



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

**USO DEL CONO DE PENETRACIÓN CPT PARA EVALUACIÓN DE
MUESTRAS DE SUELO A ESCALA DE LABORATORIO Y ANÁLISIS
COMPARATIVO CON ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

Carlos Alberto Pérez Rodríguez

Asesorado por el Ing. Erik Rosales Torres

Guatemala, marzo de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**USO DEL CONO DE PENETRACIÓN CPT PARA EVALUACIÓN DE
MUESTRAS DE SUELO A ESCALA DE LABORATORIO Y ANÁLISIS
COMPARATIVO CON ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

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

POR:

CARLOS ALBERTO PEREZ RODRIGUEZ
ASESORADO POR EI ING. ERIK ROSALES TORRES
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2009

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. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. William Ricardo Yon Chavarría
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

Guatemala, 24 de Febrero de 2,009

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Javier Quiñónez:

Me dirijo a usted para informarle que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado **USO DEL CONO DE PENETRACION CPT PARA EVALUACION DE MUESTRAS DE SUELO A ESCALA DE LABORATORIO Y ANALISIS COMPARATIVO CON ENSAYO DE CORTE DIRECTO**, elaborado por el estudiante universitario de Ingeniería Civil **Carlos Alberto Pérez Rodríguez**, el cual considero que constituye un aporte al conocimiento nacional.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante **Pérez Rodríguez**, ha llenado los objetivos propuestos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Sin otro particular, me es grato suscribirme,

Atentamente,



Ing. Erik Rosales Torres

Erik Rosales Torres
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO 2428



Guatemala, 2 de marzo de 2 009

Ingeniero
Sydney Alexander Samuels Milson
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **“Uso del cono de penetración CPT para evaluación de muestras de suelo a escala de laboratorio y análisis comparativo con ensayo de corte directo”**, realizado por el estudiante universitario **Carlos Alberto Pérez Rodríguez**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Erik Rosales Torres.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Pérez Rodríguez**, cumple con los objetivos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles

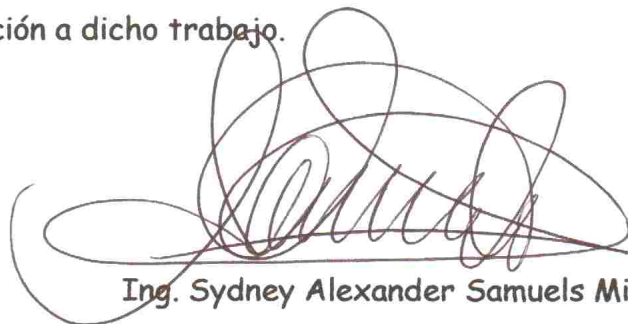


FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

Cc archivo



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Erik Rosales Torres y del Jefe del Área de Materiales de Construcción, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Alberto Pérez Rodríguez, titulado USO DEL CONO DE PENETRACIÓN CPT PARA EVALUACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO A ESCALA DE LABORATORIO Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON ENSAYOS DE CORTE DIRECTO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Sydney Alexander Samuels Milson



Guatemala, marzo 2009

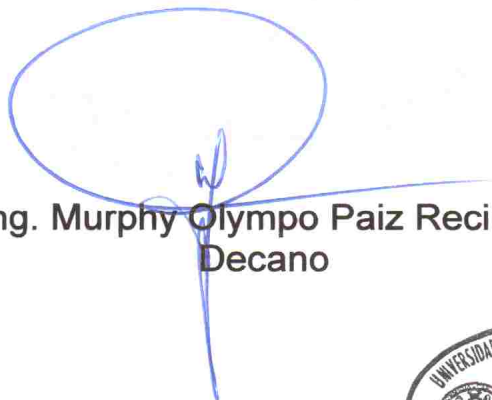
/bbdeb.



Ref. DTG.086.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **USO DEL CONO DE PENETRACIÓN CPT PARA EVALUACIÓN DE MUESTRAS DE SUELO A ESCALA DE LABORATORIO Y ANÁLISIS COMPARATIVO CON ENSAYO DE CORTE DIRECTO**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Alberto Pérez Rodríguez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, marzo de 2009



/cc

AGRADECIMIENTOS A:

- Mis padres** Ing. Carlos Leonel Pérez Arias.
Vilma Lisseth Rodríguez de Pérez.
Por el amor, confianza y apoyo incondicional ya
que sin ellos no seria la persona que ahora soy.
- Mis hermanos** Carlos Manuel Pérez Rodríguez.
Juan Carlos Pérez Rodríguez.
Quienes de forma directa o indirecta me han
enseñado muchas cosas de la vida.
- Mi novia** Maria Cristina Morales Cruz.
Gracias por su amor y consejos he logrado realizar
mis objetivos.
- Mi asesor** Ing. Erik Rosales Torres.
Por su gran apoyo como asesor y amigo.
- Mis amigos** Que de una forma u otra estuvieron involucrados
en apoyarme en la culminación de mi carrera

Laboratorio Servicios Unificados de Ingeniería

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de Toda Sabiduría.
Mis padres	Ing. Carlos Leonel Pérez Vilma Lisseth Rodríguez de Pérez.
Mis hermanos	Carlos Manuel Pérez Rodríguez. Juan Carlos Pérez Rodríguez.
Mi asesor	Ing. Erik Rosales Torres y Familia.
Mi novia	Maria Cristina Morales Cruz y Familia.
Mis padrinos	Carlos Leonel Pérez Arias Erik Rosales Torres
Mis amigos	Ustedes saben quienes son.
Mi patria	Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ESFUERZOS Y RESISTENCIA A CORTE	1
1.1 Ángulo de fricción interna	2
1.2 Cohesión	2
2. ENSAYOS DE LABORATORIO	5
2.1 Penetrómetro	5
2.1.1 Ensayo de penetración con cono	5
2.1.1.1 Partes del penetrómetro	6
2.1.1.1.1 Cono	6
2.1.1.1.2 Cono simple	6
2.1.1.1.3 Cono con faldón	6
2.1.1.1.4 Piezocono	6
2.1.1.1.5 Punta	6
2.1.1.1.6 Manguito de fricción	6
2.1.1.1.7 Vástago	6
2.1.1.2 Desarrollo del ensayo	7
2.1.1.2.1 Ensayo continuo	7
2.1.1.2.2 Ensayo discontinuo	8
2.1.1.2.3 Ensayo de laboratorio	9
2.2 Ensayo de corte directo	11
2.2.1 Método de ensayo	11

2.2.2	Características de la muestra_____	13
2.2.3	Preparación de la muestra_____	14
2.2.3.1	Muestras inalteradas_____	14
2.2.3.2	Especímenes compactados_____	14
3	SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE MUESTRAS_____	15
3.1	Selección de muestras_____	15
3.2	Ubicación de la procedencia de las muestras_____	17
4	ENSAYOS DE LABORATORIO_____	19
4.1	Ensayo corte directo_____	19
4.1.1	Elaboración especímenes corte directo_____	20
4.1.2	Colocación muestra en máquina corte directo_	21
4.2	Ensayo cono de penetración_____	22
4.2.1	Elaboración especímenes cono penetración_	22
4.2.2	Elaboración ensayo_____	23
5	RESULTADOS_____	25
5.1	Descripción de muestras_____	25
5.1.1	Limo plástico_____	25
5.1.2	Arena limosa_____	25
5.1.3	Arcilla con arena_____	26
5.1.4	Arcilla _____	26
5.2	Resultados de ensayos_____	27
5.2.1	Propiedades físicas_____	27
5.2.1.1	Limo plástico_____	27
5.2.1.2	Arena limosa_____	27
5.2.1.3	Arcilla con arena_____	28
5.2.1.4	Arcilla _____	28
5.2.2	Propiedades mecánicas	
5.2.2.1	Limo plástico_____	28
5.2.2.2	Arena limosa_____	29

5.2.2.3 Arcilla con arena	29
5.2.2.4 Arcilla	29
6 CORRELACIÓN DE RESULTADOS	33
6.1 Análisis de resultados	34
6.1.1 Correlación ángulo de fricción interna	34
6.1.2 Correlación cohesión	34
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
APÉNDICE A	43
APÉNDICE B	49
APÉNDICE C	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Esfuerzos normales y cortantes _____	03
2	Cono de penetración estándar _____	07
3	Adaptación cono de penetración _____	08
4	Caja ensayo para corte directo _____	10
5	Sitio San Benito Petén _____	15
6	Sitio Mixco, Guatemala _____	16
7	Máquina ensayo corte directo _____	18
8	Gráfica típica cono de penetración _____	21
9	Máquina corte directo _____	38
10	Adaptación cono de penetración en laboratorio _____	38
11	Confirmación densidad probeta cono penetración _____	39
12	Caja de ensayo corte directo _____	39
13	Muestras ensayadas corte directo _____	40
14	Muestras ensayadas cono de penetración _____	40
15	Adaptación cono de penetración _____	41

TABLAS

I	Volumen de probetas para ensayos _____	20
II	Propiedades físicas de materiales ensayados _____	27
III	Propiedades mecánicas limo plástico _____	28
IV	Propiedades mecánicas arena limosa _____	28
V	Propiedades mecánicas arcilla con arena _____	29
VI	Propiedades mecánicas arcilla _____	29
VII	Parámetro de ecuaciones de tendencia _____	30

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 μ m), tiene propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.
Arena	Partículas de suelo que pasan por el tamiz estándar Núm. 4 (4.75mm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 200 (75 μ m).
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.
Correlación	Correspondencia o relación que mantienen dos o más variables entre sí.

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.
Deformómetro	Dial diseñado para medir deformaciones, se utilizaron con una exactitud de .001” para penetración y 0.0001” carga.
Grava	Partículas de roca que pasan por el tamiz estándar Núm. 3/4 (75mm) y son retenidos en el tamiz estándar Núm. 4 (4.75mm).
Humedad óptima	Cantidad de agua necesaria para 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 μ m), que no presenta plasticidad o es ligeramente.
Muestras alteradas	Son porciones de suelo, que no guardan las mismas condiciones que cuando se encontraba en el terreno de donde proceden.

Muestras remoldeadas	Muestras que se elaboran en laboratorio con la misma densidad y humedad que en la naturaleza.
Penetrómetro	Aparato que penetra en el suelo para recabar una serie de informaciones que nos ayudaran al conocimiento directo de propiedades físicas.
Plasticidad	Es la propiedad que presentan los suelos de poder deformarse, hasta cierto límite, sin romperse.
Resistencia al corte	Resistencia desarrollada por varios factores como rotación de partículas, deslizamiento, trituración.
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

El presente trabajo se ensayaron muestras mediante corte directo (ASTM – D3080) y cono de penetración este ultimo mediante una adaptación del ensayo de penetración (ASTM – D3441) para laboratorio, con lo cual se realizó una correlación entre el ángulo de fricción interna y cohesión del ensayo de corte directo comparado con datos obtenidos de el ensayo cono de penetración, se utilizaron como datos de correlación la segunda pendiente de la gráfica de cono de penetración con el ángulo de fricción interna y la carga a 50mm de penetración con la cohesión.

Para evitar defectos en muestras se utilizaron muestras remoldeadas en laboratorio, asegurando así la homogeneidad de las probetas en los 2 ensayos; se utilizaron diferentes densidades y humedades cercanas a la óptima de cada material disminuyendo así diferencias entre ensayos.

El estudio se realizó con 4 materiales escogidos según el comportamiento mecánico. Con el objetivo de obtener resultados representativos, cada material se realizó como mínimo nueve ensayos de cono de penetración y seis cortes directos con los cuales se define el comportamiento de cada material bajo diferentes condiciones de densidad.

Los resultados obtenidos con el presente estudio son los siguientes: entre el ángulo de fricción interna y el ángulo de la gráfica carga penetración del cono de penetración, solo en un caso se determina que existe una buena correlación, entre la cohesión y la penetración a 50mm en todos los casos existe una muy buena correlación.

OBJETIVOS

§ Generales:

1. Evaluar un procedimiento alternativo para el ensayo de muestras de suelo a escala de laboratorio que sea más rápido, confiable y cuyos resultados sean correlacionables con los ensayos convencionales para la caracterizar el comportamiento mecánico de suelos finos
2. Correlacionar los datos de ensayos del cono de penetración con parámetros del corte del suelo obtenidos mediante el ensayo de corte directo (c , ϕ).

§ Específicos:

1. Establecer un procedimiento para el ensayo de cono de penetración para evaluación de muestras de suelo fino a escala de laboratorio.
2. Determinar la resistencia a penetración del cono de muestras de suelos finos con diferentes características, preparadas bajo condiciones controladas en laboratorio.
3. Determinar los parámetros que definen la resistencia al corte mediante el ensayo de corte directo, en muestras con características similares a las ensayadas con el cono de penetración
4. Establecer el grado de correlación entre los parámetros de resistencia obtenidos mediante los anteriores procedimientos.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de ensayos para conocer las propiedades mecánicas del suelo, tomando en cuenta el tiempo para la realización de estos, en el presente trabajo se lleva a cabo un experimento que es una manera rápida de cuantificar las propiedades mecánicas de un suelo bajo ciertas condiciones de humedad y consistencia

El cono de penetración está normado solo para un rango de arenas finas a suelos finos exceptuando las arenas gruesas y gravas, debido a que el acomodamiento de partículas en suelos granulares gruesos es muy significativo en estos materiales, dando un resultado muy variable debido al sesgo producido por las partículas de arena gruesa y grava, es por esto que para este informe se toman en cuenta 4 muestras de el primer grupo que son arena limosa (Mixco, Guatemala), limo plástico(Mixco, Guatemala), una arcilla arenosa (San Benito, Peten), y una arcilla (San Benito, Peten).

Las normas utilizadas para el estudio fueron, ASTM D-3080 (Ensayo de corte directo no consolidado, no drenado), ASTM D-422 (Análisis granulométrico por tamizado), ASTM D-4318(Limite liquido y Plástico), ASTM-D2216(Determinación en laboratorio del contenido de Humedad de Suelo), una adaptación a laboratorio del ensayo de cono de penetración ASTM D-3441.

1 ESFUERZOS Y RESISTENCIA A CORTE

La resistencia de un suelo es la resistencia desarrollada por la combinación de una serie de factores, como la rotación de las partículas, deslizamiento y trituración, que puede ser reducida por la presión de poro, que se desarrolla durante el movimiento las partículas. Esta resistencia a la deformación es la resistencia al corte del suelo, que se desarrollan como consecuencia de esfuerzos de tensión o compresión. La resistencia al corte es medida en función de dos parámetros del suelo que son cohesión y ángulo de fricción interna. La resistencia a deslizar, rotar, de trituración de los granos y otros factores, está implícita dentro de estos dos parámetros. En forma de ecuación, la resistencia a corte se expresa como

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

Esta expresión es conocida como la ecuación de Coulomb, y usando los esfuerzos efectivos para un suelo saturado la ecuación se expresa como:

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi'$$

Donde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c' = Cohesión o cementación efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

ϕ = Ángulo de fricción interna del material

ϕ' = Ángulo de fricción efectivo.

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.

1.1 Ángulo de fricción interna

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento, el cual es un concepto básico de la física, el cual depende de varios factores entre ellos algunos de los más importantes son:

- a. Tamaño de los granos
- b. Forma de los granos
- c. Distribución de los tamaños de granos
- d. Densidad

1.2 Cohesión

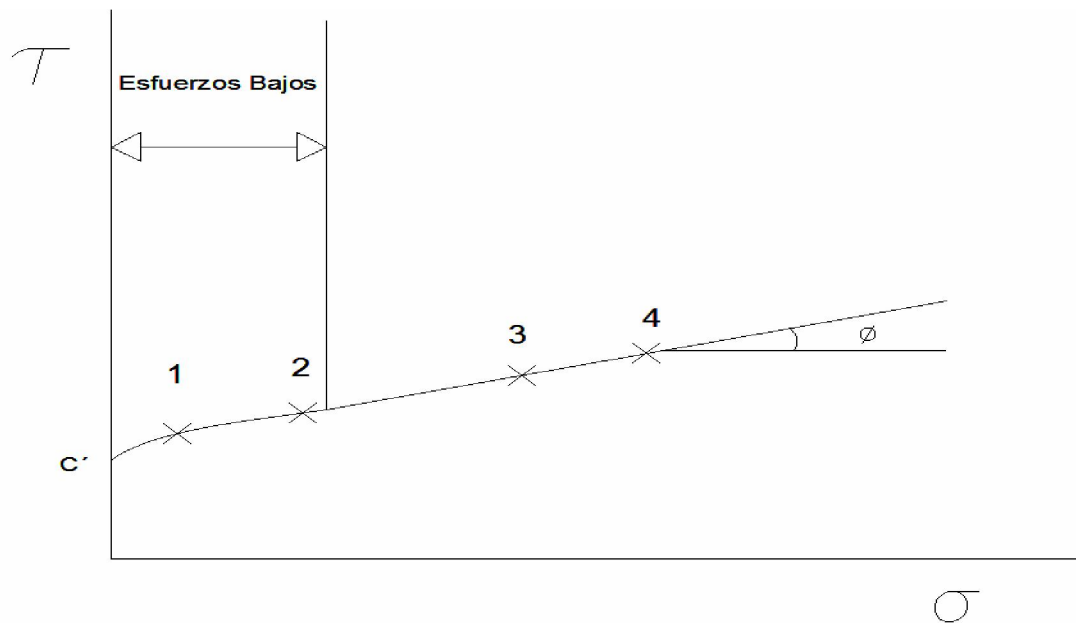
La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación.

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 cero.

El círculo de Mohr se utiliza para representar la resistencia al cortante de los suelos, utilizando una envolvente de falla Mohr – Coulomb, lo cual equivale a que una combinación crítica de esfuerzos se ha alcanzado que se ha producido la falla. En la práctica normal de la ingeniería, ésta envolvente se define como una recta, aproximada dentro de un rango de esfuerzos. Sin embargo, en la mayoría de los suelos para niveles de esfuerzos

pequeños, la envolvente no es una recta sino una curva y el error al asumirla como recta puede modificar sustancialmente el resultado de un análisis. En la figura 1, se presenta el gráfico de esfuerzos normales y cortantes con el círculo de Mohr y la envolvente de falla.

Figura 1. Gráfica de esfuerzos normales y cortantes, y determinación de cohesión y ángulo de fricción Interna.



2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para obtener los parámetros de resistencia al cortante se pueden realizar ensayos de resistencia de laboratorio o de campo o se pueden utilizar correlaciones empíricas a partir de ensayos indirectos u otras propiedades de los suelos.

2.1 Penetrómetro

Un penetrómetro es un aparato que penetra en el suelo para recabar una serie de informaciones que nos ayudaran al conocimiento directo de propiedades físicas.

A grandes rasgos se puede diferenciar dos tipos de ensayo de penetración uno el propio de los conos tanto estáticos como dinámicos y el otro referido al ensayo de penetración estándar

2.1.1 Ensayo de penetración con cono

Consiste en introducir en el espécimen sujeto a experimentación un penetrometro.

Si el penetrómetro es estático este será empujado a una velocidad constante mediante un aparato transmisor, si es dinámico se procederá al hincapie y posterior sobrepresión sobre la cabeza.

Se realizarán mediciones, de manera continua o a intervalos de profundidad determinados, de la resistencia a la penetración del cono.

2.1.1.1 Partes del penetrómetro

2.1.1.1.1 Cono La pieza situada en el extremo del penetrómetro con forma de cono, sobre la cual se desarrolla la resistencia de punta.

2.1.1.1.2 Cono simple: Un cono con una extensión cilíndrica sobre la parte cónica, de una longitud considerablemente inferior al diámetro del cono.

2.1.1.1.3 Cono con faldón Un cono prolongado con un manguito fijo más o menos cilíndrico, cuyo diámetro es menor que el diámetro del cono y con una longitud de una a tres veces dicho diámetro: este manguito se denomina faldón.

2.1.1.1.4 Piezocono: Un cono con un elemento poroso insertado en la parte cónica o en la extensión cilíndrica del cono, para medir la presión intersticial presente en el suelo durante la penetración.

2.1.1.1.5 Punta: El elemento terminal, situado en el extremo de una serie de varillas de empuje, que comprende los elementos activos que detectan la resistencia del cono, la fricción lateral local y la presión intersticial existente en el contacto entre el cono y el suelo durante la penetración.

2.1.1.1.6 Manguito de fricción: La sección de la punta del penetrómetro sobre la cual se desarrolla la resistencia lateral local.

2.1.1.1.7 Vástago: La parte cilíndrica de la punta del penetrómetro situada por encima del cono y/o el manguito de fricción.

2.1.1.2 Desarrollo del ensayo.

2.1.1.2.1 Ensayo continuo

El procedimiento del ensayo deberá ser el de penetración continua, mediante el cual se efectúan las medidas cuando todos los elementos de la punta del penetrómetro se mueven con la misma velocidad de penetración.

§ Velocidad de penetración: Deberá de ser de 20 mm/s con una tolerancia de +/-5 mm/s.

§ Intervalos de lectura: Se recomienda la lectura continua. En ningún caso el intervalo entre lecturas será superior a 0.2 m

§ Medidas de la profundidad: Las profundidades deberán medirse con una precisión de por lo menos 0.1 m

§ Presentación de los resultados: Los resultados deben presentarse en gráficos que den en función de la profundidad la variación de:

qc y eventualmente fs, Rf (If), Qt, Qst.

- Resistencia del cono qc : Se obtiene dividiendo el esfuerzo axial en el cono Qc (carga en el tubo) que actúa, por la sección máxima del cono, Ac.

$$q_c = Q_c / A_c$$

- Resistencia unitaria lateral local a la fricción fs : Se obtiene dividiendo el esfuerzo de

fricción última Q_s que actúa, por su superficie lateral, A_s .

$$F_s = Q_s / A_s$$

- Esfuerzo total Q_t : La fuerza necesaria para empujar el cono y el varillaje de empuje simultáneamente en el suelo.

- Resistencia lateral total a la fricción $Q_{st} = (Q_s)$:

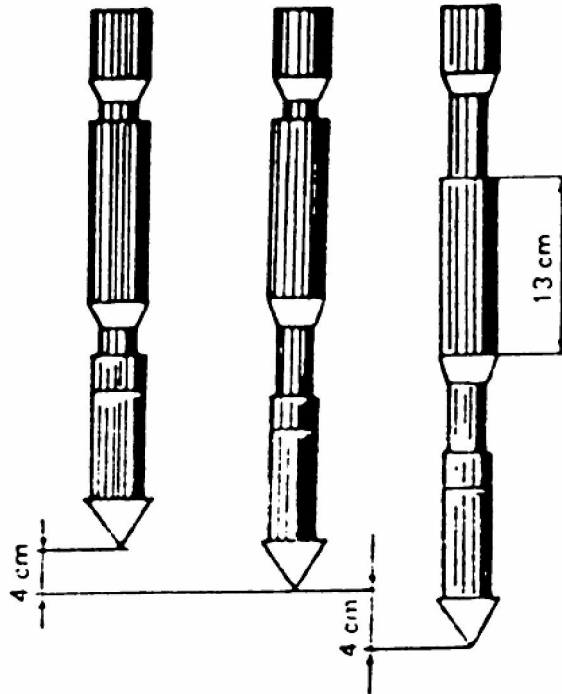
$$Q_{st} = Q_t - Q_c$$

- Relación de fricción R_f : La relación entre la fricción unitaria lateral local y la resistencia del cono, medidos a la misma profundidad, expresada en %.
- Índice de fricción I_f : La relación entre la resistencia del cono y la fricción unitaria lateral local, medidas a la misma profundidad.

2.1.1.2.2 Ensayo discontinuo.

Este es un ensayo de penetración en el que se mide la resistencia del cono, mientras el resto de los elementos de la punta del penetrómetro permanecen estacionarios. Cuando el penetrómetro incluye también un manguito de fricción, se mide la suma de la resistencia del cono y la fricción lateral local, cuando se empujan simultáneamente tanto el cono como el manguito de fricción, mientras el resto de los elementos de la punta del penetrómetro permanecen estacionarios.

Figura 2. Cono de penetración estándar mecánico así como sus medidas principales



2.1.1.2.3 Ensayo a escala de laboratorio.

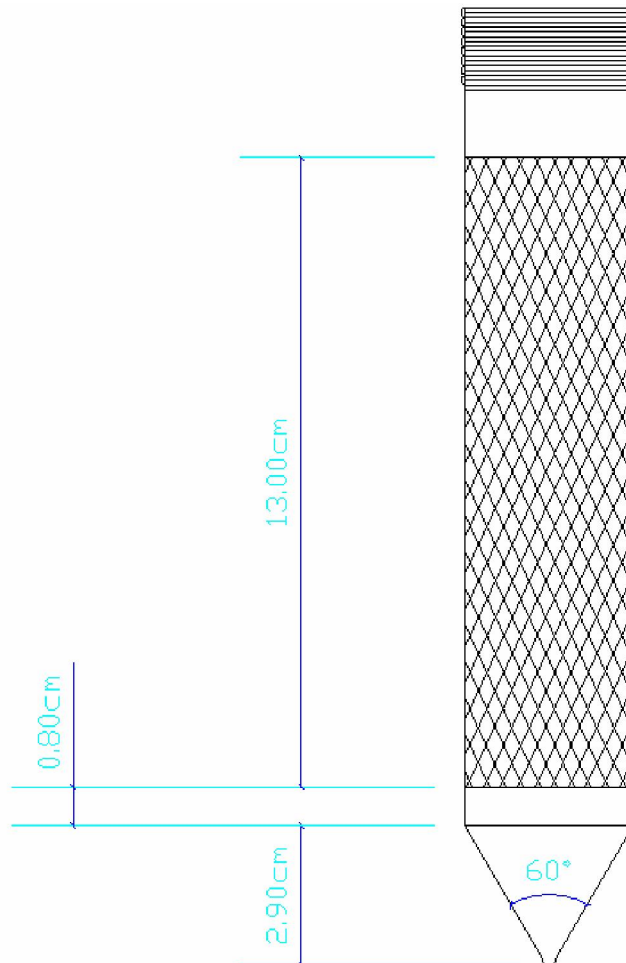
Considerando las ventajas que ofrece el ensayo de penetración en campo se decidió utilizar este procedimiento para ensayo de muestras a escala de laboratorio, para lo cual se utilizó un cono con las medidas especificadas, según norma ASTM – D3441, el cual se adaptó a un equipo de laboratorio. El cono trabaja estáticamente y se puede dividir en tres partes

- Punta:

Un cono de 60 grados en la punta termina en una esfera de 3mm, tiene una altura de 29mm

- Cilindro sin fricción
Parte cilíndrica del cono con superficie lisa, este cilindro tiene una altura de 8mm se encuentra después de la punta.
- Cilindro con fricción
Parte cilíndrica del cono con superficie corrugada, este cilindro tiene una altura de 13mm se encuentra después del cilindro sin fricción.

Figura 3. Esta figura muestra el cono utilizado para ensayar los materiales, cuenta con 3 partes: punta, cono sin fricción, cono con fricción



2.2 Ensayo 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.

Las ventajas de los ensayos de corte directo son 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.

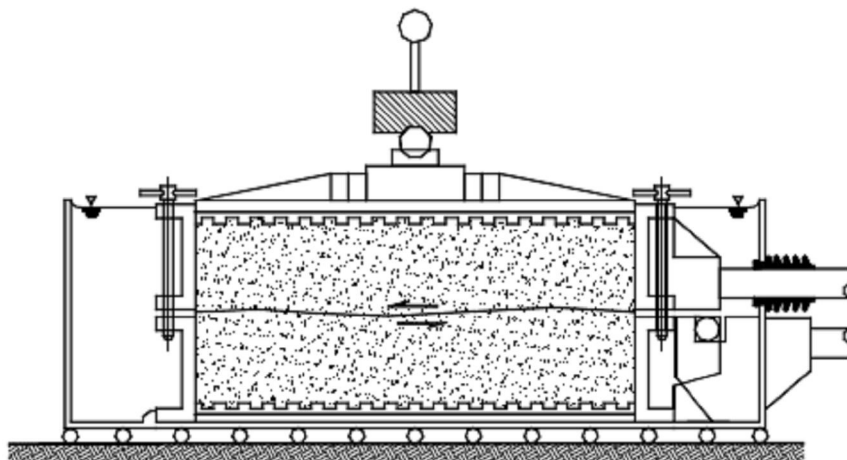
En este ensayo la resistencia al cortante puede medirse en un plano predeterminado, cortando la muestra con una determinada orientación. La superficie de falla es predefinida y no depende de las propiedades del suelo, y por esta razón los valores de resistencia obtenidos tienden a ser mayores que en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

2.2.1 Metodo de ensayo

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.

Este ensayo consiste en colocar el espécimen del ensayo en una caja de corte directo compuesta por dos anillos, 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 corte y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es ensayada.

Figura 4. Detalle caja de ensayo para corte directo



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.

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 cuatro pruebas para cada tipo de suelo.

2.2.2 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 utilizará 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.

2.2.3 Preparación de la muestra

2.2.3.1 Muestras inalteradas

Se debe Preparar los especímenes a partir de muestras grandes inalteradas o de muestras obtenidas de acuerdo con la Norma D1587. Las muestras inalteradas deben ser preservadas y transportadas como se define para las muestras de los grupos C o D en la Norma D4220. Manipule los especímenes cuidadosamente para minimizar la alteración, los cambios en la sección transversal o la pérdida en el contenido de humedad. Prepare muestras recortadas, siempre que sea posible en un ambiente que minimice los cambios de humedad del espécimen.

2.2.3.2 Especímenes compactados

Los especímenes deben ser preparados utilizando el método de compactación y el contenido de agua y el peso unitario que el interesado solicite. Acto seguido se arma y asegura la caja de corte. Colocando un bloque poroso en el fondo de la caja de corte. Los especímenes pueden ser moldeados por amasado o compactando cada capa hasta que la masa acumulada de suelo colocada en la caja de corte 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 corte definido por las mitades de la caja, 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 corte. Compacte el suelo hasta que obtenga el peso unitario deseado. Continúe colocando y compactando el suelo hasta que todo el espécimen esté compactado.

3 SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE MUESTRAS

3.1 Selección de Muestras

Para el estudio se utilizaron 4 tipos diferentes de suelo, fueron seleccionados para obtener propiedades físicas y mecánicas diferentes, todos los materiales fueron homogeneizados para poder tener resultados representativos.

A continuación se detalla información de cada uno de ellos.

- Suelo limo plástico con arena color café oscuro, Procedencia Mixco, Pinares
- Suelo Areno limoso color café claro, Procedencia Pie de Talud Mixco, Pinares
- Suelo Arcilloso con arena color beige, Procedencia San Benito Petén
- Suelo Arcilloso color gris oscuro, Procedencia San Benito Petén

Las muestra fueron obtenidas según norma ASTM – D420 para después llevarlas a laboratorio para posterior ensayo

Los ensayos realizados para determinar propiedades físicas fueron los siguientes:

- Descripción Visual ASTM – D2448
- Granulometría ASTM – D422
- Proctor Modificado ASTM – D1557
- Límites de Atterberg ASTM – 4318

Con los resultados de las pruebas físicas se clasificaron, según SCU (Sistema de Clasificación Unificado) ASTM – D2487 y P.R.A. (Public Roads Administration) ASTM – D3282.

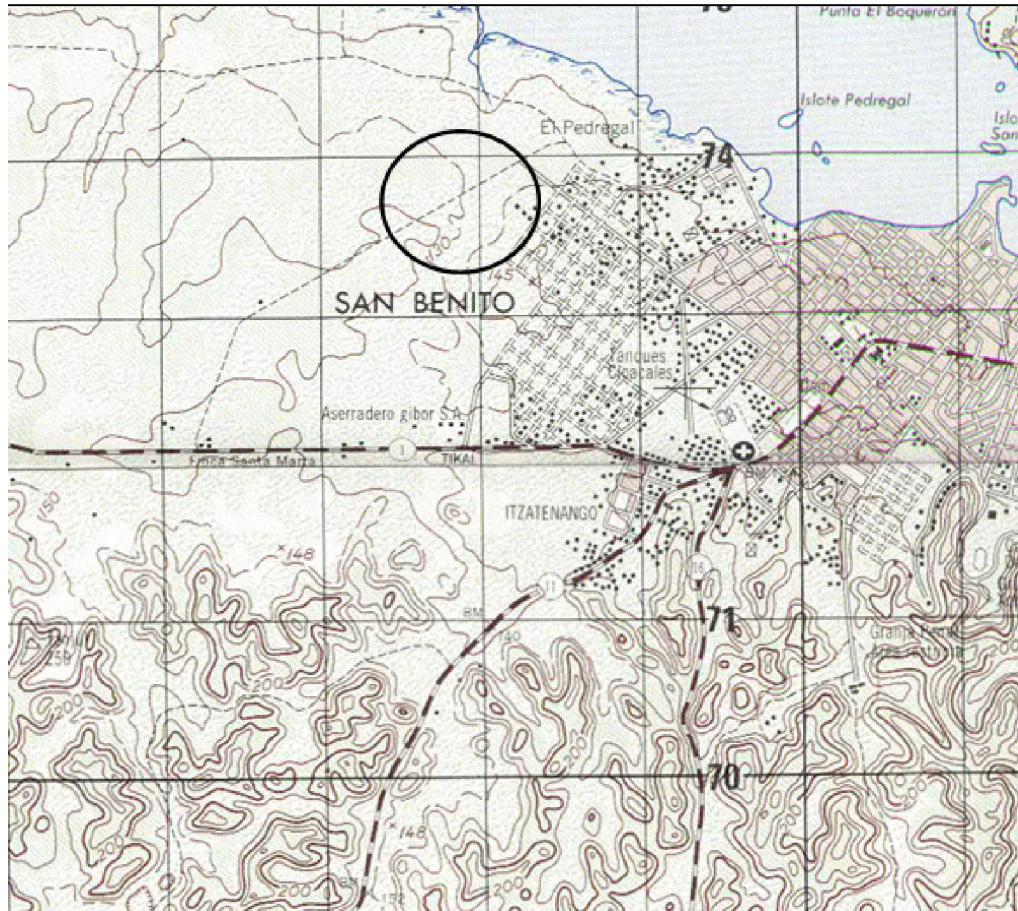
Los ensayos realizados para determinar propiedades mecánicas fueron los siguientes:

- Ensayo de corte directo ASTM – D2850
- Ensayo de penetración

Con el ensayo de corte directo se encuentra un ángulo de fricción interna y cohesión y con cono de penetración una serie de datos que correlacionen las anteriores variables.

3.2 Ubicación de la procedencia de las muestras

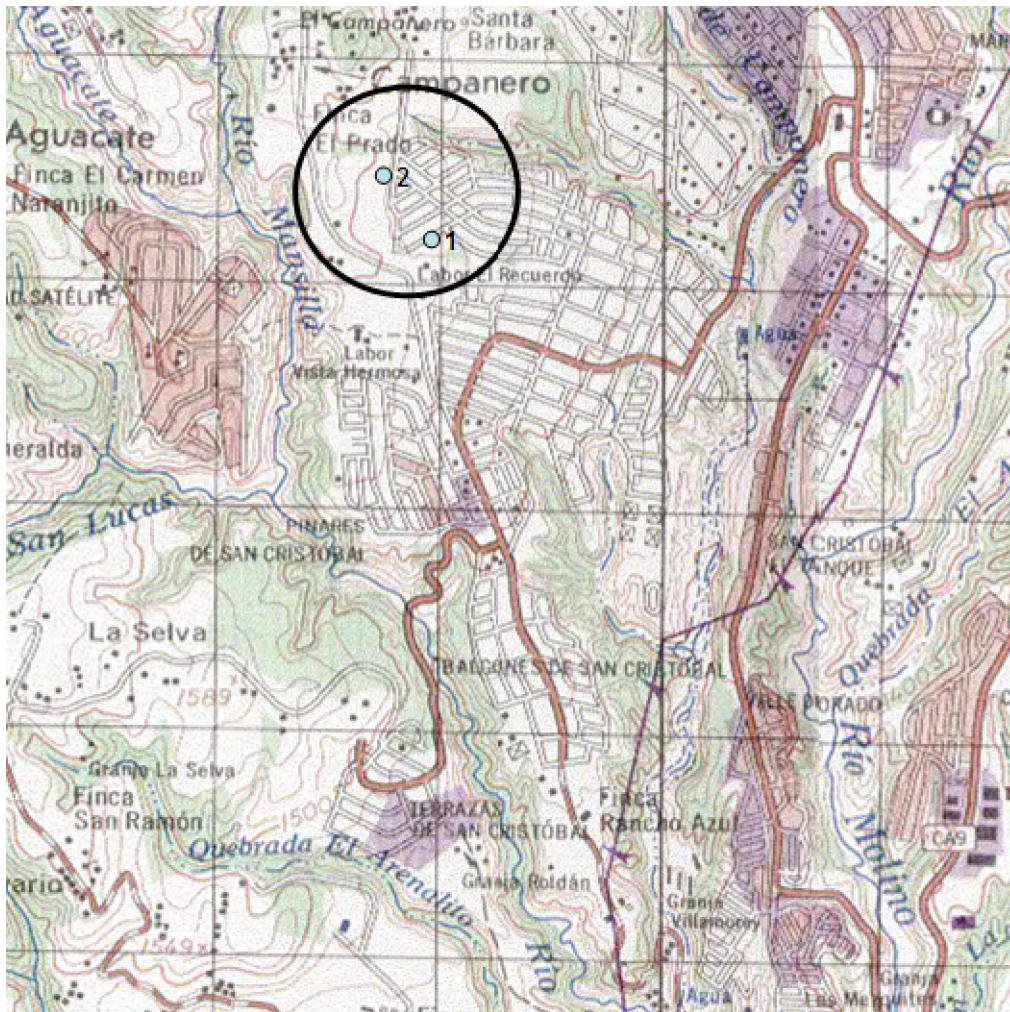
Figura 5: Procedencia de Materiales arcilla con arena color beige y arcilla color beige oscuro, localizado geográficamente en el sitio San Benito, Petén.



Coordenadas UTM

X: 187694
Y: 1873166
Z: 130

Figura 6: Procedencia de Materiales arena limosa café claro (1) y limo plástico color café oscuro(2), localizado geográficamente en Pinares de San Cristóbal.



Coordenadas UTM

	Punto 1		Punto 2
X:	1612912	X:	1612912
Y:	758535	Y:	758535
Z:	1600	Z:	1600

4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Todos los ensayos fueron realizados en laboratorio privado Servicios Unificados de Ingeniería.

4.1 Ensayo corte directo

Para realizar el ensayo por cada material, se realizaron cuatro 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 trabajar con densidades variables para emular las diferentes condiciones naturales y humedad óptimo, tanto en las cuatro muestras

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.

Figura 7. HUMBOLDT, modelo HM-2700.3F



4.1.1 Elaboración especímenes corte directo

- Se secaron y homogeneizaron las muestras.
- Se procedió a deshacer los grumos con un trozo de madera y con el martillo de hule.
- Se calcula la humedad natural, se procede a agregar el agua que falta para obtener la humedad óptima del suelo.
- Se toma Peso Unitario del ensayo de cono de penetración, y se calcula la cantidad adecuada de material para poder alcanzar la densidad deseada
- Se introdujo el suelo en el molde de corte directo, en una sola capa.

- 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.
- El pistón se desplazaba de arriba hacia abajo auxiliado de una manecilla metálica.

4.1.2 Colocación muestra en máquina 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. El esfuerzo inicial es de 0.2934 T/ft^2 (Se realizan otras tres pruebas con Esfuerzo de 0.587 T/ft^2 , 1.17 T/ft^2 y 2.64 T/ft^2).
- 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.

4.2 Ensayo cono de penetración

Para realizar el ensayo por cada material se realizaron tres pruebas, a diferente densidad correlacionales con el corte directo, se trabajó con muestras remoldeadas hasta obtener condiciones uniformes; para ello fue necesario trabajar con densidades variables para emular las diferentes condiciones naturales y humedad óptima,

El equipo utilizado para este ensayo fue el aparato:

HUMBOLDT MSG Modelo H-4457.

Este tiene una manivela, se utilizó una velocidad de 0.15 plg por minuto controlado manualmente. Cuenta con un deformometro para medir penetración (Humboldt, 0.001”) y un anillo para medir cargas (Humboldt aprox 0.0001”). La carga máxima es de 10,000 lb. (44.5kN).

4.2.1 Elaboración especímenes para ensayo de cono de penetración

- Se secaron y homogeneizaron las muestras.
- Se procedió a deshacer los grumos con un trozo de madera y con el martillo de hule.
- Se calcula la humedad natural, se procede a agregar el agua que falta para obtener la humedad óptima del suelo.
- En 3 moldes (13.33 ft³) se introduce un espaciador.
- Se introduce 5 capas de suelo con una fuerza de compactación igual en cada capa.
- Se retira el espaciador.
- Se calcula la densidad de cada probeta.

Tabla I. Volumen de probetas para ambos ensayos

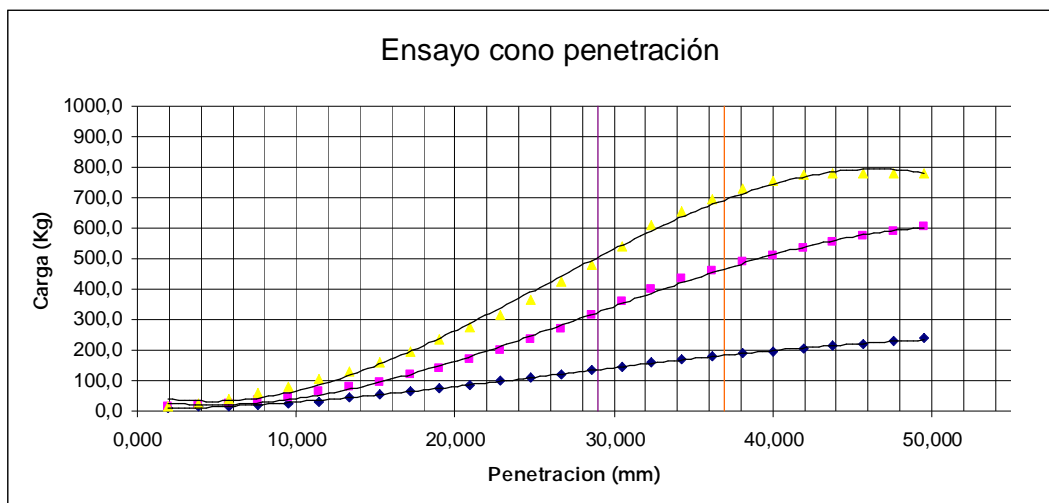
	Limo Plástico	Arena Limosa	Arcilla c/ arena	Arcilla
Volumen Molde CP	0,38 m ³	0,38 m ³	0,38 m ³	0,38 m ³
Volumen Molde CD	81 cm ³	81 cm ³	81 cm ³	81 cm ³

4.2.2 Elaboración ensayo

- El molde se coloca en la base.
- Se baja la punta hasta hacer contacto con el material.
- Se colocan en cero el deformometro de penetración.
- Se coloca el anillo de carga en cero.
- Se baja la punta a una velocidad constante de 0.4cm/min..
- Se toman datos de anillo cada 0.20cm de penetración.
- Se introduce la punta hasta llegar a 50mm.
- Se retira la punta y el molde de la base.

Con los datos de la carga en el recorrido de 50mm se obtiene la siguiente gráfica

Figura 8. Gráfica típica cono de penetración a diferentes densidades



Se toman en cuenta los valores críticos, el final de la punta (29mm), final del cilindro sin fricción (37mm) y carga final (50mm) denotado.

5 RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los ensayos realizados a las diferentes muestras, los cuales se dividen según sus propiedades.

El primer grupo se analizan propiedades físicas de los materiales utilizados, descripción visual (ASTM – 2488), Proctor modificado (ASTM – D1557), límites de Atterberg (ASTM – D4318), Granulometría (ASTM – D422) y con base a estos su clasificación, según lo muestra Tabla II.

El segundo grupo se analizan propiedades mecánicas de los materiales utilizados, ángulo de fricción interna, cohesión, humedad, y datos obtenidos del cono de penetración según lo muestran las tablas III, IV, V, VI.

5.1 Descripción de muestras

Para la descripción de las muestras se procedió a ordenar resultados de cada muestra para poder encontrar los rasgos característicos de cada y poder tomar un promedio para fines prácticos.

5.1.1 Limo plástico

Este material se clasifica como un limo plástico con arena color café oscuro, (ML)s, Según la clasificación C.S.U.(ASTM - D2487) y (A – 7 – 5) según clasificación P.R.A.

5.1.2 Arena limosa

Este material se clasifica como una arena limosa color café claro, (SM), según la clasificación C.S.U. (ASTM - D2487) y (A – 4) según clasificación P.R.A.

5.1.3 Arcilla con arena

Este material se clasifica como un suelo arcilloso plástico con arena color beige, (CH)s, según la clasificación C.S.U. (ASTM - D2487) y (A – 7 – 6) según clasificación P.R.A.

5.1.4 Arcilla

5.1.4 Arcilla

Este material se clasifica como un suelo arcilloso plástico color gris oscuro, (CH), según la clasificación C.S.U. (ASTM - D2487) y (A – 7 – 6) según clasificación P.R.A.

5.2 Resultados de ensayos

Los resultados mostrados a continuación se prepararon con humedad óptima y densidades variables de manera controlada para obtener resultados confiables.

5.2.1 Propiedades físicas

5.2.1.1 Limo plástico

La densidad máxima de proctor es 1.57 T/m^3 . Para el cono de penetración se utilizaron densidades, mínimo 1.25 T/m^3 y máximo 1.53 T/m^3 que representan el 79 % y 97% de la compactación del proctor respectivamente, para el ensayo de corte directo se utilizaron las densidades del cono de penetración con una variación $\pm 0.01 \text{ T/m}^3$, la humedad óptima, según proctor es de 22.3%, las variaciones de humedad entre los ensayos de cono de penetración, Proctor y corte directo no sobrepasa 2%

5.2.1.2 Arena limosa.

La densidad máxima de proctor es 1.31 T/m^3 . Para el cono de penetración se utilizaron densidades, mínimo 1.03 T/m^3 y máximo 1.30 T/m^3 que representan el 78 % y 99% de la compactación del proctor respectivamente, para el ensayo de corte directo se utilizaron las densidades del cono de penetración con una variación $\pm 0.01 \text{ T/m}^3$, la humedad óptima, según proctor es de 28.0%, las variaciones de humedad entre los ensayos de cono de penetración, Proctor y corte directo no sobrepasa 2%.

5.2.1.3 Arcilla con arena.

La densidad máxima de proctor es 1.69 T/m^3 . Para el cono de penetración se utilizaron densidades, mínimo 1.39 T/m^3 y máximo 1.66 T/m^3 que representan el 82 % y 98% de la compactación del proctor respectivamente, para el ensayo de corte directo se utilizaron las densidades del cono de penetración con una variación $\pm 0.01 \text{ T/m}^3$, la humedad óptima, según proctor es de 21.5%, las variaciones de humedad entre los ensayos de cono de penetración, Proctor y corte directo no sobrepasa 2%.

5.2.1.3 Arcilla.

La densidad máxima de proctor es 1.49 T/m^3 . Para el cono de penetración se utilizaron densidades, mínimo 1.15 T/m^3 y máximo 1.47 T/m^3 que representan el 77 % y 99% de la compactación del proctor respectivamente, para el ensayo de corte directo se utilizaron las densidades del cono de penetración con una variación $\pm 0.01 \text{ T/m}^3$, la humedad óptima, según proctor es de 26.4%, las variaciones de humedad entre los ensayos de cono de penetración, Proctor y corte directo no sobrepasa 1%.

5.2.2 Propiedades mecánicas

5.2.2.1 Limo plástico

El ángulo de fricción interna varía en un rango de $[34.6^\circ, 42.3^\circ]$, la pendiente la cual se busca correlación varía en un rango de $[76.1^\circ, 86.7^\circ]$.

La cohesión varía en un rango $[0.12\text{T/m}^2, 1.07\text{T/m}^2]$ la carga a penetración de 50mm, la cual se busca correlación varía en un rango de $[0.26\text{T}, 1.03\text{T}]$

5.2.2.2 Arena limosa.

El ángulo de fricción interna varía en un rango de $[33.7^\circ, 45.0^\circ]$, la pendiente, la cual se busca correlación varia en un rango de $[80.0^\circ, 87.3^\circ]$.

La cohesión varia en un rango $[0.0T/m^2, 0.71T/m^2]$ la carga a penetración de 50mm, la cual se busca correlación varia en un rango de $[0.22T, 0.88T]$

5.2.2.3 Arcilla con arena.

El ángulo de fricción interna varía en un rango de $[18.4^\circ, 33.0^\circ]$, la pendiente, la cual se busca correlación varia en un rango de $[44.5^\circ, 65.0^\circ]$.

La cohesión varia en un rango $[0.60T/m^2, 2.76T/m^2]$ la carga a penetración de 50mm, la cual se busca correlación varia en un rango de $[0.15T, 0.27T]$

5.2.2.3 Arcilla.

El ángulo de fricción interna varía en un rango de $[18.4^\circ, 28.8^\circ]$, la pendiente, la cual se busca correlación varia en un rango de $[71.9^\circ, 78.8^\circ]$.

La cohesión varia en un rango $[0.84T/m^2, 2.92T/m^2]$ la carga a penetración de 50mm, la cual se busca correlación varia en un rango de $[0.21T, 0.50T]$

Tabla II. Propiedades Físicas de Materiales Analizados

Propiedades Físicas	Limo plástico Pinares	Arena limosa Mixco	Arcilla con arena Sn Benito	Arcilla Sn Benito
Descripción Visual (ASTM - D2488)	Suelo limo plástico con arena color café oscuro	Suelo areno limoso color café claro	Suelo arcilloso plástico con arena color beige	Suelo arcilloso plástico color gris oscuro
Proctor Modificado (ASTM - D1557)				
PUS	1,58 T / m ³	1,31 T / m ³	1,67 T / m ³	1,49 T / m ³
PUH	1,93 T / m ³	1,67 T / m ³	2,04 T / m ³	1,87 T / m ³
Humedad	22,3 %	28,0 %	21,5 %	26,4 %
Granulometría (ASTM - D422)				
Tamiz 4	% que Pasa 98 %	% que Pasa 100 %	% que Pasa 100 %	% que Pasa 100 %
Tamiz 10	98 %	100 %	100 %	100 %
Tamiz 40	90 %	76 %	94 %	96 %
Tamiz 100	77 %	55 %	86 %	91 %
Tamiz 200	70 %	43 %	82 %	89 %
Límites de Atterberg (ASTM - D422)				
Límite Líquido	44 %	N.P.*	59 %	103,3 %
Límite Plástico	30 %	N.P.*	21 %	37,2 %
IP	14 %	N.P.*	39 %	66,1 %
Clasificación (ASTM - D2487)	(M L)s A - 7 - 5	(S M) A - 4	(C H)s A - 7 - 6	(C H) A - 7 - 6

(*) No Plástico

Tabla III: Propiedades mecánicas, corte directo y cono de penetración para suelo limo plástico
Limo Plástico

Densidad T/m ³	Corte Directo			CPT				
	Humedad %	Angulo °	Cohesion T/m ²	Densidad T/m ³	Humedad %	Pendiente Punta	Pendiente Cilindro	Penetracion 50 mm
1,19	23,30	41,08	0,21	1,25	20,70	83,00	76,10	280,00
1,28	23,20	37,25	0,12	1,28	23,20	83,12	79,03	268,00
1,39	19,00	39,09	0,75	1,37	21,60	86,85	85,33	585,00
1,41	23,80	34,60	0,44	1,42	24,30	85,75	82,91	457,00
1,46	18,00	42,25	1,07	1,49	21,60	88,22	86,71	1030,00
1,54	23,30	37,96	0,93	1,54	25,10	88,13	85,65	905,00

Tabla IV, Propiedades mecánicas, corte directo y cono de penetración para suelo areno limoso
Arena Limosa

Densidad T/m ³	Corte Directo			CPT				
	Humedad %	Angulo °	Cohesion T/m ²	Densidad T/m ³	Humedad %	Pendiente Punta	Pendiente Cilindro	Penetracion 50 mm
1,01	28,50	35,04	0,00	1,03	25,80	77,73	80,01	215,00
1,10	26,20	33,69	0,52	1,11	26,90	84,84	84,92	455,00
1,15	28,20	40,66	0,04	1,13	30,30	83,72	81,32	310,00
1,18	26,40	35,90	0,71	1,18	26,00	86,13	87,08	675,00
1,24	27,70	45,04	0,20	1,22	30,30	86,36	85,72	510,00
1,32	27,50	41,97	0,35	1,30	30,30	88,10	87,33	880,00

Tabla V: Propiedades mecánicas, corte directo y cono de penetración para suelo arcillo arenoso Arcilla con Arena

Densidad T/m ³	Corte Directo			CPT				
	Humedad %	Angulo °	Cohesion T/m ²	Densidad T/m ³	Humedad %	Pendiente Punta	Pendiente Cilindro	Penetracion 50 mm
1,41	22,10	32,05	0,60	1,40	21,00	80,64	64,24	170,00
1,43	21,20	18,36	1,43	1,41	22,80	78,10	44,51	147,00
1,61	21,90	25,52	1,91	1,58	22,40	81,71	61,14	194,00
1,62	21,40	21,76	1,77	1,59	23,40	83,70	49,87	232,00
1,67	21,00	23,89	2,47	1,64	23,30	81,83	52,60	197,00
1,67	21,90	32,98	2,76	1,66	23,10	84,53	64,99	275,00

Tabla VI: Propiedades mecánicas, corte directo y cono de penetración para suelo arcilloso Arcilla

Densidad T/m ³	Corte Directo			CPT				
	Humedad %	Angulo °	Cohesion T/m ²	Densidad T/m ³	Humedad %	Pendiente Punta	Pendiente Cilindro	Penetracion 50 mm
1,14	29,10	22,05	0,84	1,15	26,40	81,52	73,98	209,00
1,43	21,20	18,36	1,43	1,16	26,60	82,83	78,74	267,00
1,61	21,90	23,55	2,01	1,34	26,20	86,85	78,75	470,00
1,33	29,10	19,17	1,93	1,34	25,60	86,09	74,97	384,00
1,67	21,00	28,80	2,23	1,46	26,70	87,17	76,46	503,00
1,46	26,20	27,59	2,92	1,46	24,40	86,75	71,89	445,00

6 CORRELACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los datos y correlaciones entre ángulo de fricción interna y cohesión obtenidas de las ecuaciones en la gráfica cohesión vrs carga y pendiente vrs ángulo de fricción.

Cuadro VII. Parámetros de las ecuaciones de tendencia de las graficas cohesión – carga para los suelos estudiados, para penetraciones de 29mm y 50mm, también se muestra coeficiente r^2

Suelo	mm	X^2	X	c	R^2
ML	50	610,8	82,5	251,6	0,98
	29	479,1	-87,7	166,9	0,95
SM	50	-3005,1	2057,7	222,3	0,81
	29	-1539,5	998,0	110,0	0,90
(CH)s	50	29,9	-50,2	189,1	0,75
	29	27,3	-44,8	128,0	0,93
CH	50	137,0	-197,9	276,5	0,97
	29	156,6	-285,8	245,9	0,98

6.1 Análisis de resultados

6.1.1 Correlación ángulo de fricción interna

De acuerdo con los resultados se ve que en general no se observa una buena correlación en el ángulo de fricción interna (ϕ) obtenido por el ensayo de corte directo con el cono de penetración, salvo por la arcilla arenosa por lo que se recomienda ampliar la investigación con relación a este parámetro.

6.1.2 Correlación cohesión

De acuerdo a los resultados se observa una buena correlación para la mayoría de suelos esto se evidencia en los valores R^2 cercanos a 1, sin embargo, el suelo areno limoso presenta una curva diferente a las demás, por lo que se considera necesario ampliar el número de datos para mejorar el conocimiento en relación a este material.

CONCLUSIONES

1. Con el presente trabajo se definió un procedimiento para la realización del ensayo del cono de penetración que se considera confiable y apropiado para la determinación, para las propiedades mecánicas de los suelos finos.
2. Del ensayo de cono de penetración se obtiene una curva carga – penetración, esta es uniforme, está formada por tres segmentos, el primer segmento es una curva cóncava hacia arriba correspondiente a la penetración de la punta lo dos siguientes son rectas con diferentes pendientes correspondientes a el cilindro de textura lisa y corrugada.
3. La cohesión obtenida por el ensayo de corte directo en tiene una correlación muy buena con la carga de penetración a 50mm, el suelo areno limoso es el que presenta una mayor dispersión en los datos de correlación.
4. Se determinó que para el suelos ensayados, compactados a densidad variable y humedad óptima la cohesión está determinada por las siguientes ecuaciones:

4.1 Muestra 1 (arena – limosa):

$$C_o = -1E-06E2(P_{50})^2 + 0,002(P_{50}) - 0,4002$$

C_o = Cohesión, P_{50} = Carga a una penetración de 50mm

La ecuación muestra coeficiente de correlación $r= 0.87$ y
coeficiente de determinación $r^2= 0.76$

4.2 Muestra 2 (limo – plástico):

$$C_o = -1E-06 (P_{50})^2 + 0,0027 (P_{50}) - 0,4806$$

C_o = Cohesión, P_{50} = Carga a una penetración de 50mm

La ecuación muestra coeficiente de correlación $r = 0.99$ y
coeficiente de determinación $r^2 = 0.98$

4.3 Muestra 3 (arcilla con arena):

$$C_o = -9E-05 (P_{50})^2 + 0,0513 (P_{50}) - 4,2496$$

C_o = Cohesión, P_{50} = Carga a una penetración de 50mm

La ecuación muestra coeficiente de correlación $r = 0.84$ y
coeficiente de determinación $r^2 = 0.71$

4.4 Muestra 4 (arcilla):

$$C_o = -1E-05(P_{50})^2 + 0,0147(P_{50}) - 1,5347$$

C_o = Cohesión, P_{50} = Carga a una penetración de 50mm

La ecuación muestra coeficiente de correlación $r = 0.99$ y
coeficiente de determinación $r^2 = 0.97$

5. Se determinó que para los suelos ensayados, compactados a densidad variable y humedad óptima el ángulo de fricción interna (Φ) obtenido por medio del ensayo de corte directo en la mayoría de los casos no existe correlación.

6. El ángulo de fricción interna es mayor en los materiales granulares, limosos y arena limosos que en los cohesivos arcillosos, esto también se evidencia en la segunda pendiente de la gráfica del cono de penetración, lo que muestra que existe una tendencia que se podría confirmar si se amplía el estudio.
7. El único material que se encontró una buena correlación entre el ángulo de fricción interna y la segunda pendiente de la gráfica carga penetración del cono de penetración fue suelo arcilloso con arena, la cual se describe a continuación:

$$\Phi_{CD} = 0,0159(\Phi_{cp})^2 - 1,1096(\Phi_{cp}) + 36,98$$

Φ_{CD} : ángulo de corte directo

Φ_{cp} : ángulo de 2 pendiente cono penetración

La ecuación muestra coeficiente de correlación $r = 0.96$ y coeficiente de determinación $r^2 = 0.94$

8. Es importante tener en cuenta, que este procedimiento fue desarrollado por la necesidad de conocer las características de suelos finos, más rápido y económicamente.

RECOMENDACIONES

1. Es importante hacer un estudio para comparar los resultados del cono de penetración desarrollado en este trabajo, con el ensayo de triaxial para evaluar si los resultados del ángulo de fricción interna (Φ) mejora la correlación.
2. Se recomienda hacer una evaluación del comportamiento ante el cono de penetración con otro tipo de suelos, de diferente naturaleza y procedencia
3. Se debe hacer una evaluación del comportamiento de un material específico, variando del contenido de humedad.
4. Se recomienda hacer más ensayos de el suelo areno limoso, debido a su dispersión en los datos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jaime Suárez Díaz. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas tropicales, Editorial Publicaciones UIS, Primera Edición, Colombia 1998, 548 pág.
2. Joseph E. Bowles, Foundation Análisis and Design, Editorial Mcgraw – Hill, Cuarta Edición, Estados Unidos, 1968, 1004 pág.
3. J. L. Varela é I. G. Herrero, Exploración del Subsuelo mediante Penetrometro, Ingeniería Técnica de Minas, España, 2001, 39 pág.
4. ASTM Standard D-422: Method for Particle-Size Analysis of Soils.
5. ASTM Standard D-2488: Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).
6. ASTM Standard D-698: Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12400 ft-lbf/ft³ (600KNm/m³)).
7. ASTM Standard D-4220: Practices for Preserving and Transporting Soil Samples.
8. ASTM Standard D-2487: Test Method for Classification of Soils for Engineering Purposes.
9. ASTM Standard D-4318: Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

10. ASTM D 3441 Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil.
11. ASTM D 3080 Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions

APÉNDICE A
Fotografías de ensayos

APÉNDICE A



Figura 9 aparato corte directo



Figura 10. Adaptación como penetración laboratorio



Figura 11. Confirmación densidad de probeta

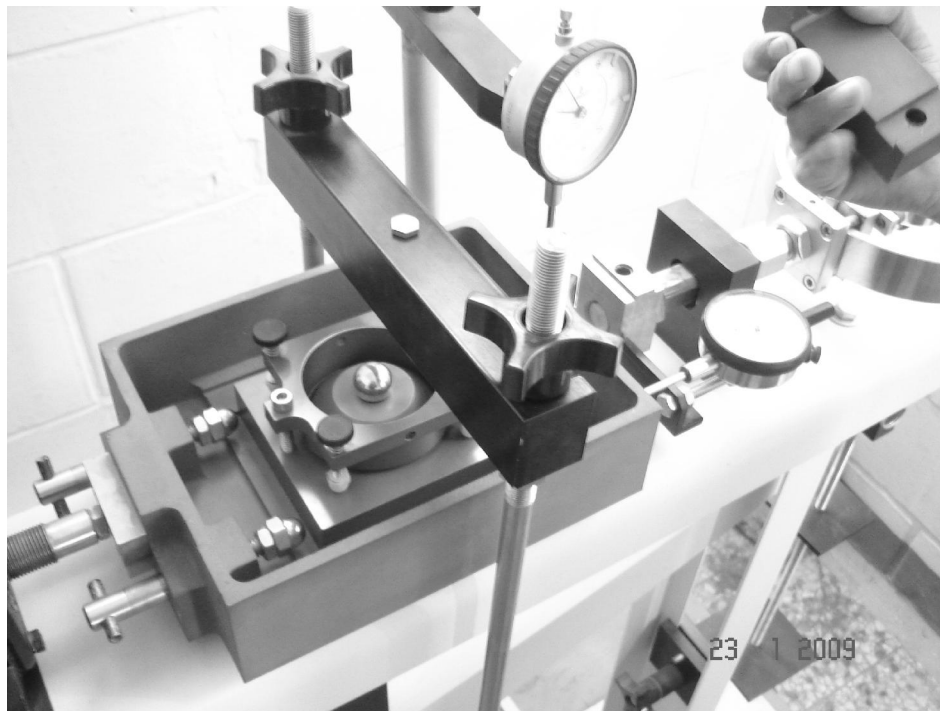


Figura 12. Caja de ensayo corte directo

Figura 13 Muestras ensayadas de corte directo



Figura 14. Muestra ensayada cono de penetracion



Figura 15. Adaptación a cono de penetración



APÉNDICE B
Gráficas de correlaciones

APÉNDICE B

Figura 17. Gráfica correlación cohesión vrs carga a 50mm, suelo areno limoso

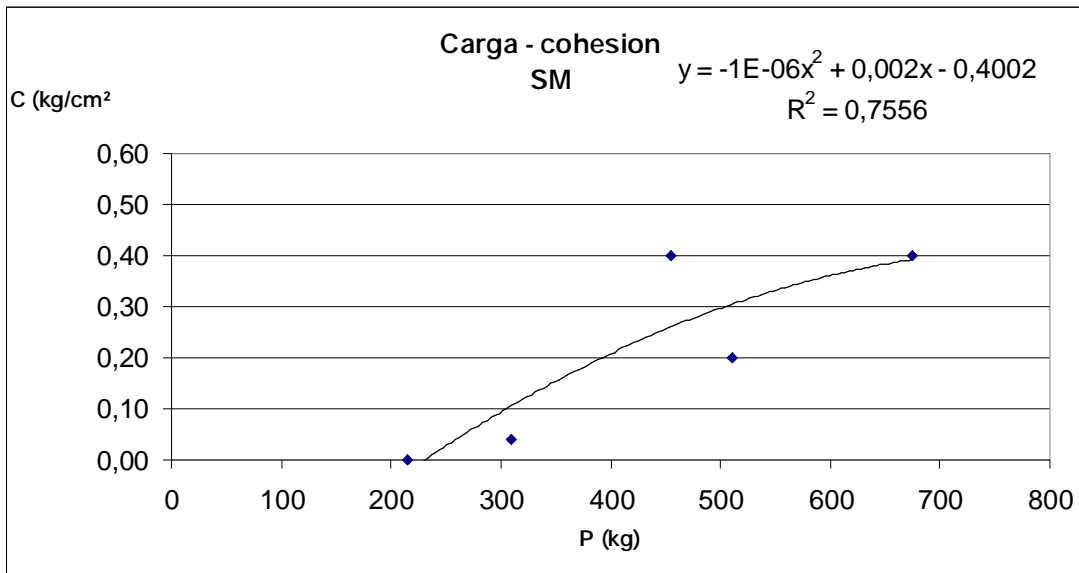


Figura 18. Gráfica correlación ángulo fricción interna vrs pendiente gráfica, suelo areno limoso.

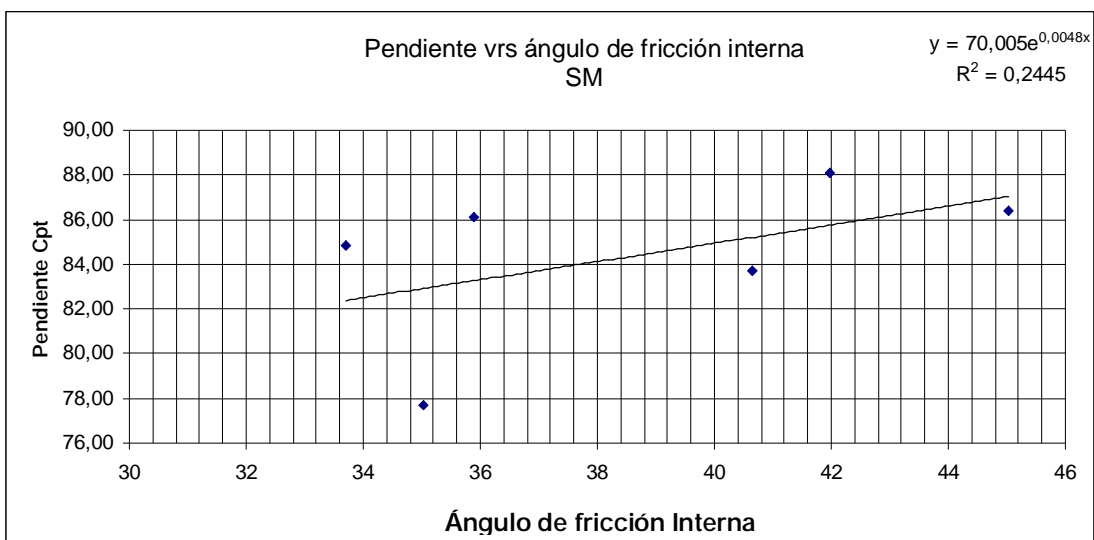


Figura 19. Gráfica correlación cohesión vrs carga a 50mm suelo limo plástico

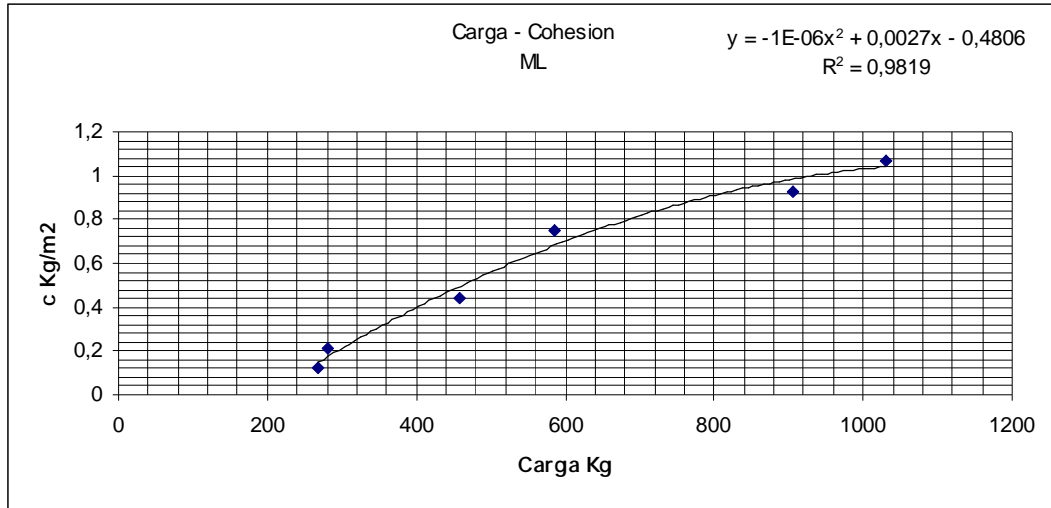


Figura 20. Gráfica correlación ángulo fricción interna vrs pendiente carga penetración, suelo limo plástico, no muestra ninguna correlación.

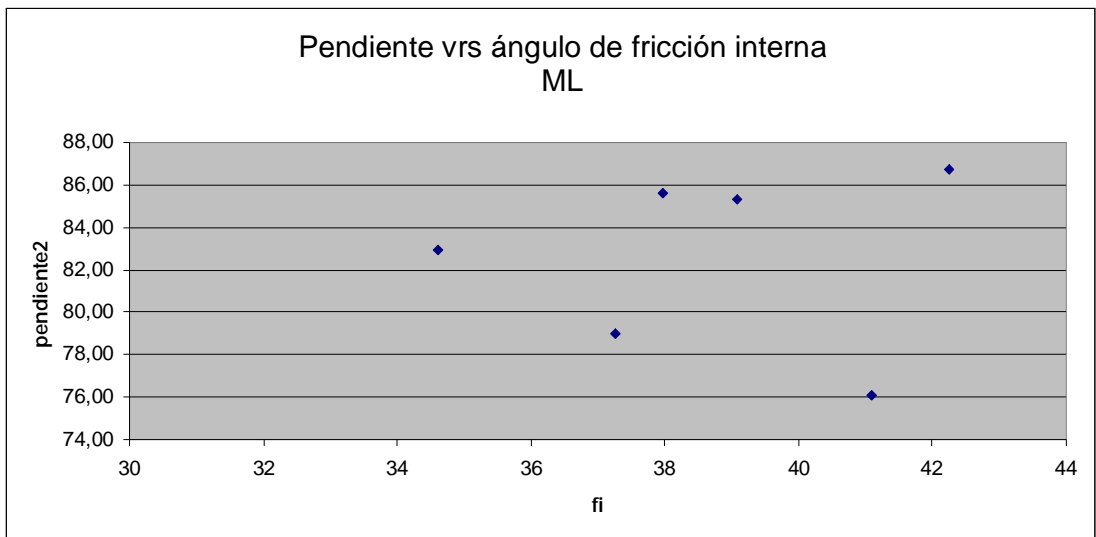


Figura 21. Gráfica correlación cohesión vrs carga a 50mm suelo arcilloso con arena

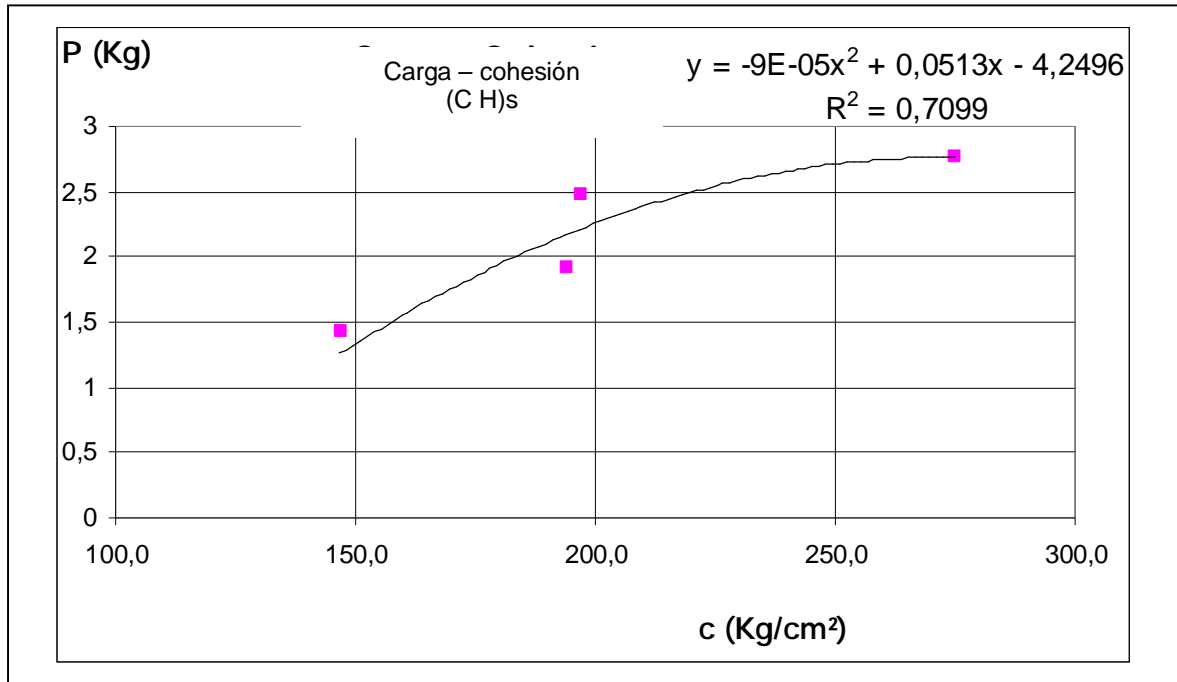


Figura 22. Gráfica correlación ángulo fricción interna vrs pendiente carga penetración cono de penetración suelo arcilloso con arena.

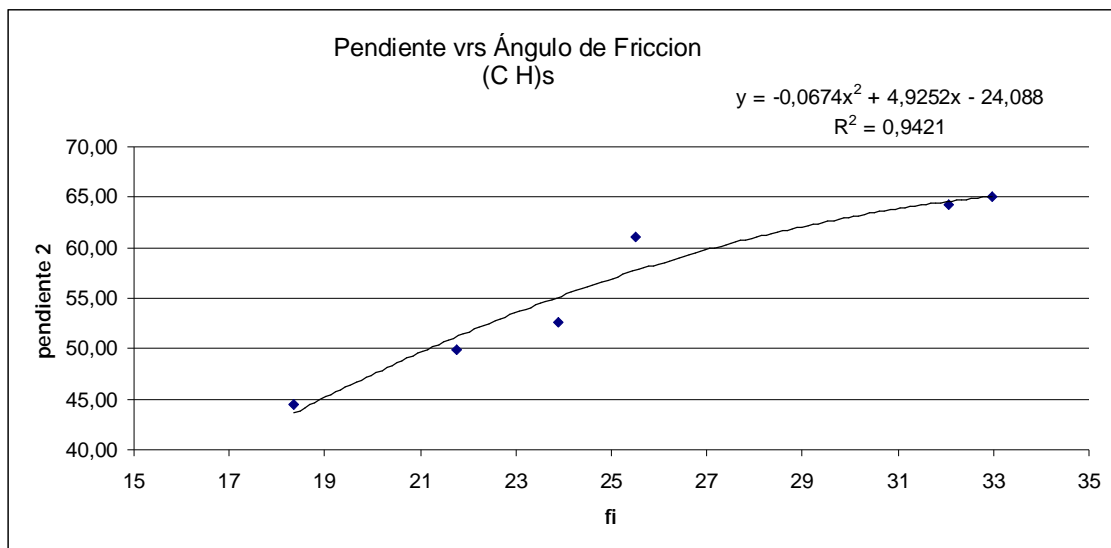


Figura 23. Gráfica correlación cohesión vrs carga a 50mm suelo arcilloso

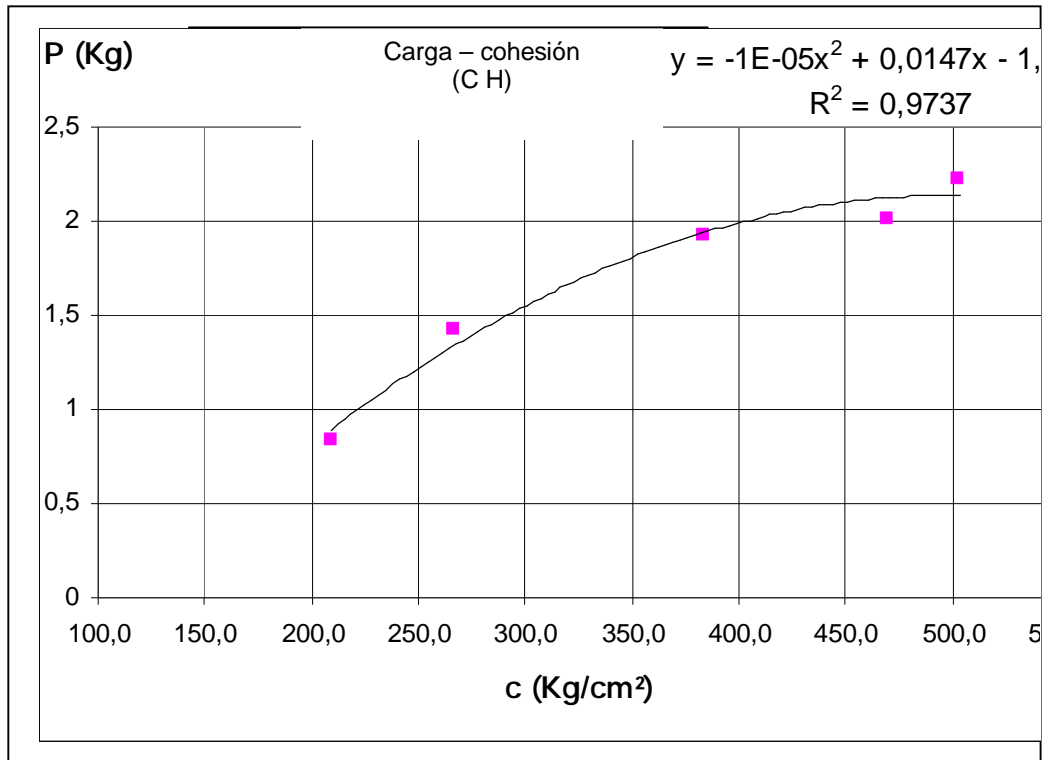
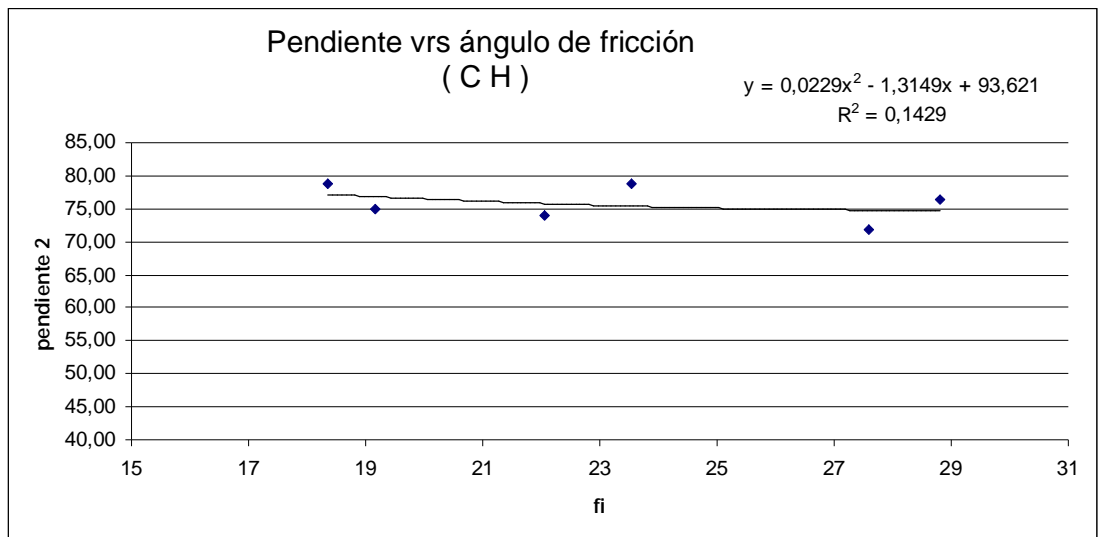
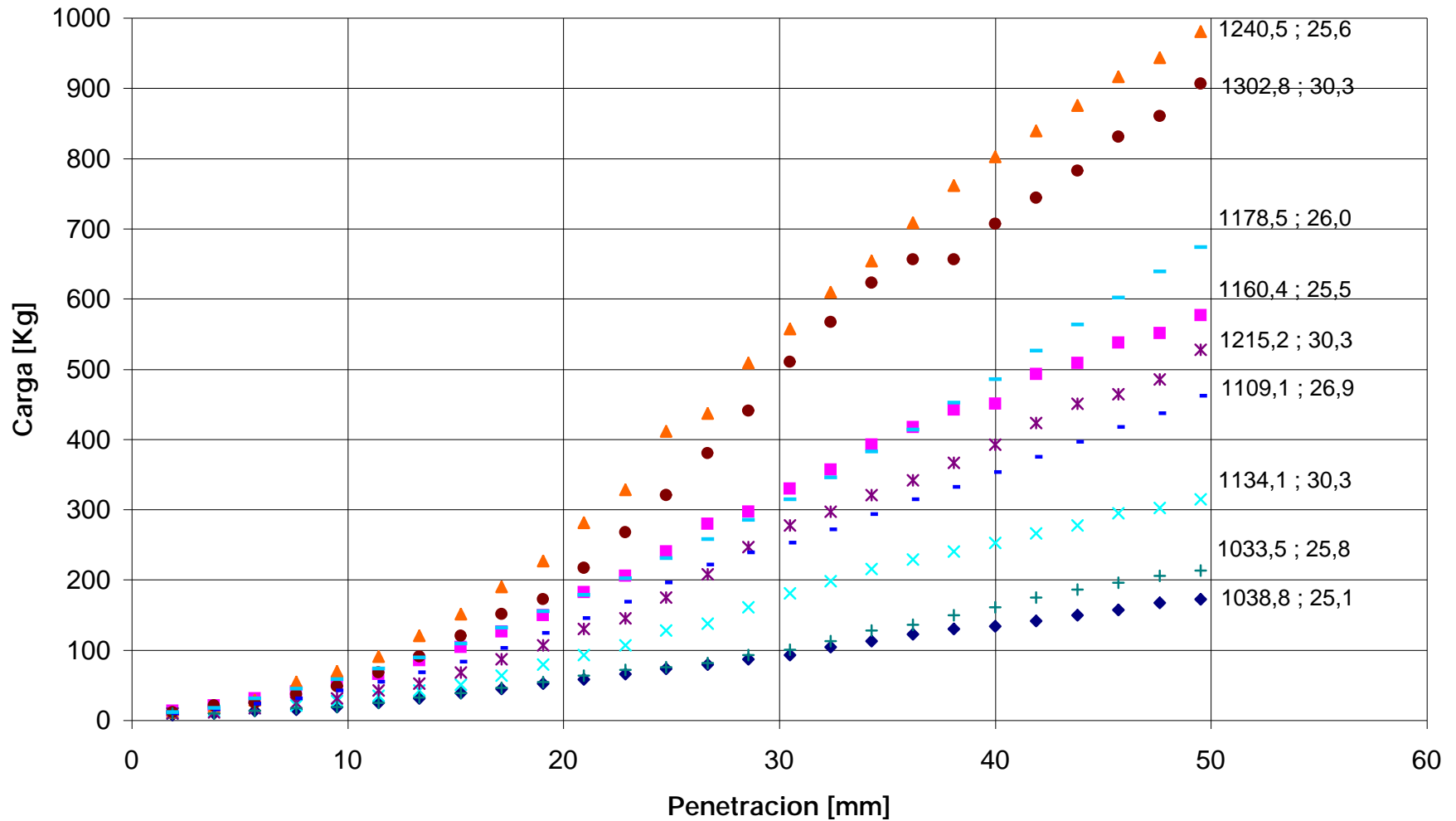


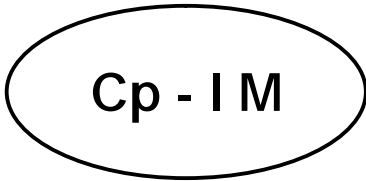
Figura 24. Gráfica correlación ángulo fricción interna vrs pendiente gráfica carga penetración cono de penetración suelo arcilloso.



APÉNDICE C
Propiedades físicas, mecánicas

Graf carga penetración cono penetración
SM





Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

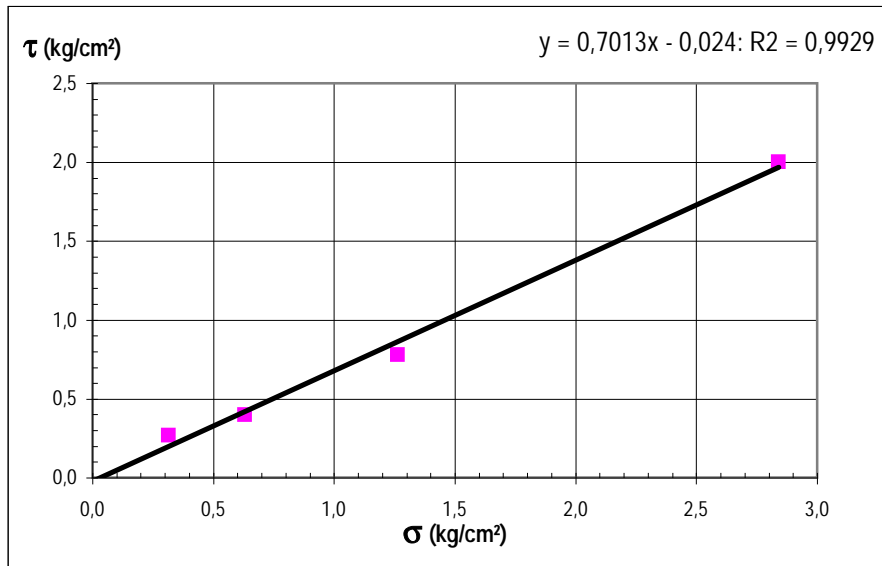
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo areno - limoso
 Material: Suelo areno - limoso color café claro
 Ubicación: Pinares, talud . 10 golpes, cpt # 3

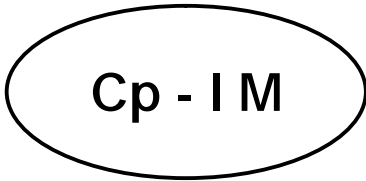
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	28,5	1.303,95	0,00	35,04



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,27	0,23	0,76
0,63	0,40	0,13	1,27
1,26	0,78	0,10	2,16
2,84	2,00	0,25	4,95

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009

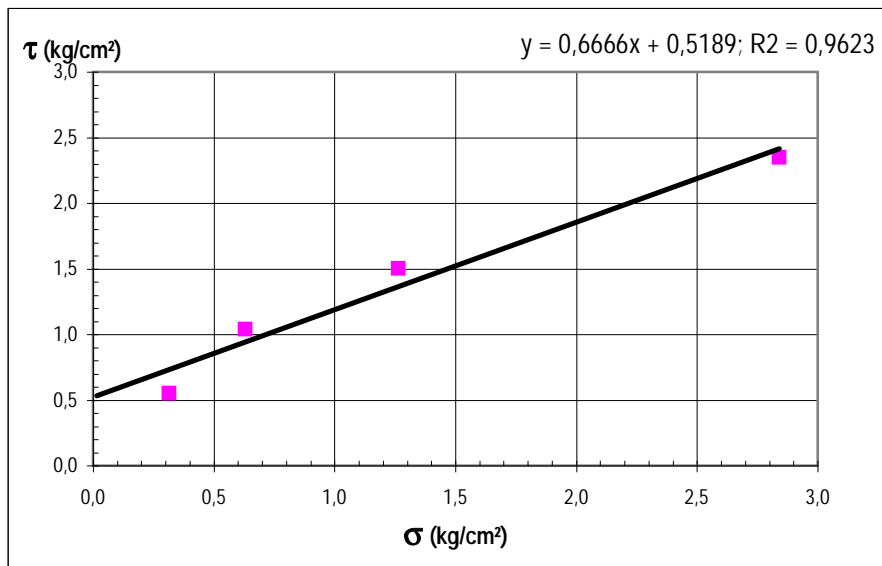
Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez

Proyecto: Tesis suelo areno - limoso

Material: Suelo areno - limoso color café claro

Ubicación: Pinares, talud, 30 golpes cpt # 3

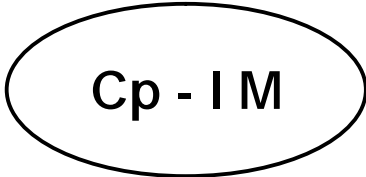
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	26,2	1.394,05	0,52	33,69



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,55	0,28	0,89
0,63	1,04	0,20	1,14
1,26	1,50	0,18	1,52
2,84	2,35	0,36	3,81

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
 Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

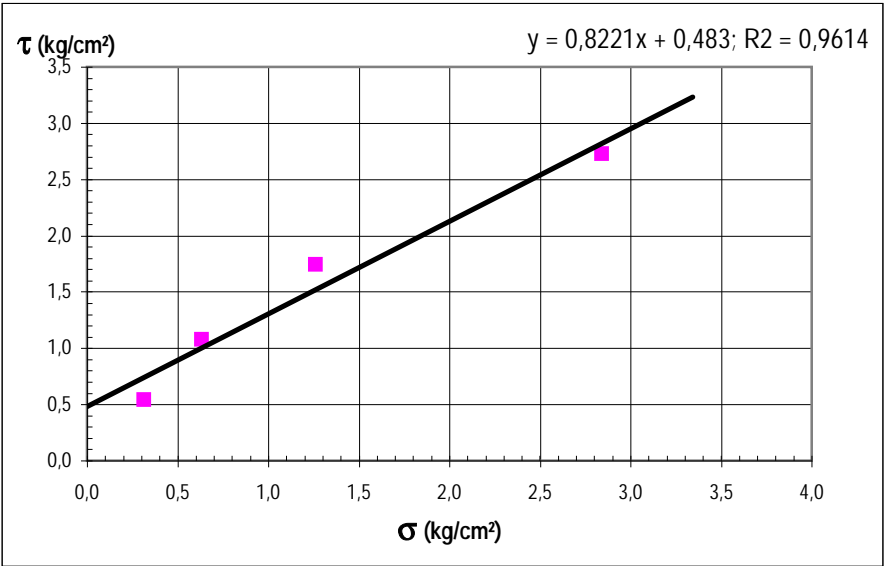
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

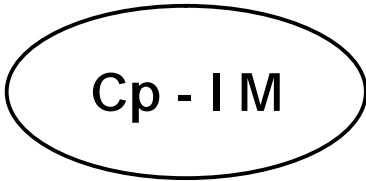
Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo areno - limoso
 Material: Suelo areno - limoso color café claro
 Ubicación: Pinares, talud, 65 golpes cpt # 3

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	26,4	1.493,12	0,71	35,90



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,54	0,13	1,40
0,63	1,08	0,15	1,14
1,26	1,74	0,27	1,52
2,84	2,73	0,15	2,03

Observaciones: _____



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

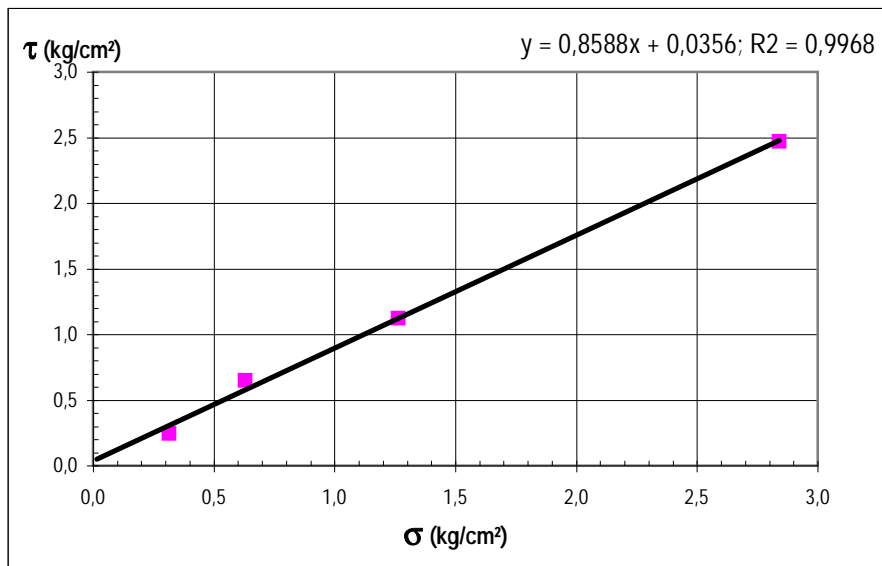
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, Pinares
 Material: Suelo limoso de baja plasticidad con arena, color café oscuro
 Ubicación: Pinares, cpt # 2, 10 golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	28,2	1.470,58	0,04	40,66



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,24	0,25	0,64
0,63	0,65	0,08	0,89
1,26	1,12	0,07	2,03
2,84	2,47	0,10	2,79

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

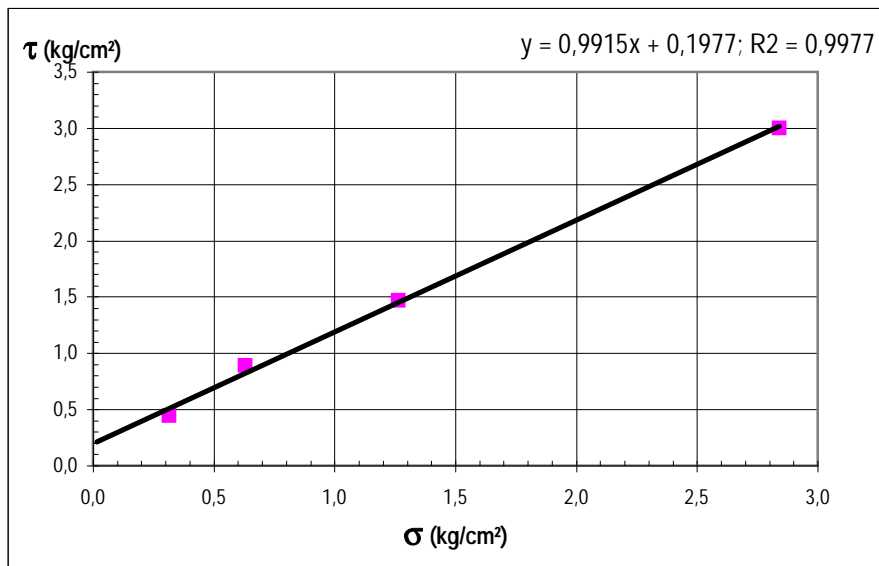
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

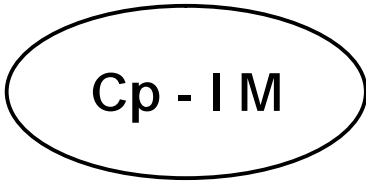
Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, Pinares
 Material: Suelo limoso de baja plasticidad con arena, color café oscuro
 Ubicación: Pinares, cpt # 2, 30 golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	27,7	1.578,94	0,20	45,04



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,45	0,30	1,14
0,63	0,89	0,05	0,89
1,26	1,47	0,25	1,40
2,84	3,00	0,13	1,78

Observaciones: _____



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

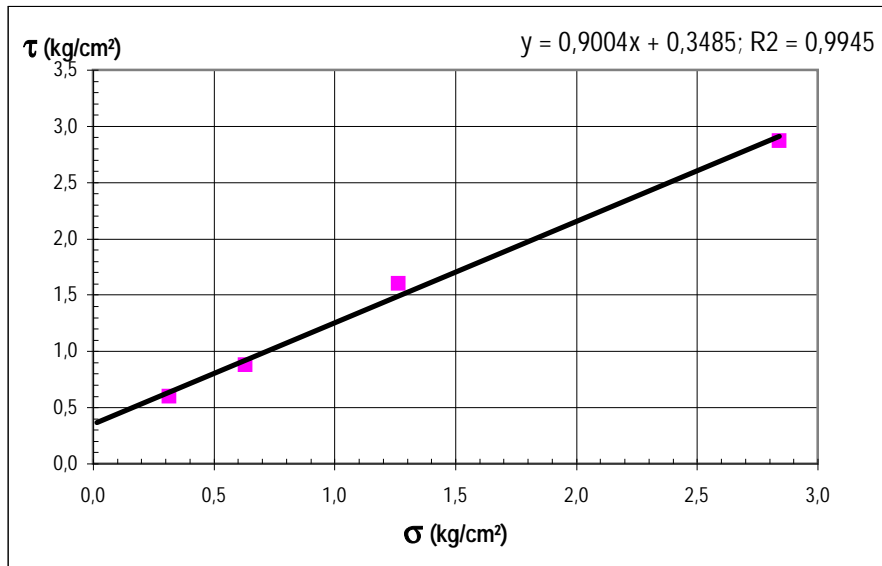
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, Pinares
 Material: Suelo limoso de baja plasticidad con arena, color café oscuro
 Ubicación: Pinares, cpt # 2, 65 golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	27,5	1.686,35	0,35	41,97



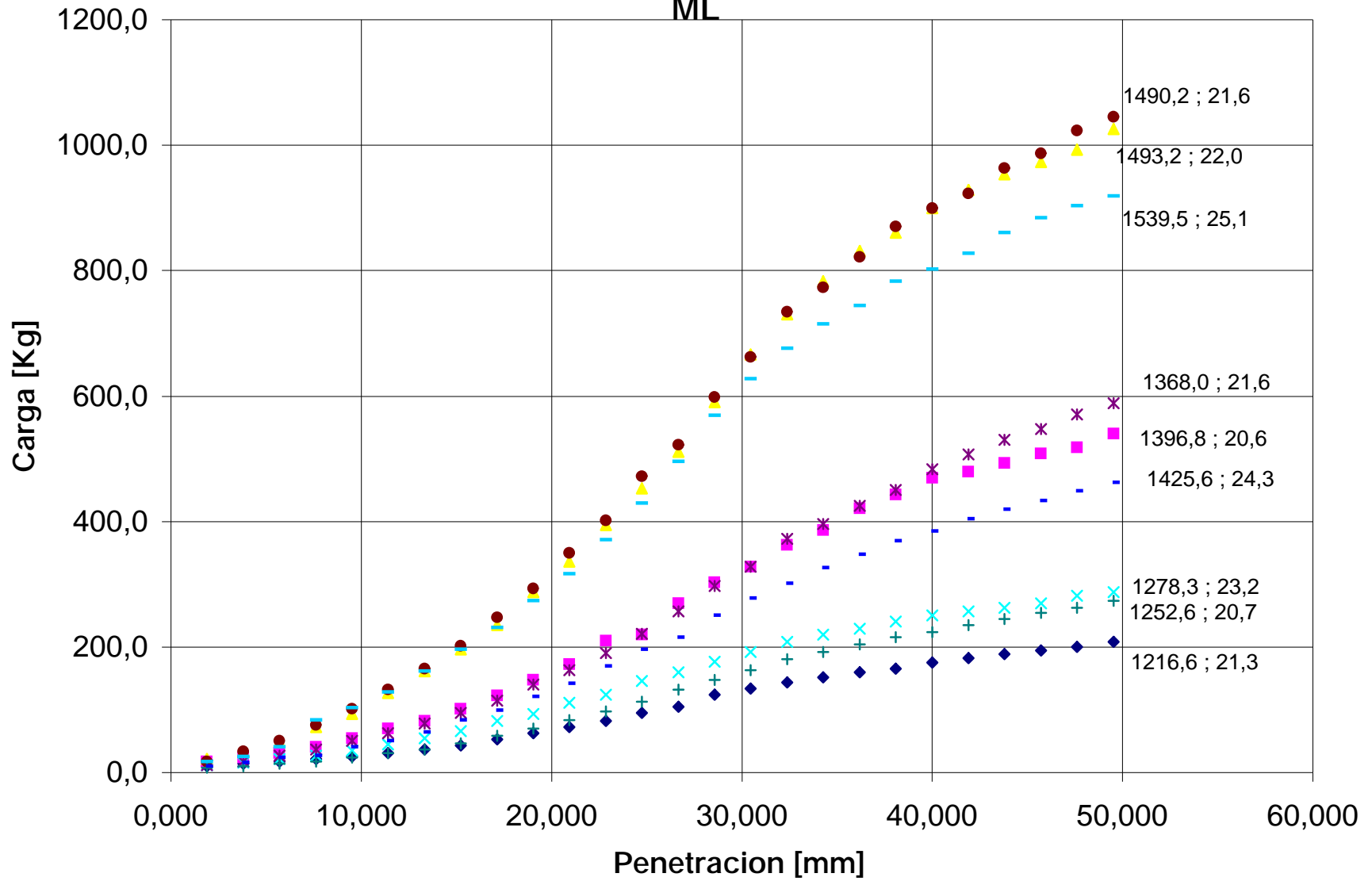
Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,60	0,38	0,51
0,63	0,87	0,14	0,89
1,26	1,60	0,13	1,40
2,84	2,87	0,15	1,52

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

Graf resumen, carga - penetración

ML



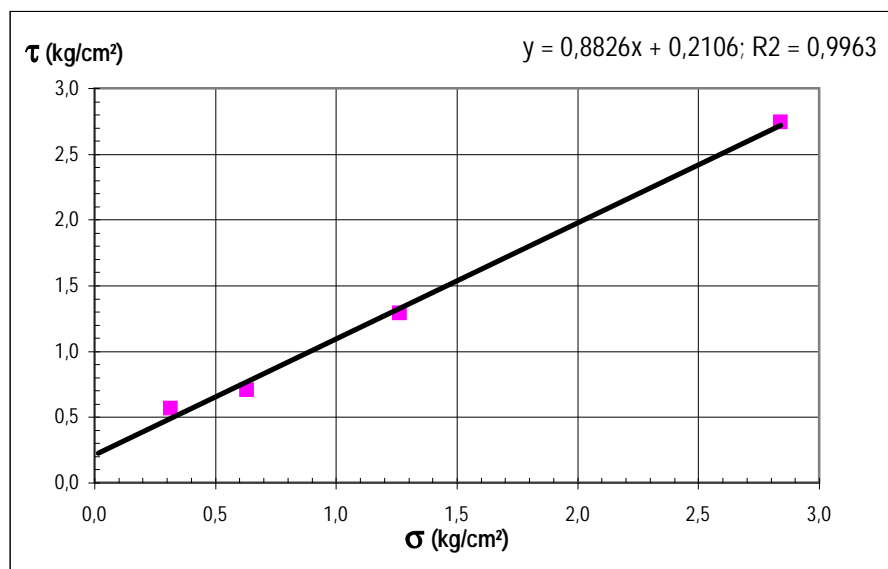
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009Interesado: Carlos Alberto Perez RodriguezProyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, pinaresMaterial: Suelo limoso plastico con arena, color café oscuroUbicación: pinares, cpt # 3, 10 Golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	23,3	1.472,22	0,21	41,08



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm^2	kg/cm^2	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,56	0,08	1,27
0,63	0,71	0,18	1,27
1,26	1,29	0,49	3,68
2,84	2,74	0,35	7,24

Observaciones: _____

Cp

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

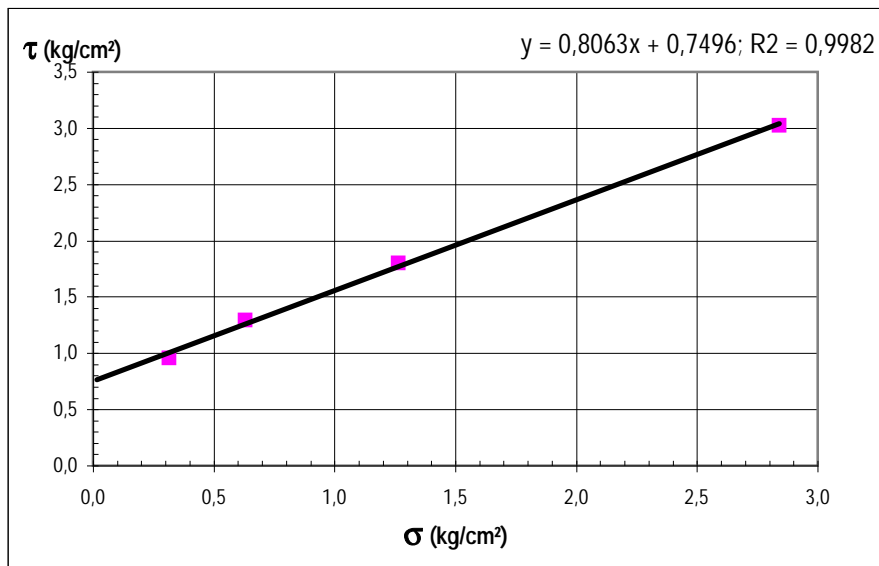
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, Pinares
 Material: Suelo limoso plastico con arena, color café oscuro
 Ubicación: Pinares, cpt # 3, 30 golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	19,0	1.665,60	0,75	39,09



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,96	0,14	0,89
0,63	1,29	0,14	1,14
1,26	1,80	0,23	1,40
2,84	3,02	0,56	3,43

Observaciones: _____

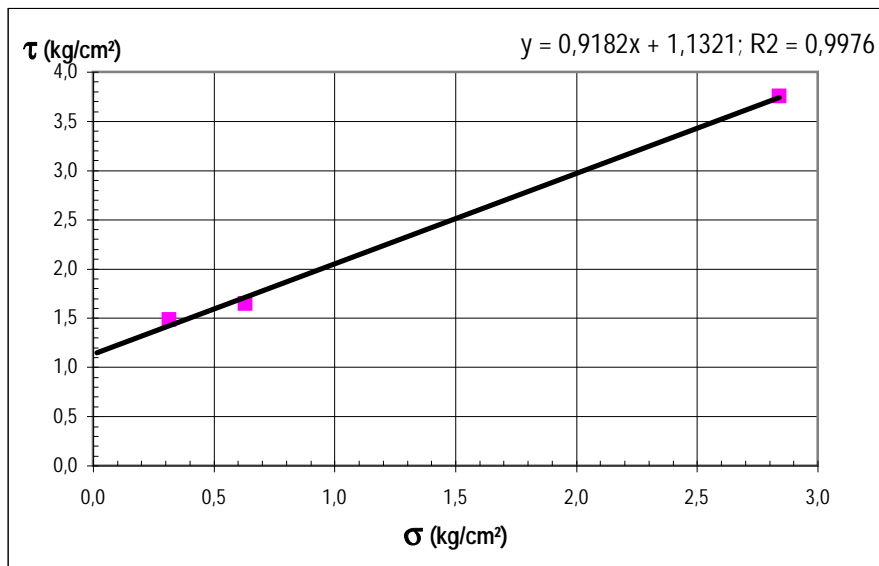
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, Pinares
 Material: Suelo limoso plastico con arena, color café oscuro
 Ubicación: Pinares, cpt # 3, 65 Golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	18,0	1.729,80	1,07	42,25



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,48	0,41	1,02
0,63	1,65	0,34	0,76
1,26	2,04	0,17	1,14
2,84	3,75	0,07	1,40

Observaciones: _____

Cp

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

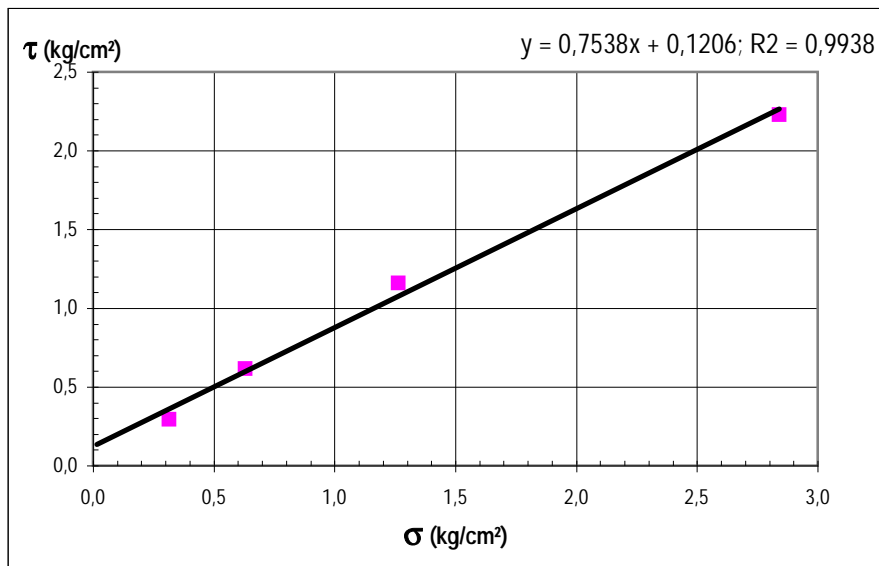
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, Pinares
 Material: Suelo limoso plastico con arena, color café oscuro
 Ubicación: Pinares, cpt # 4, 10 Golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	23,2	1.578,02	0,12	37,25



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,29	0,38	1,02
0,63	0,61	0,17	1,40
1,26	1,16	0,36	5,21
2,84	2,23	0,23	7,11

Observaciones: _____

Cp

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

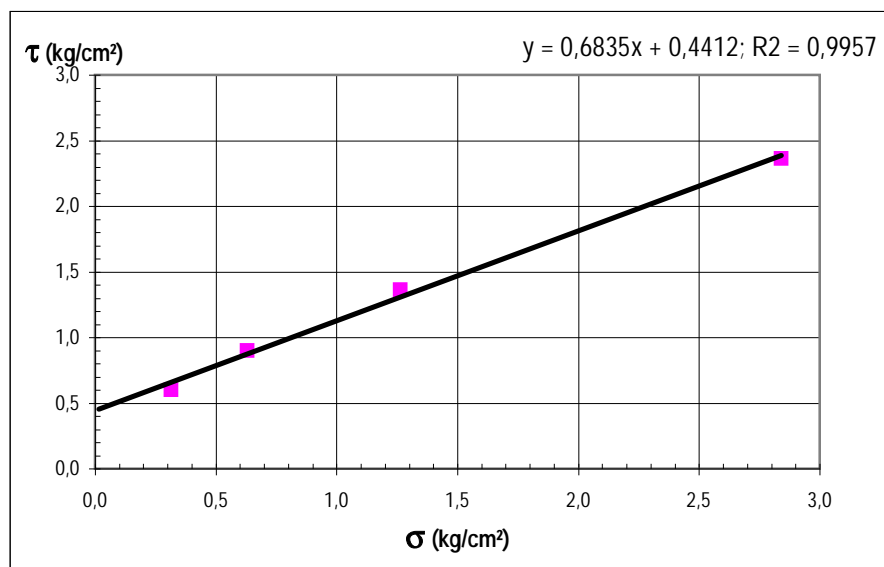
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009Interesado: Carlos Alberto Perez RodriguezProyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, PinaresMaterial: Suelo limoso plastico con arena, color café oscuroUbicación: Pinares, cpt # 4, 30 golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	23,8	1.749,06	0,44	34,60



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm^2	kg/cm^2	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,60	0,23	0,89
0,63	0,90	0,18	1,14
1,26	1,36	0,23	1,52
2,84	2,36	0,29	3,81

Observaciones: _____

Cp

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

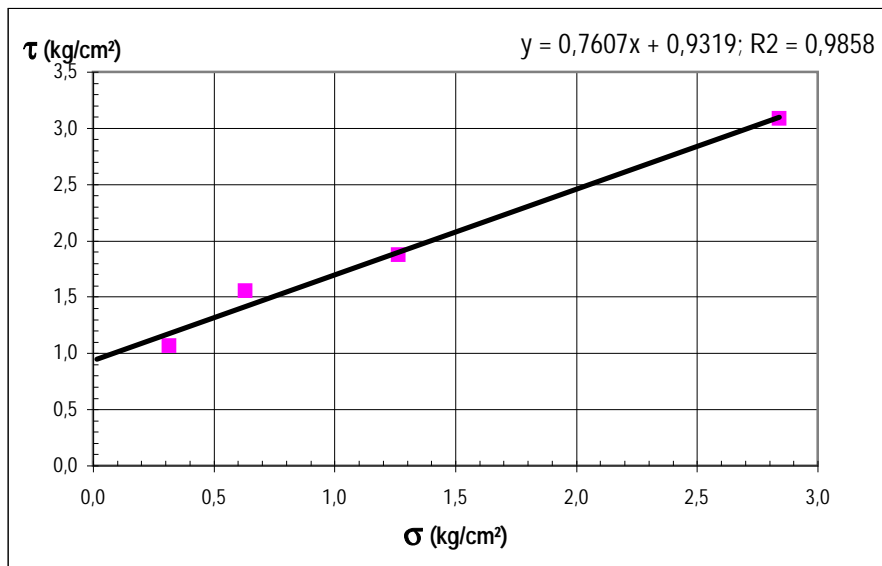
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009Interesado: Carlos Alberto Perez RodriguezProyecto: Tesis suelo, limo plastico color café oscuro, PinaresMaterial: Suelo limoso plastico con arena, color café oscuroUbicación: Pinares, cpt # 4, 65 golpes

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	23,3	1.896,91	0,93	37,96



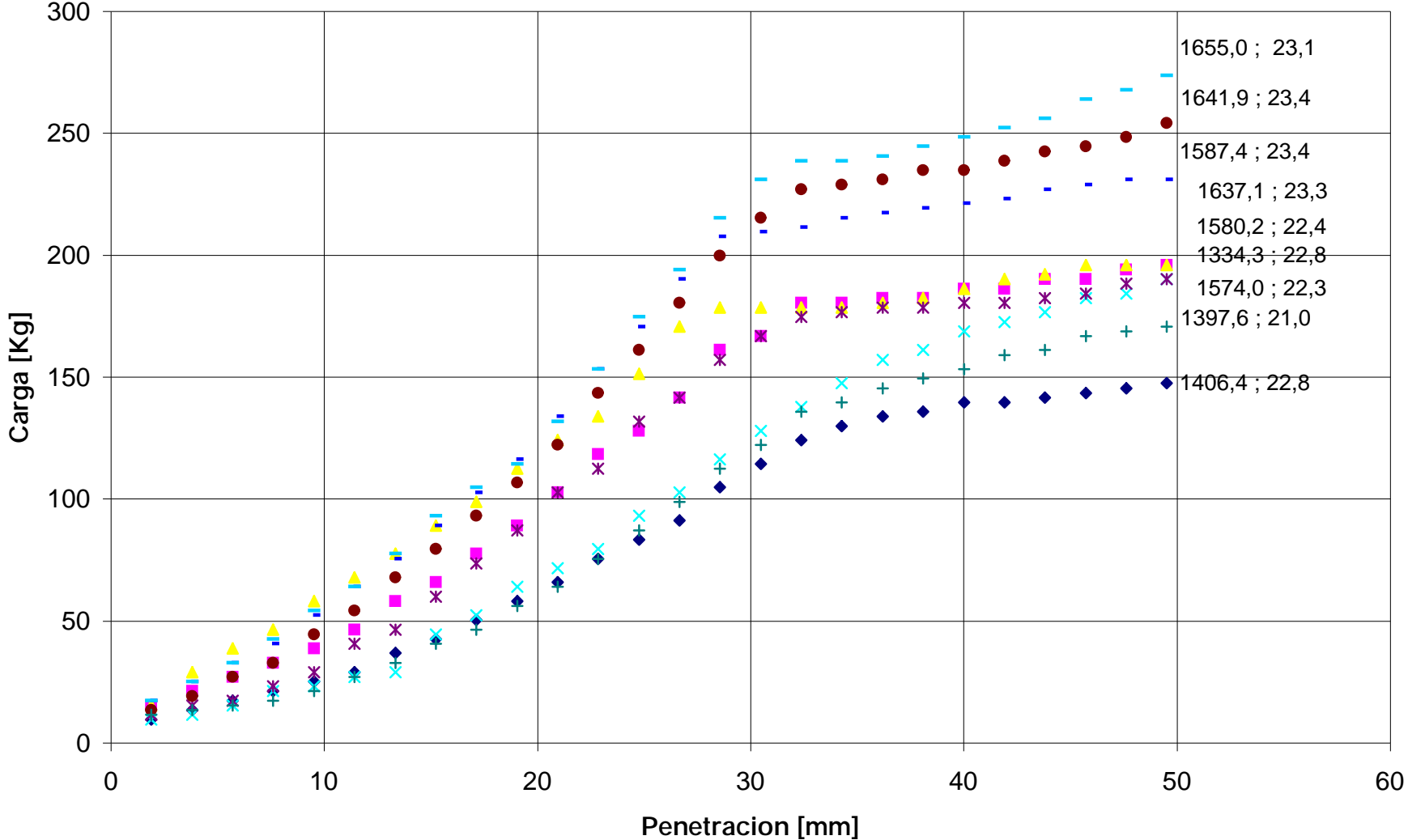
Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,06	0,14	0,76
0,63	1,55	0,22	1,02
1,26	1,87	0,17	1,02
2,84	3,08	0,11	1,65

Observaciones: _____

Cp

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

Grafica carga penetracion, cono
(CH)s



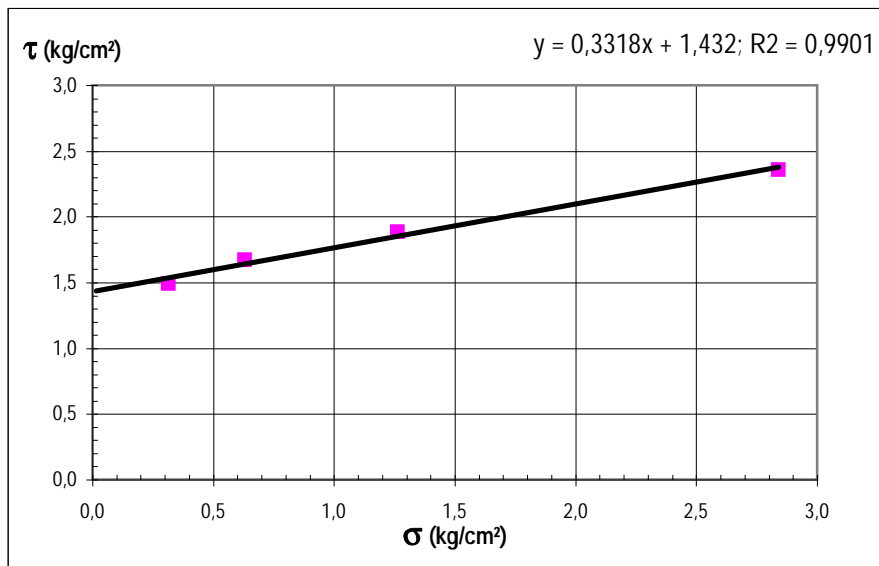
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

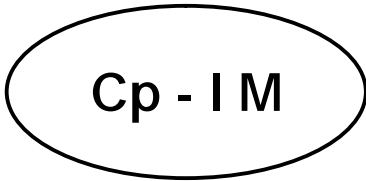
Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo areno - limoso
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad con arena, color beige
 Ubicación: San Benito Petén . 10 golpes, cpt # 1

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	21,2	1.738,97	1,43	18,36



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,49	0,07	3,81
0,63	1,67	0,49	3,43
1,26	1,88	0,36	3,81
2,84	2,36	0,20	3,94

Observaciones: _____



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

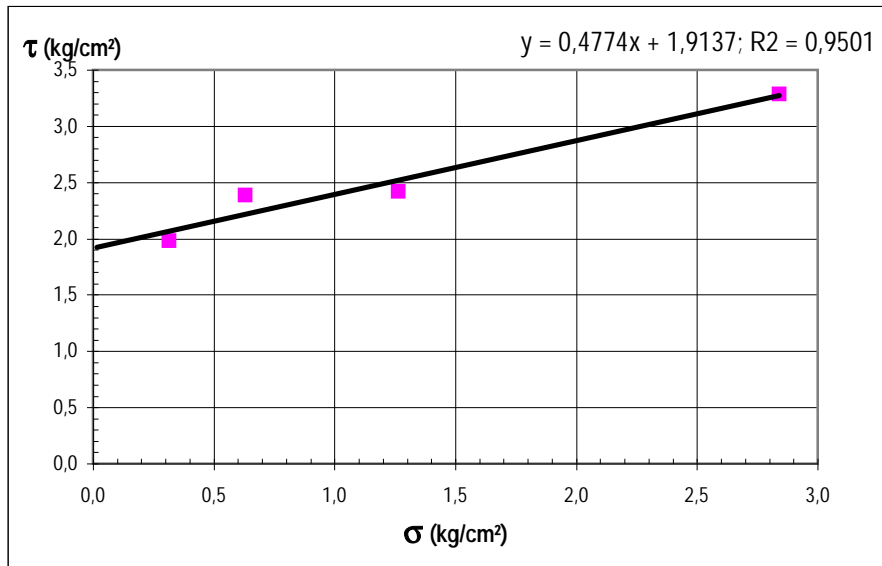
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo areno - limoso
 Material: Suelo Arcilloso alta plasticidad con arena, color beige
 Ubicación: San Benito Petén . 30 golpes, cpt # 1

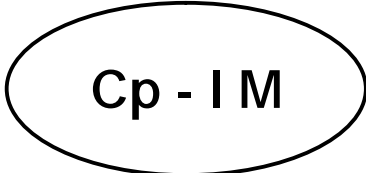
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	21,9	1.964,79	1,91	25,52



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,98	1,99	4,06
0,63	2,38	0,64	2,92
1,26	2,42	0,50	3,18
2,84	3,29	0,33	3,30

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

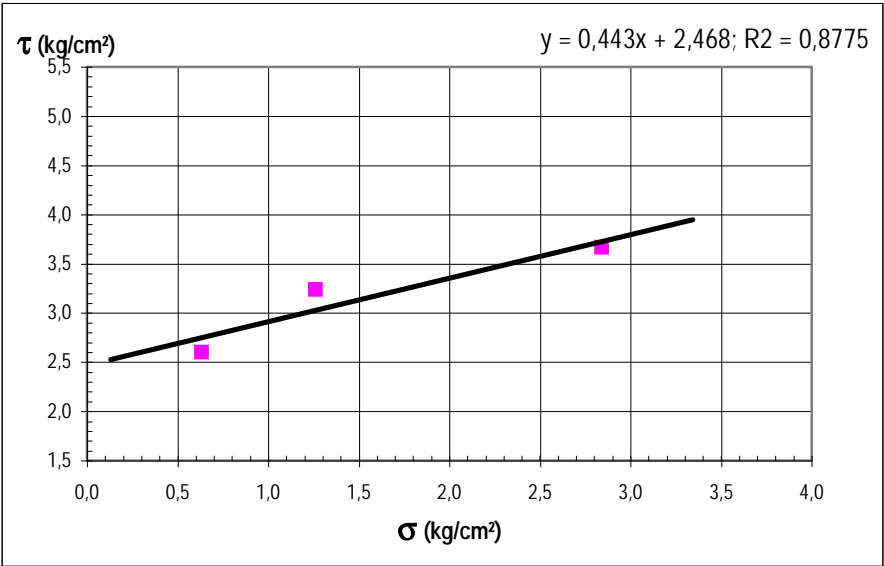
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis suelo areno - limoso
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad con arena, color beige
 Ubicación: San Benito Petén . 65 golpes, cpt # 1

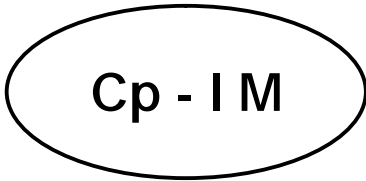
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	21,0	2.019,41	2,47	23,89



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	2,18	1,30	3,18
0,63	2,60	1,17	2,79
1,26	3,24	1,07	2,79
2,84	3,67	0,34	2,54

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

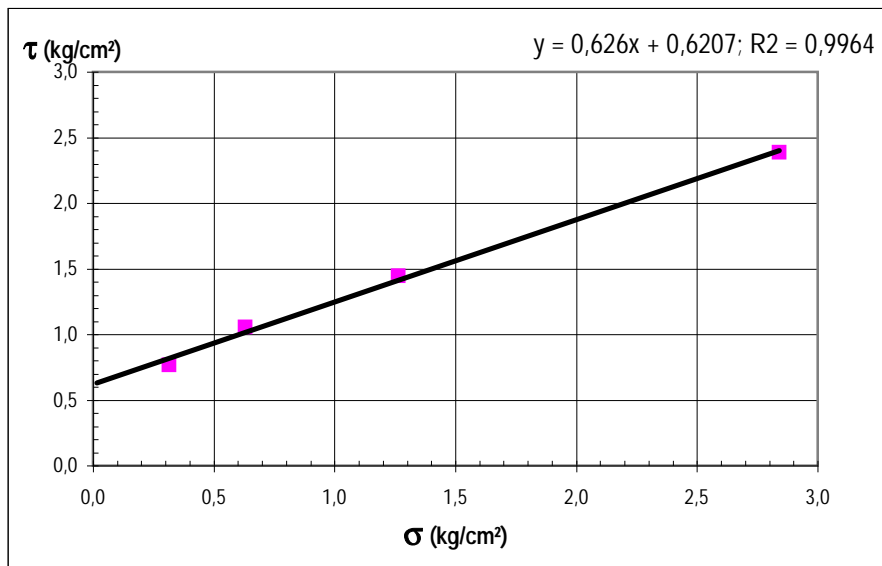
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad con arena, color beige
 Ubicación: San Benito Petén . 10 golpes, cpt # 3

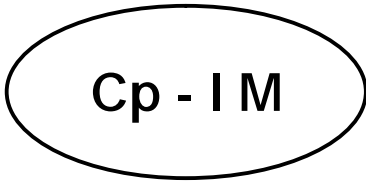
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	22,1	1.724,71	0,62	32,05



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,77	0,66	2,29
0,63	1,05	0,45	2,54
1,26	1,44	0,23	3,18
2,84	2,38	0,08	4,70

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

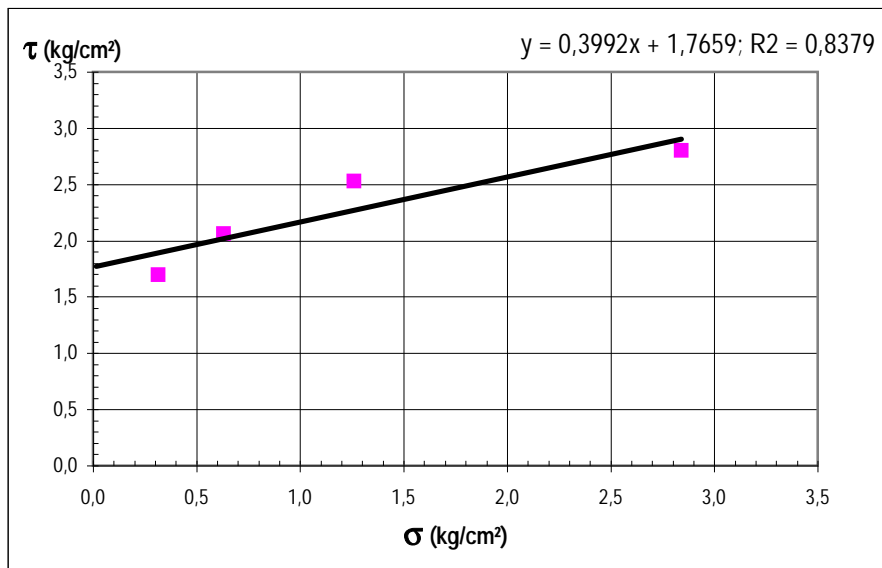
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad con arena, color beige
 Ubicación: San Benito Petén . 30 golpes, cpt # 3

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	21,4	1.942,12	1,77	21,76



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,69	1,64	3,18
0,63	2,06	1,20	3,30
1,26	2,53	0,88	3,18
2,84	2,80	0,12	3,18

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

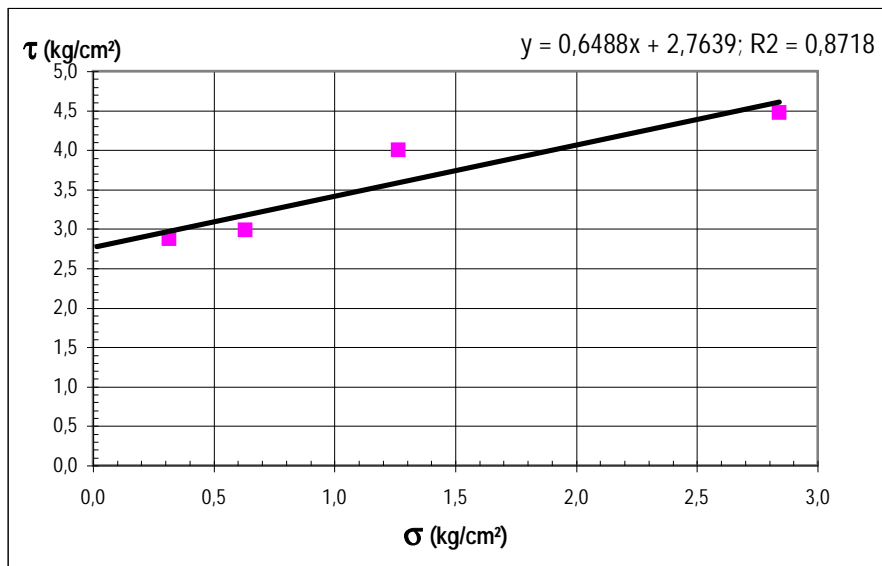
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad con arena, color beige
 Ubicación: San Benito Petén . 65 golpes, cpt # 3

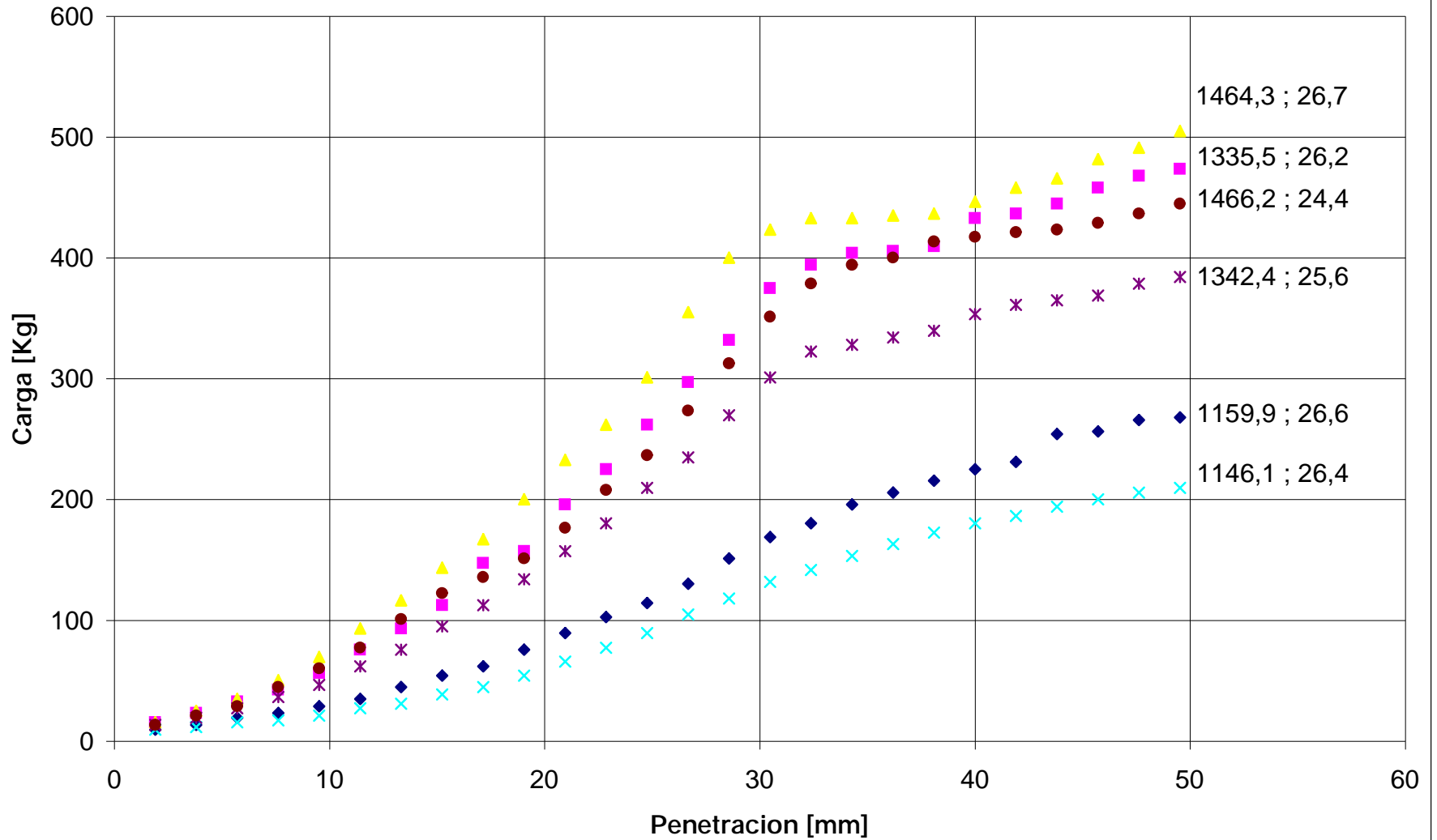
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	20,3	2.032,31	2,76	32,98



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	2,87	1,17	1,78
0,63	2,99	1,12	1,91
1,26	4,00	1,02	2,79
2,84	4,47	0,61	2,67

Observaciones: _____

Graf carga penetracion, cono
CH



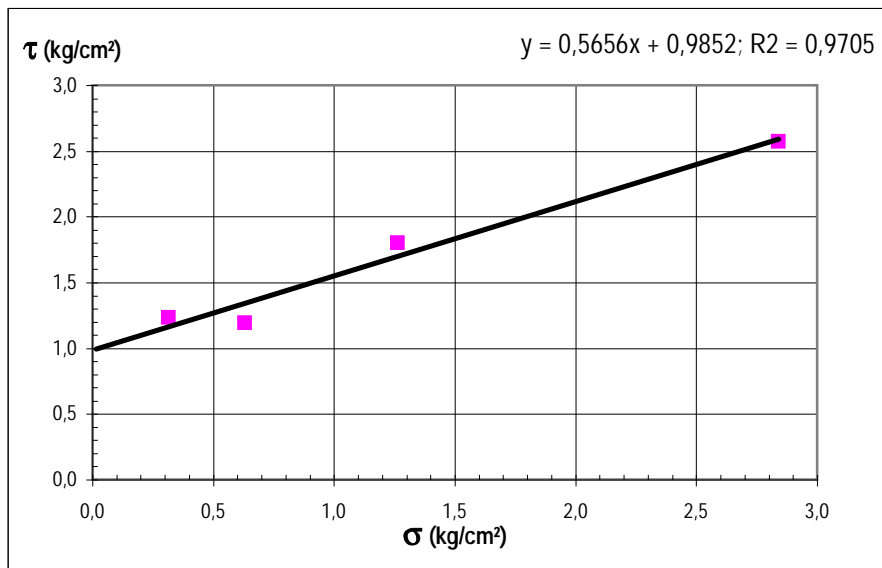
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis arcilloso, gris oscuro
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad, color gris oscuro
 Ubicación: San Benito Petén . 10 golpes, cpt # 1

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	26,5	1.452,08	0,99	29,49



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,23	0,67	2,16
0,63	1,19	0,28	2,03
1,26	1,80	0,30	1,78
2,84	2,57	0,08	3,43

Observaciones: _____

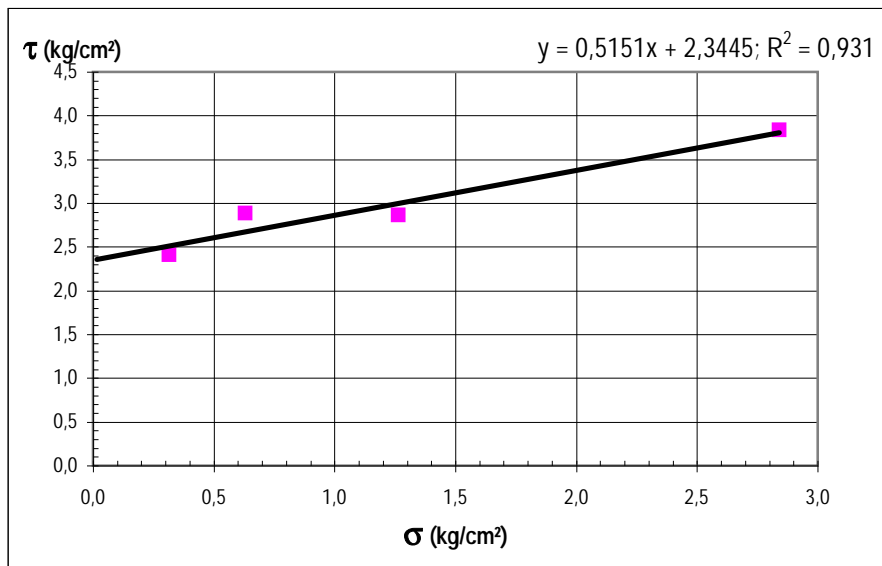
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009Interesado: Carlos Alberto Perez RodriguezProyecto: Tesis arcilloso, gris oscuroMaterial: Suelo arcilloso alta plasticidad, color gris oscuroUbicación: San Benito Petén . 30 golpes, cpt # 1

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	26,0	1.677,58	2,34	27,25

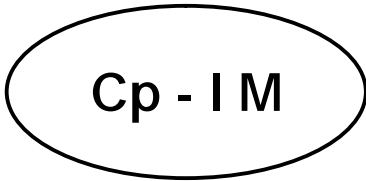


Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	2,41	1,30	2,16
0,63	2,88	1,09	2,41
1,26	2,86	0,73	2,41
2,84	3,83	0,23	2,41

Observaciones: _____

Cp

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

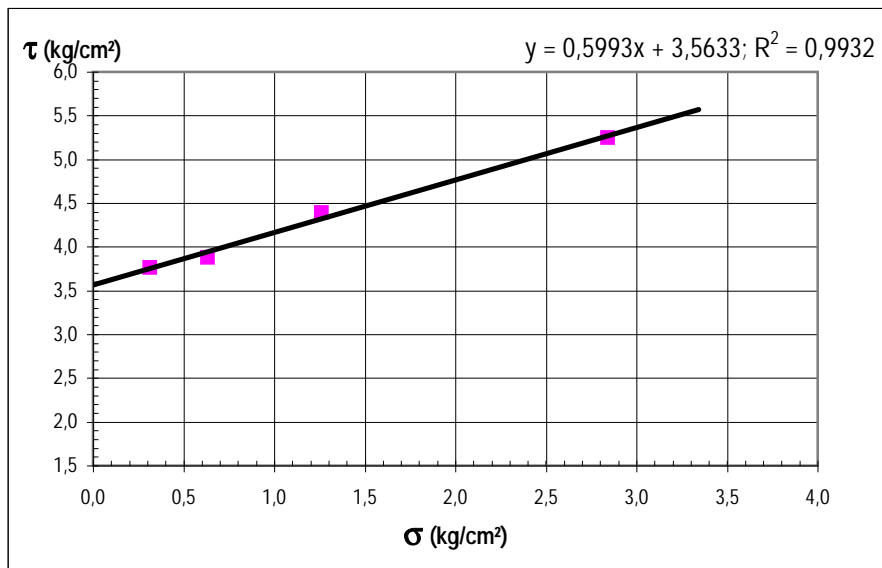
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis arcilloso, gris oscuro
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad, color gris oscuro
 Ubicación: San Benito Petén . 65 golpes, cpt # 1

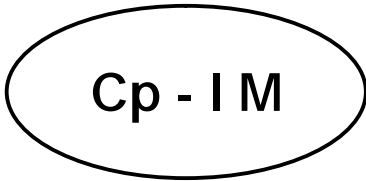
Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	26,2	1.842,93	3,56	30,93



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	3,76	1,96	2,41
0,63	3,88	1,83	2,92
1,26	4,39	1,74	3,05
2,84	5,25	0,55	2,29

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

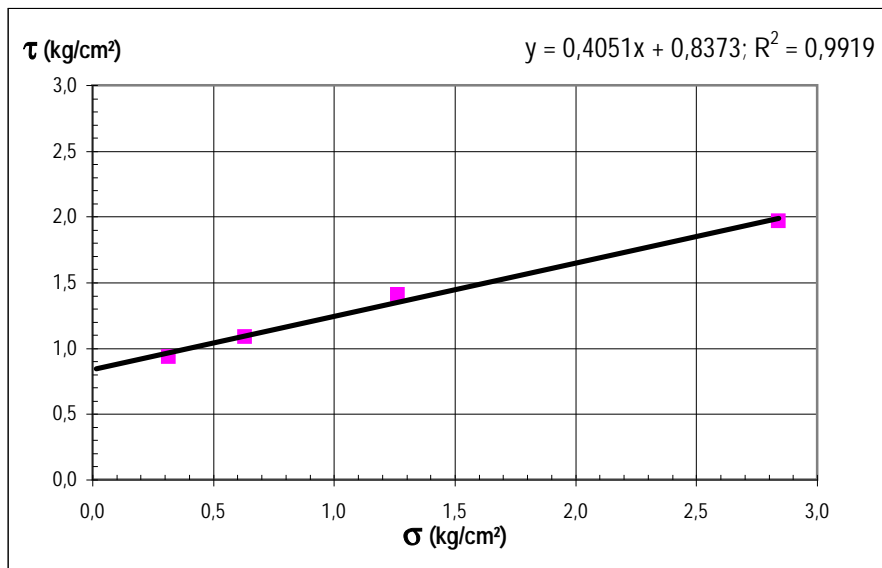
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis arcilloso, gris oscuro
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad, color gris oscuro
 Ubicación: San Benito Petén . 10 golpes, cpt # 2

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	29,1	1.467,17	0,84	22,05



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	0,93	1,17	3,30
0,63	1,09	0,48	2,67
1,26	1,41	0,20	3,81
2,84	1,97	0,30	4,70

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

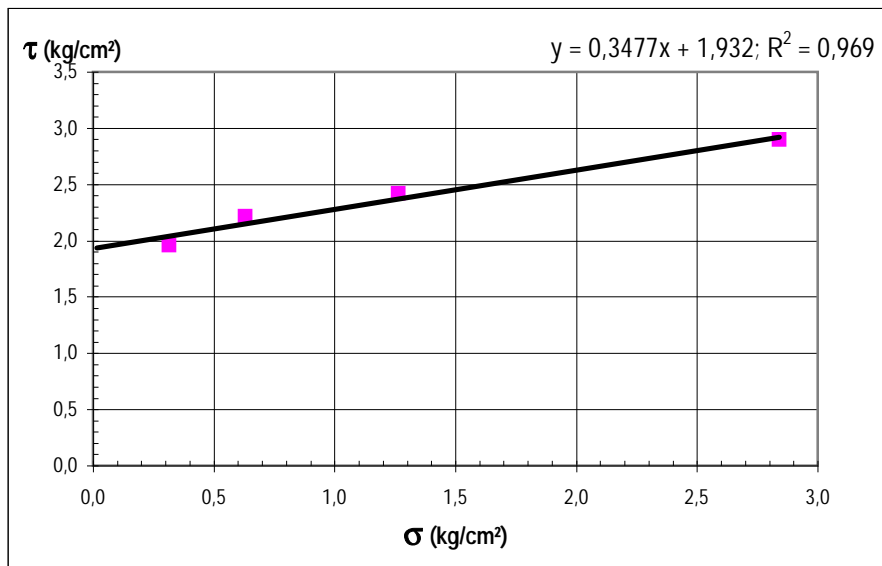
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Información General:

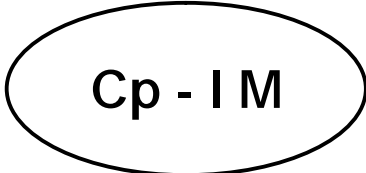
Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009Interesado: Carlos Alberto Perez RodriguezProyecto: Tesis arcilloso, gris oscuroMaterial: Suelo arcilloso alta plasticidad, color gris oscuroUbicación: San Benito Petén . 30 golpes, cpt # 2

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	29,1	1.713,30	1,93	19,17



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	1,96	1,44	2,79
0,63	2,22	1,16	2,92
1,26	2,42	0,81	3,43
2,84	2,89	0,15	3,30

Observaciones: _____



Cp-Ingeniería de Materiales

Geología - Mecánica de Suelos - Materiales
Tel.- FAX 2478 84448 - 5058 4499

INFORME No. 23 - 09

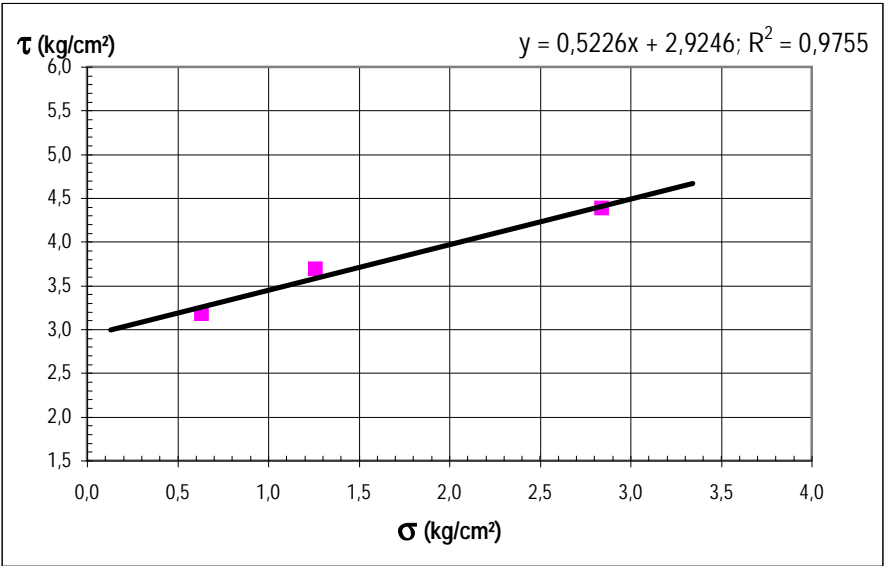
Corte Directo

No consolidado - No Drenado

Informacin General:

Lugar y Fecha: Mixco, 01 de febrero 2,009
 Interesado: Carlos Alberto Perez Rodriguez
 Proyecto: Tesis arcilloso, gris oscuro
 Material: Suelo arcilloso alta plasticidad, color gris oscuro
 Ubicación: San Benito Petén . 65 golpes, cpt # 2

Muestra No.	Muestra	Humedad %	Densidad Kg/m ³	cohesión Kg/cm ²	ϕ
1	Remoldeada	26,2	1.842,93	2,92	27,59



Esfuerzos		Deformaciones	
σ	τ	σ	τ
kg/cm ²	kg/cm ²	(mm)	(mm)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,32	2,42	1,44	2,54
0,63	3,18	1,47	3,18
1,26	3,69	1,49	3,30
2,84	4,38	0,58	3,05

Observaciones: _____

Ing. Carlos Leonel Pérez Arias

