Cantidad de agua necesaria para una buena lubricación que permite alcanzar la densidad máxima donde se obtiene el mejor acomodo de las partículas del suelo.
Índice de plasticidad	Es la diferencia numérica que existe entre el límite líquido y el límite plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico tal como lo definen los ensayos.

Limo	Partículas de suelo que pasan el tamiz estándar Núm. 200 (75 μm), que es no plástico o ligeramente plástico y que expone poca o ninguna fuerza cuando el aire seca.
Material limo-arcilloso	Partículas finas de suelo y roca que pasan el tamiz estándar Núm. 200 (75 μm).
Muestras alteradas	Son porciones de suelo, que no guardan las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde proceden.
Muestras inalteradas	Son porciones de suelos que se toman generalmente tallando la muestra en una oquedad que se practique para el efecto en la pared del pozo. Debe protegerse contra pérdidas de humedad envolviéndola en una o más capas de manta debidamente impermeabilizada con brea y parafina.
Plasticidad	Es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse.
Suelo	Es el conjunto de partículas sólidas o sedimentos no consolidados, que se encuentran en la corteza terrestre, derivadas de la desintegración mecánica y/o de la alteración física y/o de la descomposición química de las rocas preexistentes.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un análisis comparativo de la cohesión y el ángulo de fricción interna, obtenidos del ensayo de corte directo y del triaxial con materiales granulares y arcillosos. Se considera que ambos ensayos son ampliamente conocidos y puestos en práctica en diversas ocasiones en el ámbito de la ingeniería civil, por lo que el conocer las ventajas como diferencias existentes entre ambos permite dar un referente a profesionales y estudiantes, en relación a cuál ensayo utilizar en cada oportunidad y como poderlos aplicar en los distintos proyectos.

Este estudio se realizó con tres materiales diferentes tomados de zonas localizadas estratégicamente, para obtener materiales representativos para el estudio. A cada uno de los materiales se les realizó tres pruebas iguales en cada ensayo, logrando los siguientes resultados: el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación, lo cual permite realizar una comparación y abstraer las diferencias existentes significativas entre ambos ensayos.

Para evitar la presencia de defectos de las muestras en estado natural, se trabajó con muestras remoldeadas en laboratorio en ambos ensayos, usando como referencia la densidad máxima y el grado de humedad óptima, de cada material y para las tres muestras ensayadas, con esto se disminuyeron los factores que pudieran alterar los resultados.

Los resultados obtenidos para estas muestras son muy interesantes; en el ensayo triaxial, la cohesión obtenida es mayor que en el corte directo, y el ángulo de fricción interna es mayor en el ensayo de corte directo que en el ensayo de triaxial.

OBJETIVOS

- **GENERAL**

Hacer un análisis comparativo de los parámetros de resistencia al corte obtenidos del ensayo triaxial y del ensayo de corte directo, utilizando materiales cohesivos y granulares.

- **ESPECÍFICOS**

1. Establecer la magnitud de la variación en los resultados (ángulo de fricción interna y cohesión), entre el ensayo de corte directo y triaxial, con materiales granulares y arcillosos.
2. Establecer una correlación entre los resultados de la cohesión, y el ángulo de fricción interna entre los materiales ensayados.
3. Determinar las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos utilizados en el presente trabajo para obtener los parámetros de resistencia al corte de los suelos.
4. Determinar las diferencias que existen entre los ensayos de corte directo y triaxial con base al recurso humano, recurso económico, tiempo, fiabilidad, normas, grado de dificultad, etc.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo esta dividido en dos partes, la primera parte que es la parte teórica en donde se presentan los capítulos del uno al cuatro. En el primero se presentan los conceptos básicos y definiciones de cada uno de los aspectos a trabajar durante el estudio, asimismo contar con herramientas y conceptos afines para obtener un mejor entendimiento de lo expuesto en el trabajo de graduación.

En el segundo capítulo se presenta de una manera explícita como es el círculo de Mohr, ya que en él, encontramos los componentes básicos que son la cohesión y el ángulo de fricción, cuyas mediciones son claves para un análisis comparativo en el estudio realizado.

En el tercer capítulo se presenta de una manera concreta y detallada la medición de la resistencia al cortante, los factores que contribuye a este fenómeno, asimismo las características de la muestra, pues son cualidades que afectan dicho parámetro.

En el cuarto capítulo se presentan los ensayos de laboratorio utilizados desde las especificaciones y cualidades de la maquinaria a utilizar, la toma de la muestra y su preparación adecuada que son variables fundamentales de conocimiento y manejo técnico.

La segunda parte es la parte experimental, donde se presentan los capítulos del cinco al ocho, el quinto nos proporciona la selección y ubicación de las muestras utilizadas en el estudio.

En el sexto capítulo se hace referencia de las normas y especificaciones de los ensayos de laboratorio utilizados.

En el séptimo capítulo se presentan los resultados de los ensayos, donde se presentan las propiedades físicas y mecánicas con su respectiva interpretación.

En el octavo capítulo se presenta una correlación de los resultados de ambos ensayos, el cual se presta a una crítica constructiva para la realización de futuros estudios que pudieran complementar o reafirmar estos datos para beneficio de los interesados.

1. ESFUERZO Y RESISTENCIA AL CORTE

Los suelos al fallar al corte se comportan de acuerdo a las teorías tradicionales de fricción y cohesión, según la ecuación generalizada de Coulomb que se muestra a continuación:

$$\tau = C + (\sigma - \mu) \tan \Phi \text{ (Para suelos saturados)}$$

$$\tau = C + (\sigma - \mu) \tan \Phi + (\mu - \mu_a) \tan \Phi \text{ (para suelos parcialmente saturados)}$$

Donde:

τ	=	Esfuerzo de resistencia al corte
C	=	Cohesión efectiva
σ	=	Esfuerzo normal total
μ	=	Presión del agua intersticial o de poros
μ_a	=	Presión del aire intersticial
Φ	=	Ángulo de fricción interna del material

El análisis de la ecuación de Coulomb requiere predefinir los parámetros, ángulo de fricción y cohesión, los cuales se consideran como propiedades intrínsecas del suelo.

La presencia del agua reduce el valor de la resistencia del suelo dependiendo de las presiones internas o de poros de acuerdo a la ecuación de Coulomb, en la cual el factor μ está restando al valor de la presión normal. La presión resultante se le conoce con el nombre de presión efectiva σ' .

$$\sigma' \text{ (Presión efectiva)} = \sigma - \mu$$

1.1 Ángulo de fricción interna

El ángulo de fricción Interna es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en el plano de falla, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \Phi$$

El ángulo de fricción depende de varios factores entre ellos algunos de los más importantes son:

- Tamaño de los granos
- Forma de los granos
- Distribución de los tamaños de granos
- Densidad

1.2 Cohesión

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo de grano fino. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la adherencia.

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0, y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos.

1.3 Esfuerzo efectivo

Una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: El esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua. Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua; a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos, y a los esfuerzos hidrostáticos del agua, se les denomina presión de poros.

Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales. En problemas prácticos, el análisis con esfuerzos totales podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo, y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo.

Desde el punto de vista de la relación esfuerzo – deformación, en la mecánica de suelos se deben tener en cuenta dos tipos de resistencia:

- Resistencia máxima.
- Resistencia residual.

1.3.1 Resistencia máxima

Es la resistencia al corte máxima que soporta el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo-deformación.

La utilización de la resistencia máxima en el análisis de estabilidad, asume que la resistencia máxima se obtiene simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Sin embargo, algunos puntos en la superficie de falla han alcanzado deformaciones mayores que otros en un fenómeno de falla progresiva, y asumir que la resistencia máxima actúa simultáneamente en toda la superficie de falla produce errores en el análisis.

1.3.2. Resistencia residual

Es la resistencia al corte remanente que posee el material después de haber ocurrido la falla.

La diferencia entre la resistencia máxima y residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla.

En arenas, gravas y limos no plásticos que se denominan como suelos granulares, la cohesión es muy baja y puede en muchos casos considerarse de valor cero y el ángulo de fricción depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución, mineralogía y densidad.

2. CÍRCULO DE MOHR

En un análisis en dos dimensiones, los esfuerzos en un punto pueden ser representados por un elemento infinitamente pequeño sometido a los esfuerzos σ_x , σ_y , y τ_{xy} . Si estos esfuerzos se dibujan en unas coordenadas $\tau - \sigma$, se puede trazar el círculo de Esfuerzos de Mohr (Figura 1). En este círculo se definen los valores de σ máximo (σ_1) y σ mínimo (σ_3), conocidos como Esfuerzos principales. Para interpretar correctamente el fenómeno de falla al cortante, debe tenerse en cuenta cuál es la dirección de los esfuerzos principales en cada sitio de la superficie de falla. El esfuerzo σ_1 es vertical en la parte superior de la falla y horizontal en la parte inferior.

2.1 Envoltente de falla

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

La envoltente de falla Mohr-Coulomb es generalmente una línea curva que puede representarse en la forma:

$$\tau = A (\sigma) B$$

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

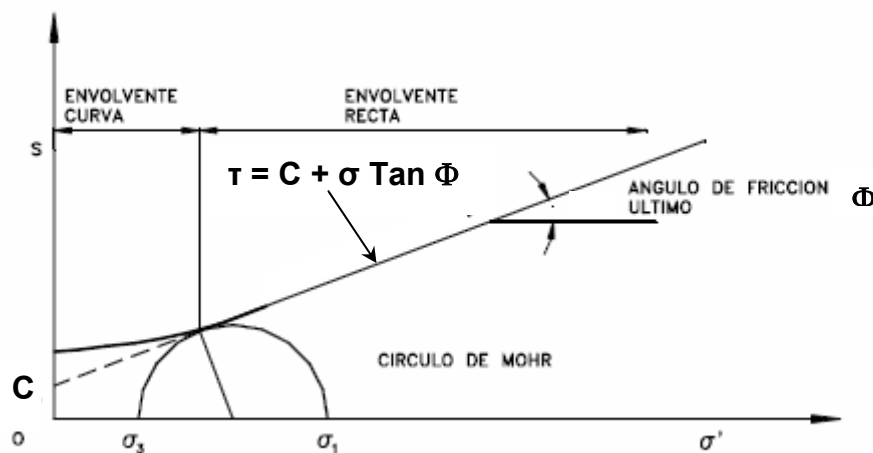
σ = Esfuerzo normal efectivo

A y B = Constantes

En la práctica normal de Ingeniería, generalmente esta curva se define como una recta aproximada dentro de un rango seleccionado de esfuerzos (Figura 1), en el cual:

$$\tau = C + \sigma \text{ Tan } \Phi$$

Figura 1. Envoltente de falla y círculo de Mohr



Donde:

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 asumirla 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 todos los valores de la envolvente. Sin embargo, los ensayos normales de resistencia al cortante no se realizan con suficientes puntos para determinar las características de la curva en el rango de esfuerzos bajos.

3. MEDICIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTANTE

Para determinar los parámetros de la resistencia al corte de los materiales, la forma más común es la de realizar ensayos de laboratorio. Sin embargo los valores de la resistencia al cortante determinados en ensayos de laboratorio dependen de factores, tales como la calidad de las muestras, su tamaño y el método de ensayo.

La resistencia al cortante depende del grado de saturación y este varía con el tiempo.

Esta situación dificulta la realización de ensayos representativos en muestras no saturadas y generalmente, se acostumbra trabajar con muestras saturadas.

Las envolventes de falla para suelos son generalmente, no lineales en un rango amplio de esfuerzos, por esta razón los ensayos deben idealmente, ser realizados en el rango de esfuerzos correspondiente a la situación de diseño. Por ejemplo, para análisis poco profundos deben utilizarse esfuerzos normales pequeños, y para fallas profundas esfuerzos normales mayores.

3.1 Selección de las muestras

Los valores de la resistencia al cortante que se obtienen de los ensayos dependen de muchos factores, especialmente de la calidad de las muestras, su tamaño y el método de análisis. La resistencia al cortante depende del grado de saturación.

Las envolventes de falla para suelos, generalmente no son lineales para un rango amplio de esfuerzos, y los ensayos deben realizarse cubriendo la gama de esfuerzos que sea relevante para cada caso en particular. Por ejemplo, cuando las superficies potenciales de falla son poco profundas, los niveles de esfuerzo normal son bajos y se pueden presentar errores de interpretación, especialmente en los ensayos triaxiales.

Lo ideal es que los ensayos sean realizados sobre muestras de suelo preparadas de material inalterado, lo más representativo posible del material; por ejemplo, muestras grandes en bloque de muy buena calidad o muestras tomadas con muestreadores delgados pueden estar relativamente inalteradas. Generalmente, entre más grande la muestra, esta podría ser de mejor calidad. Además, las muestras deben ser obtenidas a una profundidad correcta, de acuerdo a las posibles superficies críticas de falla.

El tamaño de la muestra es importante. La dimensión mínima de la muestra a ensayar debe ser al menos seis veces el tamaño máximo de partícula contenida en ella. Las muestras para ensayos triaxiales deben tener como mínimo siete centímetros de diámetro y para ensayos de corte directo de seis a diez centímetros. El espesor mínimo de la muestra en un ensayo de corte directo es de dos centímetros.

En el caso de suelos con presencia de grava, la preparación de la muestra es difícil, y puede ser no representativa de la realidad de la resistencia al corte del suelo en el sitio, y en ocasiones se deben realizar los ensayos con material de la matriz solamente.

Por otro lado, la preparación de muestras de material muy frágil es difícil y en ocasiones existe la tendencia a utilizar para el ensayo, las partes más duras de la muestra, lo cual conduce a obtener parámetros de resistencia mayores a los reales.

Las muestras para ensayo deben de ser lo más representativas posibles con la situación real en el campo; deben ser tomadas lo más cercanamente posible a las probables superficies de falla y lo suficientemente grandes para eliminar efectos de borde.

4. ENSAYOS DE LABORATORIO

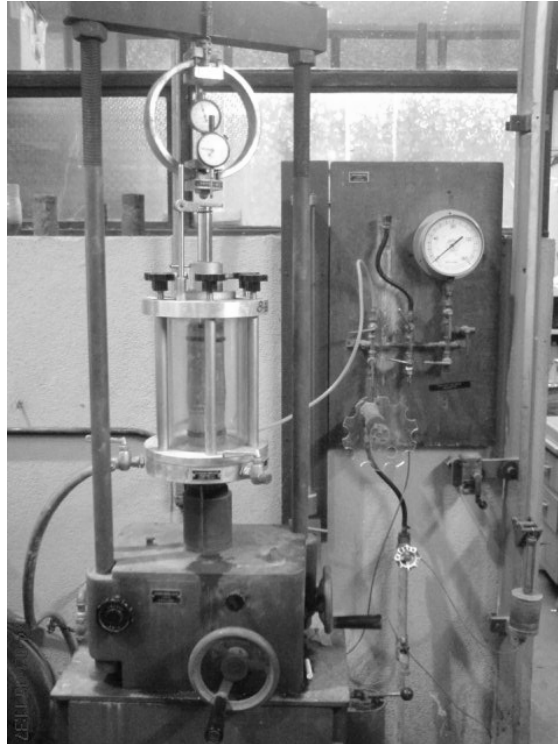
Para obtener los parámetros de resistencia al cortante se pueden realizar ensayos de resistencia, de laboratorio o de campo. Se pueden utilizar correlaciones empíricas a partir de ensayos indirectos u otras propiedades de los suelos. Los ensayos de laboratorio más comunes son los ensayos de Compresión triaxial y de corte directo. Estos se deben realizar según el procedimiento de las Normas ASTM D-2850 y ASTM D-3080, respectivamente.

4.1 Ensayo triaxial

El equipo de ensayo triaxial es muy versátil y permite realizar ensayos en una variedad de procedimientos para determinar la resistencia al cortante, la rigidez y características de deformación de las muestras. Adicionalmente, el ensayo puede realizarse para medir características de consolidación y permeabilidad.

Se ensayan muestras cilíndricas dentro de una membrana delgada de caucho, colocándolas dentro de una celda triaxial con dos tapas rígidas y pistones arriba y debajo de la muestra. La celda se llena de un fluido especial al que se aplica una presión determinada sobre el fluido (σ_3), la cual se transmite por éste a la muestra. Los esfuerzos de cortante se generan cuando se aplican fuerzas de compresión verticales accionadas por el pistón. La presión de poros dentro de la muestra puede medirse a través de un pequeño tubo o bureta en contacto con la muestra. Para cada presión de confinamiento se obtiene el esfuerzo desviador ($\Delta\sigma$) que se requiere para hacer fallar la muestra.

Figura 2. Aparato de ensayo triaxial



El drenaje de la muestra se realiza a través de las piedras porosas y el cambio de volumen de agua puede medirse. Alternativamente, si no se permite drenaje, se puede medir la presión de poros. Realizando varias pruebas se puede obtener la envolvente de Mohr para un suelo determinado.

El comportamiento esfuerzo–deformación es determinado por la presión de confinamiento, la historia de esfuerzos y otros factores. El ensayo también puede realizarse incrementando los esfuerzos radiales mientras se mantiene constante la fuerza axial.

En algunos países, el ensayo triaxial es el más utilizado especialmente, por la posibilidad de modelar las condiciones de drenaje y la medición de presión de poros en suelos saturados.

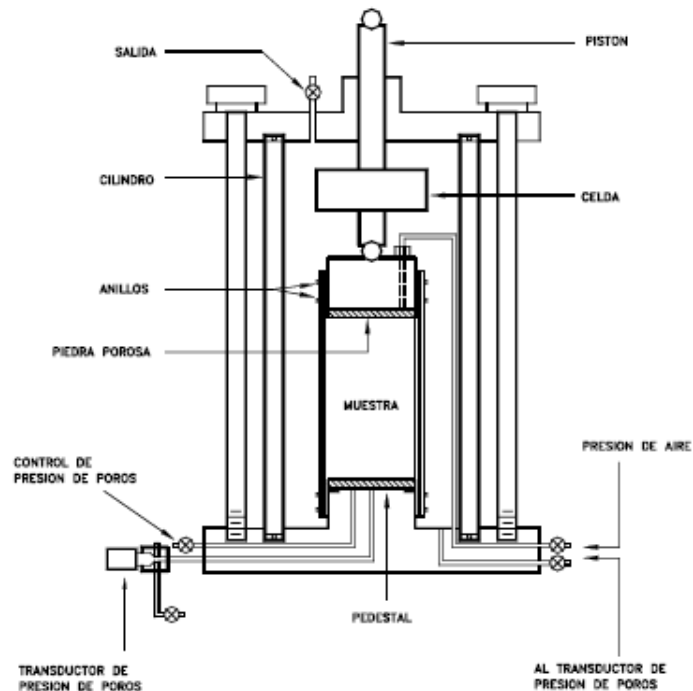
Existen tres formas de realizar el ensayo triaxial así:

4.1.1 Ensayo no consolidado - no drenado o ensayo rápido

No se permite el drenaje durante la aplicación de la presión de confinamiento y el esfuerzo desviador. Este ensayo se le utiliza para modelar, el caso de un terraplén o una carga colocada muy rápidamente sobre un manto de arcilla saturada, de muy baja permeabilidad.

Los ensayos no consolidados – no drenados, son generalmente preferidos para ensayos rutinarios, debido a la facilidad de su ejecución y son los más utilizados. De acuerdo al tipo de ensayo se obtiene un valor diferente de ángulo de fricción.

Figura 3. Detalle de la celda para el ensayo triaxial



En general, el ensayo consolidado drenado presenta ángulos de fricción mayores, mientras el ensayo no consolidado - no drenado da los valores mas bajos de el ángulo de fricción interna (Φ).

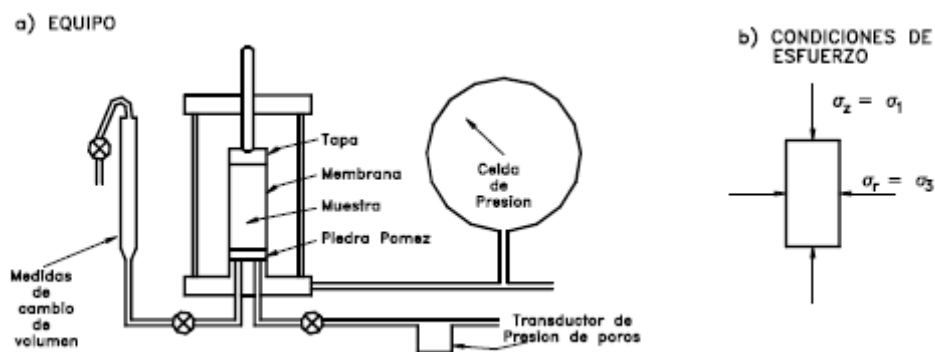
En la interpretación de resultados de ensayos triaxiales debe tenerse en cuenta las siguientes fuentes de error:

- En las muestras que tienden a deformarse como un barril, lo cual conduce a sobreestimación de la resistencia al cortante.
- En el proceso de saturación, la muestra tiende a alterarse por cambio de volumen, lo cual puede determinar una pérdida de resistencia.

4.1.2 Ensayo consolidado no drenado, con medición de presión de poros

Se permite el drenaje durante la aplicación del esfuerzo de confinamiento colocándolo lentamente; pero se impide durante la aplicación del esfuerzo desviador.

Figura 4. Diagrama del ensayo triaxial



Los ensayos no drenados deben realizarse a una tasa que no exceda una deformación unitaria del 2% por hora, con el objeto de lograr una equalización completa de la presión de poros a través de la muestra.

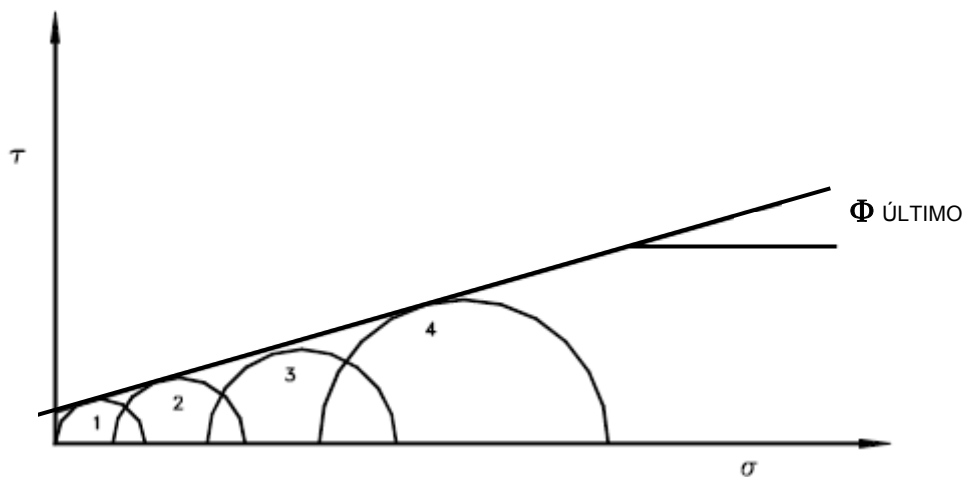
Se le emplea para simular el caso de desembalse rápido de una represa o la colocación rápida de un terraplén sobre un talud.

4.1.3 Ensayo consolidado drenado

El ensayo se realiza lentamente para permitir el drenaje del agua dentro de la muestra e impedir que se puedan generar presiones de poros. Los ensayos drenados son utilizados para el análisis de laderas y taludes.

La velocidad de ensayo debe ser tal, que las fluctuaciones en la presión de poros sean despreciables y en cualquier caso no superiores al 5% de la presión efectiva de confinamiento.

Figura 5. Círculo de Mohr y envolvente de falla del triaxial



4.1.4 Variables del ensayo triaxial

Los resultados obtenidos del ensayo triaxial dependen de forma como se realice el ensayo y del equipo disponible, de acuerdo a esto se obtienen los siguientes resultados:

- La envolvente de falla con el ángulo de fricción y la cohesión máxima.
- La respuesta de presión de poros al corte en el ensayo no drenado.
- La respuesta de cambio de volumen al corte (ensayo drenado).

- Módulos tangente y secante inicial o los correspondientes de descarga y recarga.
- Las características de consolidación.

- La permeabilidad a diferentes presiones de confinamiento.

4.1.5 Características de la muestra

Para el ensayo triaxial, el diámetro de la muestra no debe ser menor de 76mm., debido a que diámetros menores no se consideran representativos para tener en cuenta los efectos de escala, relacionados con las fisuras y juntas en el suelo. Adicionalmente, el diámetro no debe ser menor de 8 veces el tamaño máximo de la partícula. La relación altura–diámetro de la probeta no debe ser menor de 2–1.

La muestra utilizada en la preparación del espécimen debe ser suficientemente grande de manera que se preparen por lo menos un mínimo de tres especímenes similares. Hay que preparar los especímenes en un ambiente de temperatura y humedad controlada para minimizar la ganancia o pérdida de humedad. Debe tenerse mucho cuidado al preparar los especímenes inalterados de suelos sensitivos para prevenir la alteración de la estructura natural del suelo. Determinar la masa inicial de la muestra húmeda que se utilizara para calcular el contenido inicial de agua y el peso unitario del espécimen.

4.1.6 Preparación de la muestra.

Muestras inalteradas:

Prepare los especímenes a partir de muestras grandes inalteradas o de muestras obtenidas de acuerdo con la Norma D-1587 u otros procedimientos de muestreo inalterado con tubos. Las muestras inalteradas deben ser preservadas y transportadas como se define para las muestras de los grupos C o D en la Norma D-4220. Manipule los especímenes cuidadosamente para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida en el contenido de humedad. Si hay lugar a compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria por el extractor, parta longitudinalmente el tubo de muestreo o córtelo en pequeñas secciones para facilitar la remoción del espécimen con un mínimo de alteración. Prepare muestras recortadas, siempre que sea posible en un ambiente que minimice los cambios de humedad del espécimen.

Especímenes compactados:

Los especímenes serán preparados utilizando el método de compactación y el contenido de agua y el peso unitario prescrito por el cliente que solicita el ensayo. Los especímenes pueden ser moldeados por amasado o compactando cada capa hasta que la masa acumulada de suelo colocada esté compactada hasta un volumen conocido o ajustando el número de capas, el número de golpes por capa y la fuerza por golpe. La parte superior de cada capa debe ser escarificada antes de la adición del material para la próxima capa.

El material requerido para el espécimen, debe ser preparado mezclando completamente el suelo con suficiente agua para producir el contenido de humedad deseado. Deje reposar el espécimen antes de la compactación de acuerdo con la Tabla I.

Tabla I. Tiempo mínimo de reposo según clasificación

<u>Clasificación Unificada</u>	<u>Tiempo mínimo de reposo (Horas)</u>
SW, SP	NINGUNO
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

Puede prepararse también los especímenes compactados, compactando el suelo mediante los procedimientos y el equipo utilizados para determinar las relaciones de humedad-densidad de los suelos (Normas D-698 y D-1557) y recortando el espécimen para el ensayo de corte directo de la muestra así preparada, como si se tratara de una muestra inalterada.

4.2 Ensayo de corte directo

El ensayo más común para obtener la resistencia de los suelos en los estudios de deslizamientos es el ensayo de corte directo, el cual es simple y económico de realizar pero presenta los inconvenientes del poco control que se tiene sobre las condiciones de drenaje, la dificultad para medir presiones de poro y algunos problemas inherentes a los mecanismos de las máquinas que realizan los ensayos.

Este método describe y regula el método de ensayo para la determinación de la resistencia al corte de una muestra de suelo, sometida previamente a un proceso de consolidación, cuando se le aplica un esfuerzo de cizalladura o corte directo mientras se permite un drenaje completo de ella.

El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca a un plano de cizalladura determinado por la configuración del aparato de corte. Generalmente se ensayan tres o más especímenes, cada uno bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr.

Las condiciones del ensayo, incluyendo los esfuerzos normales y la humedad, son seleccionadas para representar las condiciones de campo que se investigan.

Las ventajas de los ensayos de corte directo son su facilidad de ejecución, la cual permite la realización de una cantidad grande de pruebas en poco tiempo y la posibilidad de realizar ensayos sobre superficies de discontinuidad.

El ensayo de corte directo es de obligatorio uso cuando se trabaja a niveles bajos de esfuerzos o si se desea obtener la resistencia a lo largo de las discontinuidades.

En este ensayo la resistencia al cortante puede medirse en un plano predeterminado, cortando la muestra con una determinada orientación. La superficie de falla es predefinida y no depende de las propiedades del suelo, y por esta razón los valores de resistencia obtenidos tienden a ser mayores que en los ensayos triaxiales.

4.2.1 Resumen del método de ensayo

El Aparato de corte directo (Figura 6) es un instrumento diseñado y construido para contener de manera segura la muestra entre dos bloques porosos de tal modo que no se aplique un torque a la muestra. El aparato de corte debe estar en condiciones de aplicar un esfuerzo normal a las caras del espécimen, medir el cambio de espesor del espécimen, permitir el drenaje del agua a través de los bloques porosos en las fronteras superior e inferior de la muestra y de sumergir la muestra en agua. El aparato debe ser capaz de aplicar una fuerza de cizalladura al espécimen a lo largo de un plano de cizalladura predeterminado (corte simple) paralelo a las caras de la muestra. Los marcos que contienen el espécimen deben ser lo suficientemente rígidos para prevenir su distorsión durante el ensayo.

Las diferentes partes del aparato de corte, deben ser construidas de un material que no esté sujeto a la corrosión por humedad o por sustancias que se encuentren en el suelo, por ejemplo acero inoxidable, bronce, aluminio, etc. No se permite la combinación de metales que puedan dar lugar a un efecto galvánico.

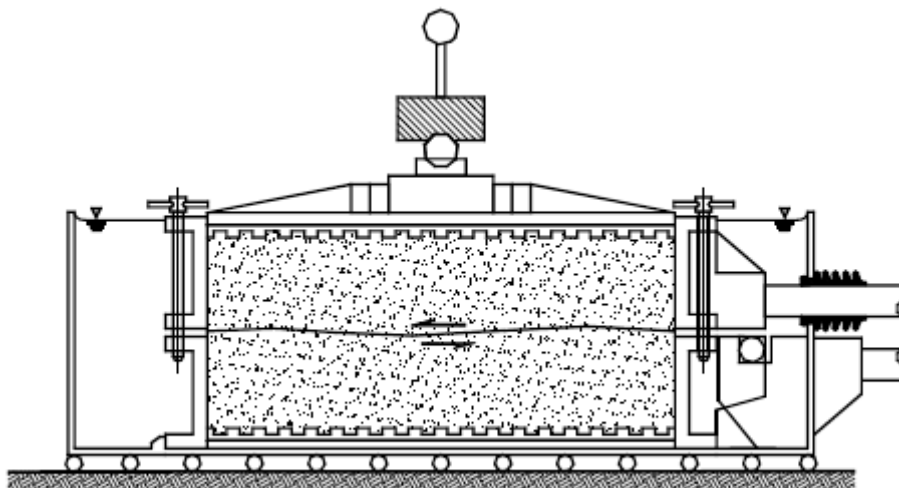
Figura 6. Aparato de corte directo



Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en una caja de corte directo compuesta por dos anillos (Figura 7), uno superior y otro inferior, los cuales se desplazan horizontalmente uno con respecto al otro al aplicarse una fuerza de cortante, al aplicar un esfuerzo normal determinado, humedecer o drenar el espécimen de ensayo, o ambas cosas, consolidar el espécimen bajo el esfuerzo normal, soltar los marcos que contienen la muestra y desplazar un marco horizontalmente respecto al otro a una velocidad constante de deformación y medir la fuerza de cizalladura y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es cizallada.

Las muestras no pueden saturarse completamente pero un grado de saturación relativamente alto se puede obtener sumergiendo la muestra en agua por un periodo largo de tiempo, antes del ensayo. Sin embargo, debe tenerse mucho cuidado con los efectos de saturación sobre algunos materiales, especialmente los suelos expansivos.

Figura 7. Detalle de la caja para ensayo de corte directo



Se dibuja una curva esfuerzo-deformación para cada ensayo, en la cual se determinan los valores de la resistencia máxima y la resistencia residual.

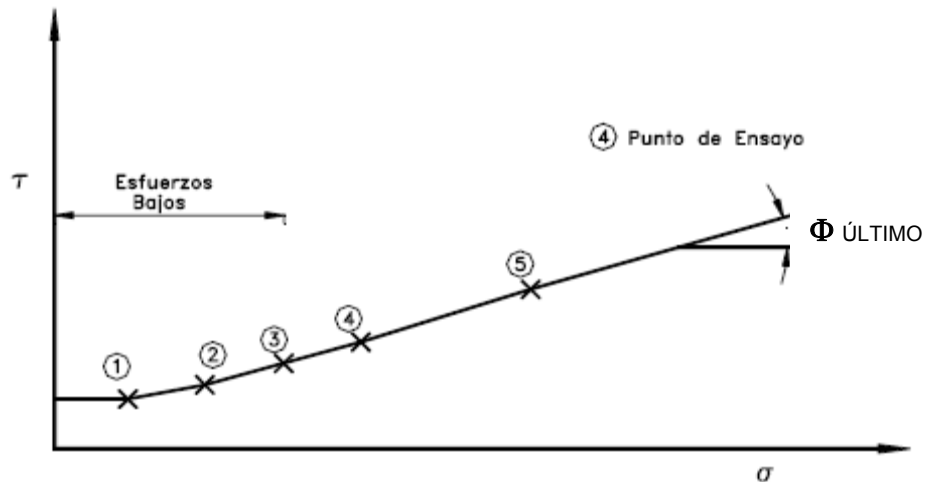
Se realizan varias pruebas para el mismo tipo de suelo con diferentes presiones normales y se dibuja la envolvente de falla para obtener gráficamente los valores de cohesión y ángulo de fricción. Se recomienda un mínimo de cinco pruebas para cada tipo de suelo.

4.2.2 Significado y uso

El ensayo de corte directo es adecuado para la determinación relativamente rápida de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados. Debido a que las trayectorias de drenaje a través de la muestra son cortas, se permite que el exceso de presión en los poros sea disipado más rápidamente que con otros ensayos drenados. El ensayo puede ser hecho en todo tipo de suelos inalterados, remoldeados o compactados.

Durante el ensayo de cizalladura hay rotación de los esfuerzos principales, lo que puede o no corresponder a las condiciones de campo. Aun más, la ruptura puede no ocurrir en un plano de debilidad, puesto que ella tiene que ocurrir cerca a un plano horizontal en la parte media del espécimen. La localización fija del plano de ruptura en el ensayo puede ser una ventaja en la determinación de la resistencia al corte a lo largo de planos reconocidamente débiles dentro del material del suelo y para analizar las interfases entre materiales diferentes.

Figura 8. Esfuerzo de falla y envolvente del corte directo



4.2.3 Ensayos con deformación controlada o con esfuerzo controlado

El esfuerzo de corte puede ser aplicado incrementando los esfuerzos en forma gradual y midiendo la deformación producida (Esfuerzo Controlado) o moviendo las partes del equipo a un desplazamiento dado y midiendo el esfuerzo resultante (Deformación Controlada).

Los ensayos de esfuerzo controlado no son comunes; sin embargo son convenientes en el caso de que se requiera una tasa de desplazamiento muy baja y cuando se desea conocer el comportamiento de los suelos a la reptación. Este tipo de ensayo no puede determinar el esfuerzo máximo y la resistencia residual en forma precisa.

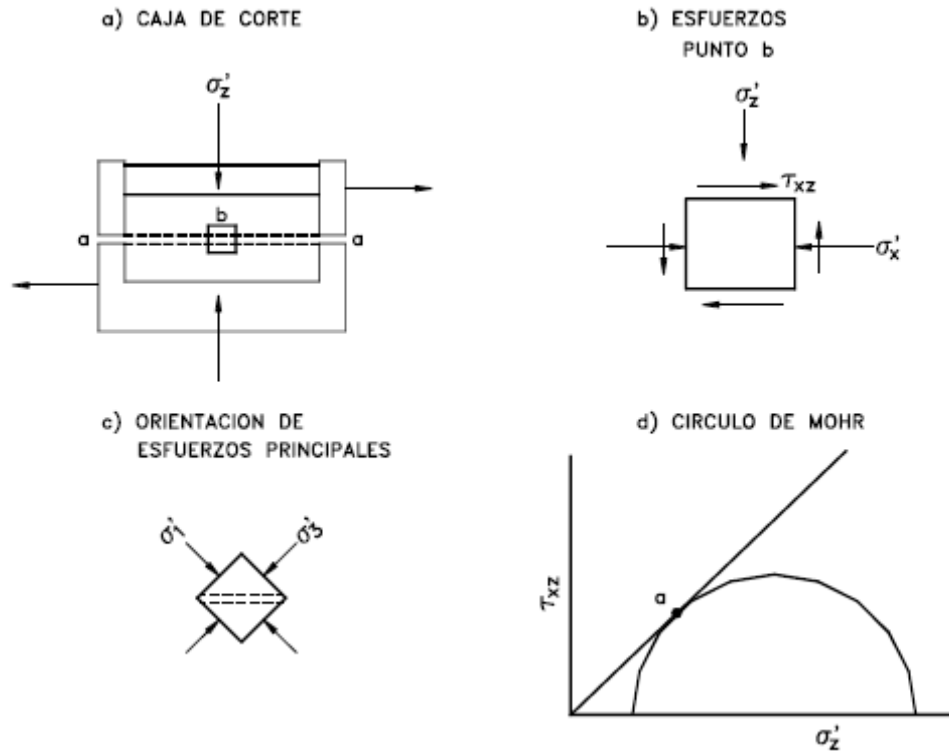
El ensayo de deformación controlada es más fácil de efectuar y permite obtener la resistencia última y la resistencia residual.

4.2.4 Tasa de corte

La tasa de corte depende de las condiciones de drenaje a las cuales se requiere realizar el ensayo y por lo tanto a la permeabilidad de la muestra.

La naturaleza del ensayo de corte directo generalmente, no permite obtener una condición completamente drenada o completamente no drenada en un ensayo a una tasa constante de corte. Sin embargo, en la práctica es posible seleccionar una tasa de deformación tal, que la desviación con las condiciones reales no sea significativa.

Figura 9. Diagrama del ensayo de corte directo



4.2.5 Cargas normales

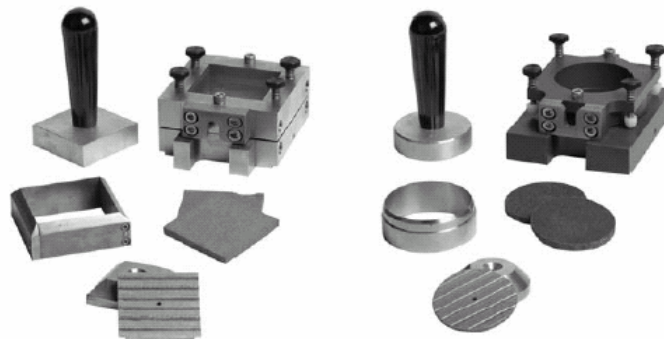
Las cargas normales que se utilizan en el ensayo de corte directo deben de incluir los esfuerzos máximos que se suponen ocurren en el terreno. Al menos, deben realizarse ensayos con cuatro cargas diferentes para definir una envolvente de falla. En suelos no cohesivos, la envolvente de falla generalmente pasa por el origen, pero con suelos relativamente cementados debe haber un intercepto de cohesión. Si esta componente cohesiva es de importancia en la aplicación de ingeniería a analizar, debe realizarse ensayos con cargas normales muy pequeñas sobre muestras inalteradas, manejadas con mucho cuidado para evitar alteraciones.

4.2.6 Características de la muestra

La muestra utilizada en la preparación del espécimen debe ser suficientemente grande de manera que puedan ser preparadas por lo menos un mínimo de tres especímenes similares. Prepare los especímenes en un ambiente de temperatura y humedad controlada para minimizar la ganancia o pérdida de humedad. Debe tenerse mucho cuidado al preparar los especímenes inalterados de suelos sensitivos para prevenir la alteración de la estructura natural del suelo. Determine la masa inicial de la muestra húmeda que se utilizara para calcular el contenido inicial de agua y el peso unitario del espécimen.

El diámetro mínimo del espécimen para las muestras circulares o el ancho para los especímenes cuadrados debe ser 50 mm, o no menos que 10 veces el diámetro máximo de partícula, lo que sea mayor, y de acuerdo con la relación ancho a espesor, el diámetro de la muestra (ancho) debe ser al menos dos veces el espesor. El espesor mínimo inicial del espécimen debe ser 12 mm, pero no menor que seis (6) veces el tamaño máximo de partícula.

Figura 10. Cajas para muestras y accesorios del modelo cuadrado y redondo



4.2.7 Preparación de la muestra

Muestras inalteradas:

Prepare los especímenes a partir de muestras grandes inalteradas o de muestras obtenidas de acuerdo con la Norma D-1587 u otros procedimientos de muestreo inalterado con tubos. Las muestras inalteradas deben ser preservadas y transportadas como se define para las muestras de los grupos C o D en la Norma D-4220. Manipule los especímenes cuidadosamente para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida en el contenido de humedad. Si hay lugar a compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria por el extractor, parta longitudinalmente el tubo de muestreo o córtelo en pequeñas secciones para facilitar la remoción del espécimen con un mínimo de alteración. Prepare muestras recortadas, siempre que sea posible en un ambiente que minimice los cambios de humedad del espécimen.

Especímenes compactados:

Los especímenes serán preparados utilizando el método de compactación y el contenido de agua y el peso unitario prescrito por el cliente que solicita el ensayo. Arme y asegure la caja de cizalladura. Coloque un bloque poroso en el fondo de la caja de cizalladura. Los especímenes pueden ser moldeados por amasado o compactando cada capa hasta que la masa acumulada de suelo colocada en la caja de cizalladura esté compactada hasta un volumen conocido o ajustando el número de capas, el número de golpes por capa y la fuerza por golpe.

La parte superior de cada capa debe ser escarificada antes de la adición del material para la próxima capa. Los límites entre capas compactadas deben ser colocados de tal manera que no coincidan con el plano de cizalladura definido por las mitades de la caja de cizalladura, a menos que este sea el objeto establecido para un ensayo en particular. El compactador utilizado para densificar el material debe tener un área de contacto con el suelo igual o menor al 50% del área del molde. Determine la masa de suelo húmeda para una capa individual compactada y colóquela en la caja de cizalladura.

Compacte el suelo hasta que obtenga el peso unitario deseado. Continúe colocando y compactando el suelo hasta que todo el espécimen esté compactado. El material requerido para el espécimen, debe ser preparado mezclando completamente el suelo con suficiente agua para producir el contenido de humedad deseado. Deje reposar el espécimen antes de la compactación de acuerdo con la Tabla I.

Puede prepararse también los especímenes compactados, compactando el suelo mediante los procedimientos y el equipo utilizados para determinar las relaciones de humedad-densidad de los suelos (Normas ASTM D-698 y D-1557) y recortando el espécimen para el ensayo de corte directo de la muestra así preparada, como si se tratara de una muestra inalterada.

5. SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS

5.1 Selección de las muestras

Para el estudio realizado se seleccionaron tres distintas muestras, las cuales se recolectaron en lugares estratégicos para que el porcentaje de material fuera lo más homogéneo en el área para evitar distorsión en los resultados debido a la heterogeneidad de la muestra.

A continuación se hace una descripción general de las muestras y su procedencia:

Limo orgánico:

Limo con alto contenido de materia orgánica, plástico, con fragmentos micáceos, de color grisáceo. Procedente de El Frutal.

Arena pómez:

Arena pómez de grano medio, con fragmentos andesíticos y micáceos, de color beige. Procedente de Villalobos.

Limo amarillento "Talpetate":

Limo ligeramente arenoso, de color amarillento. Procedente de Mixco.

Las muestras fueron recolectadas aplicando los procedimientos recomendados por las normas establecidas para cada uno de los ensayos, luego fueron trasladados a los laboratorios de trabajo donde se procesaron.

Los ensayos que se utilizaron para obtener las propiedades físicas de los materiales fueron los siguientes:

- Granulometría (ASTM D-422)
- Gravedad específica (ASTM D-854)
- Peso unitario (ASTM D-1556)
- Proctor modificado (ASTM D-1557)
- Descripción visual (ASTM D-2488)
- Límites de Atterberg (ASTM D-4318)

Con los resultados de los ensayos se procedió a clasificar los materiales según sus resultados de los ensayos anteriores.

Existen dos tipos de clasificación que son:

- S.C.U. (Sistema Unificado de Clasificación de suelos bajo el punto de vista de la ingeniería título D-2487 de la ASTM)
- P.R.A. (Public Roads Administration, Sistema de Clasificación de los Suelos)

Luego de tener la clasificación de los materiales se prepararon los especímenes con las relaciones humedad-densidad de los suelos según las normas ASTM, D-698 y D-1557.

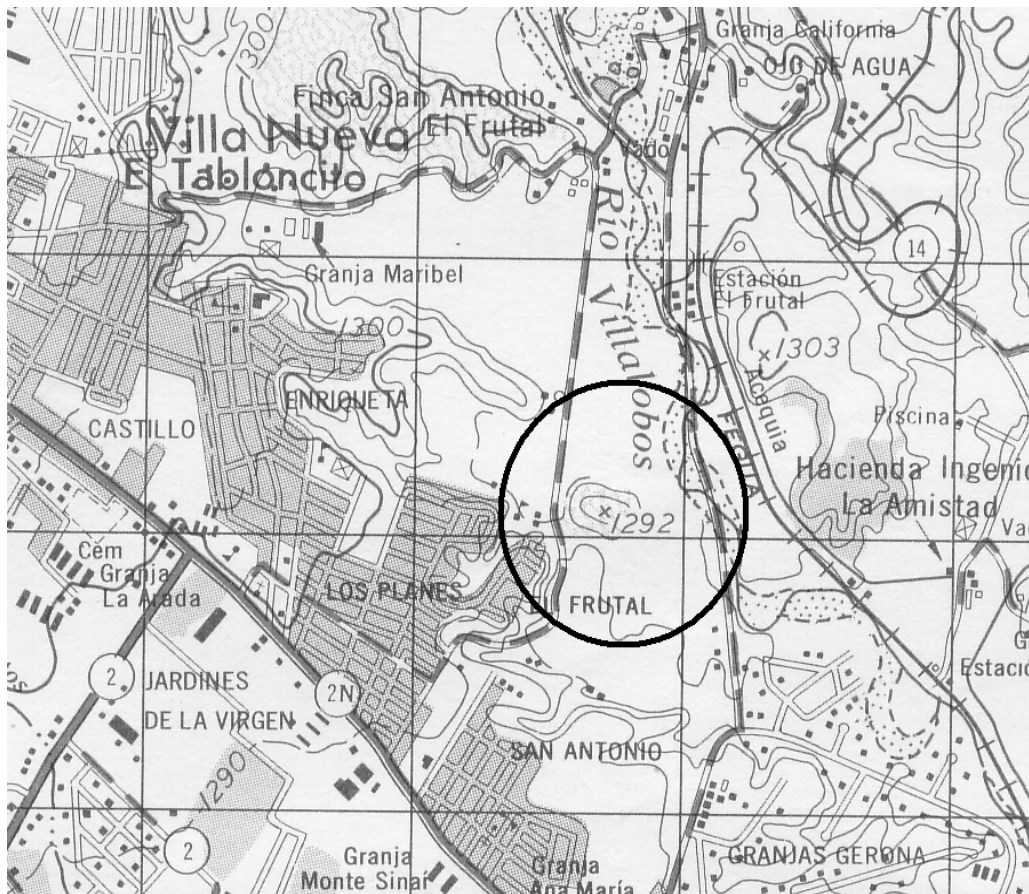
Posteriormente se llevaron a cabo los ensayos para poder determinar las propiedades mecánicas de los materiales que se llevaron a cabo con los siguientes ensayos:

- Ensayo de compresión triaxial (ASTM D-2850).
- Ensayo de corte directo (ASTM D-3080).

Donde se obtuvieron los datos de cohesión y El ángulo de Fricción Interna, los cuales son las variable de estudio, que se realizaron por medio de muestras remoldeadas para disminuir el sesgo y así poder obtener datos mas confiables.

5.2 Ubicación de la procedencia de las muestras

Figura 11. Procedencia del material limo orgánico localizado geográficamente en el sitio el Frutal.



El Frutal, Villa Nueva, Guatemala, C.A.

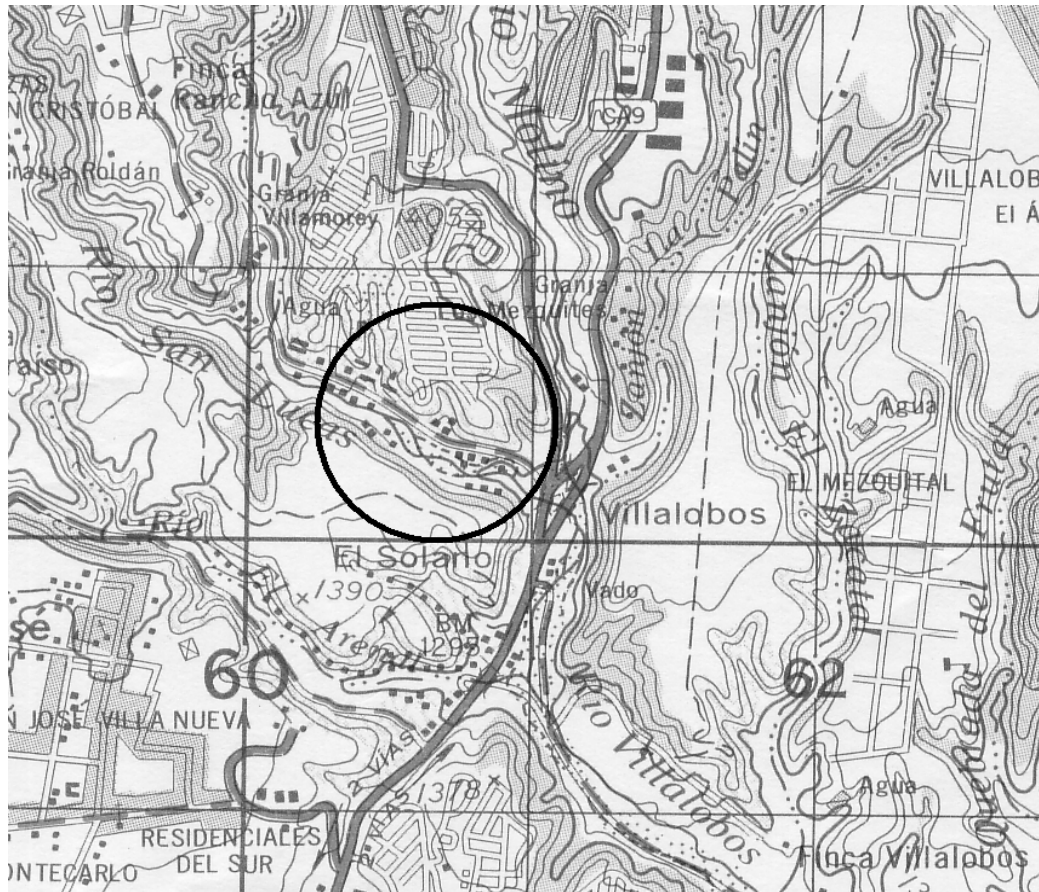
Coordenadas UTM

X (UTM): 762769.35

Y (UTM): 1606443.23

HUSO: 15

Figura 12. Procedencia del material arena pómez localizado geográficamente en el sitio Villalobos.



Villalobos, Mixco, Guatemala, C.A.

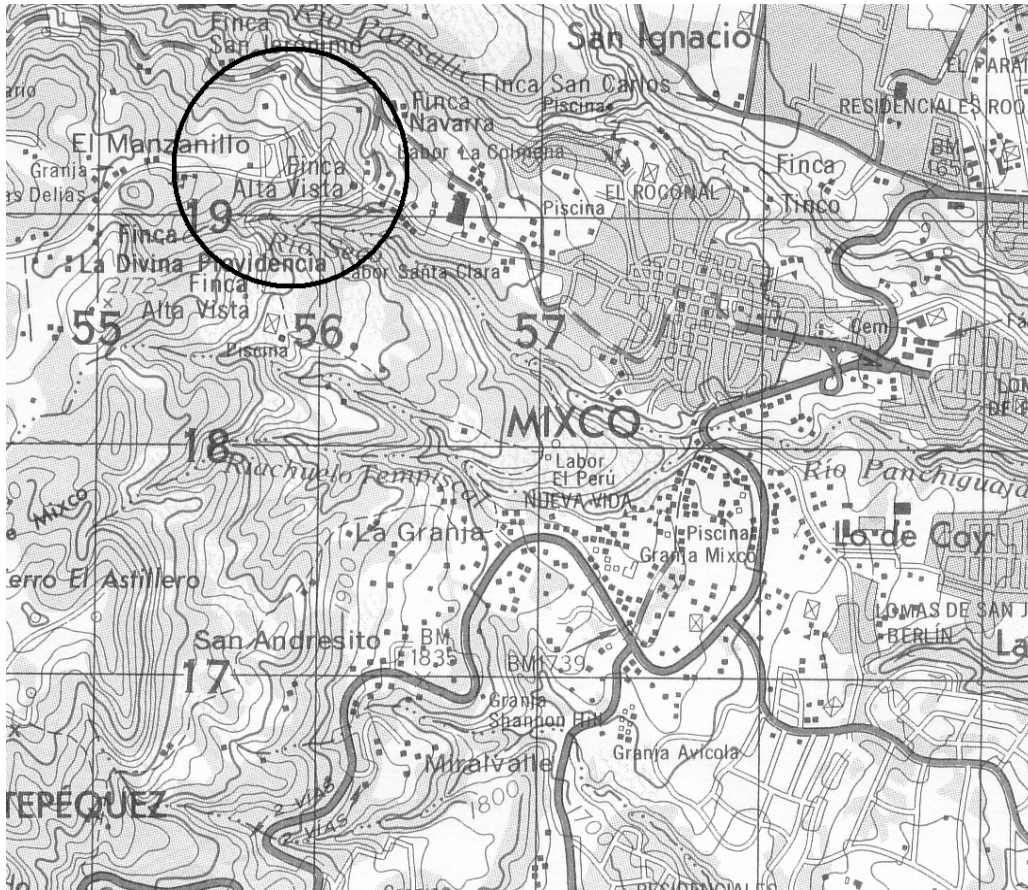
Coordenadas UTM

X (UTM): 760776.03

Y (UTM): 1610603.77

HUSO: 15

Figura 13. Procedencia del material limo amarillento localizado geográficamente en el sitio el Manzanillo.



Finca Alta Vista, el Manzanillo, Mixco, Guatemala, C.A.

Coordenadas UTM

X (UTM): 761948.70

Y (UTM): 1613544.32

HUSO: 15

6. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los ensayos se realizaron en dos laboratorios de reconocida trayectoria en el campo de la ingeniería a nivel nacional.

En el Centro de Investigaciones de la Universidad San Carlos de Guatemala fue realizado el ensayo triaxial, y en el laboratorio privado Servicios Unificados de Ingeniería fue realizado el ensayo de corte directo.

6.1 Ensayo triaxial

En el ensayo para disminuir la dispersión de los resultados, las muestras fueron remoldeadas hasta obtener su estado óptimo, que se alcanza con la densidad máxima y la humedad óptima, del ensayo de compactación (Proctor modificado) para todas las pruebas.

El equipo utilizado para este ensayo es la maquina de Compresión triaxial marca:

WYKEHAM FARRANCE ENG. LTD. – SLOUGH ENGLAND-.

Este equipo tiene un rango de velocidad continua desde 0.000024 a 0.30 in/min controlado por el motor por etapas. Permite efectuar pruebas a las muestras con dimensiones cilíndricas con un diámetro mínimo de 33mm. El rango de velocidad para la aplicación de la presión de confinamiento o desviadora se ajusta rápidamente en forma manual. La presión de confinamiento se aplica por medio de mercurio que va desde de 0 hasta 40 lb/plg², o a lo que se quiera ensayar hasta 160 lb/plg². Las características de seguridad previene la sobrecarga del sistema de medición de carga. Cumple con Normas ASTM D-2850.

6.2 Ensayo corte directo

Para realizar el ensayo por cada material, se realizaron tres pruebas, para disminuir el sesgo en los resultados ocasionado por defectos de las muestras inalteradas, se trabajó con muestras remoldeadas hasta obtener condiciones uniformes; para ello fue necesario llevar la muestra a su densidad máxima como al grado de humedad óptimo, tanto en las tres muestras que son: un limo orgánico, una arena pómez y un limo amarillento, así poder disminuir factores que pudieran alterar los resultados.

El equipo utilizado para este ensayo fue el aparato de corte directo marca:

HUMBOLDT, Modelo HM-2700.3F.

Este tiene un rango de velocidad continua desde 0.00001 a 0.49999 in/min (0.0001mm hasta 12.99999 mm/min) por minuto controlado por el motor por etapas. Permite efectuar pruebas a las muestras con dimensiones cuadradas y redondas de 60mm, 100mm, 2.5" y 4.0". El rango de velocidad para la aplicación de la fuerza cortante se ajusta rápidamente en forma manual. La fuerza cortante máxima es de 2,000 lb. (10kN). La fuerza de consolidación máxima es de 2,000 lbs (10kN). Este transportador acepta cajas de muestras cuadradas con una dimensión interior máximo de 100mm. Las mediciones de las posiciones hacia delante y de reversa permite que la prueba cortante residual sea tomada como estándar. Las características de seguridad previene la sobrecarga del sistema de medición de carga. Cumple con Normas ASTM D-3080.

6.3 Preparación de las muestras remoldeadas

6.3.1 Especímenes para el ensayo de triaxial y corte directo:

- Se secaron las muestras.
- Se procedió a deshacer los grumos con un trozo de madera y con el martillo de hule.
- La arena pómez se tamizó por la malla $\frac{1}{4}$ para eliminar los granos mayores al tamaño requerido.
- Se hizo un ensayo de compactación (Proctor modificado).
- Del material ya preparado se pesaron dos tarros, de suelo para determinar su humedad contenida.
- Al día siguiente, ya conocida la humedad contenida, se procedió a agregar el agua que faltaba para obtener la humedad óptima del suelo.
- El limo orgánico se dejó en proceso de homogenización durante 18 horas conforme a los requerimientos.
- El limo amarillento se dejó en proceso de homogenización durante 36 horas.
- La arena pómez se dejó en proceso de homogenización durante 3 horas.
- Como el ensayo se hizo con muestras remoldeadas, se utilizó la densidad máxima obtenida del proctor, para cada espécimen.
- Se hicieron los cálculos para determinar la cantidad de suelo que necesitaría el molde para obtener un espécimen con la densidad requerida.
- Se introdujo el suelo en el molde en una sola capa para el corte directo.
- Se introdujo el suelo en el molde en tres capas para el triaxial.

- Se amasó la muestra dentro del molde hasta meter todo el material con su volumen ya conocido, para alcanzar la densidad requerida.
- Todo el material pesado se introdujo en el molde.
- Después de llenar y amasar el material en el molde, se pesa para conocer la densidad obtenida.
- Después de amasado y pesado se extrae el espécimen del molde.
- Para sacar el espécimen del molde se utilizó un mecanismo que consistió en introducir un pistón apoyado en un respaldo metálico (para el corte directo).
- El pistón se desplazaba de arriba hacia abajo auxiliado de una manecilla metálica (para el corte directo).
- El espécimen del triaxial solamente se libera del molde para luego pesarlo y transportarlo a la cámara de triaxial.

6.3.2 Introducción del espécimen en la recámara del ensayo de corte directo:

- Se introduce el espécimen en la recámara del aparato de corte directo.
- Se ajustan los tres deformómetros: El del anillo que mide el esfuerzo del suelo, el que mide la deformación del suelo, y el que mide el desplazamiento horizontal.
- Se quitan los tornillos de seguridad de la recámara.
- Se le coloca el primer peso para el esfuerzo normal. La carga inicial es de 1Kg (Se realizan otras tres pruebas con cargas normales de 2, 4 y 9 Kg.).
- El aparato funciona con un motor eléctrico para desplazar la recámara.

- Se procede al ensayo, con una velocidad de 0.01 mm/min.
- Después de llegar el espécimen a su máximo esfuerzo, falla y el proceso se detiene.
- Se regresa la recámara a su posición inicial y se extrae el espécimen.
- Después se pesa el espécimen y se introduce al horno para conocer su humedad.

Tabla II. Datos de los especímenes del corte directo

<u>Variables</u>	<u>Limo orgánico:</u>	<u>Limo amarillento:</u>	<u>Arena pómez:</u>
Vol. del molde:	81 Cm ³	81 Cm ³	81 Cm ³
P.U.H del suelo:	1.66 gr./Cm ³	1.53 gr./Cm ³	1.68 gr./Cm ³
Suelo en el molde:	134.5 gr.	123.9 gr.	136.1 gr.
Material para 5 especímenes:	700 grs.	700 grs.	700 grs.
Agua agregada al material:	146.7 ml.	189.6 ml.	98.31 ml.

6.3.3 Introducción del espécimen en la recámara del ensayo de triaxial:

- Se introduce el espécimen cilíndrico dentro de una membrana de caucho o de hule ajustada con dos empaques de hule.
- Se coloca dentro de la celda triaxial con dos tapas rígidas (vidrio superior y aluminio inferior) y pistones arriba y debajo de la muestra.
- La celda se llena de un fluido especial, en nuestro caso se le coloca agua, luego se ajusta la cámara.
- Se le aplica una presión determinada sobre el fluido, por medio de mercurio, la cual se transmite por éste a la muestra, es una presión diferente a cada espécimen, las cuales es una de 5, otra de 10 y la última de 20 toneladas.
- Se ajustan los deformómetros, el del anillo el del suelo.
- Los esfuerzos de cortante se aplican mediante fuerzas de compresión verticales accionadas por los pistones.
- El aparato funciona con un motor eléctrico para desplazar el pistón.
- Se van leyendo los deformómetros, uno del desplazamiento y el otro de la lectura de la carga.
- Después de llegar el espécimen a su máximo esfuerzo, falla y el proceso se detiene.
- Se libera la presión y se extrae el fluido especial luego se extrae el espécimen. Después se pesa el espécimen y se introduce al horno para conocer su humedad.

Tabla III. Datos de los especímenes del triaxial

<u>Variables</u>	<u>Limo orgánico:</u>	<u>Limo amarillento:</u>	<u>Arena pómez:</u>
Vol. del molde:	402.2 Cm ³	402.2 Cm ³	402.2 Cm ³
P.U.H del suelo:	1.66 gr./Cm ³	1.53 gr./Cm ³	1.68 gr./Cm ³
Suelo en el molde:	667.0 gr.	615.3 gr.	675.7 gr.
Material para 3 especímenes:	3000 grs.	3000 grs.	3000 grs.
Agua agregada al material:	582.0 ml.	705.5 ml.	421.3 ml.
Material por capa:	222.3 gr.	205.1 gr.	225.2 gr.

7. RESULTADOS

En el presente capítulo se analizarán los resultados obtenidos en ambos ensayos con las diferentes muestras, para poderlos comprender mejor los dividimos en dos grupos:

De primero se analizaron las propiedades físicas de los materiales utilizados en el estudio entre ellas están: la descripción visual, el peso unitario, la gravedad específica, el proctor modificado, los límites de atterberg, la granulometría, y su clasificación según la S.C.U y P.R.A., donde podemos observarlos en la tabla IV.

De segundo se hace referencia a las propiedades mecánicas de los materiales entre ellas el ángulo de fricción interna, la cohesión, la densidad y la humeada, estos datos los podemos observar en la tabla V para el corte directo y en la tabla VI para el triaxial.

7.1 Descripción de las muestras

Para la obtención de un análisis confiable se realizó un proceso detallado, ordenado y estructurado previamente para que los datos obtenidos nos permitieran abstraer un rango promedio el cual fue retomado para fines prácticos en el análisis de los resultados, este promedio fue obtenido de tres ensayos por cada variable ejecutada, logrando con ello reducir la dispersión, el cual le da validez al estudio.

Muestra 1: LIMO ORGÁNICO (EL FRUTAL)

En cuanto a las propiedades físicas de los materiales se obtuvo que el limo orgánico es un limo con alto contenido de materia orgánica, plástico, con fragmentos micáceos, de color grisáceo que según el S.C.U (Sistema Unificado de Clasificación de suelos bajo el punto de vista de la ingeniería título D-2487 de la ASTM) es **OL** que es un limo orgánico de baja plasticidad y media compresibilidad, y en su clasificación de los suelos P.R.A. (Public Roads administration) **A-7-5 (13)** que es un suelo arcilloso.

Muestra 2: ARENA PÓMEZ (VILLALOBOS)

Para la arena pómez que corresponde a una arena pómez con fragmentos andesíticos y micáceos, de color beige según S.C.U. es **SM** que significa arena limosa y en el sistema PRA es **A-2-4** que es una arena limosa.

Muestra 3: LIMO AMARILLENTO (MIXCO)

Mientras el limo amarillento (Talpetate) es un limo ligeramente arenoso, de color amarillento según S.C.U es **MH** corresponde a un limo de alta plasticidad y alta compresibilidad, y según PRA **A-5 (8)** es un suelo limoso.

Tabla IV. Propiedades físicas de los materiales en estudio.

PROPIEDADES FÍSICAS	LIMO ORGÁNICO EL FRUTAL	ARENA PÓMEZ VILLA LOBOS	LIMO AMARILLENTO MIXCO
DESCRIPCION VISUAL (ASTM D-2488)	LIMO LIGERAMENTE ARCILLOSO CON FRAGMENTOS MICACEOS, DE COLOR GRISACEO.	ARENA PÓMEZ CON FRAGMENTOS ANDESITICOS Y MICACEOS, DE COLOR BEIGE.	LIMO LIGERAMENTE ARENOSO, DE COLOR CAFÉ AMARILLENTO.
PESO UNITARIO (ASTM D-1556) SUELTO COMPACTADO	761,27 Kg / m ³ 882,07 Kg / m ³	1132,87 Kg / m ³ 1247,70 Kg / m ³	761,15 Kg / m ³ 873,10 Kg / m ³
GRAVEDAD ESPECIFICA (ASTM D-854) PROMEDIO	2,12 ADIM *	2,11 ADIM *	2,22 ADIM *
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557) DENSIDAD SECA HUMEDAD	1305,50 Kg / m ³ 27,50 %	1499,33 Kg / m ³ 15,80 %	1007,56 Kg / m ³ 51,10 %
GRANULOMETRÍA (ASTM D-422) TAMIZ 4 TAMIZ 10 TAMIZ 40 TAMIZ 200	% QUE PASA 100,00 % 99,80 % 99,70 % 95,70 %	% QUE PASA 100,00 % 86,60 % 57,80 % 17,50 %	% QUE PASA 100,00 % 100,00 % 94,30 % 79,90 %
LÍMITES DE ATTERBERG (ASTM D-4318) LIMITE LIQUIDO INDICE DE PLASTICIDAD INDICE DE GRUPO	46,00 % 8,80 % 13,00 %	NP ** % NP ** % NP ** %	59,30 % 2,30 % 8,30 %
CLASIFICACIÓN (ASTM D-2487) S.C.U. P.R.A.	OL A - 7 - 5 (13)	SM A - 2 - 4	MH A - 5 (8)

OBSERVACIONES:

(*) ADIM = ADIMENSIONAL

(**) NP = NO PLASTICO

7.2 Resultados de los ensayos

Los materiales para el estudio se prepararon hasta lograr sus condiciones óptimas, de manera controlada para uniformizar las condiciones del ensayo, en los resultados haciendo de ellos valores confiables.

7.2.1 Propiedades físicas:

7.2.1.1 Limo orgánico:

La densidad máxima es de 1.66 ton/m^3 , comparada con la densidad en el ensayo de corte directo es de 1.65 ton/m^3 y con el triaxial es 1.58 ton/ m^3 .

La humedad óptima es de 27.50%, comparada con la humedad durante el ensayo en el corte directo es de 27.40% y con la del triaxial es 25.00%.

7.2.1.2 Arena pómez:

La densidad máxima es de 1.70 ton/m^3 , comparada con la densidad de ambos ensayos es 1.69 ton/m^3 .

La humedad óptima es de 15.80%, comparada con la humedad durante el ensayo en el corte directo es de 15.40% y con la del triaxial es 14.90%,

7.2.1.3 Limo amarillento:

La densidad máxima es de 1.50 ton/m^3 , comparada con la densidad de ambos ensayos es 1.48 ton/ m^3 .

La humedad óptima es de 51.10% comparada con la humedad durante el ensayo en el corte directo es de 47.8% y con la del triaxial es 41.30%

En los tres materiales y en ambos estudios podemos abstraer que no existe una diferencia significativa entre la densidad y el grado de humedad, esto nos indica que se encuentran entre el límite esperado y que no puede afectar notoriamente en los resultados.

Tabla V. Propiedades mecánicas con el ensayo corte directo

LIMO ORGÁNICO (EL FRUTAL)					ARENA POMEZ (VILLA LOBOS)				LIMO AMARILLENTO (MIXCO)			
ENSAYO	ANGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD
	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%
1	43,9	83,4	1,61	27,9	47,4	92,0	1,69	15,7	44,6	83,5	1,54	52,6
2	43,5	73,9	1,71	26,7	49,1	83,5	1,69	14,1	43,6	89,9	1,46	44,5
3	43,6	86,5	1,62	27,5	46,1	84,4	1,68	16,0	40,7	78,6	1,45	46,2
Promedio	43,7	81,3	1,65	27,4	47,5	86,6	1,69	15,3	43,0	84,0	1,48	47,8
Desviación	0,2	6,6	0,05	0,6	1,5	4,7	0,01	1,0	2,0	5,7	0,05	4,3
Coeficiente	0,5	8,1	3,3	2,2	3,2	5,4	0,6	6,7	4,7	6,7	3,3	8,9

Tabla VI. Propiedades mecánicas con el ensayo triaxial

LIMO ORGÁNICO (EL FRUTAL)					ARENA POMEZ (VILLA LOBOS)				LIMO AMARILLENTO (MIXCO)			
ENSAYO	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD	ÁNGULO	COHESION	DENSIDAD	HUMEDAD
	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%	Grados	Kpa.	Ton / m3	%
1	29,7	116,7	1,58	25,3	34,9	175,6	1,67	15,2	31,0	143,2	1,45	44,1
2	33,5	102,0	1,58	25,3	34,8	175,6	1,71	14,6	27,2	142,2	1,49	40,0
3	29,4	126,0	1,58	24,4	38,9	157,9	1,69	15,0	33,0	159,9	1,49	40,0
Promedio	30,9	114,9	1,58	25,0	36,2	169,7	1,69	14,9	30,4	148,4	1,48	41,3
Desviación	2,3	12,1	0,00	0,5	2,3	10,2	0,02	0,3	2,9	9,9	0,03	2,4
Coeficiente	7,5	10,5	0,0	2,1	6,4	6,0	1,2	2,2	9,7	6,7	1,8	5,7

7.2.2 Propiedades mecánicas:

7.2.2.1 Limo orgánico:

El ángulo de fricción interna en el corte directo es de 43.7 grados, y en el triaxial es de 30.9 grados, donde obtenemos una variación de 12.8 grados.

La cohesión en el corte directo es de 81.3 Kpa y en el triaxial de 114.9 Kpa, donde obtenemos una variación de 33.6 kpa.

7.2.2.2 Arena pómez:

El ángulo de fricción interna en el corte directo es de 47.5 grados, y en el triaxial es de 36.2 grados, donde obtenemos una variación de 11.3 grados.

La cohesión en el corte directo es de 86.6 Kpa y en el triaxial de 169.7 Kpa, donde obtenemos una variación de 83.1 kpa.

En los ensayos realizados a la arena pómez se determinó un valor de cohesión, el cual debe de ser interpretado como una fuerza de enganche entre los vértices de las partículas pues este suelo por su naturaleza es “no cohesivo”.

7.2.2.3 Limo amarillento:

El ángulo de fricción interna en el corte directo es de 43.0 grados, y en el triaxial es de 30.4 grados, donde obtenemos una variación de 12.6 grados.

La cohesión en el corte directo es de 84.0 Kpa y en el triaxial de 148.4 Kpa, donde obtenemos una variación de 64.4 kpa.

En todos los materiales se observa que el ángulo de fricción interna en el corte directo es mayor que en el ensayo triaxial con una variación promedio de 12.2 grados, esto es debido a que los especímenes tiene diferentes proporciones y son sometidas a diferentes esfuerzos, en el corte directo a la hora de aumentar la fuerza normal aumenta el esfuerzo de corte y tiende a dar un ángulo mayor y una cohesión menor a la hora de analizar la envolvente de falla ya que se da un corte puro en una plano falla definido, a cambio en el triaxial el espécimen es mas grande y de una forma cilíndrica, donde es sometida a una combinación de esfuerzos, lo que tiende a producir un desplazamiento de partículas entre sí o de una parte de la masa del suelo respecto al resto del mismo, donde puede haber un disgregamiento de las partículas o la masa se desliza a lo largo de ciertas líneas de rotura o la masa de suelo es plástica donde se produce la fluencia plástica.

8. CORRELACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta la correlación entre el ensayo de corte directo y triaxial con los diferentes resultados obtenidos de los materiales en estudio, tanto el ángulo de fricción interna como la cohesión.

8.1 Correlación del ángulo de fricción interna

En la figura 14 se puede observar al analizar el ángulo de fricción interna que existe una diferencia promedio de 12.2 grados entre el ensayo de corte directo y el triaxial pero se considera que los resultados están entre parámetros admisibles debido a que tiene un factor de correlación de 0.90 lo que es congruente con la literatura al indicarnos que se espera que el ángulo de fricción interna es mayor en ensayos de corte directo que en ensayos triaxiales.

Se obtuvo la ecuación lineal de correlación del ángulo de fricción interna (Φ), conformada por los resultados del triaxial comparados con los del corte directo logrando así obtener:

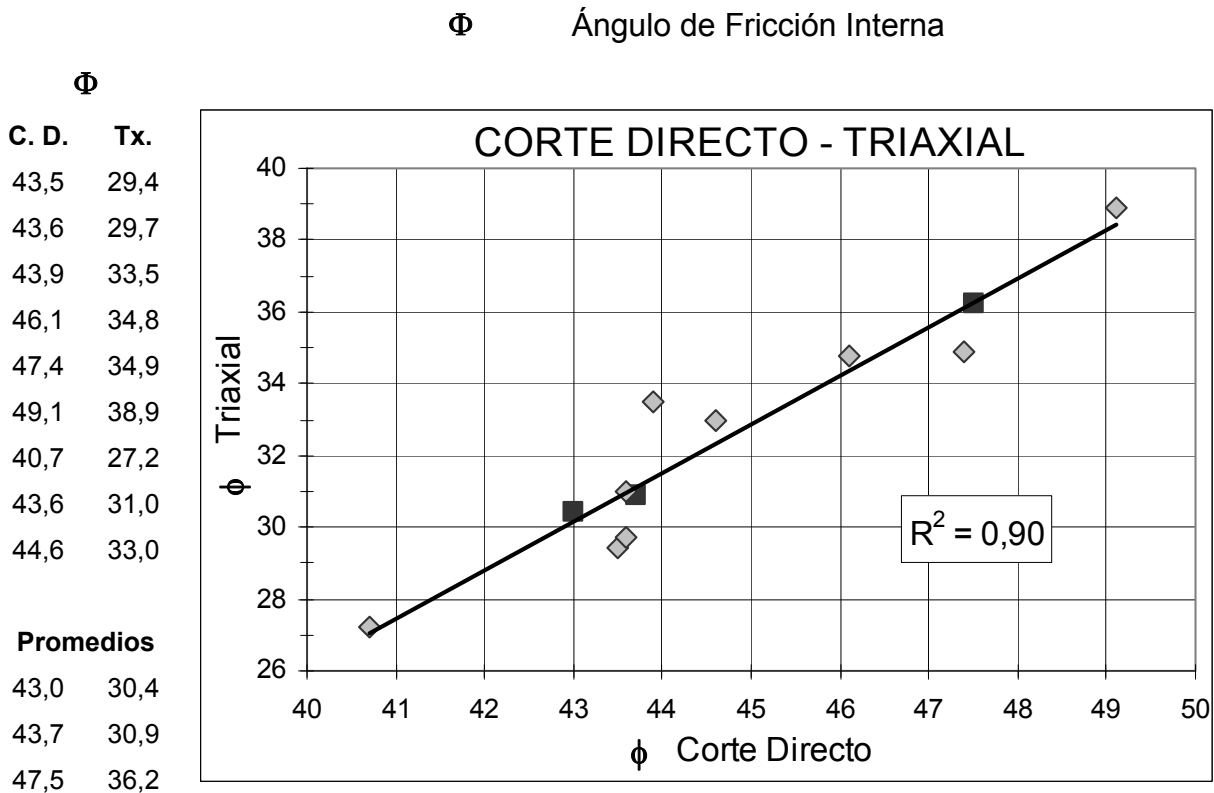
$$\Phi_{Tx.} = 1.357 \Phi_{cd.} - 28.21$$

Donde:

$\Phi_{Tx.}$ = Ángulo del ensayo triaxial

$\Phi_{cd.}$ = Ángulo del ensayo de corte directo.

Figura 14. Gráfica de la correlación del ángulo de fricción interna



8.2 Correlación de la cohesión

Llama la atención los resultados obtenidos en la cohesión que se muestran en la figura 15, ya que al comparar los resultados del corte directo y triaxial se observa que el promedio es superior hasta en 60.3 Kpa. con relación al ensayo triaxial.

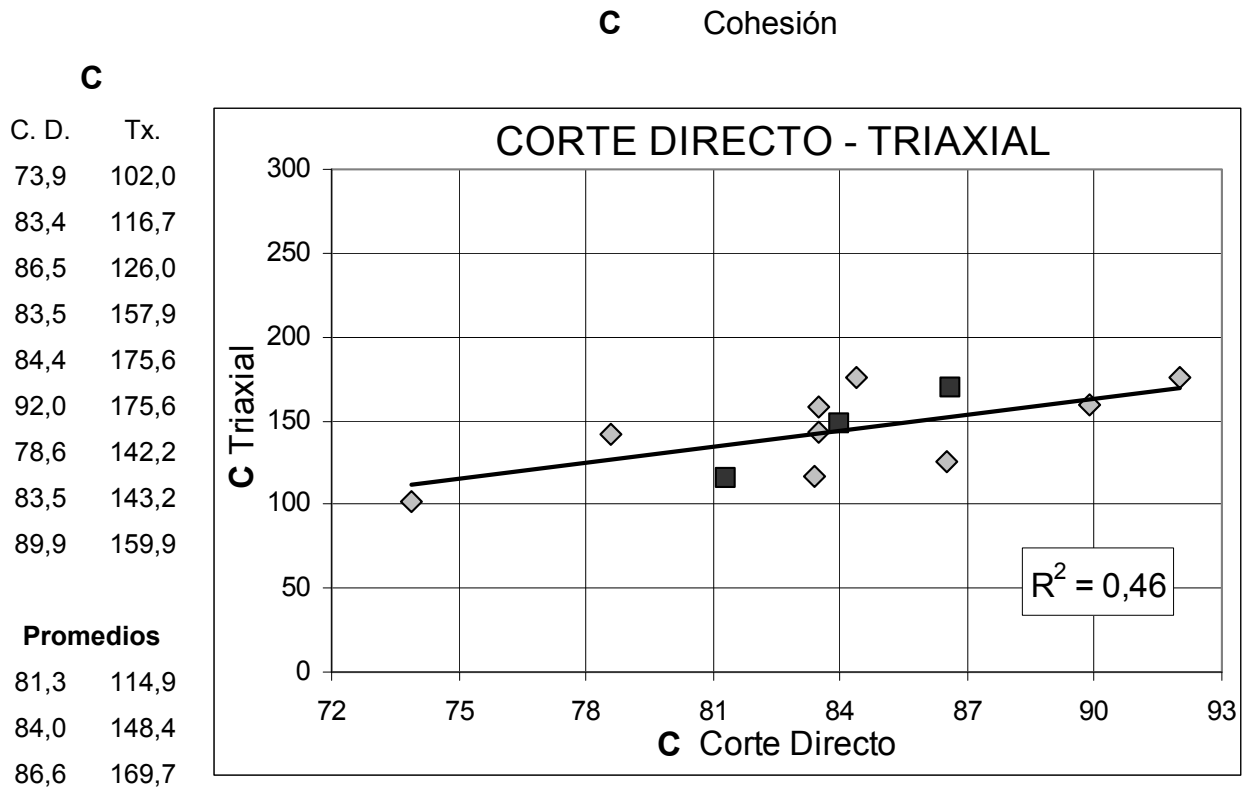
En la gráfica se observa que los datos se presentan dispersos con relación a la línea de tendencia, siendo el factor de correlación de 0.48.

Con los resultados obtenidos hasta el momento no se encontró una buena correlación. Para mejorar estos datos se necesita obtener una mayor cantidad de datos para ver si se mejora la correlación, o continúa solo como una tendencia general con valores dispersos.

La ecuación lineal que se logro obtener de la correlación de la cohesión (C), conformada por los resultados del triaxial comparados con los del corte directo es:

$$C_{Tx} = 3.196 C_{cd} - 123.97$$

Figura 15. Gráfica de la correlación de la cohesión



CONCLUSIONES

1. En el ensayo de corte directo, el ángulo de fricción interna (Φ), siempre es mayor que el que se obtiene en el ensayo triaxial. Para el limo orgánico la diferencia es de 12.8 grados, para la arena pómez la diferencia es de 11.3 grados y para el limo amarillento es de 12.6. Lo cual obtenemos una diferencia promedio de 12.2 grados.
2. La diferencia entre el ángulo de fricción interna (Φ), obtenida por estos dos procedimientos, es menor en los materiales granulares, que en los cohesivos, con una diferencia de 11.3 grados en los materiales granulares y de 12.7 grados en los materiales cohesivos.
3. La cohesión obtenida por medio del procedimiento del ensayo triaxial es mayor que la obtenida por medio del corte directo, y se observa que el ensayo triaxial tiene mayor sensibilidad para detectar cambios en la resistencia al cortante. El rango de la cohesión en el ensayo de corte directo es 81.3 a 86.6 Kpa., mientras que en el ensayo triaxial es de 114.9 a 169.7 Kpa.
4. En los ensayos realizados a la arena pómez se determinó un valor de cohesión, el cual debe de ser interpretado como una fuerza de enganche entre los vértices de las partículas pues este suelo por su naturaleza es no cohesivo.

5. Se determinó que para los suelos ensayados (friccionantes y cohesivos), compactados al 100% del proctor de referencia los parámetros de corte se correlacionaron mediante las siguientes ecuaciones:

Para el ángulo de fricción interna (Φ):

$$\Phi_{Tx} = 1.357 \Phi_{cd} - 28.21$$

Para La cohesión (C):

$$C_{Tx} = 3.196 C_{cd} - 123.97$$

Tx = Triaxial, cd = Corte Directo

6. La principal diferencia, entre el ensayo de corte directo y el triaxial es que en el primero se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, generando un plano de cizalladura determinado por la configuración del aparato de corte, a cambio que en el segundo hay una combinación de esfuerzos donde la falla se manifiesta en cualquier punto dependiendo de las propiedades del suelo.
7. El ángulo de fricción interna (Φ), es mayor en los materiales granulares, que en los cohesivos, en ambos ensayos por un promedio de 4.9 grados.
8. El ensayo de corte directo tiene la ventaja, que por el tamaño de sus probetas, permite la obtención de las muestras inalteradas directamente en el campo, lo que facilita su moldeo, protección y transporte para su ensayo en el laboratorio.
9. El ensayo de corte directo tiene la desventaja de tener definido el plano de falla, pero si en el proyecto se conoce el plano de falla potencial del suelo, esto se puede convertir en una ventaja.

10. El ensayo de corte directo tiene la desventaja de no poder medir la presión de poros, ni la permeabilidad, parámetros que le dan la ventaja al ensayo triaxial, cuando en la investigación del subsuelo se quieren conocer estas variables, principalmente en temas de investigación.
11. El ensayo triaxial es utilizado especialmente, por la posibilidad de modelar las condiciones de drenaje y la medición de presión de poros en suelos saturados, ya que con el corte directo no permite realizar estas mediciones.
12. Las ventajas de los ensayos de corte directo son su facilidad de ejecución, la cual permite la realización de una cantidad grande de pruebas en poco tiempo y la posibilidad de realizar ensayos sobre superficies de discontinuidad, además es rápido y económico.
13. El ensayo de corte directo es de uso obligatorio cuando se trabaja a niveles bajos de esfuerzos o si se desea obtener la resistencia a lo largo de las discontinuidades.
14. En el ensayo de corte directo, la resistencia al cortante puede medirse en un plano predeterminado, cortando la muestra con una determinada orientación, la superficie de falla es predefinida y no depende de las propiedades del suelo, y por esta razón los valores de resistencia obtenidos tienden a ser mayores que en los ensayos triaxiales.
15. Es importante tener en cuenta, que estos equipos y teorías fueron desarrollados por la necesidad de conocer las características de suelos problemáticos, colapzables y de bajas características físicas y mecánicas.

RECOMENDACIONES

1. Es importante obtener las muestras a ensayar, en cualquiera de los dos procedimientos, por medio de muestras inalteradas.
2. Las probetas remoldeadas, siempre deben de estar referidas a la humedad y densidad que presenta el material en el campo.
3. En el estudio de estabilidad de taludes, en donde se conoce aproximadamente el plano de falla del suelo, es recomendable obtener la muestra para corte directo, de manera que coincida la dirección de cizalladura de la probeta, con el plano de falla del talud.
4. En la obtención del ángulo de fricción interna (Φ) de los suelos, para la resolución de la mayoría de los problemas de ingeniería, es viable la utilización del procedimiento de corte directo, por su costo, rapidez, economía y confiabilidad de los resultados.
5. Es útil usar el ensayo de corte directo para la realización de una cantidad grande de pruebas en poco tiempo y la posibilidad de realizar ensayos sobre superficies de discontinuidad.
6. Se puede utilizar un ligero recubrimiento de grasa aplicado al perímetro interior de los moldes para reducir la fricción entre ésta y el espécimen para lograr obtener una muestra sin alteraciones.

7. Hay que tener muy en cuenta en la toma de muestras, que es importante la extracción de la misma conforme al objetivo en estudio ya que así podemos obtener unos resultados más certeros.
8. La extracción de la muestra y el transporte es muy delicado y debe efectuarse por medio de personal capacitado ya que podría alterar las propiedades del material y a su vez los resultados.
9. Los ensayos fueron realizados sobre materiales característicos del valle de Guatemala, y como se puede observar, los resultados son muy favorables, por lo que sería importante evaluar estos dos procedimientos de corte directo y triaxial en materiales con características físicas y mecánicas bajas, por ejemplo con materiales de Puerto Barrios, San Benito en El Petén y en San José Pinula.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Crespo Villalaz, Carlos. *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, Quinta Edición, México: 2004, 650 pág.
2. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. *Mecánica de Suelos, Tomo 1, Fundamentos de la Mecánica de suelos*, Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores, Tercera Edición, México: 2001, 642 pág.
3. *ASTM Standard D-3080: Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Conditions.*
4. *ASTM Standard D-2850: Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.*
5. *ASTM Standard D-422: Method for Particle-Size Analysis of Soils.*
6. *ASTM Standard D-2488: Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).*
7. *ASTM Standard D-1557: Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56000 ft-lbf/ft³ (2700kNm/m³)).*
8. *ASTM Standard D-698: Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12400 ft-lbf/ft³ (600KNm/m³)).*

9. *ASTM Standard D-4220: Practices for Preserving and Transporting Soil Samples.*
10. *ASTM Standard D-2487: Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes.*
11. *ASTM Standard D-4318: Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.*
12. *ASTM Standard D-854: Test Method for Specific Gravity of Soils.*

APÉNDICE A

Figura 16. Aparato de corte directo



Figura 17. Aparato de compresión triaxial

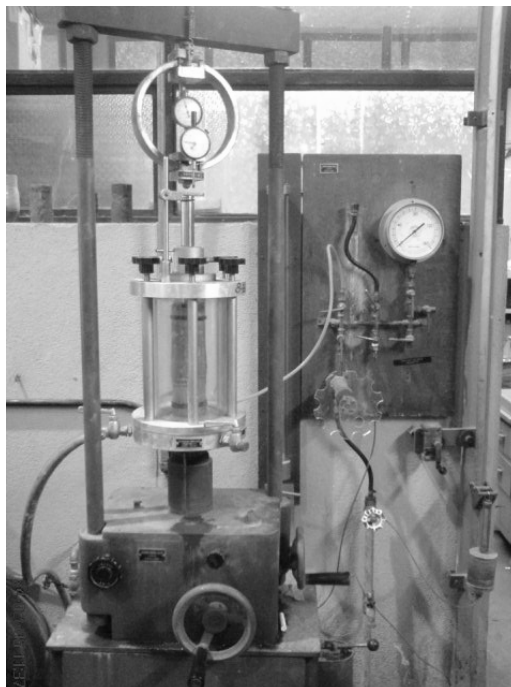


Figura 18. Muestra de suelo de corte directo



Figura 19. Tallado de muestra de corte directo



Figura 20. Medición de muestra de corte directo.



Figura 21. Muestra de suelo en caja de ensayo de corte directo

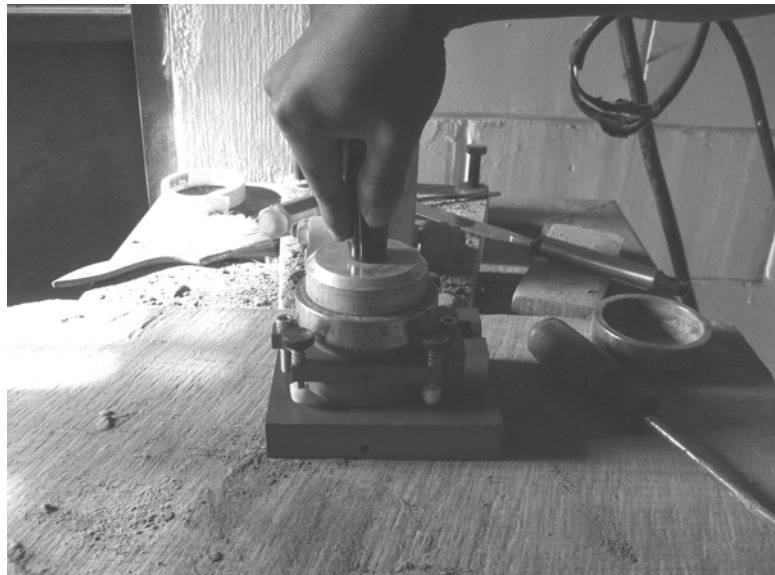


Figura 22. Muestra montada en aparato de corte directo

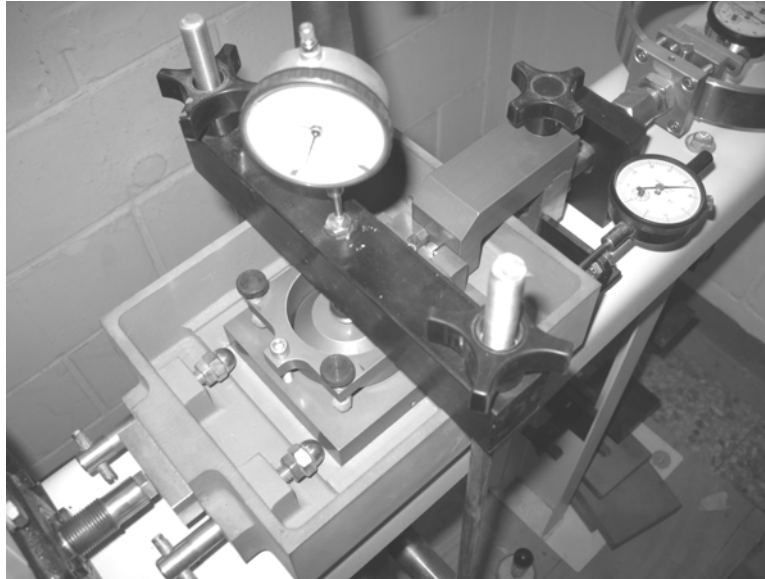


Figura 23. Muestra de suelo después del ensayo de corte directo



Figura 24. Accesorios para la preparación de la muestras remoldeadas para el ensayo de triaxial



Figura 25. Muestra de suelo para ensayo de triaxial



Figura 26. Preparando la muestra en la cámara de triaxial



Figura 27. Muestras de suelo después del ensayo de triaxial



APÉNDICE B



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0060 S.S. O.T.No.: 20,764

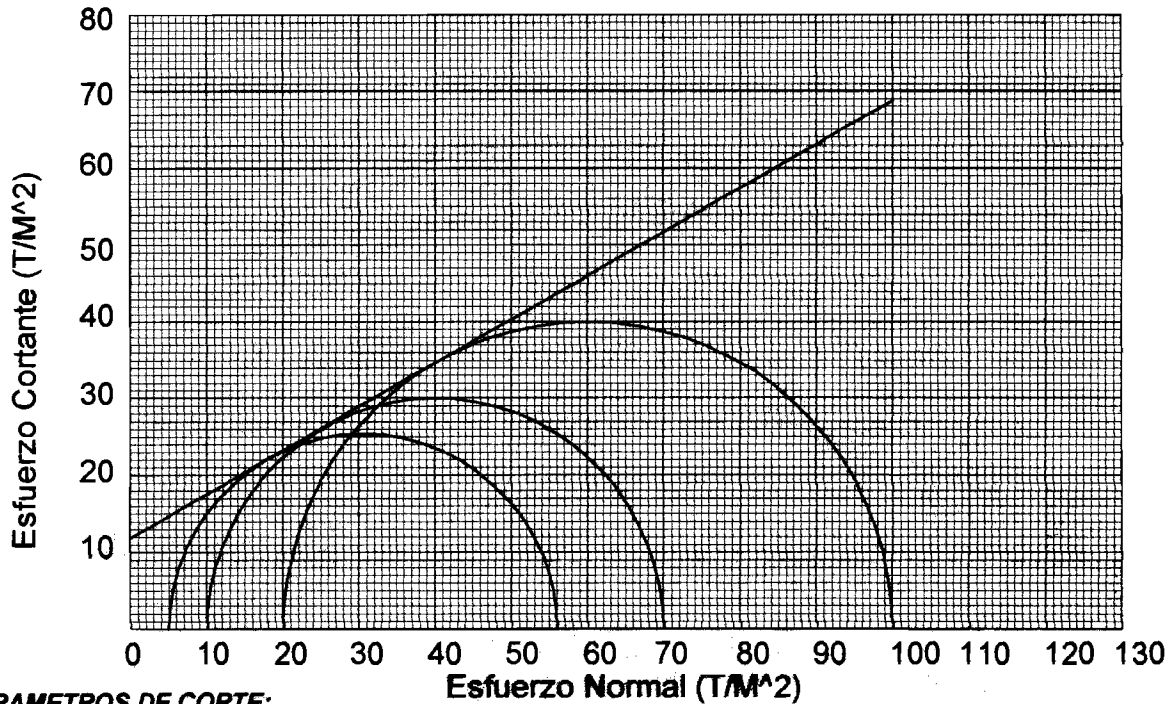
INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez

PROYECTO: Trabajo de graduación

UBICACION: El Frutal

FECHA: 28 de febrero de 2007

Ensayo No: 1 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 29,65^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 116,74$ Kpa
---	--

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Limo ligeramente arcilloso con fragmentos micáceos, color grisáceo, (Limo orgánico)

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	2	3
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m ²)	30,49	40,04	59,77
PRESION INTERSTICIAL u(T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	3,0	4,5	7,5
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,39	1,39	1,39
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,75	1,75	1,75
HUMEDAD (%H)	25,3	25,3	25,3

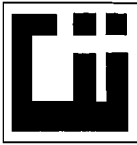
Vo. Bo.

Atentamente,

Ing. Oswaldo Román Escobar Álvarez
DIRECTOR CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



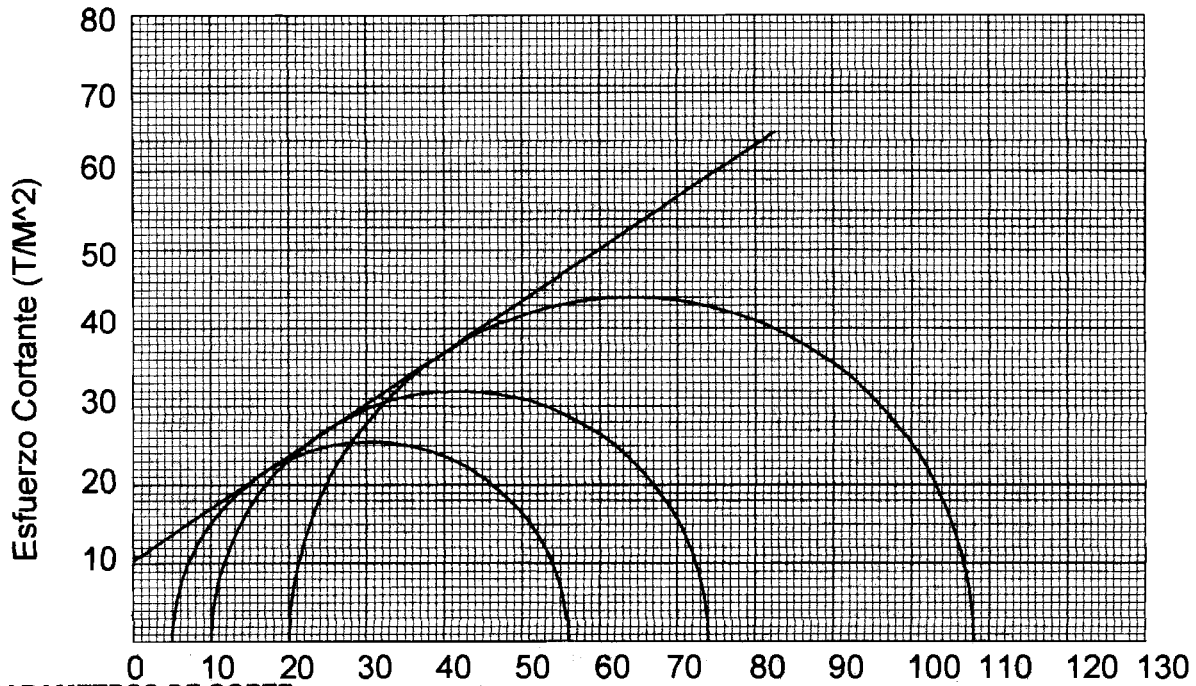


**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0061 S.S. O.T.No.: 20,764
 INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez
 PROYECTO: Trabajo de graduación
 UBICACION: El Frutal FECHA: 28 de febrero de 2007
 Ensayo No: 2 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE: **Esfuerzo Normal (T/m²)**
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 33,52^\circ$ **COHESIÓN: $C_u = 102$ Kpa**

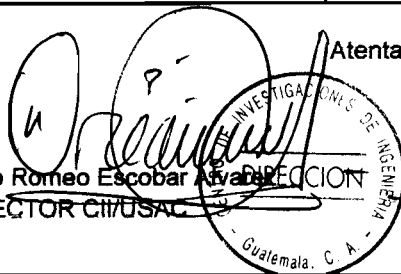
TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.
 DESCRIPCION DEL SUELO: Limo ligeramente arcilloso con fragmentos micaceos, color grisaceo, (Limo orgánico)

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	4	5	6
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m ²)	30,49	43,70	63,95
PRESION INTERSTICIAL u(T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	3,0	4,0	6,0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,40	1,40	1,40
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,75	1,75	1,75
HUMEDAD (%H)	25,1	25,1	25,1

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar
 DIRECTOR CII/USAC



Atentamente,

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0062 S.S. O.T.No.: 20,764

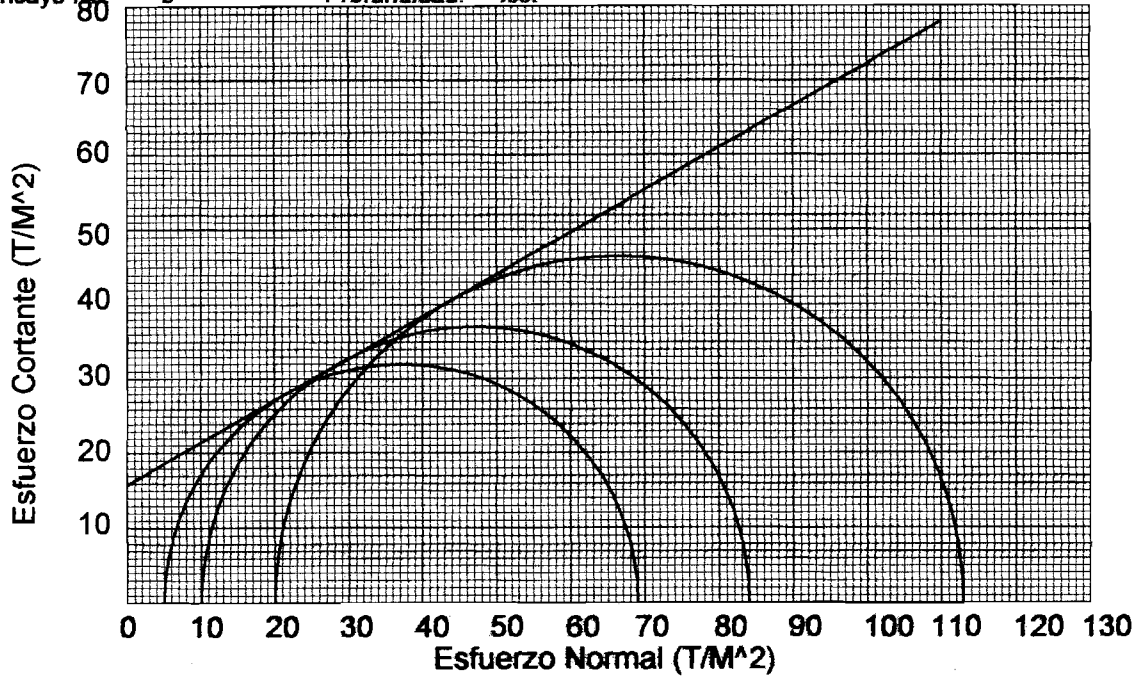
INTERESADO: Rodolfo Rosaies Bermúdez

PROYECTO: Trabajo de graduación

UBICACION: El Frutal

FECHA: 28 de febrero de 2007

Ensayo No: 3 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 29,42^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 156 \text{ Kpa}$
---	-----------------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Limo ligeramente arcilloso con fragmentos micaceos, color grisaceo, (Limo orgánico)

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	7	8	9
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA $q(T/m^2)$	37,13	45,13	66,48
PRESION INTERSTICIAL $u(T/m^2)$	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	3,5	5,0	8,0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,41	1,41	1,41
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,76	1,76	1,76
HUMEDAD (%H)	24,41	24,41	24,41



Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Álvarez

DIRECTOR CIUSAG DIRECCION

Ing. Omar Enrique Méndez Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0068 S.S. O.T.No.: 20,784

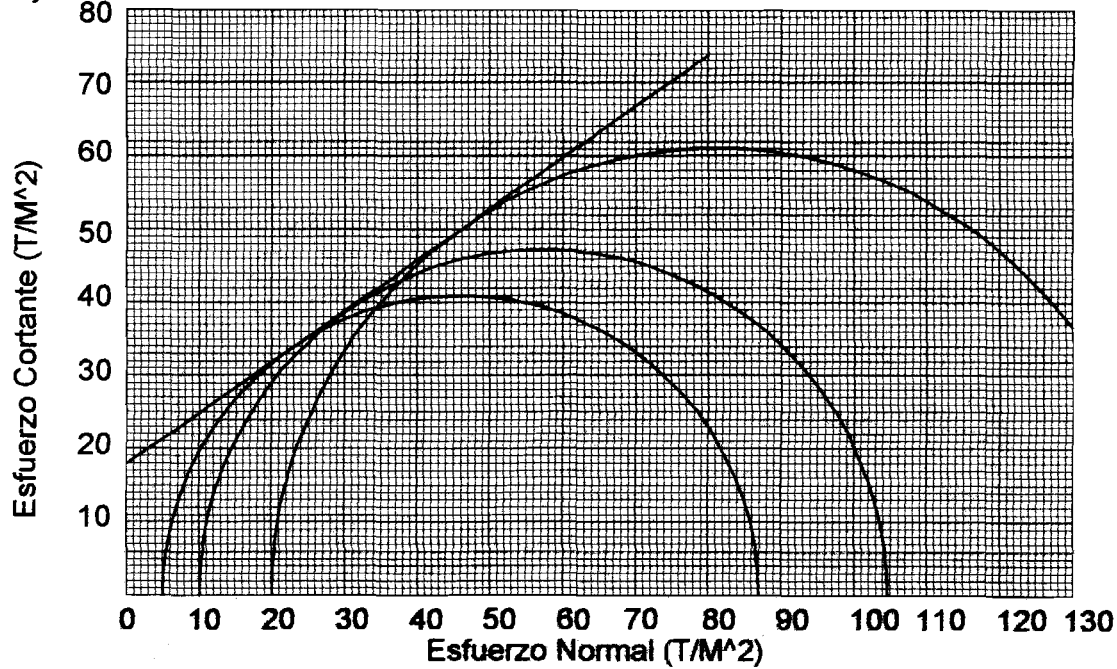
INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez

PROYECTO: Trabajo de graduación

UBICACION: villalobos

FECHA: 28 de febrero de 2007

Ensayo No: 1 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 34,93^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 175,6$ Kpa
---	---

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Pómez

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	2	3
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m ²)	45,86	57,30	81,09
PRESION INTERSTICIAL u(T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2,0	3,0	4,0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,61	1,61	1,61
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,85	1,85	1,85
HUMEDAD (%H)	15,20	15,20	15,20

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez
DIRECTOR CII/USAC

Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

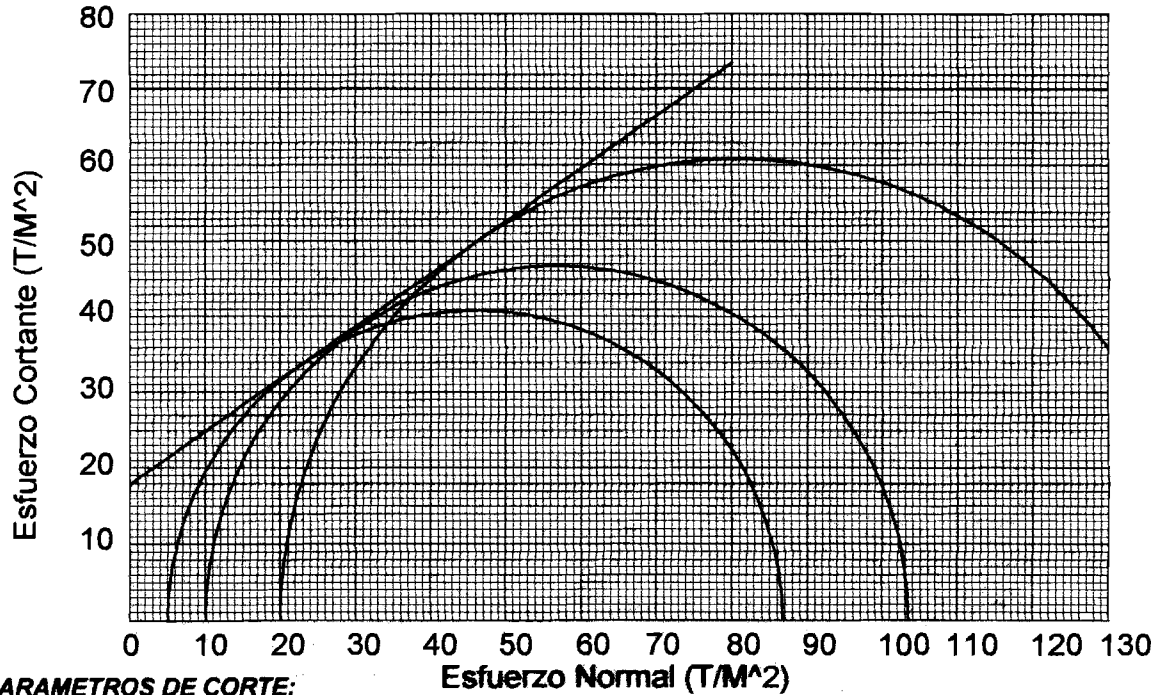




ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0069 S.S. O.T.No.: 20,764

INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez
 PROYECTO: Trabajo de graduación
 UBICACION: villalobos FECHA: 28 de febrero de 2007
 Ensayo No: 2 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 34,82^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 175,6$ Kpa
---	---

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.
 DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Pómez
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	4	5	6
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	45,86	58,71	80,82
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	1,0	2,5	3,5
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,81	1,81	1,81
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,84	1,84	1,84
HUMEDAD (%H)	14,55	14,55	14,55

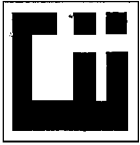
Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvaréz
 DIRECTOR CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0070 S.S. O.T.No.: 20,764

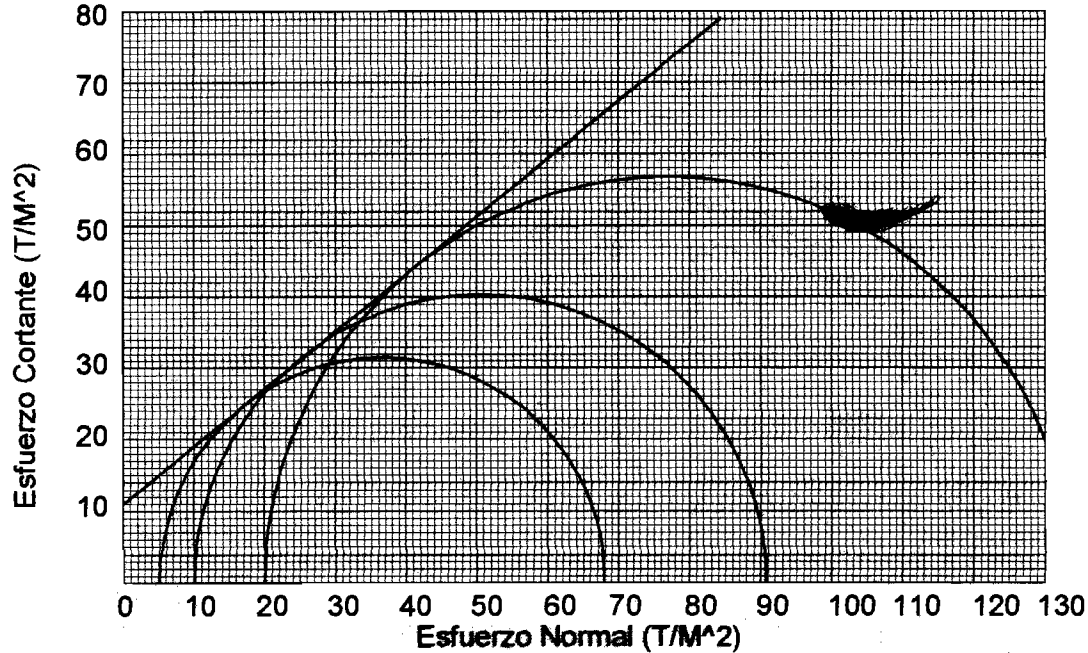
INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez

PROYECTO: Trabajo de graduación

UBICACION: villalobos

FECHA: 28 de febrero de 2007

Ensayo No: 3 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 38,87^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 107,9$ Kpa
---	---

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Arena Pómez

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

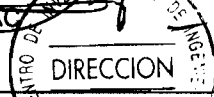
PROBETA No.	7	8	9
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	36,52	50,37	76,79
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	2,0	2,5	3,5
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,62	1,62	1,62
DENSIDAD (T/m ³)	1,86	1,86	1,86
HUMEDAD (%H)	14,98	14,98	14,98

Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarez

DIRECTOR CIIUSAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos



FACULTAD DE INGENIERIA -USAC

Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo: 2476-3992; Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993

Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0064 S.S. O.T.No.: 20,764

INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez

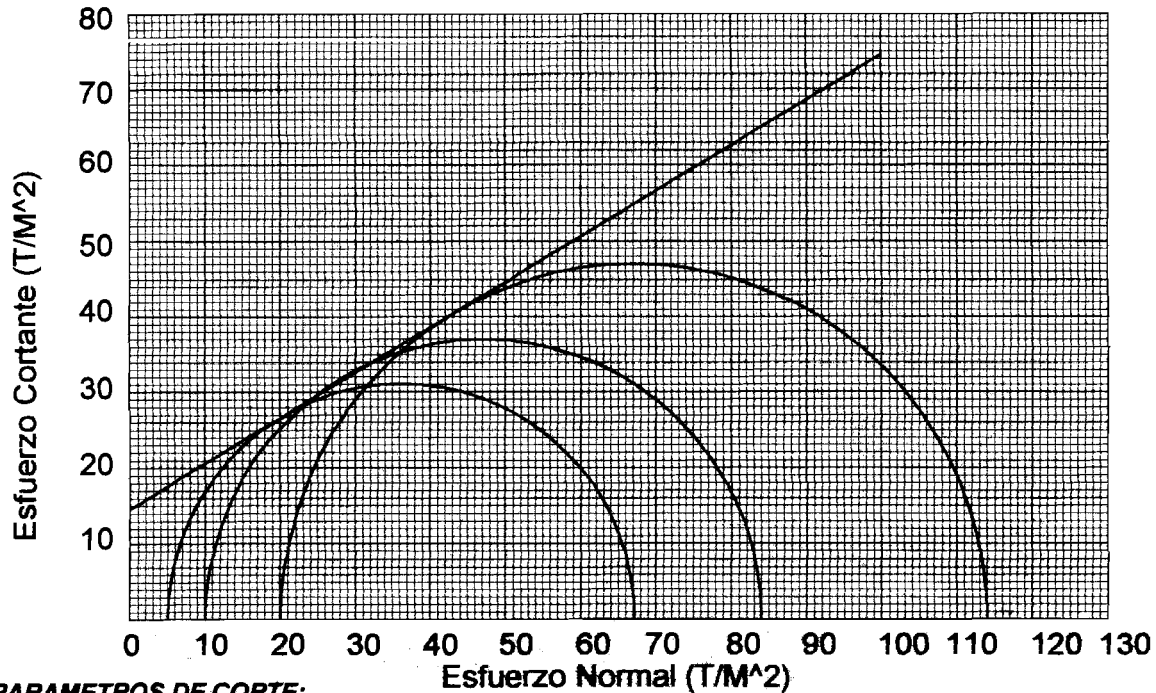
PROYECTO: Trabajo de graduación

UBICACION: Mixco

FECHA: 28 de febrero de 2007

Ensayo No: 1

Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 30,96^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 143,2$ Kpa
---	---

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Limo ligeramente arenoso, color amarillento

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	2	3
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	36,11	41,47	67,00
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	3,0	4,0	6,0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,11	1,11	1,11
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,59	1,59	1,59
HUMEDAD (%H)	44,07	44,07	44,07



Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Remedios Escobar Álvarez

DIRECTOR CII/USAC



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC

Edificio 1-5, Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo 2476-3992. Planta 2443-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993

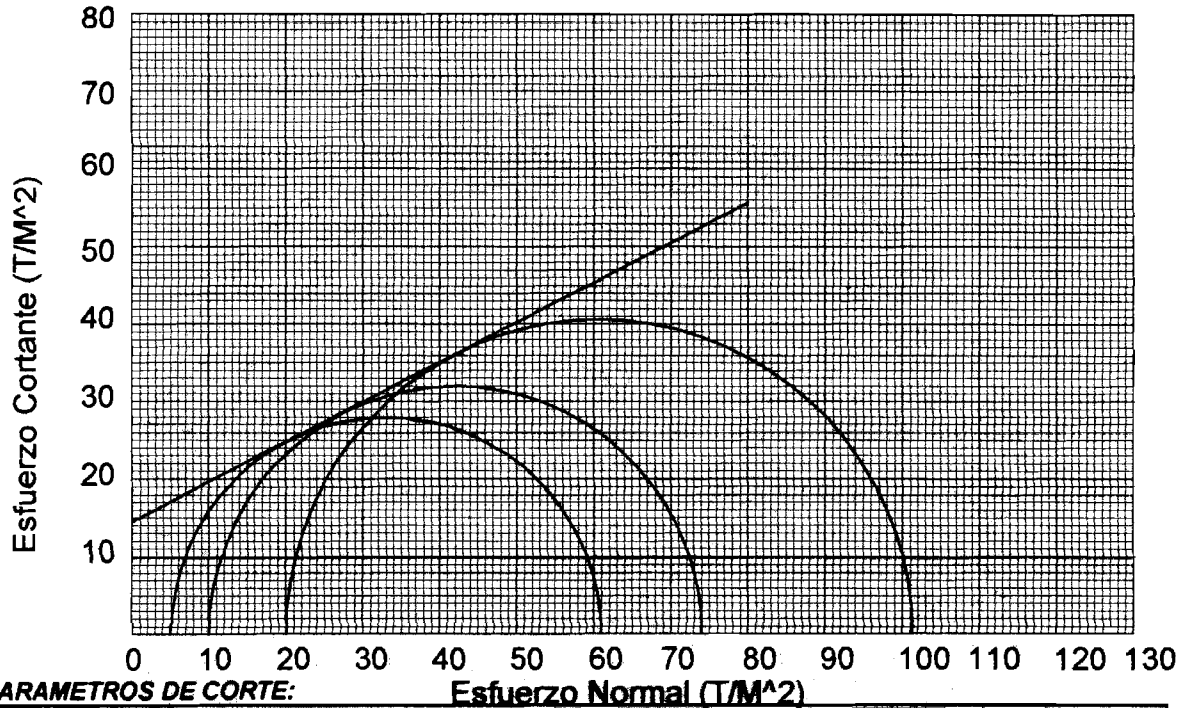
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0065 S.S. O.T.No.: 20,764

INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez
 PROYECTO: Trabajo de graduación
 UBICACION: Mixco FECHA: 28 de febrero de 2007
 Ensayo No: 2 Profundidad: xxx



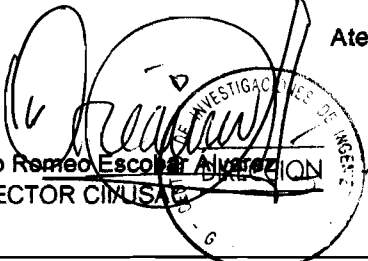
PARAMETROS DE CORTE:	Esfuerzo Normal (T/M²)
ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 27,21^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 142,2$ Kpa

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.
 DESCRIPCION DEL SUELO: Limo ligeramente arenoso, color amarillento
 DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"
 OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	4	5	6
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	33,00	42,00	60,64
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	1,5	3,0	5,0
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,11	1,11	1,11
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,55	1,55	1,55
HUMEDAD (%H)	39,95	39,95	39,95

Atentamente,

Vo. Bo.


 Ing. Oswaldo Rosales Escobar
 DIRECTOR CENISAC


 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos





ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR

INFORME No.: 0086 S.S. O.T.No.: 20,764

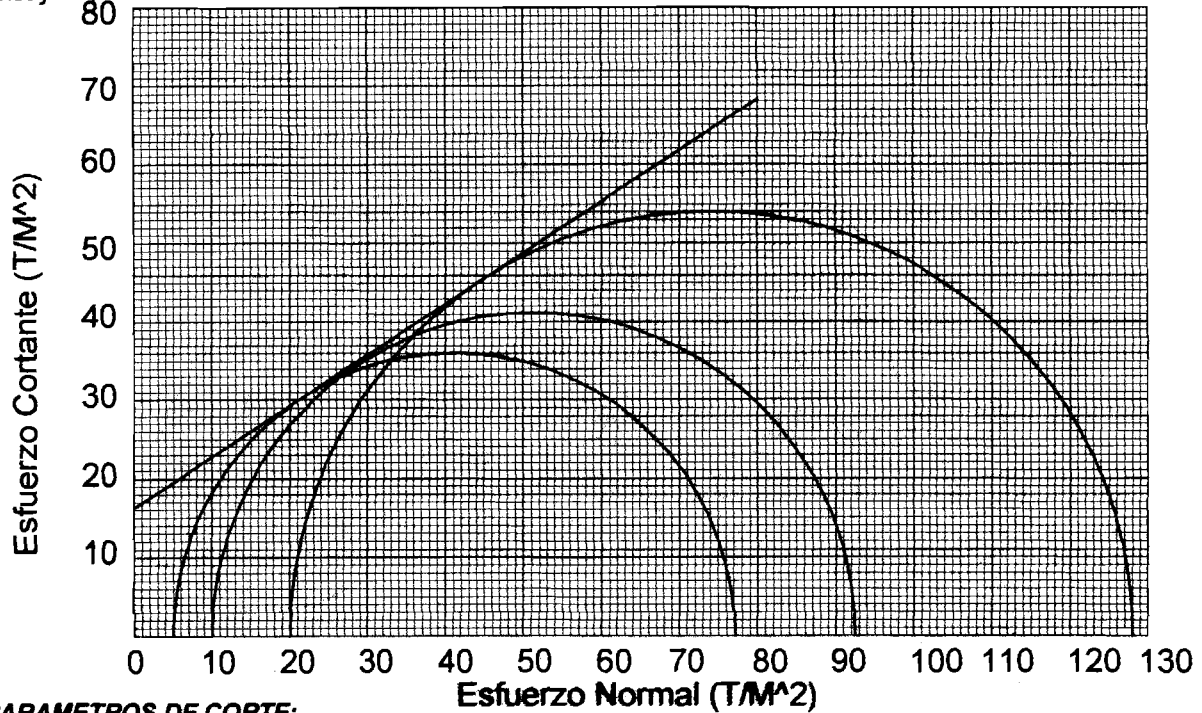
INTERESADO: Rodolfo Rosales Bermúdez

PROYECTO: Trabajo de graduación

UBICACION: Mixco

FECHA: 28 de febrero de 2007

Ensayo No: 3 Profundidad: xxx



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : $\phi = 33^\circ$	COHESIÓN: $C_u = 159,9$ Kpa
--	-----------------------------

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.

DESCRIPCION DEL SUELO: Limo ligeramente arenoso, color amarillento

DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	7	8	9
PRESION LATERAL (T/m ²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q (T/m ²)	41,07	51,23	74,01
PRESION INTERSTICIAL u (T/m ²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA E_r (%)	2,5	3,0	4,5
DENSIDAD SECA (T/m ³)	1,18	1,18	1,18
DENSIDAD HUMEDA (T/m ³)	1,65	1,65	1,65
HUMEDAD (%H)	40,00	40,00	40,00



Atentamente,

Vo. Bo.

Ing. Oswaldo Romeo Escobar Alvarado

DIRECTOR CII/USAC

DIRECCION

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA -USAC

Ciudad Universitaria zona 12

Teléfono directo 2476-3992. Planta 2-43-9500 Ext. 1502. FAX: 2476-3993

Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-221-06

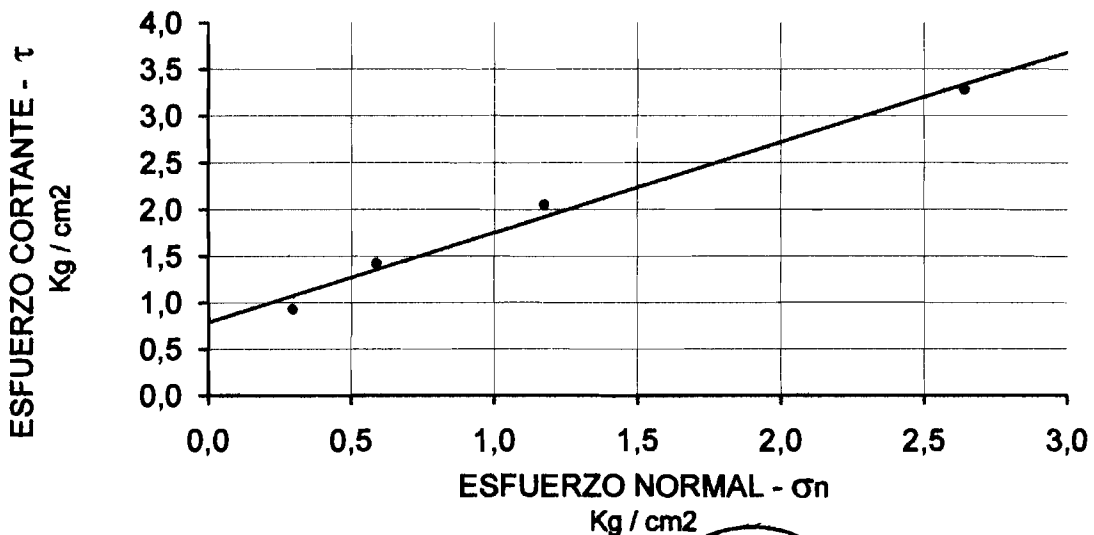
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:


MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m3	COHESION Kpa	ϕ grados
1	1	EL FRUTAL	27,9	1,61	83,4	43,9

Descripción de la Muestra: LIMO LIGERAMENTE ARCILLOSO CON FRAGMENTOS MICACEOS, COLOR GRISACEO, (LIMO ORGANICO).

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-222-06

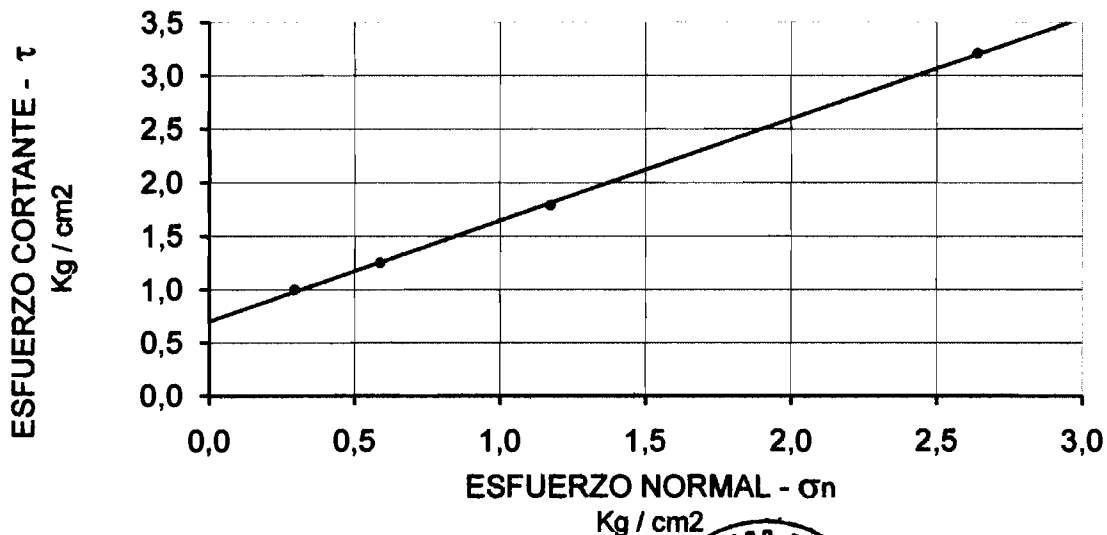
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:


MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m3	COHESION Kpa	ϕ grados
1	2	EL FRUTAL	26,7	1,71	73,9	43,5

Descripción de la Muestra: LIMO LIGERAMENTE ARCILLOSO CON FRAGMENTOS MICACEOS, COLOR GRISACEO, (LIMO ORGANICO).

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA



SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-223-06

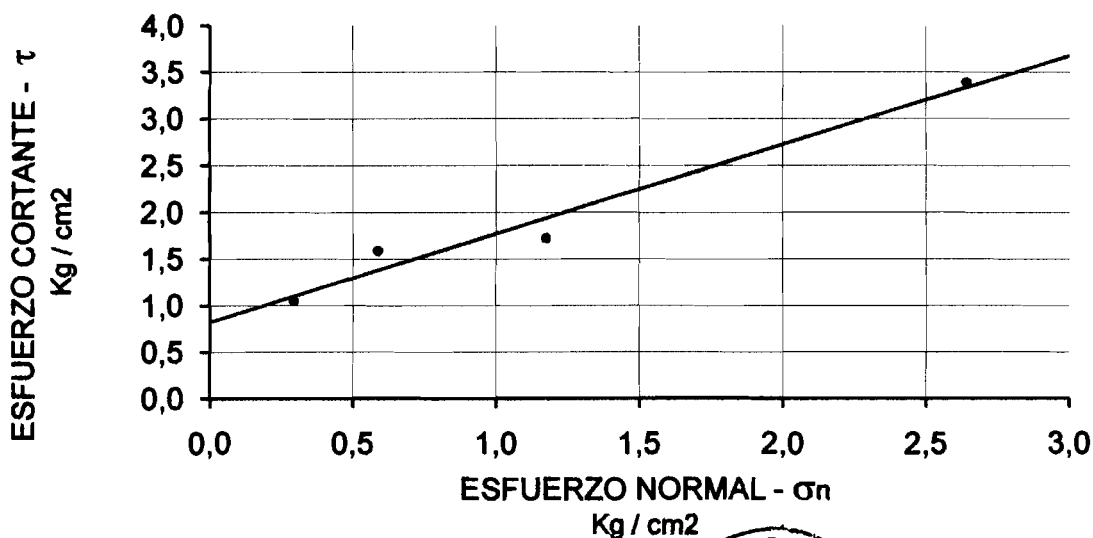
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:

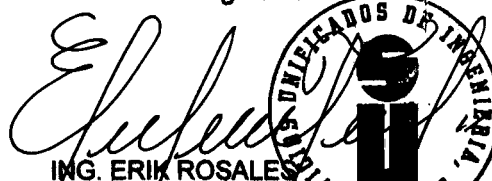
MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m ³	COHESION Kpa	ϕ grados
1	3	EL FRUTAL	27,5	1,62	86,5	43,6

Descripción de la Muestra: LIMO LIGERAMENTE ARCILLOSO CON FRAGMENTOS MICACEOS, COLOR GRISACEO, (LIMO ORGANICO).

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA



SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-224-06

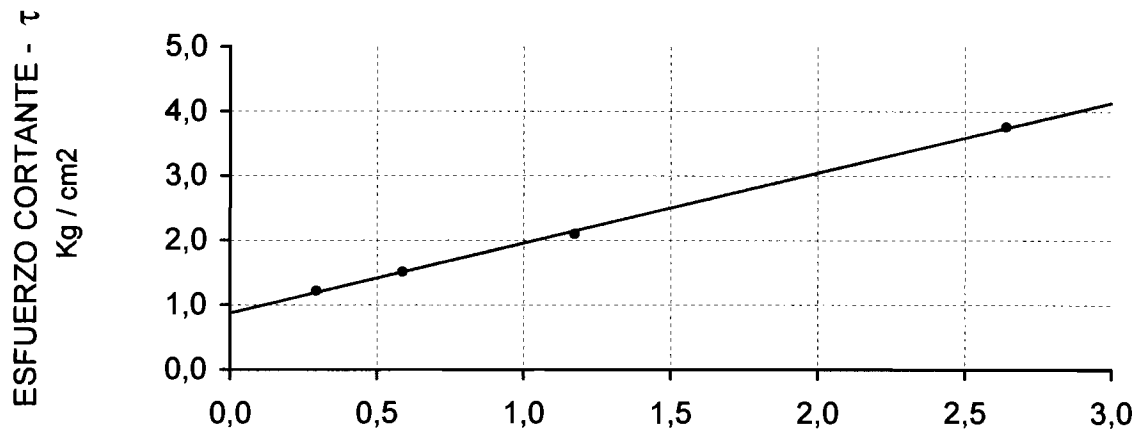
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:

MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m3	COHESION Kpa	ϕ grados
2	1	VILLALOBOS	15,7	1,69	92,0	47,4

Descripción de la Muestra: ARENA PÓMEZ

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,

ING. ERIK ROSALES

POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-225-06

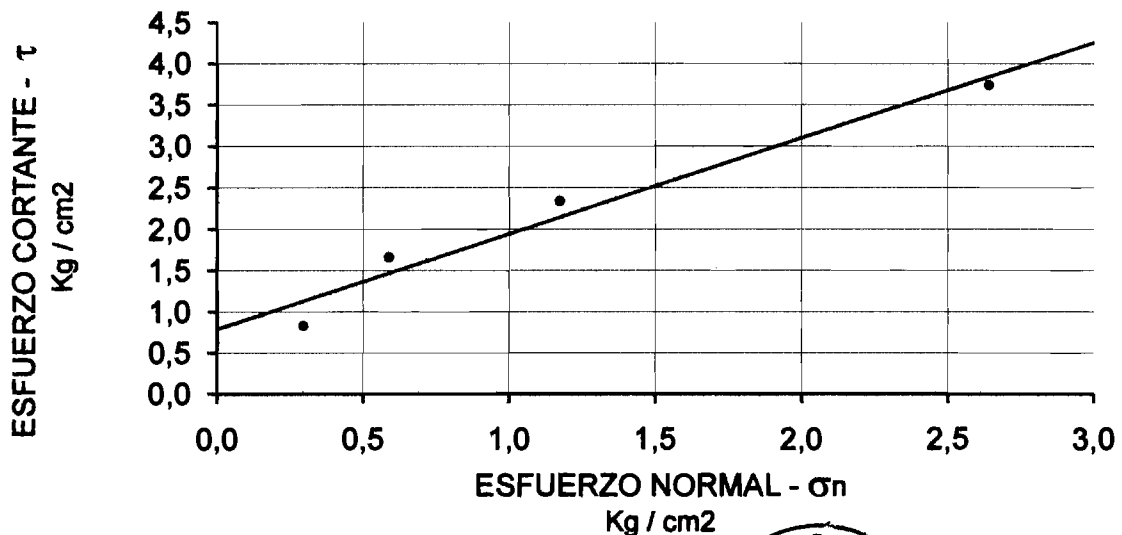
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:


MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m ³	COHESION Kpa	ϕ grados
2	2	VILLALOBOS	14,1	1,69	83,5	49,1


Descripción de la Muestra: ARENA PÓMEZ

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-226-06

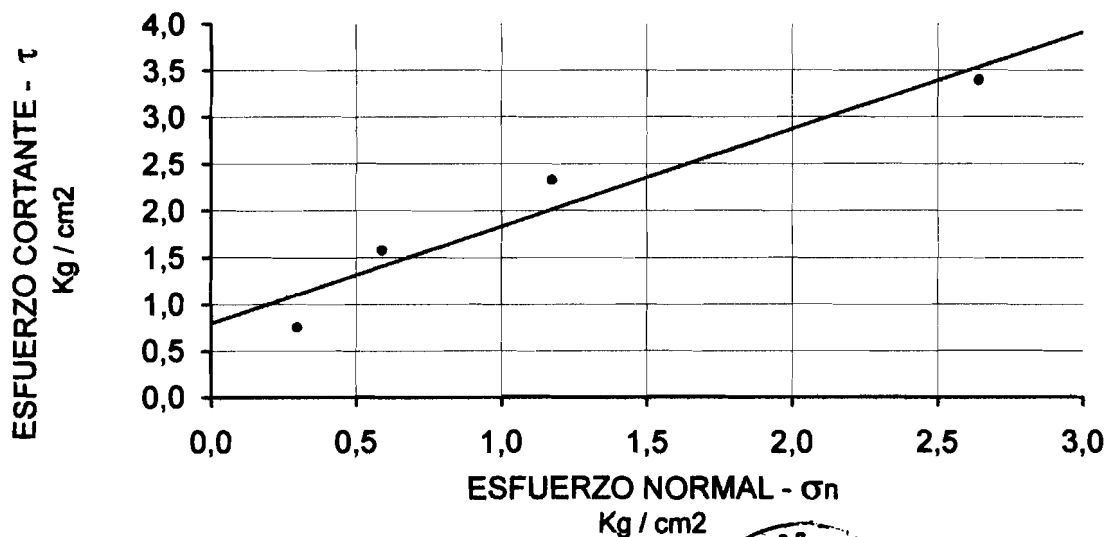
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:

MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m3	COHESION Kpa	ϕ grados
2	3	VILLALOBOS	16,0	1,68	84,4	46,1

Descripción de la Muestra: ARENA POMEZ

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-227-06

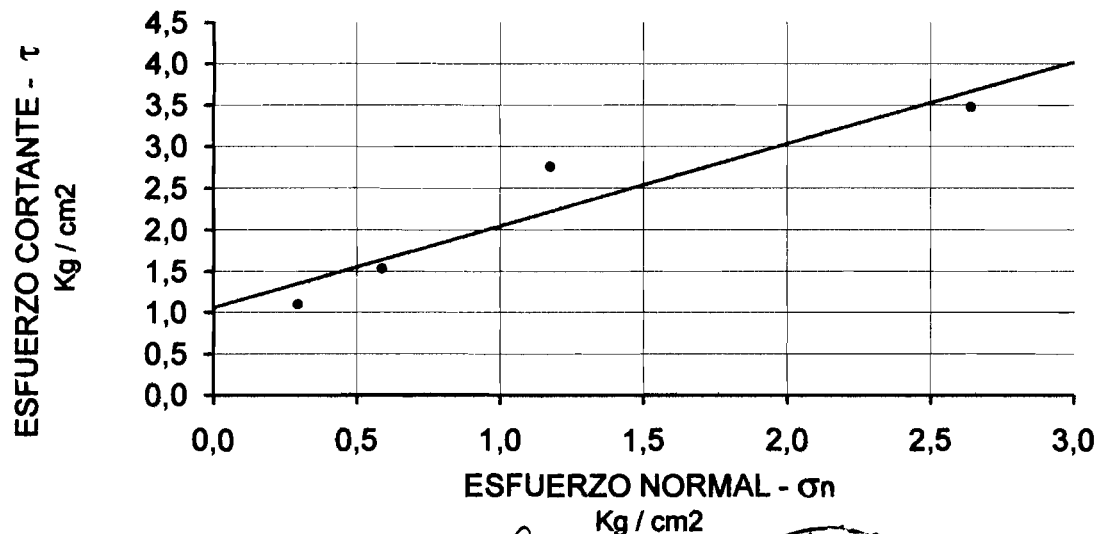
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:

MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m3	COHESION Kpa	ϕ grados
3	1	MIXCO	52,6	1,54	83,5	44,6

Descripción de la Muestra: LIMO LIGERAMENTE ARENOSO, COLOR AMARILLENTO

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA S.A.





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-228-06

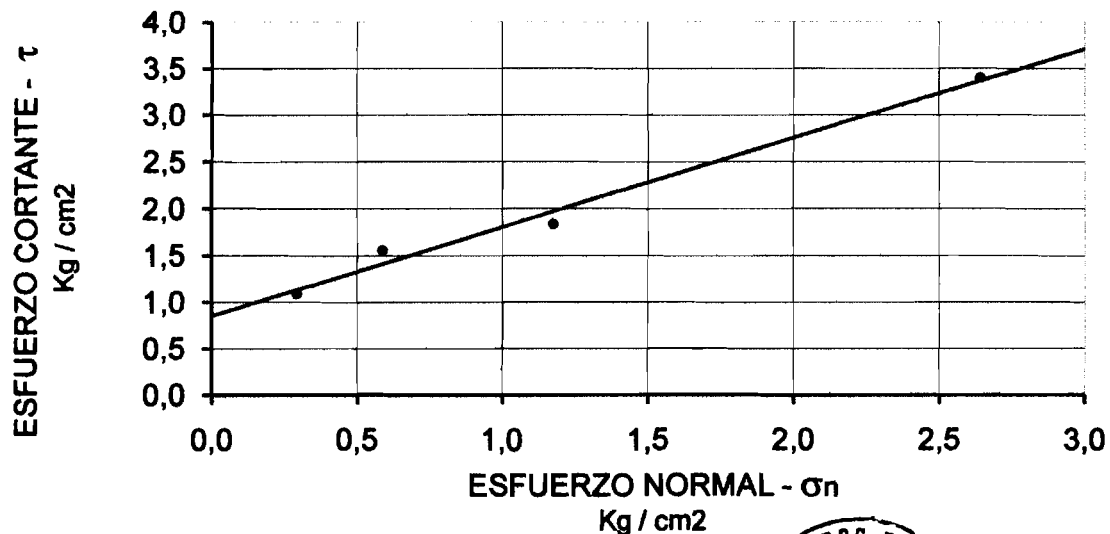
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:

MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m ³	COHESION Kpa	ϕ grados
3	2	MIXCO	44,5	1,46	89,9	43,6

Descripción de la Muestra: LIMO LIGERAMENTE ARENOSO, DE COLOR AMARILLENTO

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



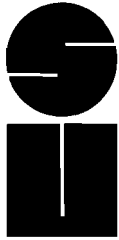
Atentamente,

Erik Rosales

ING. ERIK ROSALES

POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-229-06

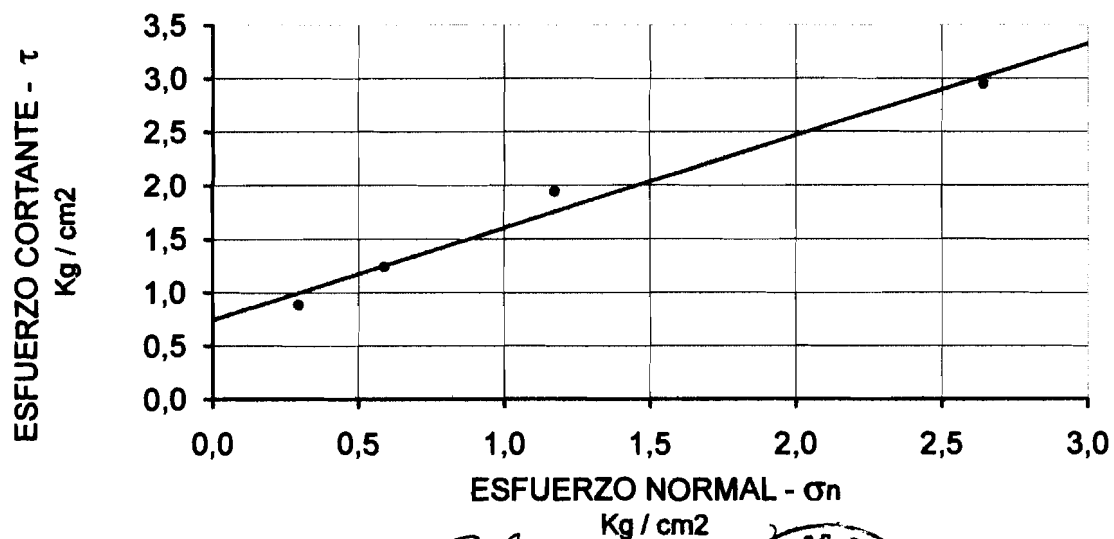
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CORTE DIRECTO
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I.- RESULTADOS:


MUESTRA No.	ENSAYO No.	PROCEDENCIA	CONTENIDO HUMEDAD %	DENSIDAD HUMEDA Ton / m ³	COHESION Kpa	ϕ grados
3	3	MIXCO	46,2	1,45	78,6	40,7


Descripción de la Muestra: LIMO LIGERAMENTE ARENOSO, DE COLOR AMARILLENTO

CORTE DIRECTO - NO DRENADO - NO CONSOLIDADO



Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





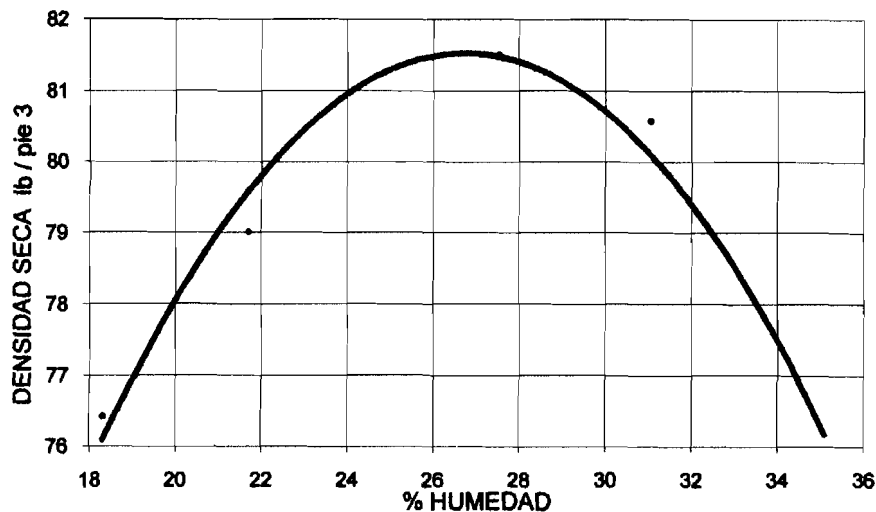
SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-237-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO ASSHO T-180
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

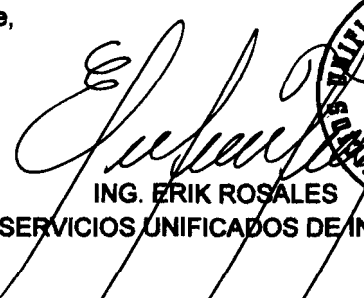
GRAFICA DENSIDAD SECA - HUMEDAD RELATIVA



MUESTRA : EL FRUTAL
DESCRIPCION DEL SUELO: LIMO LIGERAMENTE ARCILLOSO CON FRAGMENTOS MICACEOS, COLOR GRISACEO, (LIMO ORGANICO).
DENSIDAD SECA OPTIMA: 1305,5 Kg / M³
HUMEDAD OPTIMA: 27,5 %

OBS.

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





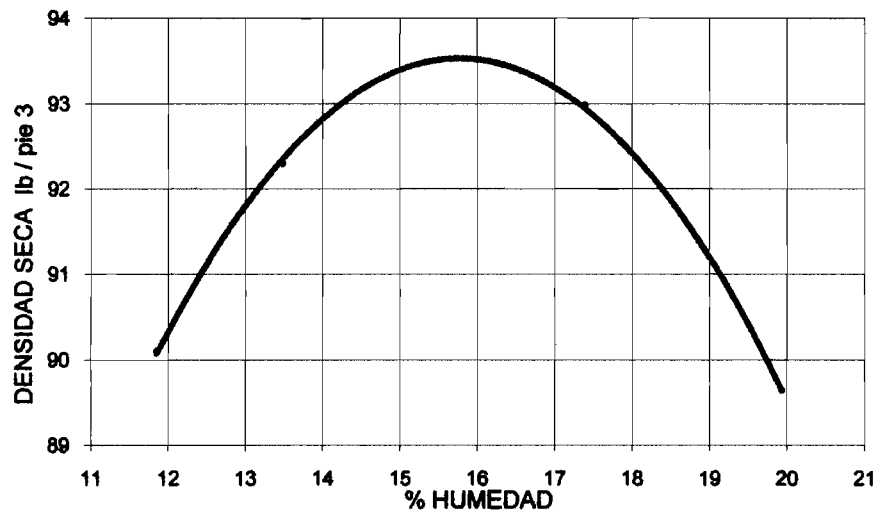
SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-232-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO ASSHO T-180
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

GRAFICA DENSIDAD SECA - HUMEDAD RELATIVA

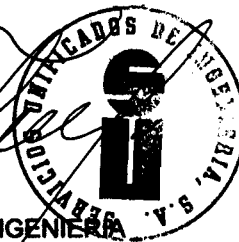


MUESTRA : VILLA LOBOS.
DESCRIPCION DEL SUELO: ARENA PÓMEZ CON FRAGMENTOS ANDESITICOS Y MICACEOS, COLOR BEIGE.
DENSIDAD SECA OPTIMA: 1499,3 Kg / M³
HUMEDAD OPTIMA: 15,8 %

OBS.

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA



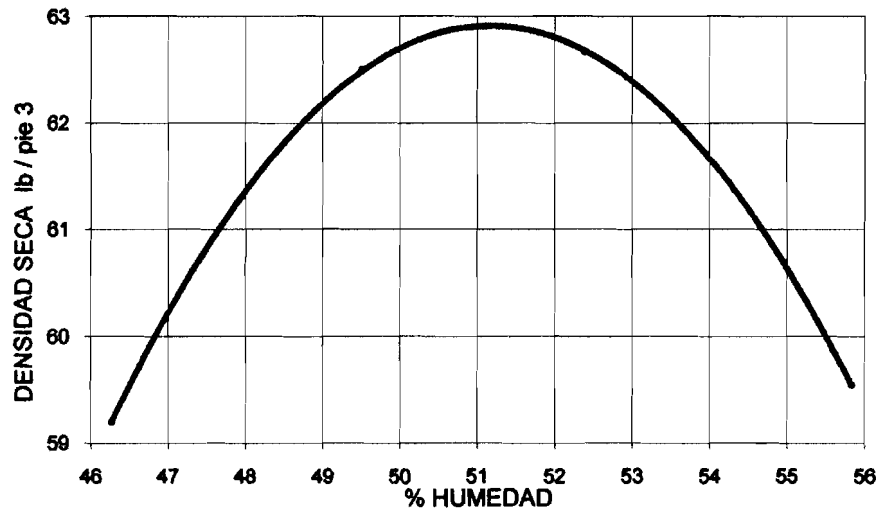


SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA
GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-242-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: ENSAYO DE PRÓCTOR MODIFICADO ASSHO T-180
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

GRAFICA DENSIDAD SECA - HUMEDAD RELATIVA



MUESTRA : MIXCO
DESCRIPCION DEL SUELO: LIMO LIGERAMENTE ARENOSO, COLOR AMARILLENTO
DENSIDAD SECA OPTIMA: 1007,6 Kg / M³
HUMEDAD OPTIMA: 51,1 %

OBS.

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-244-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: CLASIFICACION DE SUELOS AASHO M - 145
SISTEMA UNIFICADO DE INGENIERIA ASTM D - 2487
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I CLASIFICACION DE LOS ESTRATOS

MUESTRA	% PASA TAMIZ 200	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE PLASTICIDAD	INDICE GRUPO	CLASIFICACION AASHO	CLASIFICACION UNIFICADO
---	---	---	---	---	---	---	---
ARENA POMEZ	18	NP	NP	NP	NP	A - 2 - 4	SM
LIMO ORGANICO	96	46	38	8	13	A - 7 - 5 (13)	OL
LIMO AMARILLENTO	80	59	57	2	8	A - 5 (8)	MH
---	---	---	---	---	---	---	---

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

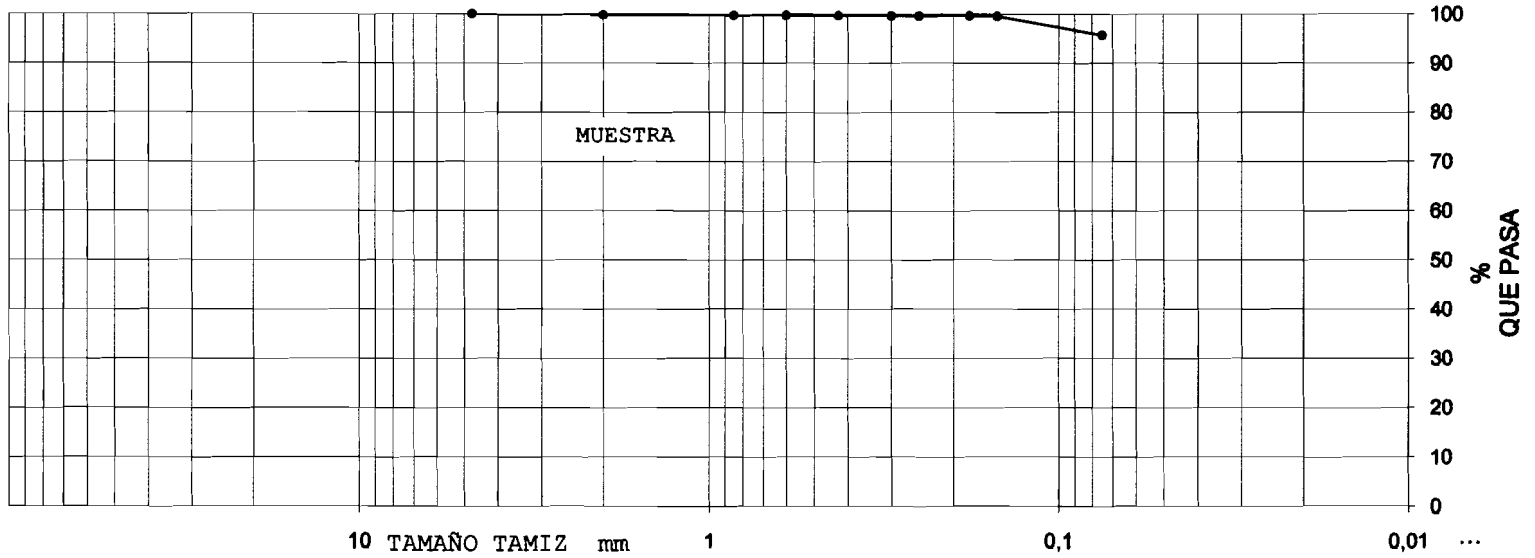


INFORME No R-238-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
 ASUNTO: ENSAYO DE GRANULOMETRIA LAVADA ASSHO T-27
 SITIO: EL FRUTAL

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
 FECHA: OCTUBRE DEL 2,006
 MUESTRA: LIMO ORGANICO

GRAFICA DE GRANULOMETRIA



	GRAVA										ARENA										LIMO
	GRUESA					FINA					GRUESA			MEDIA			FINA				ARCILLA
TAMIZ No	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	20	30	40	50	60	80	100	200	325	
TAMIZ mm	75,0	63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	6,3	4,8	2,0	0,9	0,6	0,4	0,30	0,25	0,18	0,15	0,075	0,045	
% QUE PASA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100,0	99,8	99,7	99,7	99,7	99,7	99,6	99,6	99,5	95,7	—	

Coficiente de Uniformidad (Cu) = NA
 Coficiente de Curvatura (Cz) = NA

OBS NA = NO APLICA

Atentamente,

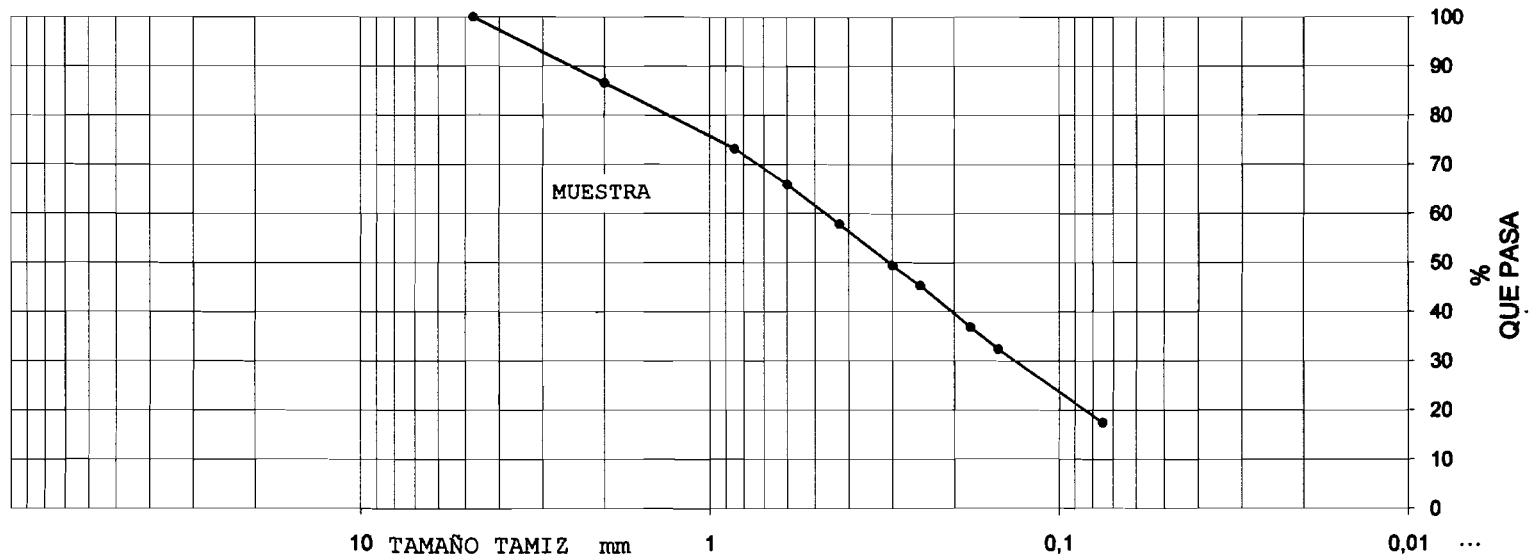
ING. ERIK ROSALES
 POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

INFORME No R-230-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
 ASUNTO: ENSAYO DE GRANULOMETRIA LAVADA ASSHO T-27
 SITIO: VILLA LOBOS

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
 FECHA: OCTUBRE DEL 2,006
 MUESTRA: ARENA POMEZ

GRAFICA DE GRANULOMETRIA



	GRAVA									ARENA									LIMO ARCILLA	
	GRUESA					FINA				GRUESA			MEDIA			FINA				
TAMIZ No	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	20	30	40	50	60	80	100	200	325
TAMIZ mm	75,0	63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	6,3	4,8	2,0	0,9	0,6	0,4	0,30	0,25	0,18	0,15	0,075	0,045
% QUE PASA	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100,0	86,6	73,2	65,9	57,8	49,4	45,3	36,9	32,5	17,5	—

Coficiente de Uniformidad (Cu) = NA
 Coficiente de Curvatura (Cz) = NA

OBS NA = NO APLICA

Atentamente,

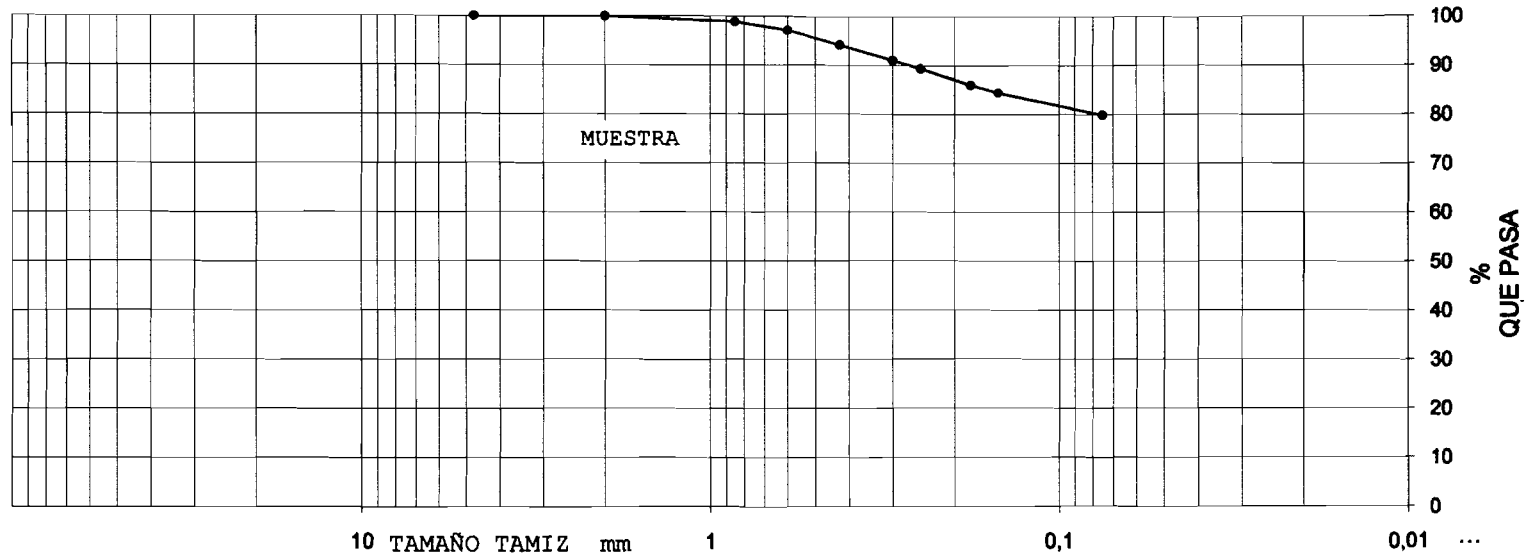
Erik Rosales
 ING. ERIK ROSALES
 POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

INFORME No R-243-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
 ASUNTO: ENSAYO DE GRANULOMETRIA LAVADA ASSHO T-27
 SITIO: MIXCO

PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
 FECHA: OCTUBRE DEL 2,006
 MUESTRA: LIMO AMARILLENTO

GRAFICA DE GRANULOMETRIA



	GRAVA									ARENA									LIMO	
	GRUESA					FINA				GRUESA			MEDIA			FINA			ARCILLA	
TAMIZ No	3	2 1/2	2	1 1/2	1	3/4	1/2	3/8	1/4	4	10	20	30	40	50	60	80	100	200	325
TAMIZ mm	75,0	63,0	50,0	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	6,3	4,8	2,0	0,9	0,6	0,4	0,30	0,25	0,18	0,15	0,075	0,045
% QUE PASA	--	--	--	--	--	--	--	--	--	100,0	100,0	98,8	97,1	94,3	91,1	89,4	85,9	84,4	79,9	--

Coficiente de Uniformidad (Cu) = NA
 Coficiente de Curvatura (Cz) = NA

OBS NA = NO APLICA

Atentamente,

Erik Rosales
 ING. ERIK ROSALES
 POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-234-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: LIMITES DE ATTERBERG ASSHO T-89, T-90
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

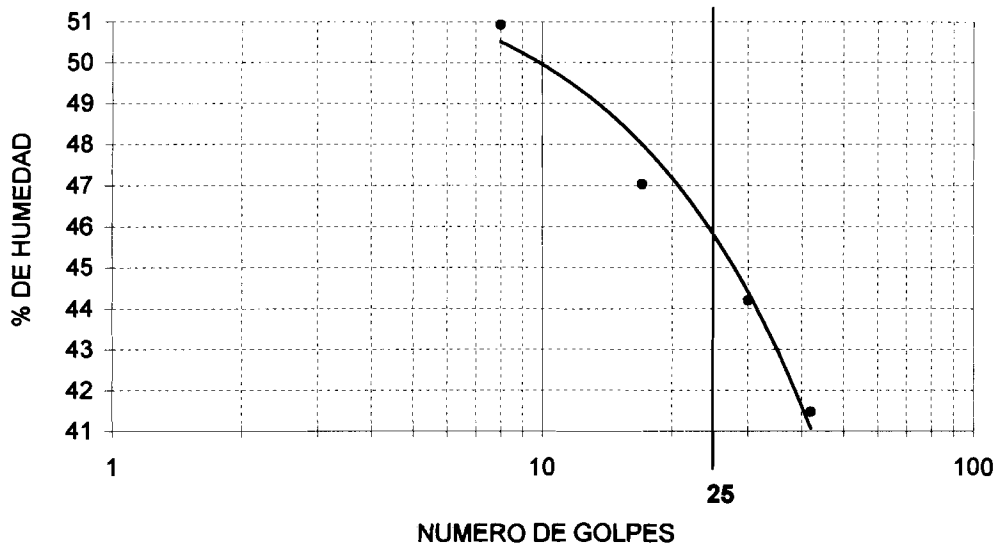
I. IDENTIFICACION

1.1 MUESTRA: EL FRUTAL

1.2 DESCRIPCION: LIMO LIGERAMENTE ARCILLOSO CON FRAGMENTOS MICACEOS, COLOR GRISACEO, (LIMO ORGANICO).

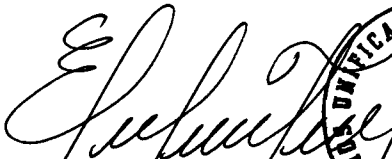
II. RESULTADOS


CURVA DE FLUJO



LIMITE LIQUIDO:	46,0	INDICE DE GRUPO:
LIMITE PLASTICO:	37,2	CLASIFICACION:
INDICE PLASTICO:	8,8	HUMEDAD NATURAL:

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-231-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: LIMITES DE ATTERBERG ASSHO T-89, T-90
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

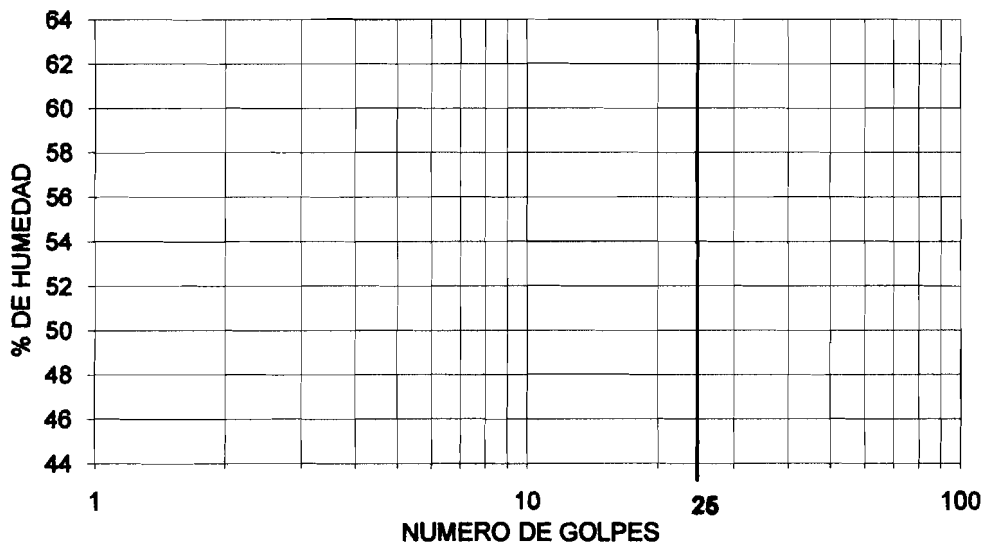
I. IDENTIFICACION

1.1 MUESTRA: VILLA LOBOS

1.2 DESCRIPCION: ARENA PÓMEZ CON FRAGMENTOS ANDESITICOS Y MICACEOS,
COLOR BEIGE.

II. RESULTADOS

CURVA DE FLUJO



LIMITE LIQUIDO: N.P. INDICE DE GRUPO:
LIMITE PLASTICO: N.P. CLASIFICACION:
INDICE PLASTICO: N.P. HUMEDAD NATURAL:

OBSERVACIONES: N.P. = NO PLASTICO

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES

POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-239-06

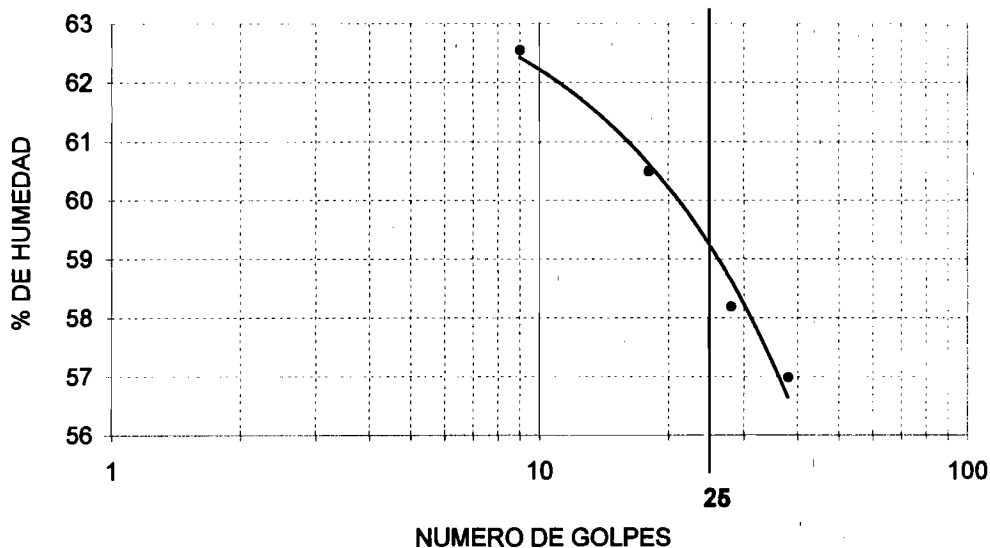
INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: LIMITES DE ATTERBERG ASSHO T-89, T-90
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

I. IDENTIFICACION

1.1 MUESTRA: MIXCO
1.2 DESCRIPCION: LIMO LIGERAMENTE ARENOSO, COLOR AMARILLENTO

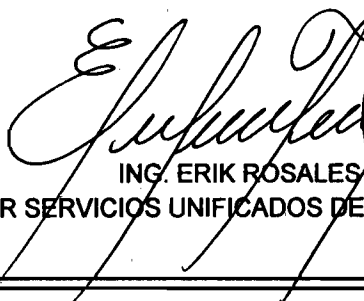
II. RESULTADOS


CURVA DE FLUJO



LIMITE LIQUIDO:	59,3	INDICE DE GRUPO:	
LIMITE PLASTICO:	57,0	CLASIFICACION:	
INDICE PLASTICO:	2,3	HUMEDAD NATURAL:	

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-235-06


INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: PESOS UNITARIOS
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

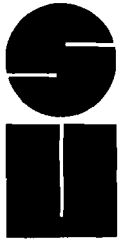
PESOS UNITARIOS

IDENTIFICACION	PESO UNITARIO COMPACTADO kg/m ³	PESO UNITARIO SUELTO kg/m ³
EL FRUTAL LIMO ORGANICO	882,07	761,27

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES


INFORME No R-233-06


INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: PESOS UNITARIOS
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

PESOS UNITARIOS

IDENTIFICACION	PESO UNITARIO COMPACTADO kg/m ³	PESO UNITARIO SUELTO kg/m ³
VILLA LOBOS ARENA POMÉZ	1247,7	1132,87

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA





SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

GEOTECNIA • CIMENTACIONES • LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

INFORME No R-240-06

INTERESADO: RODOLFO ROSALES
ASUNTO: PESOS UNITARIOS
PROYECTO: TRABAJO DE GRADUACION
FECHA: OCTUBRE DEL 2,006

PESOS UNITARIOS

IDENTIFICACION	PESO UNITARIO COMPACTADO kg/m ³	PESO UNITARIO SUELTO kg/m ³
MIXCO LIMO AMARILLENTO	873,1	761,15

Atentamente,


ING. ERIK ROSALES
POR SERVICIOS UNIFICADOS DE INGENIERIA

