

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS Y ENSAYO CON TRES  
MUESTRAS DE ESBELTEZ UNO PARA SUELOS DE  
DIFERENTES ZONAS DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA:  
COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL ENSAYO TRIAXIAL  
NORMAL”**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR**

**JUAN FRANCISCO CALDERÓN MONTIEL  
AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**Guatemala, septiembre de 1999**



**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con lo establecido por la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración mi trabajo de tesis titulado:

**“ENSAYO TRIAXIAL MULTIETAPAS Y ENSAYO CON TRES MUESTRAS DE ESBELTEZ UNO PARA SUELOS DE DIFERENTES ZONAS DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA: COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL ENSAYO TRIAXIAL NORMAL”**

Tema que me fuera autorizado por  
La Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de abril de 1,999.

**Juan Francisco Calderón Montiel**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

Decano	Ing. Herbert René Miranda Barrios
Vocal Primero	Ing. José Francisco Gómez Rivera
Vocal Segundo	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Vocal Tercero	Ing. Jorge Benjamín Gutiérrez Quintana
Vocal Cuarto	Br. Oscar Stuardo Chinchilla Guzmán
Vocal Quinto	Br. Mauricio Grajeda Mariscal
Secretaria	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Jorge Mario Morales González
Examinador	Ing. Buenaventura Coronado Castillo
Examinador	Ing. Marco Vinicio López Quijada
Examinador	Ing. Juan Luis Guzmán Román
Secretario	Ing. Edgar José Aurelio Bravatti Castro

**Dr. RODOLFO SEMRAU LAGO**

INGENIERO CIVIL

Ph.D. EN MECANICA DE SUELOS

GEOTECNIA-CIMENTACIONES-PAVIMENTOS-LABORATORIO

14 CALLE 0-67 ZONA 1, GUATEMALA, GUATEMALA

TELEFONOS: 238-3022 (telefax) y 220-7881

NUESTRA REFERENCIA  
LS-109-99

FECHA  
Guatemala, 26 de  
julio de 1999

Ingeniero  
Francisco Javier Quiñónez  
Coordinador del Area de Materiales  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Guatemala

Estimado Ingeniero Quiñónez:

Por este medio me es grato hacer de su conocimiento que revisé la tesis del estudiante universitario Juan Francisco Calderón, "ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS Y ENSAYO TRIAXIAL CON TRES MUESTRAS DE ESBELTEZ 1 PARA SUELOS DE DIFERENTES ZONAS DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA: COMPARACION DE RESULTADOS CON EL ENSAYO TRIAXIAL NORMAL".

Es mi opinión que la mencionada tesis cumple con los requisitos para su aprobación final.

Agradeciendo su atención a la presente, que desde ya comprometo mi agradecimiento, me es grato presentarle las muestras de mi más alta consideración y estima,

  
Rodolfo Semrau Lago  
Ingeniero Civil  
Asesor

RSL/netv

cc archivo  
correlativo



Guatemala, 2 de Agosto de 1,999.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson,  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería

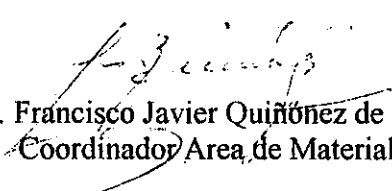
Señor Director.

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de tesis ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS Y ENSAYO CON TRES MUESTRAS DE ESBELTEZ UNO PARA SUELOS DE DIFERENTES ZONAS DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA: COMPARACION DE RESULTADOS EN EL ENSAYO TRIAXIAL NORMAL, realizada por el estudiante universitario **Juan Francisco Calderón Montiel**, quien contó con la asesoría del Dr. Rodolfo Semrau Lago.

Considero que el trabajo cumple con los objetivos para los cuales fue planteado y contiene valiosa información de carácter experimental, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS.

  
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz  
Coordinador Area de Materiales

c.c.: Archivo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Rodolfo Semrau Lago y del Coordinador del Area de Materiales Ing. Francisco Javier Quiñón de la Cruz, del trabajo de tesis del estudiante Juan Francisco Calderón Montiel, titulado ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS Y ENSAYO CON TRES MUESTRAS DE ESBELTEZ UNO PARA SUELOS DE DIFERENTES ZONAS DE LA REPUBLICA DE GUATEMALA: COMPARACION DE RESULTADOS CON EL ENSAYO TRIAXIAL NORMAL, da por este medio su aprobación a dicha tesis.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, agosto de 1,999


/bbdeb.



FACULTAD DE INGENIERIA

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Sydney Alexander Samuels Milson, al trabajo de tesis ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS Y ENSAYO CON TRES MUESTRAS DE ESBELTEZ UNO PARA SUELOS DE DIFERENTES ZONAS DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA: COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON EL ENSAYO TRIAXIAL NORMAL, del estudiante Juan Francisco Calderón Montiel, procede a la autorización para la impresión de la misma.

**IMPRIMASE:**

  
Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, agosto de 1,999

## **DEDICATORIA A:**

**La Virgen María**

**Mis Padres**

**Francisco Alejandro Calderón de León y  
María Manuela Montiel de Calderón**

**Mi tía**

**María Cristina Merlos Aparicio**

**Mi esposa**

**Ana Lucrecia López Pérez**

**Mis hijos**

**Juan Francisco y Ana Rosa**

**Mis hermanos**

**Pedro Pablo y Claudia María**

**La familia**

**López Pérez**

**La Facultad de Ingeniería**



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios

Al Doctor Rodolfo Semrau Lago por el apoyo que me ha brindado, tanto para la elaboración de esta tesis, como en mi formación profesional.

Al personal del Laboratorio del Dr. Rodolfo Semrau por el apoyo incondicional en la elaboración de esta investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	<u>Página</u>
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
1. ENSAYO TRIAXIAL NORMAL	4
1.1 Ensayo Rápido	5
1.2 Ensayo Consolidado, no Drenado	6
1.3 Ensayo Drenado	6
2. ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS	7
3. ENSAYO TRIAXIAL CON MUESTRAS CORTAS	9
4. SUELOS ENSAYADOS	12
5. MÉTODO DE ENSAYO	14
6. RESULTADOS Y SU COMPARACIÓN	16
CONCLUSIONES	22
RECOMENDACIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXO	

## ÍNDICE DE TABLAS

	<u>Página</u>
Tabla No. 1. Sitio de los proyectos y resultados de los ensayos de clasificación	12
Tabla No. 2. Valores de cohesión y ángulo de fricción interna de los ensayos multietapas, del ensayo con tres probetas de esbeltez 1 y del ensayo triaxial normal	16
Tabla No. 3. Comparación de los coeficientes de correlación simple obtenidos con los coeficientes de correlación simple con un riesgo de error de 0.05 con (n-2) grados de libertad para la cohesión	20
Tabla No. 4. Comparación de los coeficientes de correlación simple obtenidos con los coeficientes de correlación con un riesgo de error de 0.05 con (n-2) grados de libertad para el ángulo de fricción	20

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura No. 1. Esquema de Celda de Aparato Triaxial	5
Figura No. 2. Esquema del método utilizado para romper la fricción entre la muestra de suelo y las platinas para el ensayo triaxial corto	10
Figura No. 3. Gráficas de comparación de los resultados de la cohesión	17
Figura No. 4. Gráficas de comparación de los resultados del ángulo de fricción interna	18

### FOTOGRAFÍAS

	<u>Página</u>
Fotografía No. 1. Comparación de las deformaciones unitarias para muestras de esbeltez 1 y 2	11

## INTRODUCCIÓN

Todas las estructuras que diseña un ingeniero civil se apoyan sobre suelo o roca y algunas de ellas, como las presas de tierra o escollera, además de apoyarse sobre el suelo o roca, están hechas de estos materiales. Para usar el suelo como material de construcción o como soporte de estructuras es indispensable conocer su resistencia al corte. Esta propiedad básica del suelo es necesario conocerla al analizar la capacidad de carga de cimientos; al dimensionar muros para resistir empujes de tierra; al estudiar la estabilidad de taludes; al diseñar presas de tierra o de escollera, y; al diseñar revestimientos de túneles.

El ensayo de compresión triaxial es sin lugar a duda el ensayo de rutina más usado para medir los parámetros de resistencia al corte de los suelos. Tiene varias ventajas respecto a otros ensayos, entre ellas, que permite simular en el laboratorio las condiciones de esfuerzo de un problema específico. La segunda ventaja es que permite controlar el drenaje del agua intersticial de la muestra ensayada, para simular las diferentes condiciones de campo, esto es extremadamente útil pues la respuesta mecánica de los suelos cambia con las condiciones de drenaje. La tercera ventaja es que la superficie de falla de la muestra no está predeterminada, como ocurre en el ensayo de corte directo, por ejemplo, sino que la misma ocurre a lo largo del plano de menor resistencia.

El ensayo triaxial se comenzó a usar a principios de siglo, habiéndose empleado primero en rocas y otros materiales. Adams y Coker (1910) en Estados Unidos hicieron ensayos triaxiales en muestras de mármol y von Karman (1911) en Alemania, con un equipo similar, ensayó otros materiales, demostrando la influencia del esfuerzo de confinamiento en la resistencia.

El primer equipo de compresión triaxial para ensayar suelos lo construyó Rendulic en la universidad de Viena en la década de los treinta, a sugerencia de Karl Terzaghi. Los resultados de sus investigaciones fueron publicados en el Primer Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones en 1936.

Posteriormente el equipo y las técnicas de ensayo fueron avanzando más con las investigaciones de, entre otros, Taylor (1941) en el Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT) y más recientemente Bishop y Henkel (1964) en el Imperial College de Inglaterra.

Aunque existen diferentes modelos y marcas de equipo para este ensayo, todos están basados en los mismos principios básicos avanzados por Rendulic en 1936, Taylor en 1941 y Bishop y Henkel en 1964.

Esta tesis tiene entre sus objetivos comparar los resultados, en términos de los parámetros de resistencia al corte: cohesión y ángulo de fricción interna, obtenidos del ensayo triaxial normal no drenado, con tres probetas de esbeltez 2, con los resultados de ensayos no drenados hechos con una sola probeta (ensayos multietapas), con esbelteces de 2 y 1 (relación altura-diámetro). Aunque no estaba entre los objetivos propuestos al inicio de la investigación, se vio que con un poco de trabajo adicional se podían comparar también los resultados del ensayo triaxial normal con los resultados de ensayos no drenados hechos con tres probetas, todas con esbeltez 1. En la ejecución de estos ensayos no consolidados y no drenados se siguió lo indicado en la norma ASTM D-2850-87 "Standard Test Method for Unconsolidated Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression".

## ANTECEDENTES

A la fecha se han hecho algunos estudios de las características mecánicas de los suelos de Guatemala en ensayo triaxial no drenado (ensayo rápido). Hay dos tesis de graduación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala que tratan sobre el tema. Semrau (1968) realizó un estudio sobre las características mecánicas de dos arenas pómez, empleando la técnica de ensayo multietapas y probetas con esbeltez de 2. Esta contribución, aunque con un limitado número de ensayos, demostró la posibilidad de usar esta técnica para ensayar los suelos pumíticos de Guatemala. Machón (1972), usando el mismo procedimiento realizó un estudio más completo que incluyó 62 ensayos de arenas pómez, todas provenientes del Valle de Guatemala. Los ensayos de las tesis mencionadas fueron hechos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, y en ambas investigaciones se usaron muestras de 2.5 pulgadas de diámetro, con esbeltez de dos (relación altura-diámetro). Sin embargo, ninguna de las dos contribuciones anteriores correlacionaron los resultados obtenidos del ensayo multietapas con los del ensayo triaxial normal. En ambos estudios se dio por sentado que los resultados del ensayo multietapas son iguales a los del triaxial normal.

Salvo estas dos contribuciones, relativamente poco se ha hecho a la fecha de forma coordinada para estudiar los suelos de las diferentes zonas de Guatemala y para investigar la aplicabilidad de nuevas formas de ejecución del ensayo triaxial. Con los antecedentes anteriores, se decidió complementar los estudios anteriores investigando la correlación entre los resultados de los ensayos multietapas con esbelteces de 2 y 1, y el ensayo con tres probetas de esbeltez 1, con los resultados del ensayo triaxial normal.

## 1. ENSAYO TRIAXIAL NORMAL

La parte principal de este ensayo es la celda donde la muestra de suelo se confina y se lleva a la ruptura. La celda es hermética y se le aplica presión interna por medio de un fluido, normalmente agua; a esta presión se le conoce como presión de confinamiento y por tratarse de una presión hidrostática los esfuerzos aplicados a la muestra son esfuerzos principales. La muestra es de forma cilíndrica, con una esbeltez entre 2 y 2.5 (relación altura-diámetro), ésta se enfunda en una delgada membrana de látex para aislarla del agua en el interior de la celda.

El ensayo tiene en su ejecución dos etapas claramente diferenciadas. La primera es la fase de confinamiento, en esta fase se confina la muestra, aplicándole presión de agua en el interior de la celda. En la fase siguiente, la fase de ruptura, se hace fallar la muestra aplicándole carga axial, incrementada gradualmente, por medio de un pistón en la parte superior de la celda. En la figura No.1 se muestra un esquema de la celda del aparato triaxial.

En el ensayo triaxial normal se ensayan tres probetas, cada una a diferente presión de confinamiento, y se obtienen tres círculos de Mohr, que describen los esfuerzos principales que actúan en cada una de ellas al momento de la falla. La envolvente de estos círculos define los parámetros de resistencia al corte del suelo estudiado.

Comunmente se usan en el ensayo triaxial normal probetas con una esbeltez de 2, porque Taylor (1941) encontró que si se ensayan muestras con esa esbeltez, el efecto de la fricción entre las platinas y los extremos de la muestra tiene un efecto imperceptible en la resistencia.



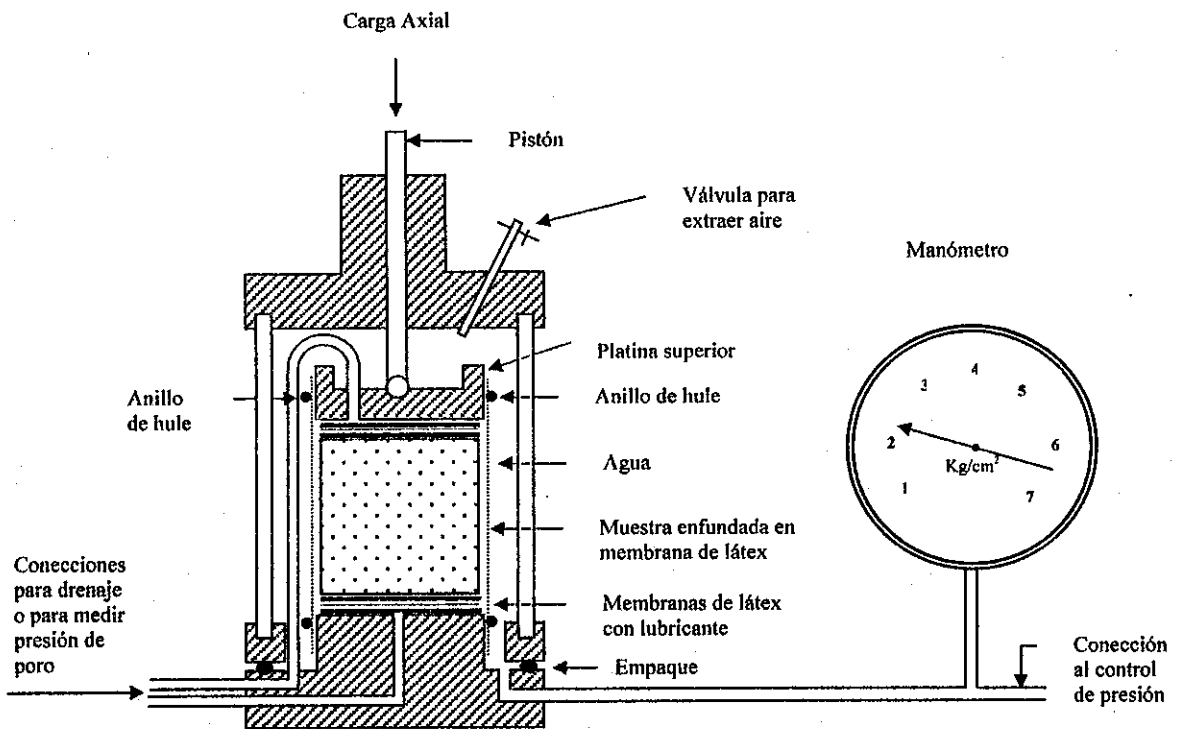


Figura No. 1 Esquema de Celda de Aparato Triaxial

El ensayo triaxial normal tiene tres modalidades o formas de hacerlo, a saber:

### 1.1 Ensayo rápido

La muestra no se consolida durante la fase de confinamiento y durante la fase de ruptura del ensayo tampoco se permite que drene el agua intersticial de la muestra. En Guatemala para la ejecución de este ensayo se sigue lo especificado en la norma ASTM D-2850-87 "Standard Test Method for Unconsolidated Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression". Esta norma recomienda usar muestras con una esbeltez entre 2 y 2.5.

## **1.2 Ensayo Consolidado, no Drenado**

Se deja consolidar la muestra a la presión de confinamiento y durante la fase de ruptura del ensayo no se permite que drene el agua intersticial de la muestra. La norma que se usa para la ejecución de este ensayo es la ASTM D-4767-88 "Standard Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils". Al igual que para los ensayos no consolidados y no drenados esta norma recomienda usar muestras con una esbeltez entre 2 y 2.5.

## **1.3 Ensayo Drenado**

Este ensayo se puede hacer consolidando la muestra inicialmente o dejándola sin consolidar, pero durante la fase de ruptura se aplica la carga axial de forma lenta a efecto de permitir que drene el agua intersticial. No existe una norma ASTM para la ejecución de este ensayo, generalmente se sigue el procedimiento recomendado por Bishop y Henkel (1967)

El ensayo, en cualquiera de sus modalidades anteriores, se hace ensayando no menos de tres muestras, cada una a una presión de confinamiento diferente. De cada una de ellas se obtiene un círculo de Mohr y de la recta tangente común a los tres círculos, se obtienen los parámetros de resistencia. Para una excelente descripción del equipo y de las diferentes formas de hacer el ensayo ver Bishop y Henkel (1964).

## 2. ENSAYO TRIAXIAL MULTITAPAS

Desde los años 60 se comenzó a investigar la posibilidad de hacer el ensayo triaxial con una sola muestra ensayada a la ruptura a tres presiones laterales diferentes. Para la ejecución de este ensayo, se introduce la muestra en la celda, se le aplica la primera presión de confinamiento y se la hace fallar incrementando su carga axial. Inmediatamente se incrementa la presión lateral y se hace fallar nuevamente la muestra. Se vuelve a incrementar la presión lateral por segunda vez y se hace fallar la muestra una tercera vez. De esta forma, con una sola muestra se obtienen los tres círculos de Mohr necesarios para definir la envolvente de falla. Entre los autores que trabajaron este método están Kenney y Watson (1961), Lumb (1964) y Parry (1964).

El ensayo multietapas se inventó porque hacer el ensayo con tres muestras tiene algunos inconvenientes. El primero es que en suelos aluviales, aunque muestren uniformidad en sentido horizontal, sus propiedades pueden variar mucho en sentido vertical. Lo mismo se puede decir de los suelos fluviales o lacustres, que muestran una estratificación muy fina o laminada. El segundo inconveniente es que en algunos casos al tomar muestras de suelo se tiene poca recuperación en los muestreadores y el largo de la muestra no es suficiente para tener las tres muestras del triaxial.

Con el ensayo multietapas se tiene un ahorro de suelo para la elaboración de los ensayos, así como de tiempo en la preparación de las muestras. El ensayo multietapas se usa en ensayos de rutina, pero poco se ha publicado acerca de la correlación entre estos ensayos y el ensayo triaxial normal. El trabajo de Kenney y Watson (1961) muestra que hay una buena correlación entre los parámetros de esfuerzo efectivo de ambos tipos de ensayo, Lumb (1964) muestra que hay una buena correlación entre los parámetros efectivos de resistencia al corte de ensayos drenados y Parry (1964)

hace lo mismo con los resultados de ensayos no drenados.  
suelos de Guatemala no se ha estudiado a la fecha.

Esta correlación para

### 3. ENSAYO TRIAXIAL CON MUESTRAS CORTAS

Uno de los problemas que tiene el ensayo triaxial es que por la fricción entre las platinas que aplican la carga y los extremos de la muestra, las deformaciones a lo largo de ésta no son uniformes; la muestra se deforma radialmente más al centro y casi nada en sus extremos, tomando cuando deformada, una forma de barril. Esta deformación de la muestra no es tan notoria a pequeñas deformaciones axiales, pero si se hace evidente cuando las deformaciones axiales son grandes. Si las deformaciones a lo largo de la muestra no son uniformes tampoco lo son los esfuerzos.

Desde los inicios del ensayo triaxial se han propuesto varios métodos para reducir esta fricción en los extremos de la muestra, entre ellos, usar platinas segmentadas, como recomendaron Kjellman (1936), Taylor (1941) y Tschebotarioff et al. (1956); usar platinas cónicas y de sección parabólica, como las que usaron Cooling et al. (1940) y Larew (1960); colocar piezas de hule entre las platinas y la muestra de suelo Rowe (1964), y; usar delgadas membranas de caucho, lubricadas con silicón entre la platina y la muestra, Rowe (1964), Hettler y Vardoulakis (1984) y Wu et. al. (1989) y Kolymbas et al. (1990).

Si se reduce la fricción entre las platinas y la muestra no solo se logran tener deformaciones y esfuerzos uniformes sino también se pueden usar probetas con esbeltez menor a 2 o 2.5 que normalmente se usan en el ensayo triaxial.

De todos los métodos propuestos para romper la fricción en los extremos de la muestra, el más práctico y que permite una más fácil ejecución de los ensayos es el de las membranas lubricadas. En la figura No. 2 se muestra el método utilizado en esta investigación para romper la fricción entre las platinas y la muestra de suelo. Entre los precursores de esta técnica de ensayo están Rowe y Barden (1964), quienes con su investigación sobre los efectos de la fricción en los extremos de la muestra sentaron las

bases para un mejor entendimiento del problema, y los investigadores de la Universidad Técnica de Karlsruhe, entre ellos Hettler y Vardoulakis (1984), Kolymbas y Wu (1990) quienes hicieron extensos estudios sobre ensayos triaxiales con muestras de baja esbeltez en arenas y perfeccionaron la técnica para reducir la fricción en los extremos de la muestra. Tanto Rowe y Barden (1964) como los investigadores alemanes mencionados, usaron probetas con una esbeltez igual a 1.

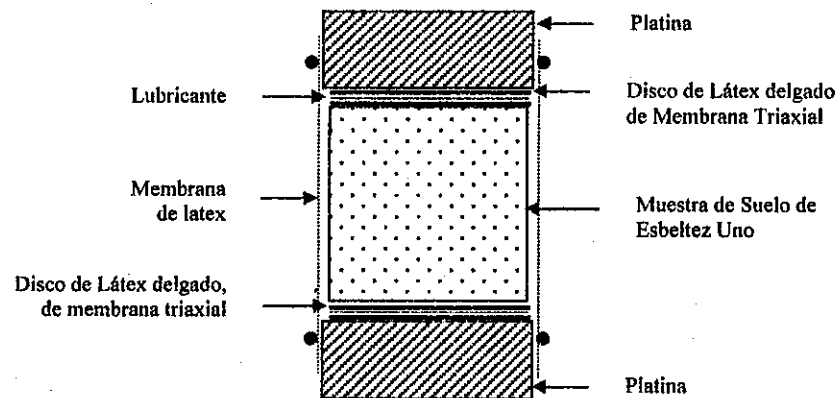


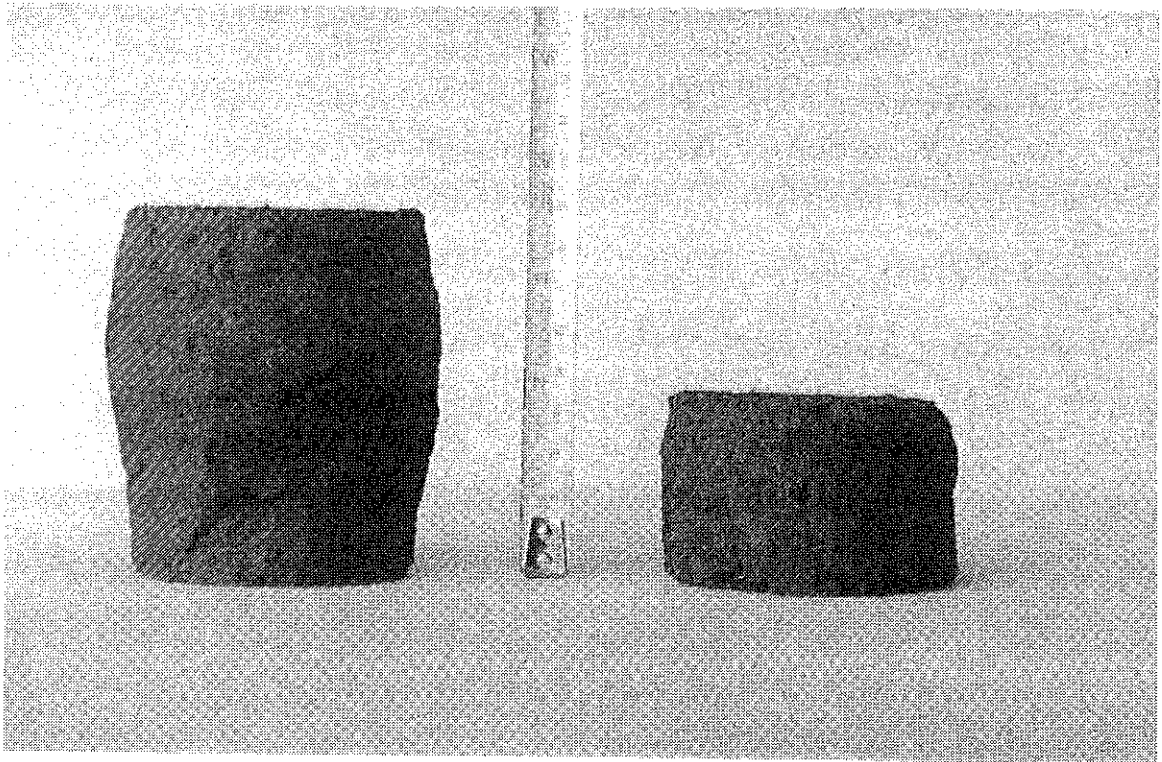
Figura No. 2

Esquema del método utilizado para romper la fricción entre la muestra de suelo y las platinas para el ensayo triaxial corto

En la Universidad Técnica de Karlsruhe se ha ido aun más lejos, llegándose a extender esta técnica con muestras de esbeltez 1 a ensayos de rocas a compresión triaxial, Gudehus (1983).

Para probar lo efectivo del método empleado para uniformizar las deformaciones radiales a lo largo de la muestra, en la fotografía No. 1 se muestra a la izquierda una

probeta de esbeltez dos, con una deformación axial unitaria del 30 %, a la derecha una probeta de esbeltez 1, también con una deformación unitaria del 30%. En la muestra de la izquierda es notoria la forma de barril que ha tomado y la no-uniformidad de las deformaciones a lo largo de la muestra, mientras que en la muestra de la derecha las deformaciones radiales son más uniformes.



Fotografía No. 1

A la izquierda muestra de esbeltez 2, con una deformación unitaria de 30%, a la derecha muestra de esbeltez 1, también deformada al 30%. No obstante la gran deformación axial, la muestra de la derecha tiene deformaciones radiales uniformes en toda su altura, manteniendo su forma cilíndrica original

#### 4. SUELOS ENSAYADOS

Las muestras para los ensayos provienen de estudios de suelos ejecutados en la ciudad de Guatemala, Quetzaltenango, Mazatenango, Puerto de San José, Cobán, Tiquisate, Ciudad Vieja, San Pedro Ayampuc, Chimaltenango, San José Pinula, Antigua Guatemala y Morales, Izabal. Las muestras se tallaron de bloques inalterados extraídos de pozos o excavaciones a cielo abierto de estudios de suelos de diferentes proyectos y se ensayaron a su humedad natural.

En la tabla No. 1 se muestran los sitios de los suelos ensayados con sus respectivas clasificaciones, límites de Atterberg y porcentajes que pasa el Tamiz No. 200. Como puede observarse cubre una amplia gama de suelos.

Tabla No. 1  
Sitio de los proyectos y resultados de los  
ensayos de clasificación

MUESTRA No.	SITIO DEL PROYECTO	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	% PASA TAMIZ No.200 (%)	CLASIFICACIÓN UNIFICADA
1	San Pedro Ayampuc, Guatemala	53	25	34	SM
2	San Pedro Ayampuc, Guatemala	53	25	34	SM
3	El Tejar, Chimaltenango	48	13	76	ML
4	El Tejar, Chimaltenango	48	13	76	ML
5	El Tejar, Chimaltenango	48	13	76	ML
6	La Mirada, Ciudad de Guatemala	38	10	48	SC
7	San José Pinula, Guatemala	67	33	86	MH
8	Zona 9, Ciudad de Guatemala	NP	NP	42	SM
9	Zona 9, Ciudad de Guatemala	NP	NP	52	ML
10	Zona 6, Ciudad de Guatemala	50	12	83	ML
11	Zona 6, Ciudad de Guatemala	50	12	83	ML
12	Zona 10, Ciudad de Guatemala	35	12	46	SC
13	Morales, Izabal	33	7	74	ML
14	Quetzaltenango, Quetzaltenango	47	7	76	ML
15	San José Villa Nueva, Guatemala	42	14	76	ML
16	Antigua Guatemala, Sacatepéquez	76	43	95	CH



MUESTRA No.	SITIO DEL PROYECTO	LÍMITE LÍQUIDO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	% PASA TAMIZ No.200 (%)	CLASIFICACIÓN UNIFICADA
17	Mazatenango, Suchitepéquez	67	19	82	MH
18	Barrio Chivencorral, Cobán, A.V.	186	47	95	MH
19	San José El Ídolo, Suchitepéquez	30	7	93	ML
20	San José El Ídolo, Suchitepéquez	62	14	96	MH
21	Puerto de San José, Escuintla	47	10	98	OL
22	Ciudad Vieja, Sacatepéquez	59	10	94	MH
23	Ciudad Vieja, Sacatepéquez	NP	NP	7	SP-SM
24	Ciudad Vieja, Sacatepéquez	NP	NP	27	SM
25	Ciudad Vieja, Sacatepéquez	39	5	35	SM

Los límites líquidos varían entre 0 y 186, los índices de plasticidad entre 0 y 47 y los porcentajes que pasan el tamiz No. 200 entre 7 y 98. La consistencia de los suelos varía entre suave y firme, las profundidades de muestreo entre 1.0 y 18 metros y entre los suelos ensayados se encuentran suelos residuales y depositados.

## 5. MÉTODO DE ENSAYO

Para simplificar la ejecución de los ensayos, se buscó un procedimiento que permitiera hacer los mismos casi simultáneamente.

De los bloques inalterados muestreados para cada suelo se tallaron tres muestras con esbeltez de 2, y tres muestras con esbeltez de 1.

Antes de ensayarlas se pesó cada muestra y se le midió su diámetro y altura. Con estos datos se calculó su densidad húmeda. Al finalizar el ensayo se le midió a cada una su contenido de humedad natural para calcular la densidad seca.

Para romper la fricción en los extremos de la muestra se colocó entre la platina y cada extremo de la misma dos discos de membrana de látex, de un diámetro igual al de la muestra, 2.5 pulgadas, lubricados entre sí con el gel soluble al agua KY de Johnson and Johnson. Se usó este gel por su bajo costo y porque es fácil de conseguir localmente en casi cualquier farmacia.

Se ensayó a la ruptura la primera probeta de cada juego confinándola a la presión de confinamiento menor, usualmente  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ , a continuación se incrementó la presión de confinamiento a la misma muestra a  $1 \text{ kg/cm}^2$  y se hizo fallar la muestra una segunda vez. Se incrementó la presión de confinamiento hasta llegar a  $2 \text{ kg/cm}^2$  y se hizo fallar la muestra por tercera vez.

Para definir la falla en los ensayos multietapas se usó el criterio de cargar cada etapa hasta que el esfuerzo desviador comienza a decaer o hasta obtener un esfuerzo desviador constante.

Para completar los datos de los ensayos convencionales de 3 probetas, seguidamente se ensayaron las otras muestras. La primera a una presión de confinamiento de  $1 \text{ kg/cm}^2$  y la segunda a una presión de  $2 \text{ kg/cm}^2$ . De esta forma para cada tipo de suelo se obtuvieron los resultados de un ensayo completo ejecutado con una sola muestra y, combinando los resultados de la primera etapa del ensayo multietapas y los datos de las otras dos muestras ensayadas a una sola presión de confinamiento, se completaron los datos para tener un ensayo con tres muestras.

Para romper las muestras se usó una prensa con velocidad de deformación constante, con una velocidad de deformación de  $1.42 \text{ mm/minuto}$  ( $0.056 \text{ pulgadas/minuto}$ ).

En las hojas I a la XXV del Anexo se muestran los círculos de Mohr de cada uno de los cuatro procedimientos ensayados, a saber: ensayo triaxial normal con tres probetas de esbeltez 2; ensayo multietapas con una probeta de esbeltez 2; ensayo hecho con tres probetas de esbeltez 1, y; ensayo multietapas con una sola muestra de esbeltez 1.

## 6. RESULTADOS Y SU COMPARACIÓN

Un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos efectuados en términos de cohesión y ángulo de fricción interna se muestra a continuación en la tabla No. 2.

Tabla No. 2

Valores de cohesión y ángulo de fricción interna de los ensayos multietapas, del ensayo con tres probetas de esbeltez 1 y del ensayo triaxial normal

Muestra No.	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )				Ángulo de Fricción Interna (grados)			
	Muestras de Esbeltez Dos		Muestras de Esbeltez Uno		Muestras de Esbeltez Dos		Muestras de Esbeltez Uno	
	Tres Probetas	Una Probeta	Tres Probetas	Una Probeta	Tres Probetas	Una Probeta	Tres Probetas	Una Probeta
1	0.32	0.30	0.30	0.30	10	12	11	11
2	0.70	0.72	0.75	0.72	7	6	6	6
3	0.95	1.10	1.00	1.15	27	22	26	20
4	0.25	0.25	0.25	0.25	24	22	24	24
5	0.60	0.55	0.60	0.60	20	22	21	20
6	0.12	0.10	0.15	0.10	15	15	14	17
7	0.30	0.28	0.42	0.38	12	14	12	15
8	0.40	0.45	0.40	0.45	37	36	36	35
9	0.30	0.30	0.25	0.25	34	36	32	33
10	0.40	0.38	0.38	0.36	16	16	17	17
11	0.50	0.50	0.70	0.70	23	24	20	22
12	0.25	0.30	0.22	0.25	16	14	14	12
13	0.35	0.30	0.32	0.30	21	23	22	22
14	0.18	0.19	0.18	0.18	12	11	14	14
15	0.40	0.40	0.38	0.45	24	24	26	23
16	0.33	0.25	0.32	0.28	9	14	8	10
17	0.15	0.16	0.20	0.18	16	15	14	14
18	0.90	0.80	0.95	0.95	22	24	19	19
19	0.45	0.45	0.55	0.50	34	33	27	28
20	0.13	0.13	0.10	0.10	4	4	5	5
21	0.08	0.08	0.10	0.09	2	2	2	2
22	0.78	0.75	0.63	0.65	9	11	9	9
23	0.40	0.42	0.35	0.42	40	38	39	36
24	0.85	0.95	0.75	0.80	40	38	35	35
25	0.78	0.85	0.65	0.65	38	36	36	36

En las figuras Nos. 3 y 4 se muestran gráficamente la comparación de los valores de la cohesión y ángulo de fricción interna, respectivamente, obtenidos en cada tipo de ensayo triaxial probado con los obtenidos en el ensayo triaxial normal.

Figura No. 3

Gráficas de comparación de los resultados de la cohesión

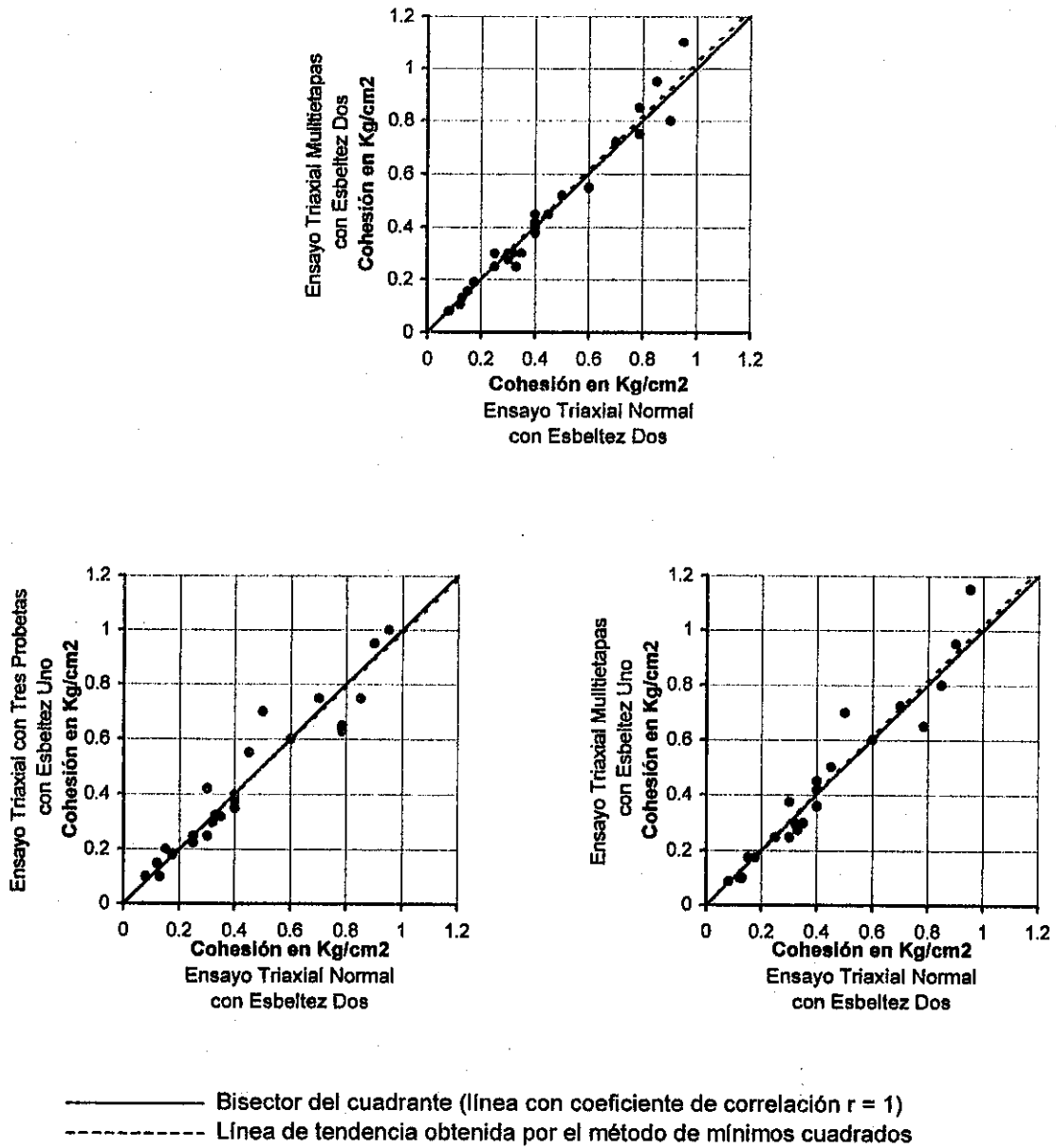
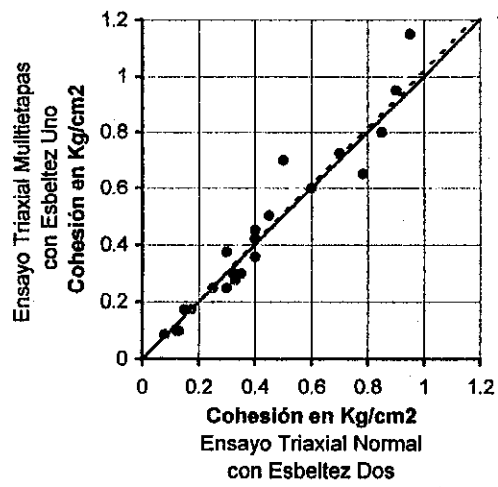
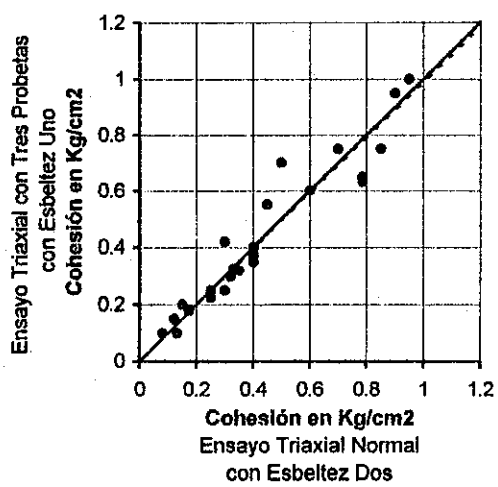
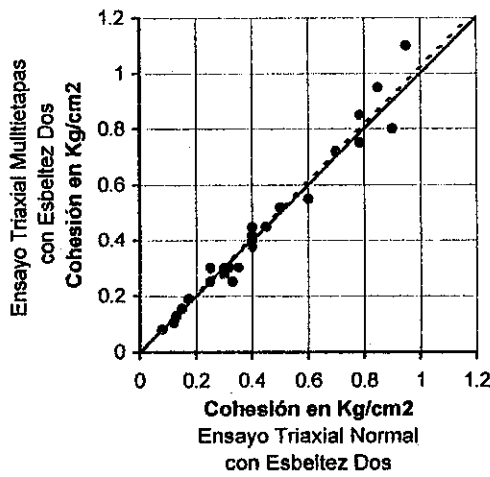


Figura No. 4

Gráficas de comparación de los resultados del ángulo de fricción interna



————— Bisector del cuadrante (línea con coeficiente de correlación  $r = 1$ )  
----- Línea de tendencia obtenida por el método de mínimos cuadrados

Gráficamente se ve que la correlación entre los resultados de cohesión y ángulo de fricción interna entre el ensayo normal y el multietapas de esbeltez 2 y el de esbeltez 1 es buena porque los puntos de las gráficas anteriores caen muy cerca o coinciden con la bisectriz del cuadrante (línea con pendiente uno que pasa por el origen). Sin embargo, para obtener una medida de la bondad de la correlación es conveniente hacer un análisis de la dispersión de los datos.

Se hizo un análisis de correlación lineal simple de los datos obtenidos por el método de los mínimos cuadrados, las rectas de tendencia se muestran en las gráficas de las figuras Nos 3 y 4 con una línea discontinua. Estas rectas de correlación para todos los casos quedan muy cerca de la bisectriz del cuadrante, límite teórico si hubiera una correlación perfecta entre los resultados de los ensayos comparados.

La bondad de la correlación calculada por mínimos cuadrados se puede hacer también por medio del coeficiente de correlación, calculado según la siguiente ecuación:

$$r^2 = \frac{[(x-x')(y-y')]^2}{[(x-x')^2(y-y')^2]}$$

Donde:

r = coeficiente de correlación simple

x = variable independiente (datos del triaxial normal)

y = variable dependiente (datos de los otros ensayos triaxiales probados)

x' = promedio de los valores de x

y' = promedio de los valores de y

Estos coeficientes de correlación se compararon contra los coeficientes de correlación simple con un riesgo de error de 0.05, con (n-2) grados de libertad.

Para los casos anteriores se obtuvieron valores de acuerdo a la siguiente tabla para la comparación de los valores de la cohesión:

Tabla No. 3

Comparación de coeficientes de correlación simple obtenidos con los coeficientes de correlación simple con un riesgo de error de 0.05 con (n-2) grados de libertad para la cohesión

COMPARACIÓN	r	r <sub>0.05, (n-2)</sub>
Triaxial Normal vs Triaxial Multietapas de esbeltez dos	0.9822	± 0.3976*
Triaxial Normal vs Triaxial de Tres Probetas de esbeltez uno	0.9558	± 0.3976*
Triaxial Normal vs Triaxial Multietapas de esbeltez uno	0.9597	± 0.3976*

\*Tomados de Yamane (1979)

Donde:

r = coeficiente de correlación  
 $r_{0.05, (n-2)}$  = coeficiente de correlación simple con un riesgo de error de 0.05 con (n-2) grados de libertad.

Igualmente para los valores del ángulo de fricción interna obtenidos de los diferentes ensayos se tiene que:

Tabla No. 4

Comparación de coeficientes de correlación simple obtenidos con los coeficientes de correlación simple con un riesgo de error de 0.05 con (n-2) grados de libertad para el ángulo de fricción interna

COMPARACIÓN	r	r <sub>0.05, (n-2)</sub>
Triaxial Normal vs Triaxial Multietapas de esbeltez dos	0.9770	± 0.3976*
Triaxial Normal vs Triaxial de Tres Probetas de esbeltez uno	0.9830	± 0.3976*
Triaxial Normal vs Triaxial Multietapas de esbeltez uno	0.9721	± 0.3976*

\*Tomados de Yamane (1979)



Donde:

$r$  = coeficiente de correlación simple.

$r_{0.05, (n-2)}$  = coeficiente de correlación simple para un riesgo de error de 0.05 con  $(n-2)$  grados de libertad.

Es conveniente relacionar los coeficientes de correlación simple  $r$  calculados con los coeficientes para un riesgo de error de 0.05. En las comparaciones de las tablas Nos. 3 y 4 se demuestra que los coeficientes de correlación  $r$  obtenidos son muy superiores a los coeficientes correspondientes a un riesgo de error de 0.05, por lo que se puede concluir que la confiabilidad de la correlación simple para estos análisis es mayor al 95%.

Se puede observar en las gráficas de las figuras Nos. 3 y 4 que las líneas de correlación calculada por el método de mínimos cuadrados para las comparaciones de cohesión y ángulo de fricción interna efectuados entre el ensayo triaxial normal y los otros ensayos triaxiales analizados, casi coinciden con la bisectriz del cuadrante. Esto demuestra que cualquiera de los ensayos triaxiales multietapas con esbelteces de 1 y 2, y el ensayo triaxial con tres muestras de esbeltez 1, dan resultados que difieren en un 5% o menos de los obtenidos del ensayo triaxial normal. Estos resultados son alentadores y demuestran que si se puede usar el ensayo multietapas, en cualquiera de sus dos versiones, con muestras de esbeltez 1 con membranas para romper la fricción entre las platinas y los extremos de la muestra, con muestras de esbeltez 2 sin membranas en sus extremos como en el ensayo triaxial normal, y el ensayo triaxial con tres muestras de esbeltez 1, con membranas para romper fricción en los extremos de la muestra y las platinas, para medir los parámetros de resistencia al corte rápido (no consolidado y no drenado) de los suelos de Guatemala.

## CONCLUSIONES

- 1) En la investigación de resistencia a compresión triaxial rápida (no consolidada y no drenada) de 25 suelos de diferentes lugares de Guatemala, con muestras de esbeltez 1, se aplicó un procedimiento sencillo y práctico para romper la fricción platina-suelo, y con ensayo multietapas de esbeltez 2. La técnica empleada para romper la fricción en los extremos de las muestras de baja esbeltez se ha aplicado desde hace muchos años en Europa, tanto para ensayar suelos como para ensayar roca en triaxiales de gran diámetro, pero no había sido aplicada en Guatemala antes de esta investigación.
- 2) Un análisis gráfico de la línea de correlación obtenida experimentalmente, con la línea de correlación teórica (bisectriz del cuadrante), para los resultados de los ensayos de compresión triaxial normal con los resultados obtenidos con ensayo multietapas de esbeltez 2, con los resultados de ensayo triaxial con tres probetas de esbeltez 1 y con los resultados del ensayo multietapas, hecho con una sola muestra de esbeltez 1, muestra que las pendientes de las líneas coinciden.
- 3) Un análisis estadístico muestra que la correlación de los resultados de los tres tipos de ensayos comparados con los resultados del ensayo triaxial normal es muy buena y que los resultados tienen una confiabilidad del 95%.
- 4) Los resultados obtenidos son alentadores y demuestran que si se puede usar el ensayo multietapas, en cualquiera de sus dos versiones con esbeltez de 1 y 2, y también el ensayo triaxial con tres muestras de esbeltez 1 para medir los parámetros de resistencia al corte rápido (no consolidado y no drenado) de los suelos de Guatemala.

- 5) La variación entre los resultados obtenidos con los ensayos triaxiales comparados, es menor que la variación en propiedades que normalmente presentan los suelos de un mismo estrato o formación geológica de un punto a otro. Es común en mecánica de suelos observar variaciones en propiedades del orden del 100%, aun en muestras tomadas de un mismo estrato.
- 6) Usar una sola muestra (ensayo multietapas) para obtener la envolvente de Mohr simplifica la ejecución de los ensayos triaxiales de rutina y permite tener un ahorro sustancial del tiempo de ejecución de los mismos.
- 7) El uso de muestras de baja esbeltez tiene la ventaja adicional que permite trabajar con mayor facilidad muestras de suelos con baja cohesión, que suelen romperse durante su preparación y posterior manipuleo al colocarlas en la celda triaxial. El tiempo empleado en la preparación de las muestras, se reduce sustancialmente.
- 8) El ensayo multietapas resulta atractivo en aquellos casos en los que por la naturaleza de los suelos su recuperación al muestrearlos mecánicamente es baja.
- 9) El uso de dos membranas de látex con lubricante KY de Johnson and Johnson para romper la fricción entre las platinas y la muestra de suelo es satisfactorio para el ensayo triaxial rápido no drenado, no consolidado. Este lubricante es soluble en agua y es fácil lavar el equipo después de hacer el ensayo.

## RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda continuar con la investigación aquí presentada, extendiéndola a ensayar otros tipos de suelos de Guatemala, para confirmar los resultados aquí presentados. Los resultados de esta investigación, aunque alentadores, sólo pueden considerarse preliminares.
- 2) Se recomienda el uso de muestras de esbeltez 1, con membranas lubricadas para romper la fricción en los extremos de las muestras, en sus modalidades con tres muestras o multietapas, para la ejecución de ensayos triaxiales rápidos de rutina. Los resultados obtenidos con muestras de baja esbeltez son prácticamente iguales a los que se obtienen con el ensayo triaxial normal.
- 3) Se recomienda también el uso de ensayos multietapas con muestras de esbeltez 2 para la ejecución de ensayos triaxiales de rutina rápidos. Para estos ensayos, por su esbeltez, no es necesario romper la fricción en los extremos de la muestra.
- 4) Para futuras investigaciones con ensayos triaxiales no consolidados y no drenados, se puede usar el lubricante empleado en este trabajo (KY de Johnson and Johnson) que es soluble en agua. Sin embargo, si se hacen ensayos drenados, que suelen ser de larga duración es mejor usar silicón, para que no desaparezca el efecto de lubricación por solución del lubricante en el agua intersticial.
- 5) Si se usa el ensayo triaxial con muestras cortas (esbeltez 1), tanto en sus modalidades multietapas como con tres probetas, se recomienda usar platinas por lo menos 1 cm más grandes que el diámetro de la muestra, de forma que queden 5

mm de platina para cada lado. Con esto se logra que la muestra pueda expandirse radialmente sin salirse de la platina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adams, F.D. y Coker, E.G., (1910) "The Flow of Marble", American Journal of Science, Volumen 29, Series 4, pags. 465-485. (Citado por Hills, E.S., (1967) "Elements of Structural Geology", John Wiley and Sons, Inc. New York, 483 pags.)
- Bishop, A.W. y Henkel, D.J.(1964) "The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test", Edward Arnold Publishers Ltd., London, 227 pags.
- Chou, Y.H., (1985) "Análisis Estadístico", Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V., México, 808 pags.
- Cooling, L.F. y Golder, H.Q., (1940) "Portable Apparatus for Compression Test of Clay Soil, Engineering 147. (Citado por Rowe, P.W. y Barden, L. (1964) "Importance of Free Ends in Triaxial Testing", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Volume 90, No. SM1, pags. 1-27)
- Gudehus, G. (1983) Comunicación personal de R. Semrau.
- Hettler, A. y Vardoulakis I., (1984) "Behaviour of dry sand tested in a large triaxial apparatus", Geotechnique 34, No. 2, pags. 183-198.
- Kenney, T.C. y Watson, G.H. (1961) "Multiple-Stage Triaxial Test for Determining  $c'$  and  $\phi'$  of Saturated Soils", Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pags. 191-195.
- Kjellman, W., (1936) "Report on an Apparatus for Consumate Investigation or the Mechanical Properties of Soils", Proceedings, 1<sup>st</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundations, Volume 2, Cambridge, Massachussets. 9 (Citado por Rowe, P.W. y Barden, L.(1964) "Importance of Free Ends in Triaxial Testing", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Volume 90, No. SM1, pags. 1-27)
- Kolymbas, D. y Wu, W., (1990) "Recent Results of Triaxial Tests with Granular Materials", Powder Technology, 60, Elsevier Sequoia, pags. 99-119.
- Larew, H.G., (1960) discusión del artículo "Nonuniform Conditions in Triaxial Test Specimens" de Woodland, G.S. y Ahlvin R.G., ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Session 2, University of Colorado, Boulder, Colorado. (Citado por Rowe, P.W. y Barden, L.(1964) "Importance of Free Ends

- in Triaxial Testing”, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Volume 90, No. SM1, pags. 1-27)
- Lumb, P., (1964) “Multi-stage Triaxial Tests on Undisturbed Soils”, Civil Engineering and Public Works Review, pags. 591-595, Mayo
- Machón, M. (1972) “Estudio del Comportamiento de las Arenas Pómez del Valle de Guatemala, al Ensayo de Compresión Triaxial”, Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, 28 pags.
- Parry, R.G.H. (1964) “Testing Small Undisturbed Samples”, Fourth Australia-New Zeland Conference on Soil Mechanics And Foundation Engineering, pags. 61-68.
- Rowe, P.W. y Barden, L.(1964) “Importance of Free Ends in Triaxial Testing”, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Volume 90, No. SM1, pags. 1-27
- Semrau, R. (1968) “Determinación de los Parámetros de Resistencia al Corte de Dos Arenas Pómez, Mediante el Ensayo Triaxial”, Tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, 40 pags.
- Taylor, D.W. (1941) “Seventh Report on Shear Research to U.S. Engineers” Massachussets Institute of Technology Publication. (Rowe, P.W. y Barden, L.(1964) “Importance of Free Ends in Triaxial Testing”, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Volume 90, No. SM1, pags. 1-27)
- Tschebotarioff, G.P., Ward, E.R., Dibiaggio E., y Watkins J., (1956) “Large-scale Triaxial Cell Tests”, Progress Report to the Office of Naval Research, Princeton University, Princeton New Jersey (Citado por Rowe, P.W. y Barden, L.(1964) “Importance of Free Ends in Triaxial Testing”, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Volume 90, No. SM1, pags. 1-27)
- Von Karman, T., (1911) “Festigkeitversuche unter allseitigen Druck”, Zeitschrift Vereins deutscher Ingenieure, Volumen 55, pags. 1749-57. (Citado por Hills, E.S., (1967) “Elements of Structural Geology”, John Wiley and Sons, Inc. New York, 483 pags.)
- Wu, W. y Kolymbas, D. (1989) “On some Issues in Triaxial Extension Tests”, ASTM Geotechnical Testing Journal, 12, pag. 227.
- Yamane. T. (1979) “Estadística”, Editorial Harla, México, 771 pags.

**ANEXO**



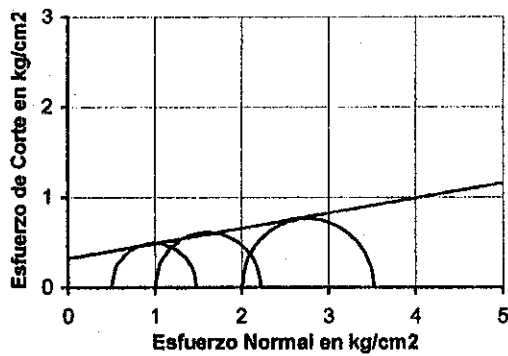
Muestra No. 1  
 Sitio del Proyecto: San Pedro Ayampuc, Guatemala

Descripción del Suelo: Arena limosa color café, plástica (SM)

Peso Unitario: 1.9 kg/cm<sup>3</sup>

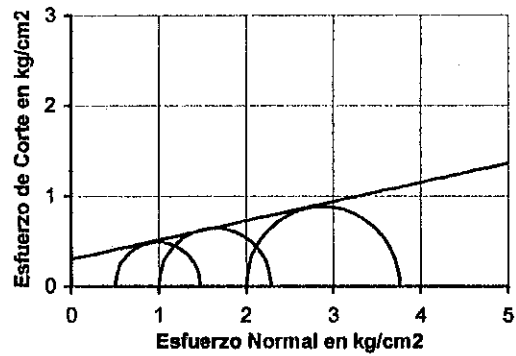
Contenido de Humedad: 23%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



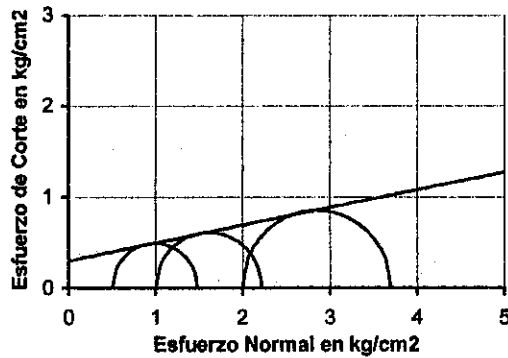
cohesión	0.32 kg/cm <sup>2</sup>
∅	10°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



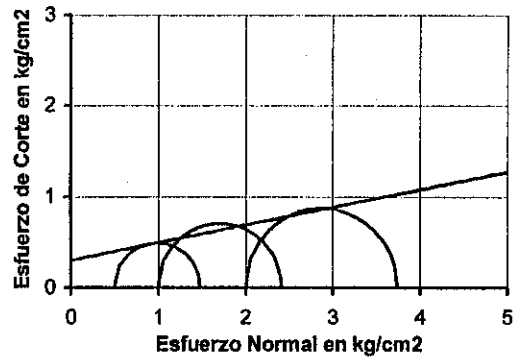
cohesión	0.30 kg/cm <sup>2</sup>
∅	12°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.30 kg/cm <sup>2</sup>
∅	11°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.30 kg/cm <sup>2</sup>
∅	11°

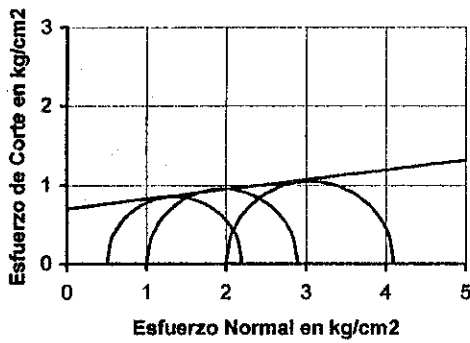
Muestra No. 2  
 Sitio del Proyecto: San Pedro Ayampuc, Guatemala

Descripción del Suelo: Arena limosa color café, plástica (SM), muestra compactada

Peso Unitario: 1.95 kg/cm<sup>3</sup>

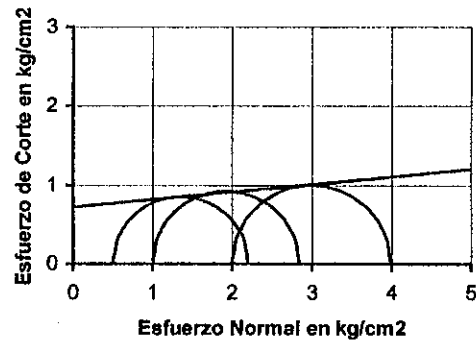
Contenido de Humedad: 26%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



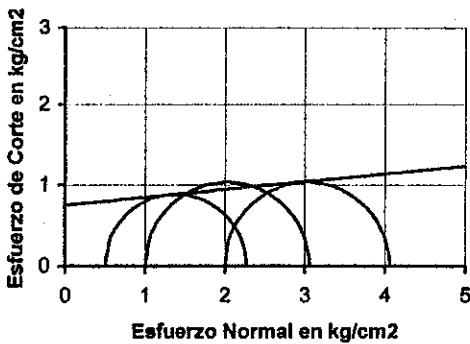
cohesión	0.70 kg/cm <sup>2</sup>
∅	7°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



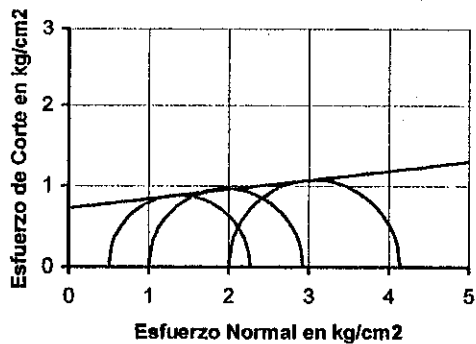
cohesión	0.72 kg/cm <sup>2</sup>
∅	6°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.75 kg/cm <sup>2</sup>
∅	6°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.72 kg/cm <sup>2</sup>
∅	6°

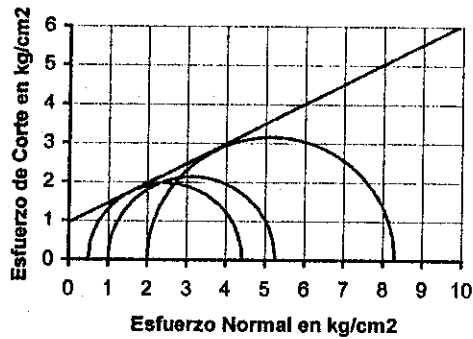
Muestra No. 3  
 Sitio del Proyecto: El Tejar, Chimaltenango

Descripción del Suelo: Limo Arcilloso color café, con arena fina, de baja plasticidad (ML)

Peso Unitario: 1.49 kg/cm<sup>3</sup>

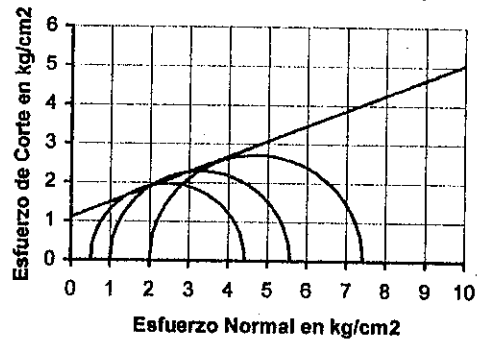
Contenido de Humedad: 50%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



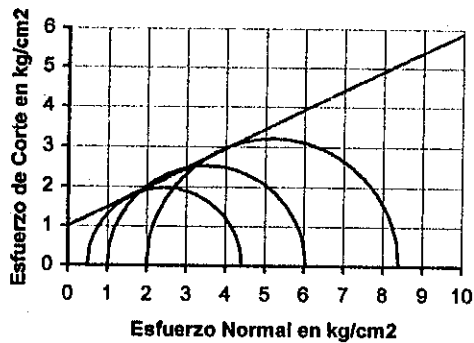
cohesión	0.95 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	27°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



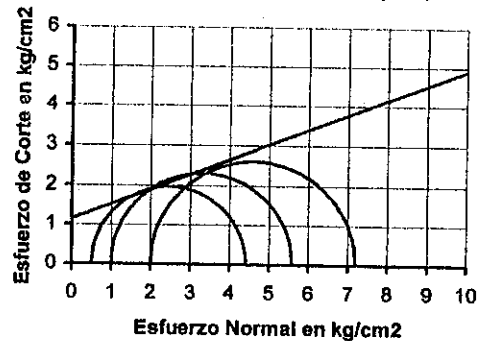
cohesión	1.10 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	22°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	1.0 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	26°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	1.15 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	20°

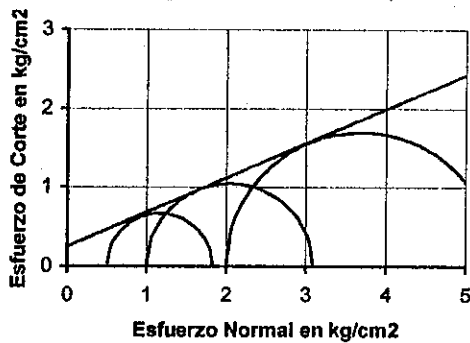
Muestra No. 4  
 Sitio del Proyecto: El Tejar, Chimaltenango

Descripción del Suelo: Limo Arcilloso color café, con arena fina, de baja plasticidad (ML), muestra compactada

Peso Unitario: 1.47 kg/cm<sup>3</sup>

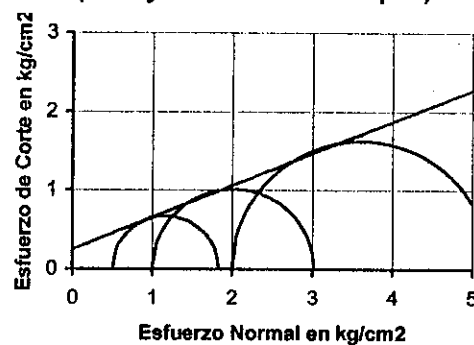
Contenido de Humedad: 47%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



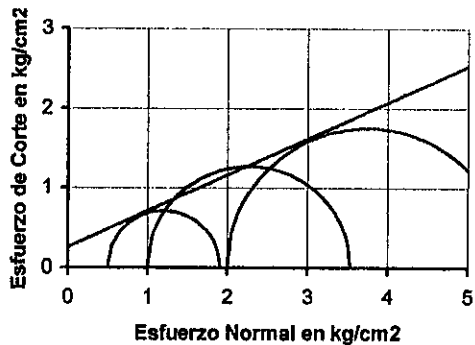
cohesión	0.25 kg/cm2
$\phi$	24°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



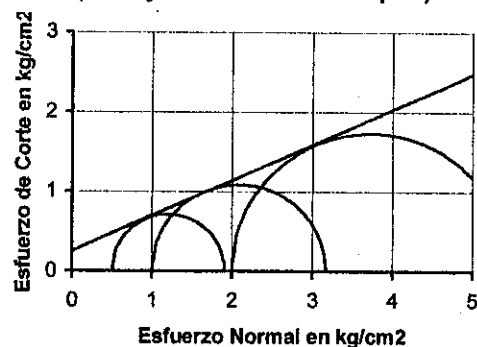
cohesión	0.25 kg/cm2
$\phi$	22°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.25 kg/cm2
$\phi$	24°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.25 kg/cm2
$\phi$	24°

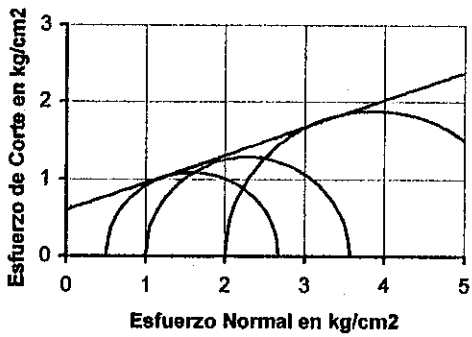
Muestra No. 5  
 Sitio del Proyecto: El Tejar, Chimaltenango

Descripción del Suelo: Limo Arcilloso color café, con arena fina, de baja plasticidad (SC), muestra compactada

Peso Unitario: 1.69 kg/cm<sup>3</sup>

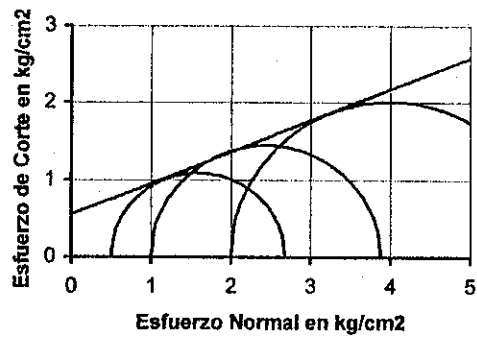
Contenido de Humedad: 50%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



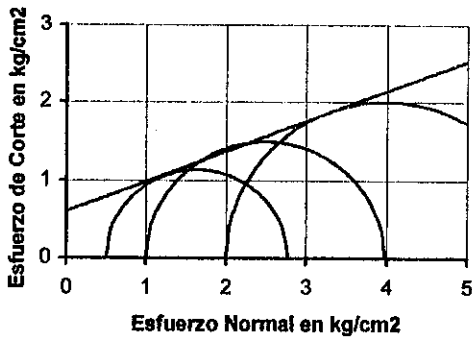
cohesión	0.6 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	20°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



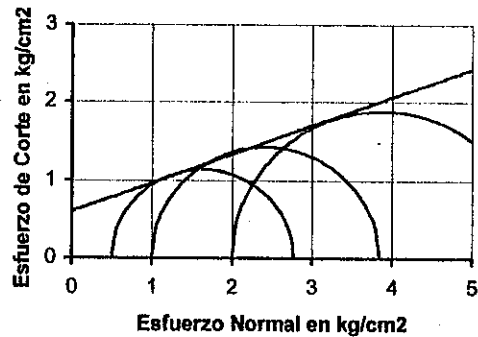
cohesión	0.55 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	22°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.6 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	21°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.6 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	20°

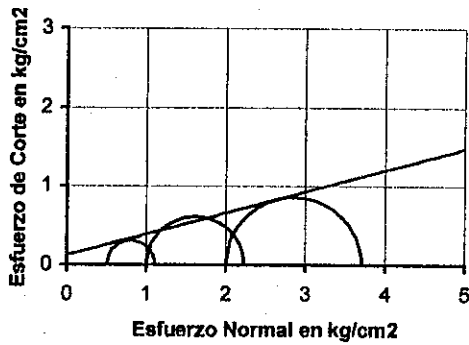
Muestra No. 6  
 Sitio del Proyecto: La Mirada, Ciudad de Guatemala

Descripción del Suelo: Arena limosa color café amarillento, de plasticidad media (SM)

Peso Unitario: 1.63 kg/cm<sup>3</sup>

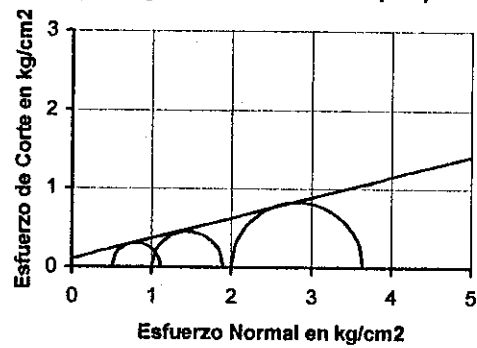
Contenido de Humedad: 32%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



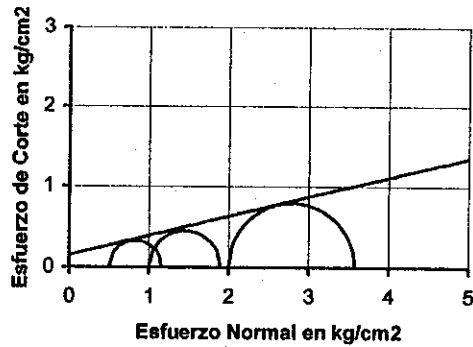
cohesión	0.12 kg/cm <sup>2</sup>
∅	15°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



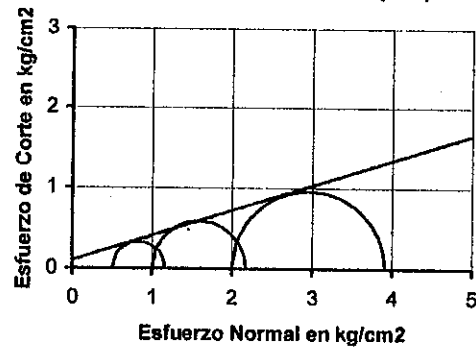
cohesión	0.1 kg/cm <sup>2</sup>
∅	15°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.15 kg/cm <sup>2</sup>
∅	14°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.1 kg/cm <sup>2</sup>
∅	17°

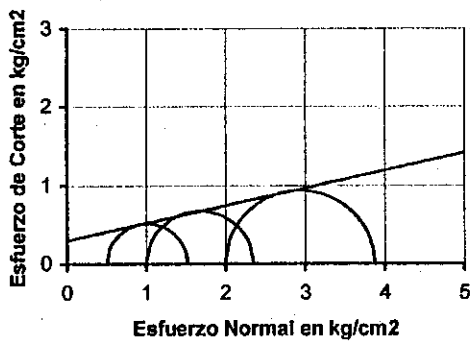
Muestra No. 7  
 Sitio del Proyecto: San José Pinula, Guatemala

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café claro, con arena fina, plástico (MH)

Peso Unitario: 1.66 kg/cm<sup>3</sup>

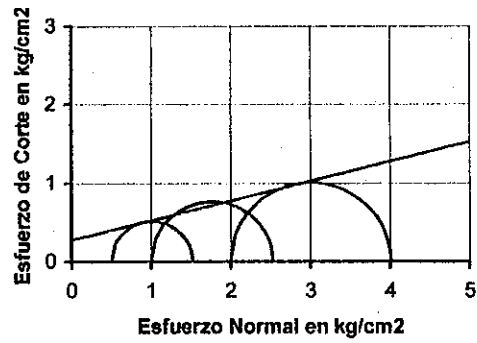
Contenido de Humedad: 38%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



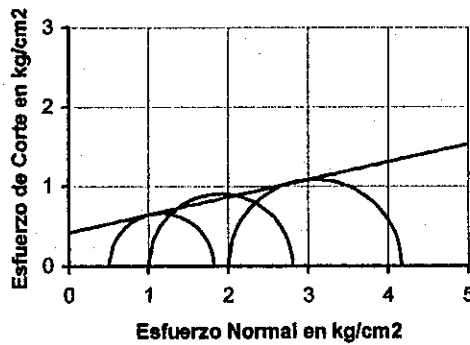
cohesión	0.3 kg/cm <sup>2</sup>
∅	12°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



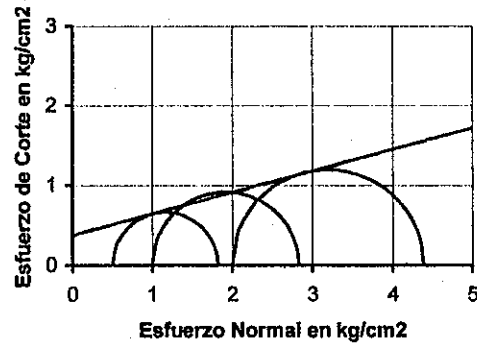
cohesión	0.28 kg/cm <sup>2</sup>
∅	14°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.42 kg/cm <sup>2</sup>
∅	12°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.38 kg/cm <sup>2</sup>
∅	15°

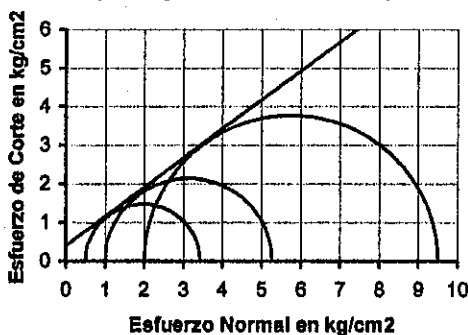
Muestra No. 8  
 Sitio del Proyecto: Zona 9, Ciudad de Guatemala

Descripción del Suelo: Arena pómez fina limosa color rosado pálido, no plástica (SM)

Peso Unitario: 1.49 kg/cm<sup>3</sup>

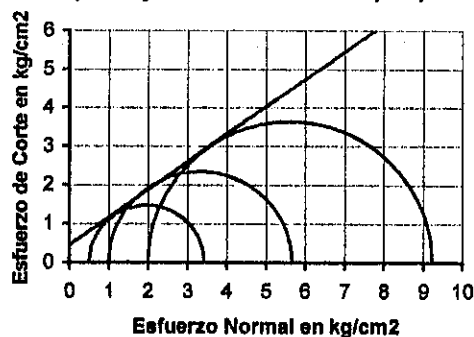
Contenido de Humedad: 45%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



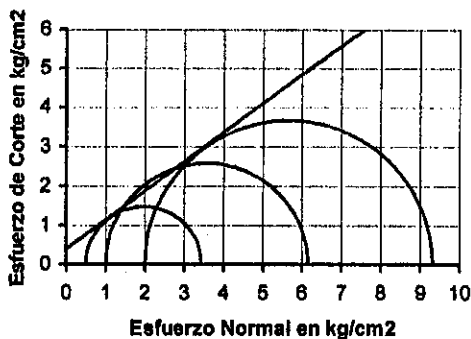
cohesión	0.40 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	37°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



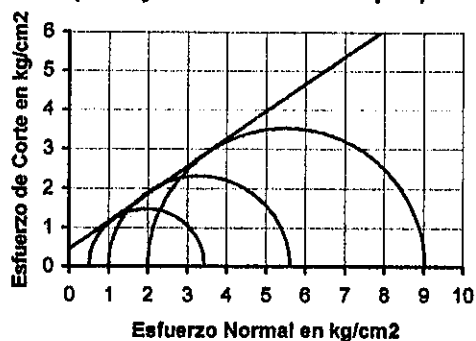
cohesión	0.45 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	36°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.4 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	36°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.45 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	35°



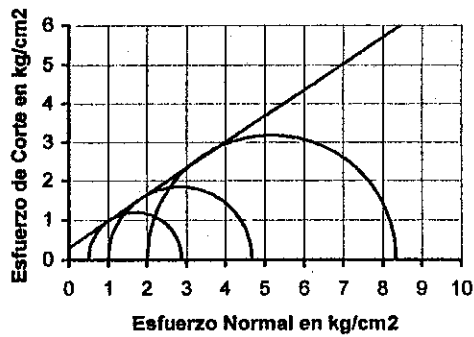
Muestra No. 9  
 Sitio del Proyecto: Zona 9, Ciudad de Guatemala

Descripción del Suelo: Limo arenoso color gris, con grava de pómez y basalto andesita, no plástico (ML)

Peso Unitario: 1.52 kg/cm<sup>3</sup>

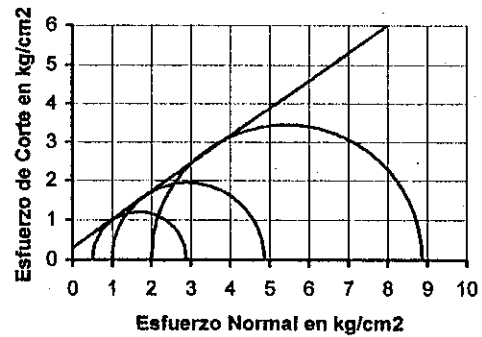
Contenido de Humedad: 16%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



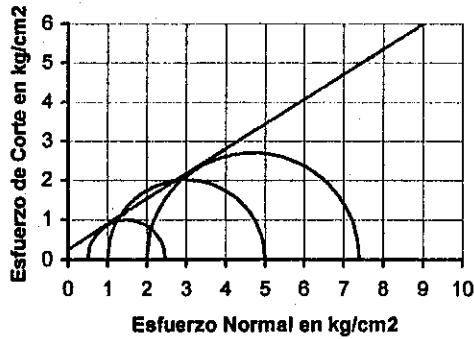
cohesión	0.3 kg/cm <sup>2</sup>
∅	34°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



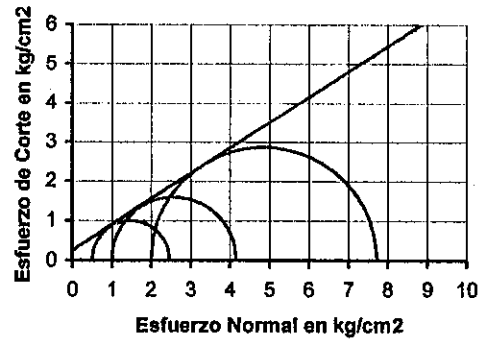
cohesión	0.3 kg/cm <sup>2</sup>
∅	36°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.25 kg/cm <sup>2</sup>
∅	32°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.25 kg/cm <sup>2</sup>
∅	33°

Muestra No. 10

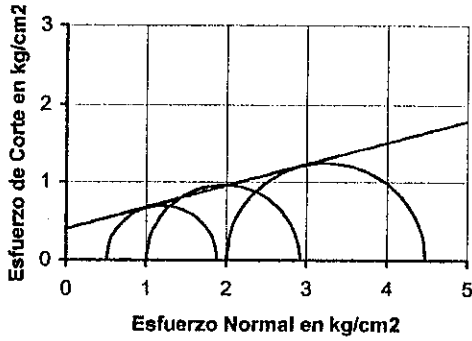
Sitio del Proyecto: Jocotales, zona 6, Ciudad de Guatemala

Descripción del Suelo: Limo arenoso color café amarillento, de plasticidad media (ML)

Peso Unitario: 1.60 kg/cm<sup>3</sup>

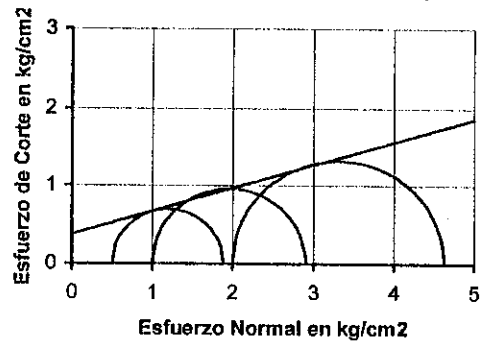
Contenido de Humedad: 45%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
(Ensayo Triaxial Normal)



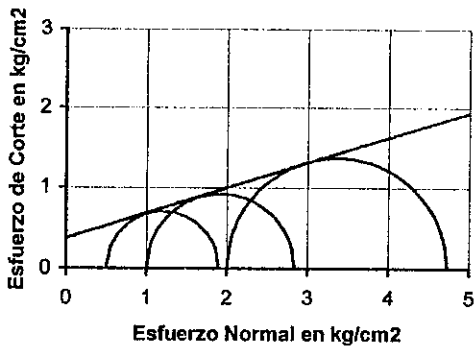
cohesión	0.4 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	16°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
(Ensayo Triaxial Multietapas)



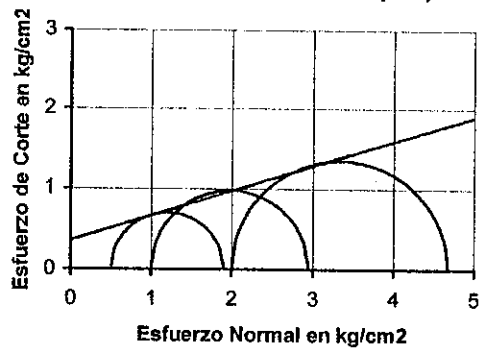
cohesión	0.38 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	16°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
(Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.38 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	17°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
(Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.36 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	17°

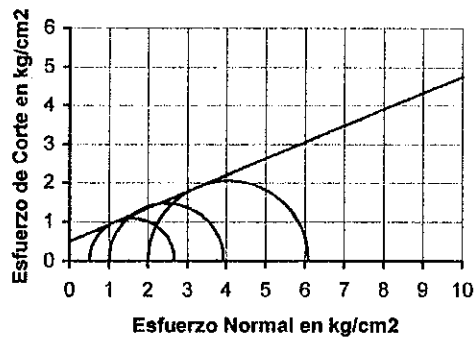
Muestra No. 11  
 Sitio del Proyecto: Jocotales, zona 6, Ciudad de Guatemala

Descripción del Suelo: Limo arenoso color café amarillento, de plasticidad media (ML), muestra compactada

Peso Unitario: 1.62 kg/cm<sup>3</sup>

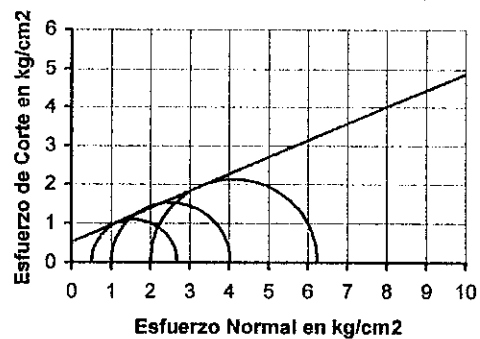
Contenido de Humedad: 42%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



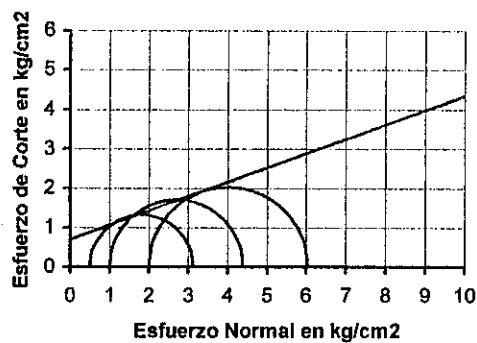
cohesión	0.5 kg/cm <sup>2</sup>
∅	23°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



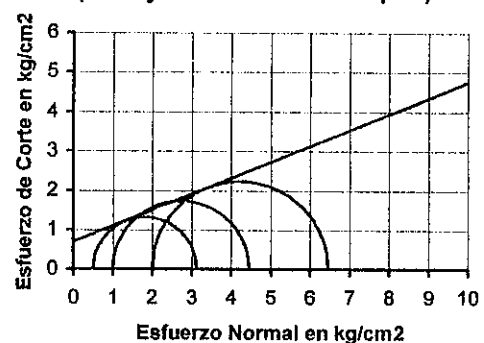
cohesión	0.5 kg/cm <sup>2</sup>
∅	24°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.7 kg/cm <sup>2</sup>
∅	20°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.7 kg/cm <sup>2</sup>
∅	22°

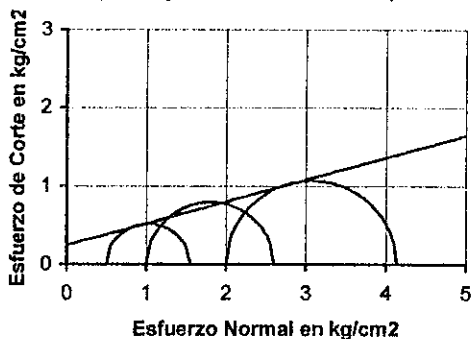
Muestra No. 12  
 Sitio del Proyecto: Zona 10, Ciudad de Guatemala

Descripción del Suelo: Arena arcillosa color café, de baja plasticidad (SC)

Peso Unitario: 1.86 kg/cm<sup>3</sup>

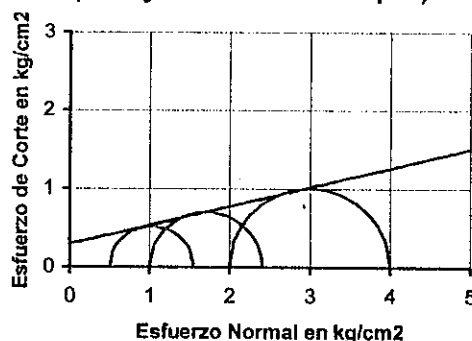
Contenido de Humedad: 22%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



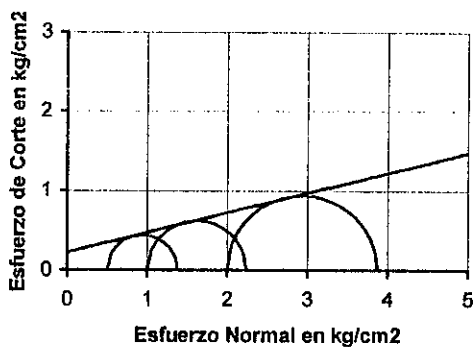
cohesión	0.25 kg/cm <sup>2</sup>
∅	16°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



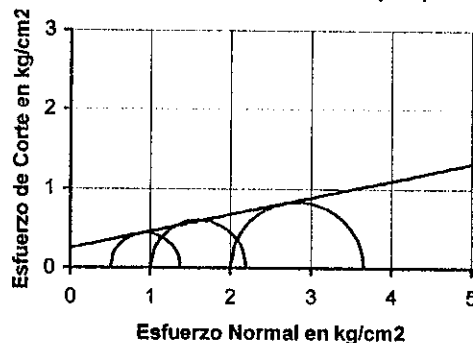
cohesión	0.3 kg/cm <sup>2</sup>
∅	14°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.22 kg/cm <sup>2</sup>
∅	14°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.25 kg/cm <sup>2</sup>
∅	12°

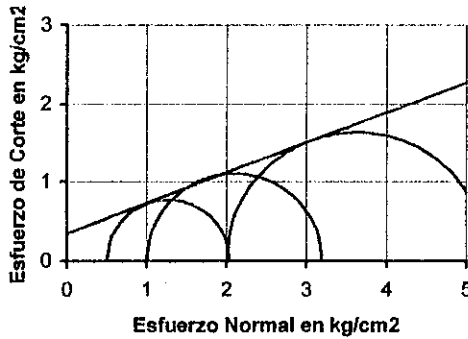
Muestra No. 13  
 Sitio del Proyecto: Morales, Izabal

Descripción del Suelo: Limo arenoso color café amarillento, de baja plasticidad (ML)

Peso Unitario: 1.66 kg/cm<sup>3</sup>

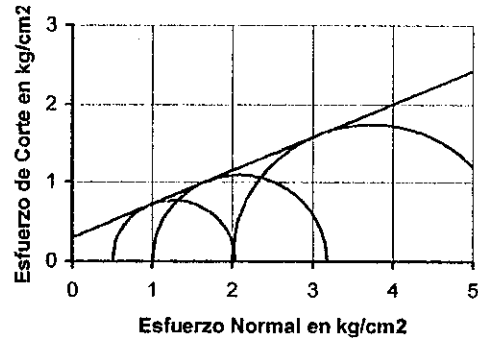
Contenido de Humedad: 26%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



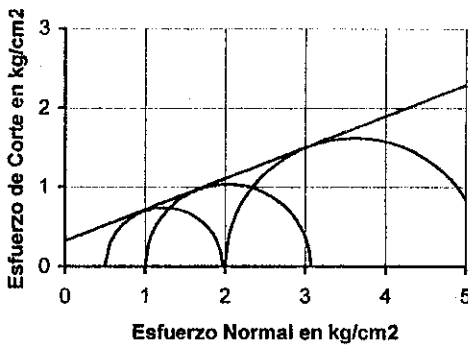
cohesión	0.35 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	21°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



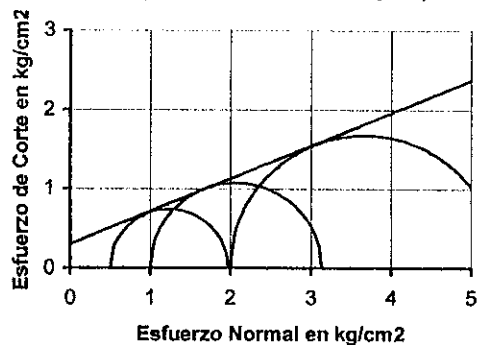
cohesión	0.30 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	23°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.32 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	22°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.30 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	22°

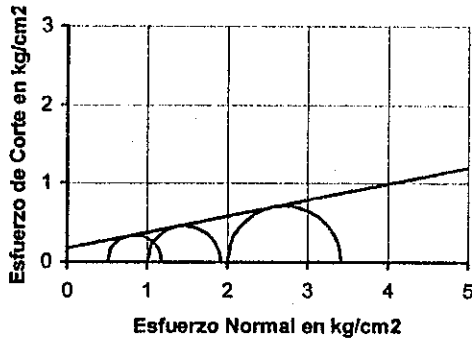
Muestra No. 14  
 Sitio del Proyecto: Quetzaltenango, Quetzaltenango

Descripción del Suelo: Limo arenoso color café, de baja plasticidad (ML)

Peso Unitario: 1.32 kg/cm<sup>3</sup>

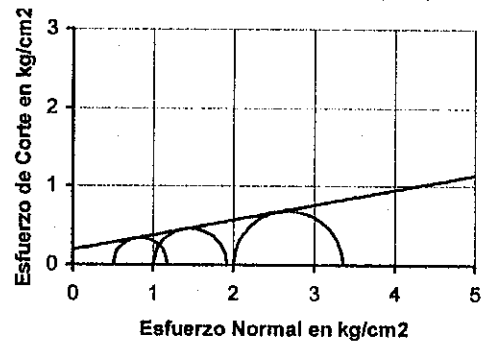
Contenido de Humedad: 50%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



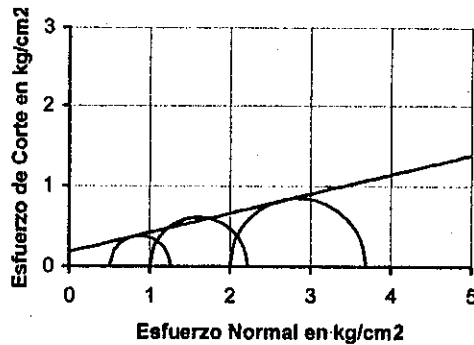
cohesión	0.18 kg/cm <sup>2</sup>
∅	12°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



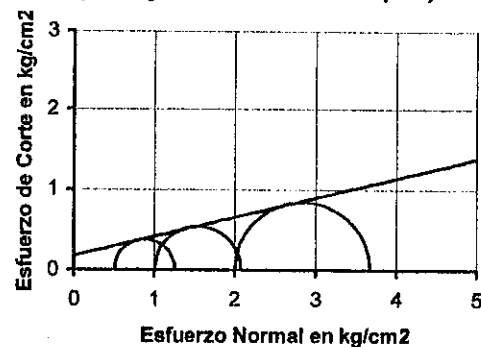
cohesión	0.19 kg/cm <sup>2</sup>
∅	11°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.18 kg/cm <sup>2</sup>
∅	14°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.18 kg/cm <sup>2</sup>
∅	14°

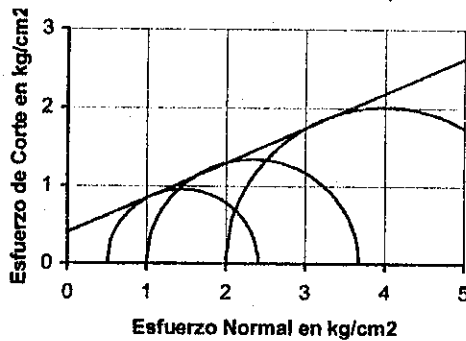
Muestra No. 15  
 Sitio del Proyecto: San José Villa Nueva, Guatemala

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café, de plasticidad media, con arena fina y fragmentos de pómez (ML)

Peso Unitario: 1.65 kg/cm<sup>3</sup>

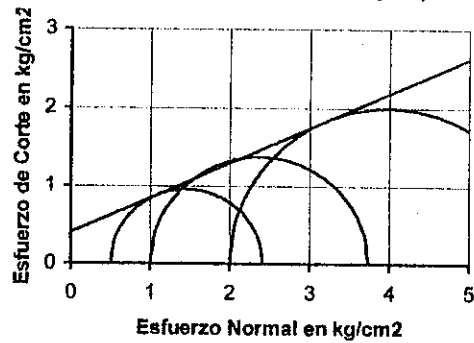
Contenido de Humedad: 36%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



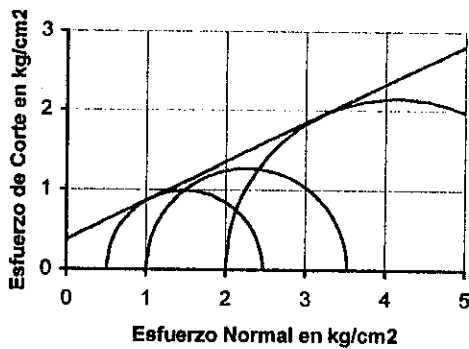
cohesión	0.4 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	24°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



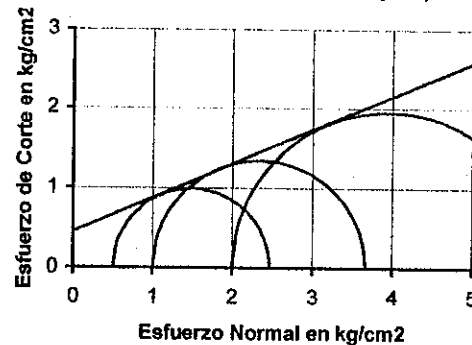
cohesión	0.4 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	24°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.38 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	26°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.45 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	23°

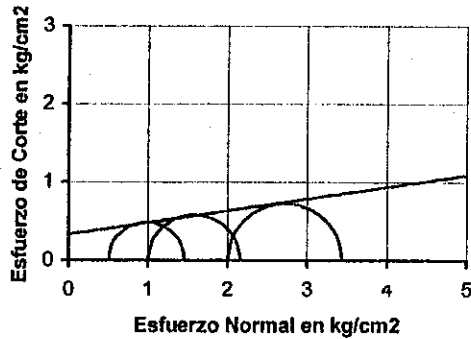
Muestra No. 16  
 Sitio del Proyecto: Antigua Guatemala, Sacatepéquez

Descripción del Suelo: Arcilla limosa color café grisáceo, plástica (CH)

Peso Unitario: 1.35 kg/cm<sup>3</sup>

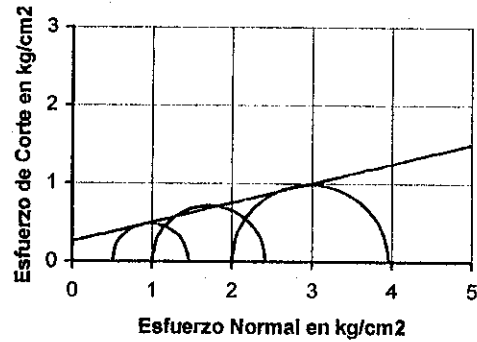
Contenido de Humedad: 90%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



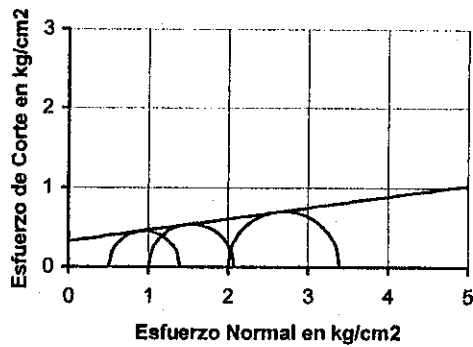
cohesión	0.33 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	9°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



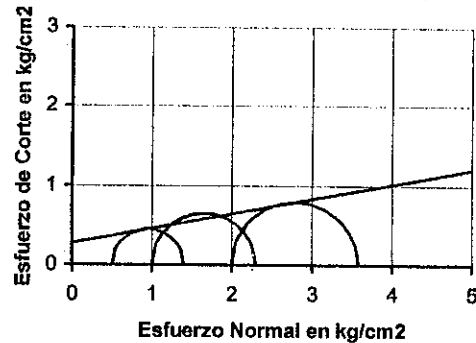
cohesión	0.25 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	14°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.32 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	8°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.28 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	10°



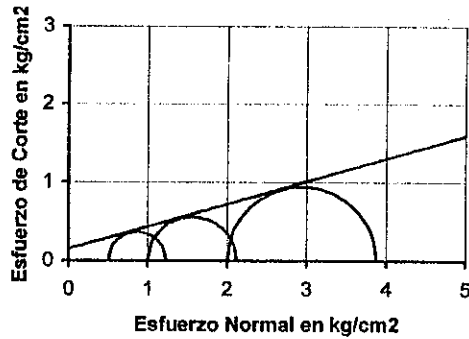
Muestra No. 17  
 Sitio del Proyecto: Mazatenango, Suchitepéquez

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café amarillento, de plasticidad media, con arena fina (MH)

Peso Unitario: 1.37 kg/cm<sup>3</sup>

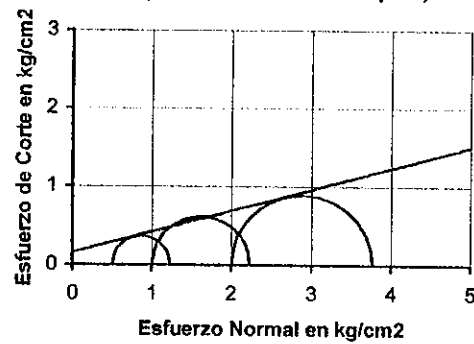
Contenido de Humedad: 84%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



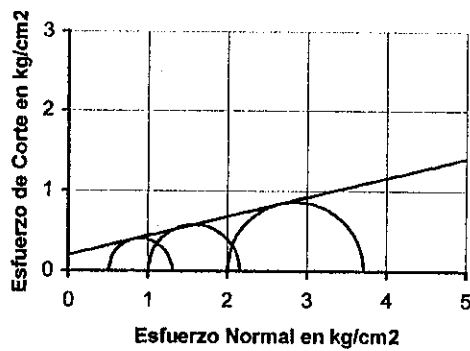
cohesión	0.15 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	16°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



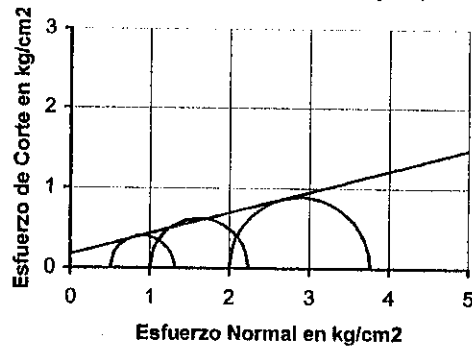
cohesión	0.16 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	15°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.2 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	14°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.18 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	14°

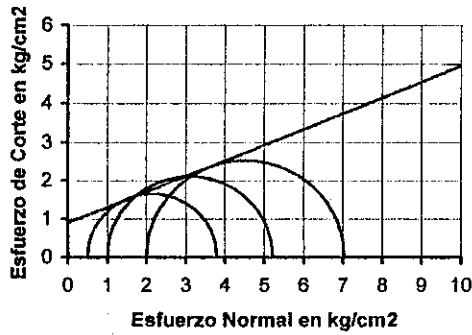
Muestra No. 18  
 Sitio del Proyecto: Aldea Chivencorral, Cobán, Alta Verapaz

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café rojizo, plástico, con traza de arena fina (ML)

Peso Unitario: 1.18 kg/cm<sup>3</sup>

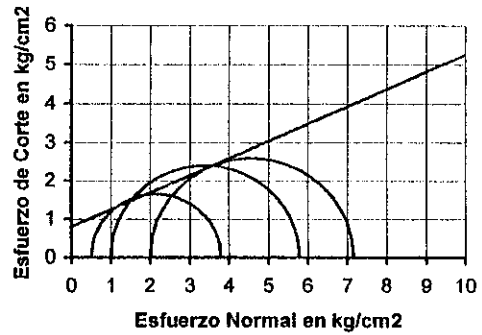
Contenido de Humedad: 148%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



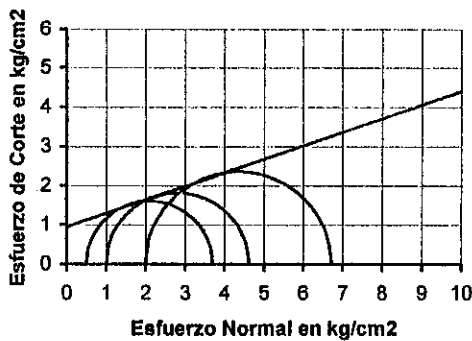
cohesión	0.9 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	22°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



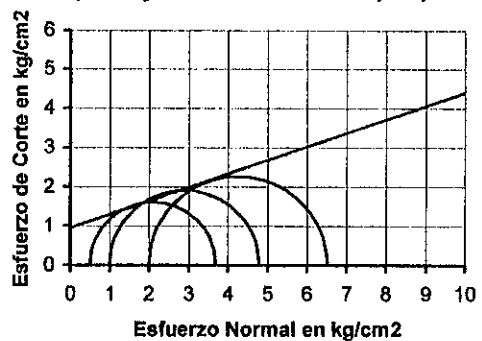
cohesión	0.8 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	24°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.95 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	19°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.95 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	19°

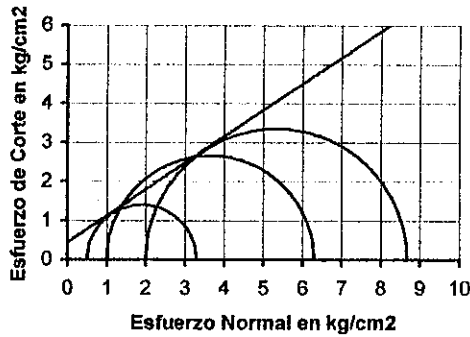
Muestra No. 19  
 Sitio del Proyecto: San José el Ídolo, Suchitepéquez

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café amarillento, de baja plasticidad, con traza de arena fina y de fragmentos de pómez (ML)

Peso Unitario: 1.61 kg/cm<sup>3</sup>

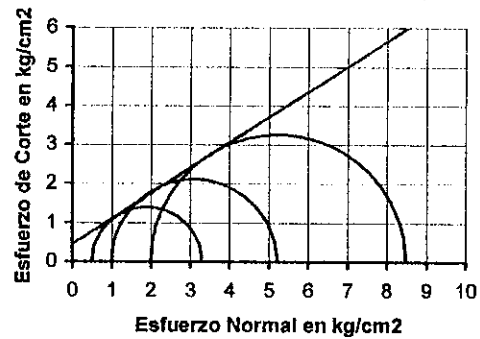
Contenido de Humedad: 40%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



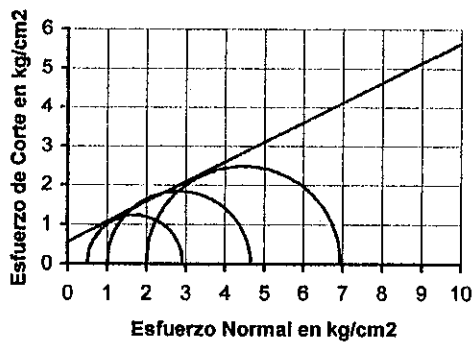
cohesión	0.45 kg/cm2
$\phi$	34°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



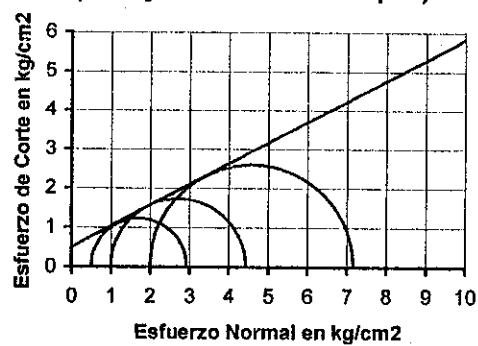
cohesión	0.45 kg/cm2
$\phi$	33°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.55 kg/cm2
$\phi$	27°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.50 kg/cm2
$\phi$	28°

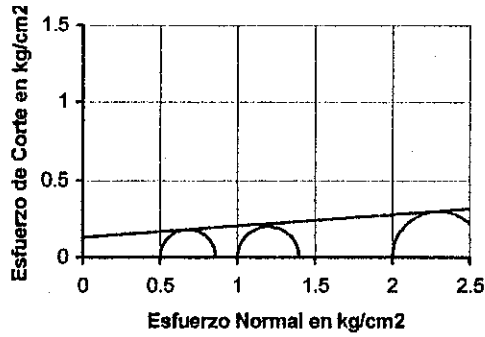
Muestra No. 20  
 Sitio del Proyecto: San José el Ídolo, Suchitepéquez

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café grisáceo, de baja plasticidad, con traza de arena fina (MH)

Peso Unitario: 1.25 kg/cm<sup>3</sup>

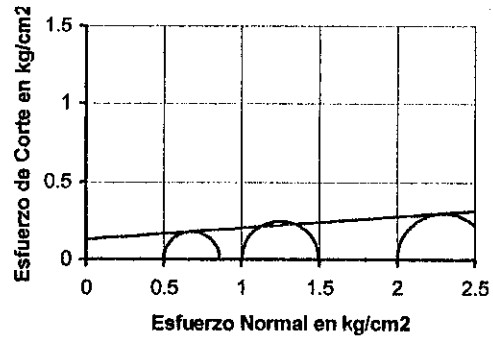
Contenido de Humedad: 85%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



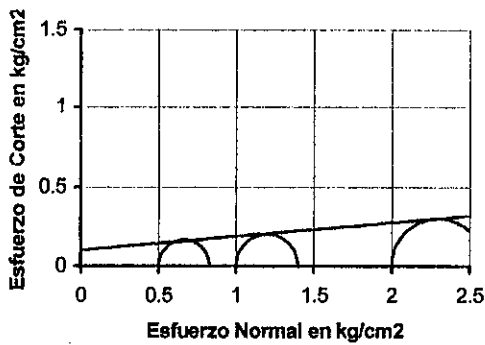
cohesión	0.13 kg/cm <sup>2</sup>
∅	4°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



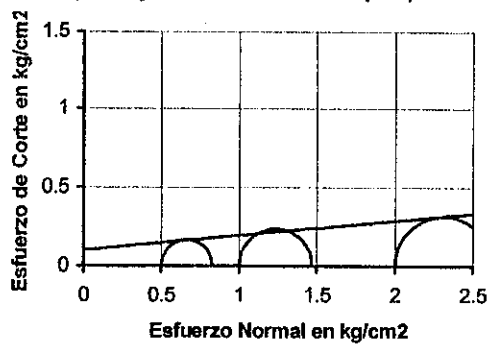
cohesión	0.13 kg/cm <sup>2</sup>
∅	4°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.10 kg/cm <sup>2</sup>
∅	5°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.10 kg/cm <sup>2</sup>
∅	5°

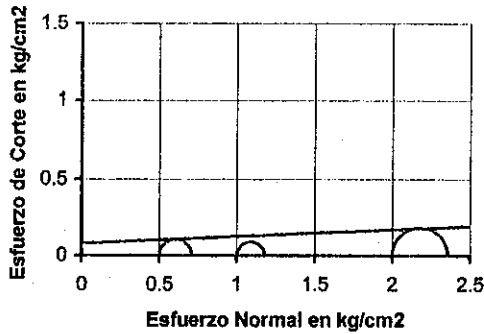
Muestra No. 21  
 Sitio del Proyecto: Puerto de San José, Escuintla

Descripción del Suelo: Limo café oscuro, plástico, orgánico, con traza de arena fina (OH)

Peso Unitario: 1.60 kg/cm<sup>3</sup>

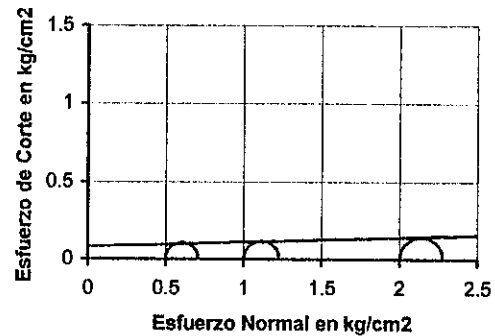
Contenido de Humedad: 70%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



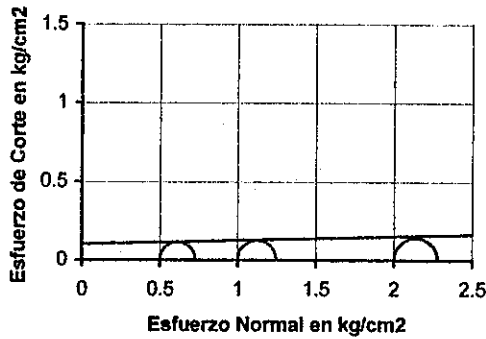
cohesión	0.08 kg/cm <sup>2</sup>
∅	2°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



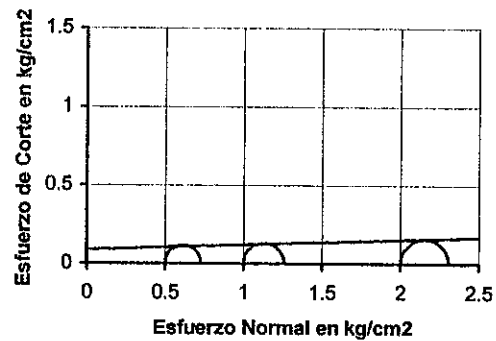
cohesión	0.08 kg/cm <sup>2</sup>
∅	2°

Tres Probetas de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Normal)



cohesión	0.1 kg/cm <sup>2</sup>
∅	2°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.09 kg/cm <sup>2</sup>
∅	2°

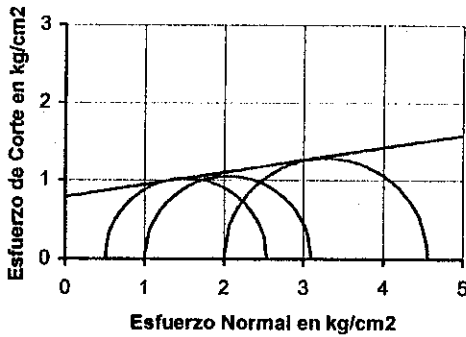
Muestra No. 22  
 Sitio del Proyecto: Ciudad Vieja, Sacatepéquez

Descripción del Suelo: Limo arcilloso color café oscuro, de baja plasticidad, con traza de arena fina (MH)

Peso Unitario: 1.51 kg/cm<sup>3</sup>

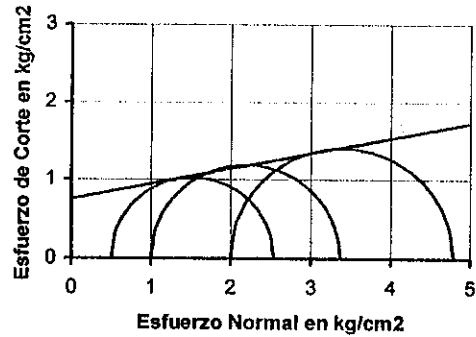
Contenido de Humedad: 69%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



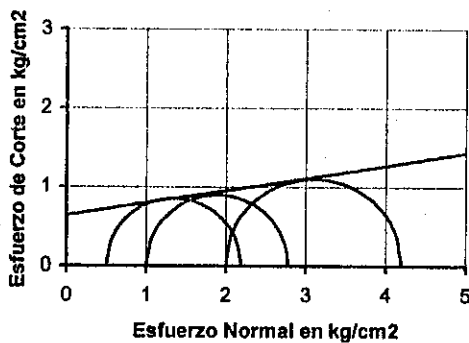
cohesión	0.78 kg/cm <sup>2</sup>
∅	9°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



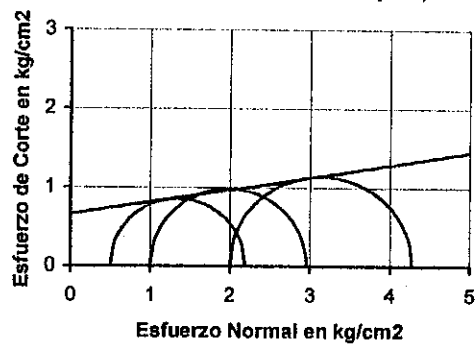
cohesión	0.75 kg/cm <sup>2</sup>
∅	11°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.63 kg/cm <sup>2</sup>
∅	9°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.65 kg/cm <sup>2</sup>
∅	9°

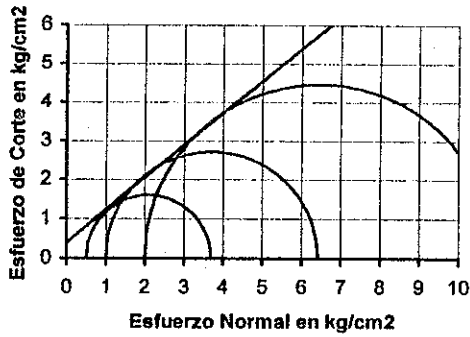
Muestra No. 23  
 Sitio del Proyecto: Ciudad Vieja, Sacatepéquez

Descripción del Suelo: Arena color café oscuro, mal graduada, no plástica, con traza de limo (SP-SM), muestra compactada

Peso Unitario: 1.84 kg/cm<sup>3</sup>

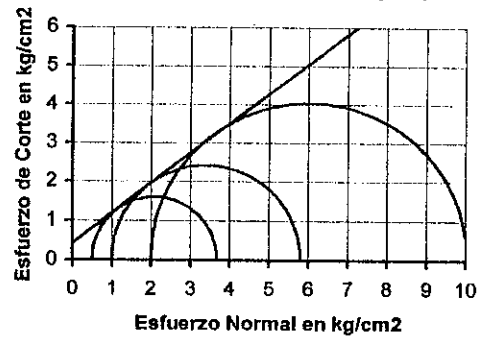
Contenido de Humedad: 12%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



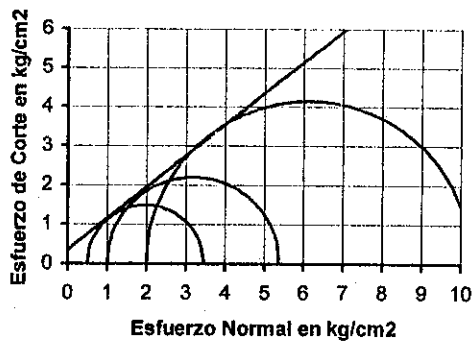
cohesión	0.4 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	40°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



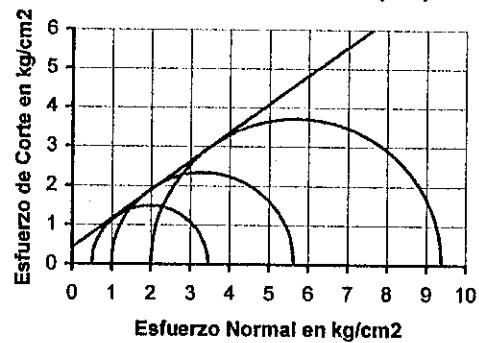
cohesión	0.42 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	38°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.35 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	39°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.42 kg/cm <sup>2</sup>
$\phi$	36°

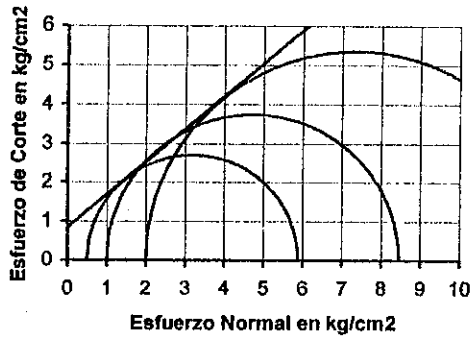
Muestra No. 24  
 Sitio del Proyecto: Ciudad Vieja, Sacatepéquez

Descripción del Suelo: Arena limosa color café, no plástica, (SM), muestra compactada

Peso Unitario: 1.60 kg/cm<sup>3</sup>

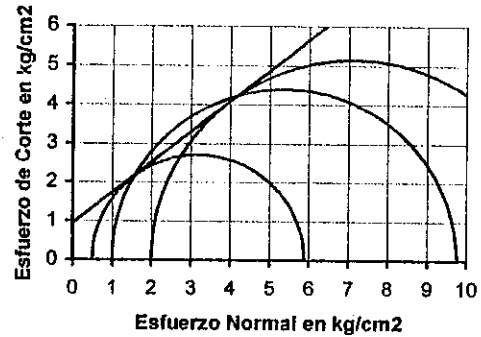
Contenido de Humedad: 16%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



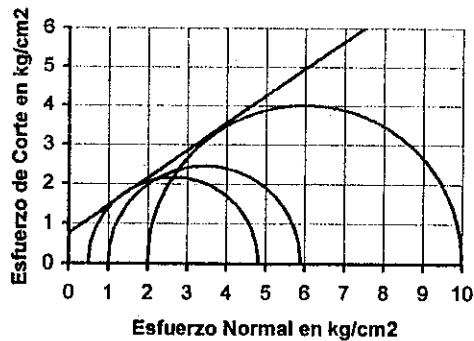
cohesión	0.85 kg/cm <sup>2</sup>
∅	40°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



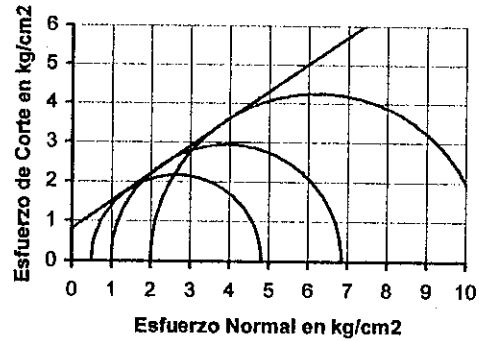
cohesión	0.95 kg/cm <sup>2</sup>
∅	38°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.75 kg/cm <sup>2</sup>
∅	35°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.80 kg/cm <sup>2</sup>
∅	35°



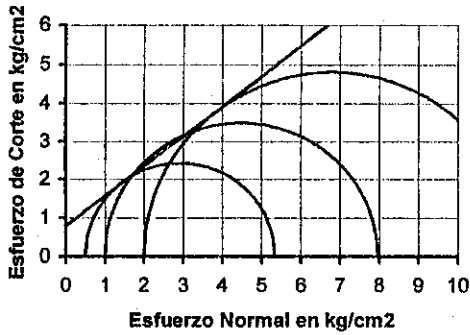
Muestra No. 25  
 Sitio del Proyecto: Ciudad Vieja, Sacatepéquez

Descripción del Suelo: Arena limosa color café, no plástica (SM), muestra compactada

Peso Unitario: 1.50 kg/cm<sup>3</sup>

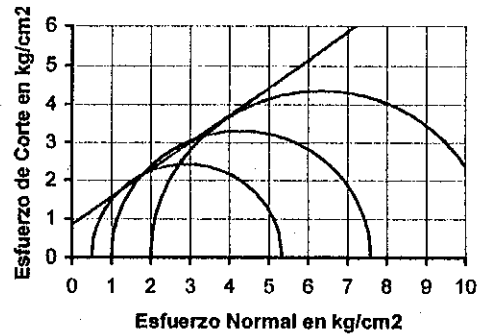
Contenido de Humedad: 19%

Tres Probetas de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Normal)



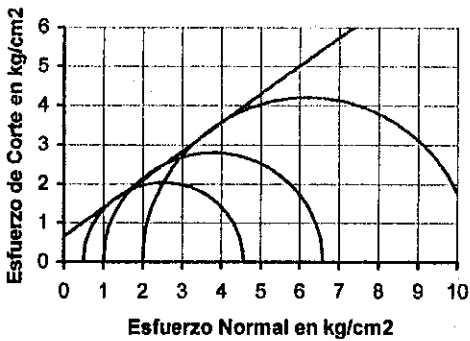
cohesión	0.78 kg/cm2
$\phi$	38°

Una Probeta de Esbeltez Dos  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



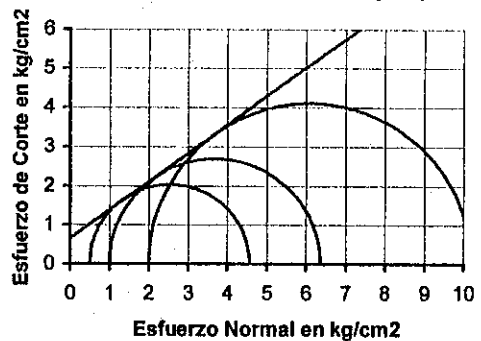
cohesión	0.85 kg/cm2
$\phi$	36°

Tres Probetas de Esbeltez Uno



cohesión	0.65 kg/cm2
$\phi$	36°

Una Probeta de Esbeltez Uno  
 (Ensayo Triaxial Multietapas)



cohesión	0.65 kg/cm2
$\phi$	36°