Facultad de Estudios Superiores Acatlán

TALLERES Y LABORATORIOS DE LICENCIATURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

MANUAL DE PRÁCTICAS
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

FESA PAL IIC MS

ELABORÓ:	**PROFESOR**	*Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo*
REVISIÓN TÉCNICA:	**JEFE DE SECCIÓN**	*Dr. Ricardo Enrique Ortiz Hermosillo*
	COORDINADOR DEL PROGRAMA	*Ing. Ricardo García Valdivia*
REVISIÓN DE GC:	**RESPONSABLE DE GESTIÓN DE LA CALIDAD**	*Esp. Fanny Maricela Bernal Herrera*
AUTORIZÓ:	**REPRESENTANTE DE LA DIRECCIÓN / COORDINADORA DE SERVICIOS ACADÉMICOS**	*Lic. Sara Luz Alvarado Aranda*

Fecha de Emisión: 2025.02.05

CONTENIDO

Número de sesión práctica	Nombre	Página
1	Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Prueba No. 1: Triaxial no consolidada – no drenada.	3
2	Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Prueba No. 2: Compresión simple.	9
3	Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Prueba No. 3: Corte Directo.	21
4	Determinación de la curva de compactación. Prueba de compactación Proctor estándar.	30
5	Prueba de compactación Harvard miniatura.	37
6	Cono de arena.	42

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA No. 1
RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS
Prueba No. 1 Triaxial no consolidada - no drenada.

1. OBJETIVO

Obtener el valor de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

PRUEBAS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.

A partir de las investigaciones desarrolladas por Arturo Casagrande en el MIT para desarrollar pruebas de compresión en probetas cilíndricas, se lograron superar algunas serias desventajas que presentaba la prueba de corte directo. Actualmente las pruebas triaxiales son más populares que la de corte directo.

Una prueba triaxial permite una gran variedad de condiciones de drenaje. También se pueden aplicar todo el tiempo esfuerzos principales, de modo que no existe rotación de esfuerzos principales, como sucede con la de corte directo. Otra ventaja es que no tiene un plano predeterminado de falla, además de que se puede representar en el plano de Mohr como un solo circulo, sin dejar de representar a un estado de esfuerzo tridimensional perfecto.

En la figura 5 se presenta esquemáticamente una cámara triaxial y algunos de sus principios. A la probeta de suelo se le aísla por medio de una membrana impermeable, la cual impide que el fluido confinante (agua) penetre en los poros del suelo. La carga axial se aplica por medio de un vástago de acero, el cual debe tener muy poca fricción con la tapa superior de la cámara por la cual pasa éste. Existe un mecanismo fuera de la cámara que permite el movimiento del vástago, sin incrementar la presión confinante que se aplica a la probeta. La probeta se coloca entre piedras porosas si se quiere permitir drenaje o medir la presión de poro en exceso, o colocar una sola piedra porosa en la base de la misma. Para el caso de la prueba triaxial no drenada no consolidada, no se mide la presión de poro en exceso por lo que no se requieren colocar las piedras porosas.

En la notación que usaremos, se tomará como *esfuerzo desviador* a la diferencia entre el esfuerzo principal mayor y el principal menor, y se denomina por $\Delta\sigma a$. De modo que:

$$\Delta\sigma a = \sigma 1 - \sigma 3$$

Con respecto a los esfuerzos de confinamiento, para las pruebas triaxiales se aceptará que:

$$\sigma c = \sigma 2 = \sigma 3$$

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

CONDICIONES DE DRENAJE EN PRUEBAS TRIAXIALES.

Nombre de prueba Tx.	Primera etapa	Segunda etapa	Presión de poro	Condiciones de esfuerzos
Pba Tx. Compresión simple	----------	----------	----------	Totales
Pba. Tx. Consolidad - drenada	Consolidada	Drenada	No se mide	Efectivos
Pba. Tx. Consolidada – no drenada	Consolidada	No Drenada	Se mide	Totales y efectivos
Pba. Tx. No consolidada – no drenada	No consolidada	No drenada	No se mide	Totales

INSTRUCTIVO PARA REALIZAR UNA PRUEBA TRIAXIAL NO CONSOLIDADA NO DRENADA.

PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO CONSOLIDADA NO DRENADA PARA SUELOS COHESIVOS (ASTM – D 2850-95).

ALCANCES.

Con esta prueba se determina la resistencia no drenada y la relación esfuerzo – deformación de una muestra cilíndrica inalterada o remoldeada de un suelo cohesivo. Las muestras se someten a una presión de confinamiento en una cámara triaxial. No se permite el drenaje de la muestra durante la prueba. La muestra se lleva a la falla por compresión a una velocidad constante de deformación axial (deformación controlada). En esta prueba se obtienen únicamente esfuerzos totales.

DEFINICIONES.

Falla. Condición de esfuerzo máximo para un espécimen de prueba. La falla se considera como la diferencia de los esfuerzos principales máximos (esfuerzo desviador) alcanzados o como la diferencia de los esfuerzos principales (esfuerzo desviador) para un 15% de deformación axial, el que se obtenga primero durante la ejecución de la prueba.

Resistencia a la compresión no consolidada – no drenada. Es la diferencia de los esfuerzos normales principales (esfuerzo desviador) en la falla.

USO Y SIGNIFICADO.

En este tipo de prueba la resistencia a la compresión de un suelo se determina en términos de esfuerzos totales, por lo tanto, la resistencia obtenida depende de la presión desarrollada en el agua de poro durante la carga. En esta prueba no se permite el drenaje de la muestra, por lo que la presión de poro que se genera y la resistencia del suelo, difieren de la que se desarrolla cuando se permite el drenaje.

Si la muestra está 100% saturada, no puede ocurrir consolidación durante la aplicación de la presión de confinamiento ni tampoco durante la etapa de falla. Por lo tanto, si se prueban varios especímenes del mismo material (con aproximadamente el mismo contenido de agua y relación de vacíos) éstos

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

tendrán aproximadamente la misma resistencia al corte no drenada. Por lo que cuando los especímenes se encuentran totalmente saturados la envolvente de falla de Mohr usualmente es una línea recta horizontal.

Si los especímenes se encuentran parcialmente saturados (grado de saturación menor al 100%) ocurre una consolidación durante la aplicación de la presión de confinamiento así como durante la prueba, sin importar que la prueba sea no drenada. Por lo mismo, si se ensayan varios especímenes no saturados del mismo material bajo diferentes esfuerzos de confinamiento, éstos no tendrán la misma resistencia al corte no drenada. Por lo tanto, la envolvente de falla de Mohr es usualmente una línea curva.

La resistencia triaxial no consolidada no drenada se utiliza en situaciones en donde las cargas se aplican en forma rápida y en donde el tiempo de aplicación es muy corto para que la presión de poro inducida se disipe y se genere la consolidación del material.

La resistencia a la compresión obtenida con esta prueba no se puede aplicar en los casos en donde las condiciones de carga en campo difieran de aquellas utilizadas en esta prueba.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

EQUIPO

- Marco de carga.
- Anillo de carga con micrómetro.
- Micrómetro.
- Vernier.
- Cronómetro.
- Equipo y herramienta de labrado.
- Balanza.
- Curva de calibración del anillo.

MATERIAL

Sistema de compresión. La velocidad de avance del sistema de compresión no debe desviarse +/-5% la velocidad de deformación elegida. El sistema de compresión no debe inducir vibraciones que produzcan cambios en la forma del espécimen. Para corroborar esto último se debe colocar un recipiente con agua en la placa de carga y encender el sistema de compresión a la velocidad a la cual se realizará la prueba, se debe verificar que no se formen hondas en la superficie del agua.

Micrómetro de carga. El micrómetro debe ser capaz de medir la carga axial con una aproximación del 1% la carga axial en la falla.

Cámara triaxial de compresión. La cámara triaxial de compresión debe consistir en una placa superior y una inferior separadas por un cilindro, dicho cilindro debe ser capaz de resistir la presión interna aplicada. La cámara se recomienda que sea transparente para observar el comportamiento del material. La placa superior debe tener una válvula con la que se extraiga el aire al momento de llenar la cámara de agua. La placa inferior también debe tener una válvula con la que se suministre agua a presión dentro de la cámara.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Pistón de carga axial. El pistón y su sello se deben diseñar de modo que la variación en la carga axial debido a la fricción no exceda el 0.1% la carga axial en la falla, de modo que no exista la generación de momento lateral por parte del pistón durante la carga.

Sistema de presión. El sistema de presión debe ser capaz de aplicar y mantener la presión dentro de la cámara dentro de +/-2kPa para presiones menores de 200kPa y dentro de +/-1% para presiones mayores de 200kPa. Este sistema consiste en un cilindro de reserva conectado a la cámara triaxial, y está parcialmente lleno con el fluido de la cámara. La parte superior de este cilindro está conectado a un compresor. La presión se controla con un regulador y se mide con un manómetro.

Base y cabezal. Se debe utilizar una base y un cabezal impermeables para evitar que exista drenaje en el espécimen. Se deben de construir con un material anticorrosivo e impermeable y ambos deben tener una superficie plana circular. El peso del cabezal debe producir un esfuerzo axial en el espécimen menor a 1kN/m2. El diámetro del cabezal y de la base deben ser iguales al diámetro inicial del espécimen. La base del espécimen debe estar conectada con la base de la cámara triaxial para evitar movimientos laterales y el cabezal debe de alinearse con el pistón y el eje vertical del espécimen, la excentricidad no debe ser mayor a 1.3mm.

Micrómetro de deformación. Las deformaciones verticales del espécimen deben medirse con una aproximación de al menos el 0.03% la altura de éste. El micrómetro debe tener un rango de viaje de por lo menos el 20% la altura de la muestra.

Membrana de hule. La membrana debe proveer protección contra la filtración y debe ser inspeccionada cuidadosamente antes de usarse para observar que no esté perforada. Para evitar que la membrana apriete a la muestra, ésta debe tener un diámetro sin estirarse entre el 90% y el 95% el diámetro del espécimen. El espesor de la membrana no debe exceder el 1% el diámetro del espécimen. La membrana debe fijarse a la base y al cabezal con O-rings.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Tamaño de la muestra. La muestra debe tener un diámetro mínimo de 30 mm y las partículas mayores dentro de ésta no deben ser menores al 10% el diámetro de la muestra. Para muestras con diámetro de 72 mm o mayor, el tamaño máximo de las partículas deben ser menores que el 6% el diámetro de la muestra. Si al final de la prueba se observa la existencia de partículas, dentro del espécimen, mayores que las permitidas se debe anotar en el informe dichas características. La relación altura - diámetro debe estar entre 2 y 2.5. Se deben tomar tres medidas de la altura del espécimen a cada 120° y tres medidas del diámetro a la mitad de cada cuarto de la altura.

Se debe evitar cualquier cambio del contenido de agua durante la manipulación de los tubos muestreadores y de la muestra ya cortada.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Colocar la membrana en el cilindro de colocación y acomodar la muestra en la base de la cámara

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

con el cabezal.

2. Colocar el cilindro de colocación entre la muestra y deslizar la membrana sobre la base y el cabezal, sellando con dos O-rings en cada extremo.

3. Armar la cámara triaxial. Bajar el pistón de carga hasta que haga contacto con el cabezal y alinear longitudinalmente con la muestra.

4. Colocar el micrómetro de deformación en ceros (o tomar la lectura inicial), tener precaución de no aplicar ninguna carga axial a la muestra. Si el peso del pistón es suficiente como para aplicar un esfuerzo axial mayor al 0.5% de la resistencia a la compresión estimada, sujetar el pistón sin que toque el cabezal y bajarlo hasta que se aplique la presión interna de la cámara.

5. Alinear la cámara triaxial con el marco de carga y el dispositivo de medición para evitar la aplicación de una carga lateral al pistón durante la prueba. Llenar la cámara con el líquido de confinamiento. Ajustar la presión deseada dentro del cilindro de reserva y enviar la presión al líquido de la cámara triaxial. Esperar 10min después de la aplicación de la presión de la cámara para permitir que la muestra se estabilice. El periodo de espera puede ser mayor para suelos blandos o parcialmente saturados.

6. Aplicar la carga con una velocidad de deformación axial de 1%/min para materiales cohesivos y de 3%/min para materiales frágiles que alcanzan un esfuerzo desviador máximo de aproximadamente el 3 a 6% de deformación. A estas velocidades, el tiempo para alcanzar el esfuerzo desviador máximo será aproximadamente de 15 a 20min. Continuar cargando hasta el 15% de la deformación axial. Excepto cuando el esfuerzo desviador presente un pico y luego caiga un 20%.

7. Anotar la carga, deformación y el tiempo para incrementos de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5% de deformación; y luego para incrementos de 0.5% hasta 3% de la deformación y por último a cada 1%. Tomar suficientes lecturas para definir la forma de la curva esfuerzo – deformación, se recomienda que se tomen más puntos al inicio de la prueba y durante la aproximación de la falla.

8. Determinar el contenido de agua (indicar sí el contenido de agua se obtuvo de los cortes o de la muestra ensayada).

9. Hacer un esquema de la muestra fallada y mostrar la pendiente de falla.

5. RESULTADOS

Calcular la deformación axial (con aproximación del 0.1%):

$$\varepsilon_n = \frac{\delta_n}{H_0}$$

δn = Lecturas del micrómetro en mm.
Ho = Altura inicial de la muestra.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Calcular el área transversal corregida para cada lectura del micrómetro:

$$A_c = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_n}$$

A_0 = área inicial de la muestra en mm^2.
εn= deformación axial en mm/mm.

Calcular la diferencia de los esfuerzos principales (esfuerzo desviador):

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P}{A_c}$$

P = carga aplicada (a cada 1kPa).

Graficar la curva esfuerzo desviador (ordenada) en kg/cm^2 y en kPa – deformación axial (abscisa) en % y seleccionar el valor máximo del *esfuerzo desviador* o el *esfuerzo desviador para el 15% de deformación axial*, el que ocurra primero. La escala a utilizar en el eje de las abscisas debe ser de 0% a 20%.

Graficar la curva esfuerzo de compresión (ordenada) en kg/cm^2 y en kPa – deformación axial (abscisa) en mm/mm y determinar la pendiente de la recta que une el punto del origen de la gráfica con el punto máximo del esfuerzo de compresión para obtener el *Módulo Elástico Secante (Es)* en kg/cm^2 y en kPa.

La escala a utilizar en el eje de las abscisas debe ser de 0 a 0.2.

Calcular los esfuerzos totales principales mayor y menor a la falla como siguen:

σ_{3f} = esfuerzo total principal menor a la falla = presión de la cámara.
σ_{1f} = esfuerzo total principal mayor a la falla = esfuerzo desviador a la falla más la presión de la cámara.

Graficar los círculos de Mohr y determinar la cohesión del suelo en kg/cm^2 y en kPa, y el ángulo de fricción aparente.

Calcular el grado de saturación inicial de las muestras utilizando la masa inicial y sus dimensiones.

6. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica tanto personales como las realizadas en clase.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA No. 2
RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS
Prueba No. 2 Compresión simple

1. OBJETIVO
Obtener el valor de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS.

En los suelos, se acepta que la resistencia se presenta como una combinación de esfuerzo normal y cortante. Esta combinación de esfuerzos es un punto en el plano de Mohr. Las fallas reales en suelos, se acepta que nunca se dan por esfuerzo cortante puro, tampoco se acepta que tengan resistencia a la tensión, ya que esta no es una condición confiable ni permanente. La mecánica de suelos estudia la resistencia al esfuerzo cortante de éstos materiales siempre combinando un esfuerzo normal.

La propuesta clásica para analizar la resistencia de los suelos, es la de analizar la fricción en el plano de contacto de un bloque sobre un plano, ver *figura 1*.

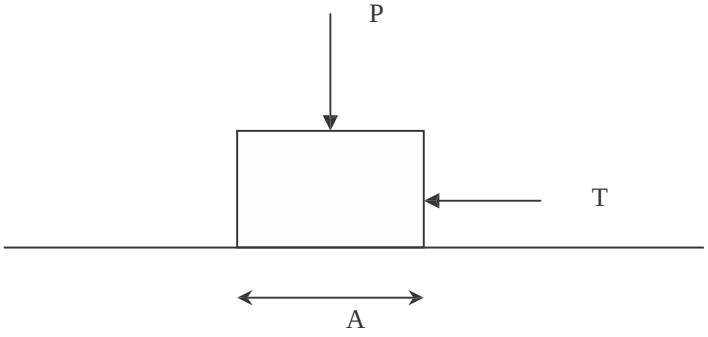


Figura 1. Bloque sometido a esfuerzo normal y cortante.

El esfuerzo normal se define como:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde P es la carga normal aplicada en el plano horizontal del bloque y A es el área del plano horizontal.

El esfuerzo cortante se define como:

$$\tau = \frac{T}{A}$$

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Donde T es la carga normal aplicada en el plano vertical del bloque y A es el área del plano horizontal.

El ángulo ϕ es el ángulo que describe la posición de la resultante R de la línea de acción del esfuerzo normal. En física clásica se define como coeficiente de fricción estática a la relación entre τ y σ, y se define como μ:

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma} = \tan\phi$$

Es por esta razón que la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo granular se expresa como:

$$s = \tau_{max} = \sigma \tan\phi$$

2.2 ELEMENTOS DE ESTADO DE DEFORMACIÓN.

Se define como deformación a la diferencia de longitud que se tiene cuando se pasa de una longitud inicial a una longitud final (en este concepto no importan condiciones intermedias, ni el tiempo en que se da la deformación). En mecánica de suelos las deformaciones son positivas cuando la longitud final es menor que la inicial, ver figura 2.

En esta figura se presenta una deformación positiva vertical.

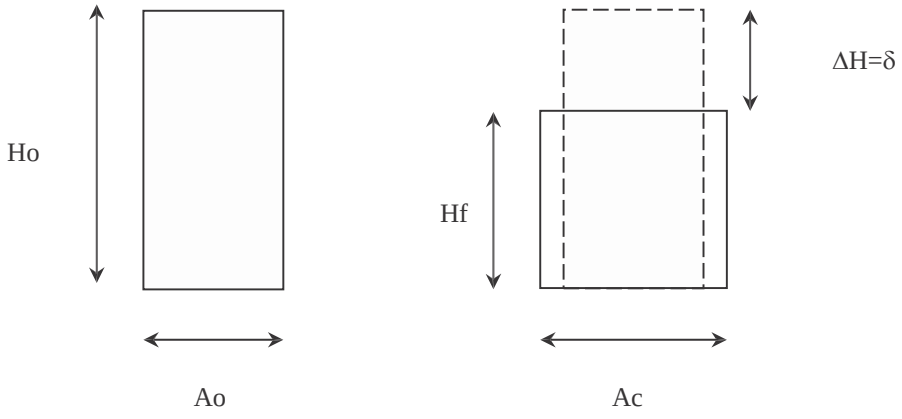


Figura 2. Análisis de deformaciones en compresión.

La deformación total se define como.

$$\delta = \Delta H = Ho - Hf$$

La deformación unitaria se define como la relación entre la deformación y la longitud inicial. Se denota con la letra griega "ε".

$$\varepsilon = \frac{\delta}{H_0}$$

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Si se acepta que la deformación se da a volumen de probeta constante, se puede decir que el área transversal (Ac, área corregida) que se va desarrollando conforme avanza la deformación es:

$$A_c = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

Lo anterior no es cierto en pruebas triaxiales de compresión debido a que se desarrollan esfuerzos cortantes en los extremos de la probeta, provocando que la probeta se abarrile.

2.3 PRUEBAS.

TORCÓMETRO Y PENETRÓMETRO DE BOLSILLO.

Este tipo de instrumentos permiten evaluar con cierta aproximación la resistencia al esfuerzo cortante no drenada de suelos finos saturados, a esta resistencia se le denomina “cohesión” (c) o más modernamente resistencia no drenada (Su).

El torcómetro de bolsillo, ver *figura 3*, se compone de una miniveleta en la punta, un resorte de torsión y una perilla con una carátula indicadora, todos ellos unidos por un eje metálico. Algunos como el mostrado en la figura, viene equipado con varias veletas. La forma de efectuar la prueba consiste en aplicarla al suelo, sin sacarlo del tubo Shelby, ya que así conserva su confinamiento. Se toma el torcómetro y se hunde en el suelo, lo más alejado de las paredes del tubo. Ya que se hundió hasta el tope, se aplica una torsión rápida pero con sumo cuidado. En el momento de la falla, el resorte se descarga y en la carátula se puede leer el valor de la resistencia no drenada (Su).

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Torvane Shear Device

Function
Measures shear strength of soils.

Features
- Rapid determination for either field or laboratory use.
- Suggested field applications: ends of Shelby Tube samples; standard penetration samples; split spoon samples; chunk samples from test pits and backhoe excavations; and sides of test pits.

Models
Note: Shown with Sensitive and High-Capacity Vanes (CL-602 and CL-604).
CL-600. With standard vane (0 to 1.0 TSF or kg/sq. cm. range). Includes case.

Weights
Net 8 oz. (226.8 g); Shpg. 1-1/2 lbs. (680.4 g).

Accessories/Options
CL-602. Sensitive Vane. 0 to 0.2 TSF or kg/sq. cm. range.
CL-604. High-Capacity Vane. 0 to 2.5 TSF range.

Figura 3. Torcómetro de bolsillo.

El penetrómetro de bolsillo, ver *figura 4*, consiste en un mango cilíndrico, que tiene una punta móvil, dividida en la punta de penetración y la zona indicadora. Al igual que con el torcómetro, se recomienda que se aplique a los suelos contenidos en un tubo Shelby. La forma de proceder es la siguiente: El indicador del penetrómetro se coloca en cero, posteriormente se hinca en el suelo la punta de penetración hasta la marca; finalmente se lee el valor obtenido en la zona indicadora de la punta. En este instrumento se lee el resultado como resistencia a la compresión no drenada, dada como el esfuerzo desviador de falla, de modo que para conocer el valor de "cohesión" o de resistencia no drenada (Su), se debe dividir lo obtenido entre dos.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

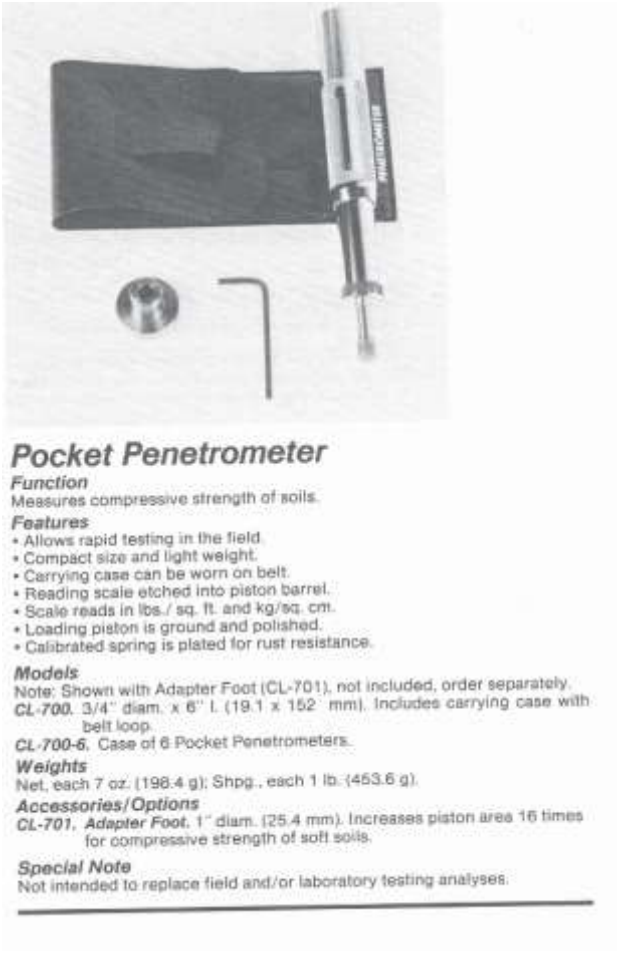


Figura 4. Penetrómetro de bolsillo.

El valor en laboratorio de estos instrumentos, consiste en que permiten calibrar la resistencia de los suelos, lo cual es muy útil, cuando se quiere programar una prueba triaxial o una de corte directo. Teniendo una idea del valor de la resistencia, se pueden elegir los instrumentos adecuados para una prueba formal (anillo de carga, marco de carga, cámara triaxial).

2.4 PRUEBAS DE COMPRESIÓN TRIAXIAL.

A partir de las investigaciones desarrolladas por Arturo Casagrande en el MIT para desarrollar pruebas de compresión en probetas cilíndricas, se lograron superar algunas serias desventajas que presentaba la prueba de corte directo. Actualmente las pruebas triaxiales son más populares que la de corte directo.

Una prueba triaxial permite una gran variedad de condiciones de drenaje. También se pueden aplicar todo el tiempo esfuerzos principales, de modo que no existe rotación de esfuerzos principales, como sucede con la de corte directo. Otra ventaja es que no tiene un plano predeterminado de falla, además de que se puede

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

representar en el plano de Mohr como un solo circulo, sin dejar de representar a un estado de esfuerzo tridimensional perfecto.

En la figura 5 se presenta esquemáticamente una cámara triaxial y algunos de sus principios. A la probeta de suelo se le aísla por medio de una membrana impermeable, la cual impide que el fluido confinante (agua) penetre en los poros del suelo. La carga axial se aplica por medio de un vástago de acero, el cual debe tener muy poca fricción con la tapa superior de la cámara por la cual pasa éste. Existe un mecanismo fuera de la cámara que permite el movimiento del vástago, sin incrementar la presión confinante que se aplica a la probeta. La probeta se coloca entre piedras porosas si se quiere permitir drenaje o medir la presión de poro en exceso, o colocar una sola piedra porosa en la base de la misma. Para el caso de la prueba triaxial no drenada no consolidada, no se mide la presión de poro en exceso por lo que no se requieren colocar las piedras porosas.

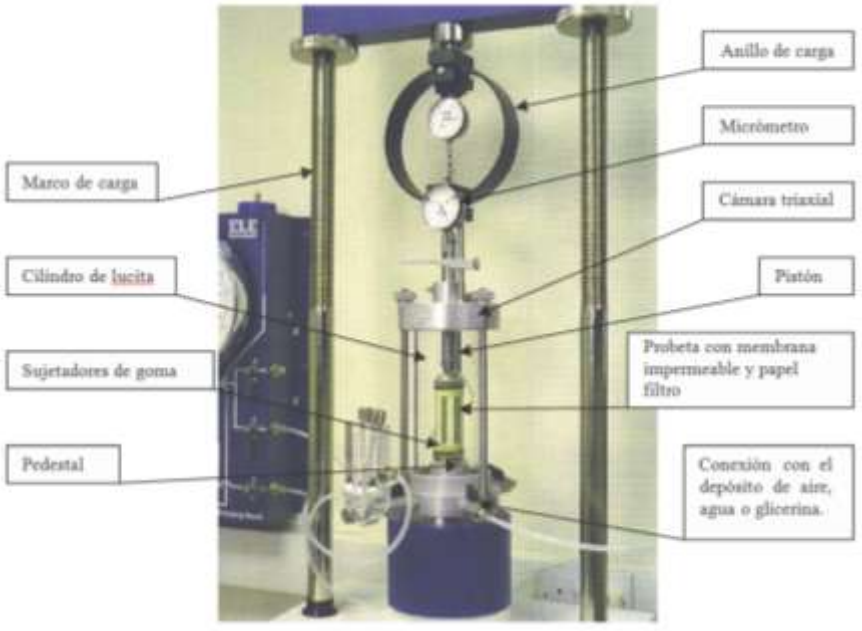


Figura 5. Equipo triaxial. (ELE Internacional Ltda., 1993)

En la notación que usaremos, se tomará como esfuerzo desviador a la diferencia entre el esfuerzo principal mayor y el principal menor, y se denomina por $\Delta\sigma a$. De modo que:

$$\Delta\sigma a = \sigma 1 - \sigma 3$$

Con respecto a los esfuerzos de confinamiento, para las pruebas triaxiales se aceptará que:

$$\sigma c = \sigma 2 = \sigma 3$$

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

CONDICIONES DE DRENAJE EN PRUEBAS TRIAXIALES.

Nombre de prueba Tx.	Primera etapa	Segunda etapa	Presión de poro	Condiciones de esfuerzos
Pba Tx. Compresión simple	----------	----------	----------	Totales
Pba. Tx. Consolidad - drenada	Consolidada	Drenada	No se mide	Efectivos
Pba. Tx. Consolidada – no drenada	Consolidada	No Drenada	Se mide	Totales y Efectivos
Pba. Tx. No consolidada – no drenada	No consolidada	No drenada	No se mide	Totales

INSTRUCTIVO PARA REALIZAR UNA PRUEBA TRIAXIAL DE COMPRESIÓN SIMPLE.

3. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN NO CONFINADA PARA SUELOS COHESIVOS (ASTM – D 2166-98A).

DEFINICIONES.

La *resistencia a la compresión no confinada* (qu) del suelo se determina a partir de muestras de suelo cilíndricas, las cuales se fallan sin ningún confinamiento lateral en una prueba simple de compresión. En esta prueba la resistencia a la compresión no confinada se considera como la carga máxima alcanzada por unidad de área o como la carga por unidad de área bajo una deformación axial del 15%, lo que se fije primero durante la ejecución de la prueba.

La resistencia *al corte* (Su), para este tipo de prueba, se determina como la mitad del esfuerzo de compresión a la falla, definido este último en el párrafo anterior.

USO Y SIGNIFICADO.

El principal propósito de esta prueba es la de obtener en forma rápida la resistencia aproximada del suelo, el cual tenga suficiente cohesión para permitir fallar la muestra en un estado no confinado.

Se utiliza en muestras de suelo que tengan estructura fisurada, muestras con algún tipo de suelo loessico, suelos secos, o muestras que contengan una porción importante de arena, limo o ambos; y que frecuentemente muestren una resistencia al corte elevada en las pruebas tipo no consolidada no drenada. Se incluyen los suelos parcialmente saturados, mismos que muestran diferentes resistencias cuando se fallan en pruebas no consolidadas no drenadas.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

- Marco de carga.
- Anillo de carga con micrómetro.
- Micrómetro.
- Vernier.
- Cronómetro.
- Equipo y herramienta de labrado.
- Balanza.
- Curva de calibración del anillo.

Sistema de compresión. Para suelos con una resistencia a la compresión no confinada menor a 100kPa el sistema de compresión debe ser capaz de medir el esfuerzo de compresión a cada 1kPa.

Para suelos con una resistencia a la compresión no confinada igual o mayor a 100kPa el sistema de compresión debe ser capaz de medir el esfuerzo de compresión a cada 5kPa.

Micrómetro de deformación. El micrómetro debe estar graduado a cada 0.03mm o menor y debe tener un rango de viaje de por lo menos el 20% de la altura de la muestra.

PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.

Tamaño de la muestra. La muestra debe tener un diámetro mínimo de 30 mm y las partículas mayores dentro de ésta no deben ser menores al 10% el diámetro de la muestra.

Para muestras con diámetro de 72 mm o mayor, el tamaño máximo de las partículas deben ser menores que el 6% el diámetro de la muestra. Si al final de la prueba se observa la existencia de partículas, dentro del espécimen, mayores que las permitidas se debe anotar en el informe dichas características. La relación altura - diámetro debe estar entre 2 y 2.5. Se deben tomar tres medidas de la altura del espécimen a cada 120° y tres medidas del diámetro a la mitad de cada cuarto de la altura.

Se debe evitar cualquier cambio del contenido de agua durante la manipulación de los tubos muestreadores y de la muestra ya cortada.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1. Colocar el micrómetro en ceros (o tomar la lectura inicial).
2. Aplicar la carga con una velocidad de deformación axial de ½ a 2%/min.
3. Anotar la carga, deformación y el tiempo para definir la forma de la curva esfuerzo – deformación, usualmente son suficientes de 10 a 15 puntos.
4. La velocidad de deformación debe de escogerse de tal forma que el tiempo de falla no exceda de 15min (los materiales muy suaves se deben fallar con una velocidad de deformación alta, mientras que los materiales frágiles se deben fallar con una velocidad de deformación menor). Continuar cargando hasta que el valor de la carga disminuya y la deformación aumente, o hasta que se alcance el 15% de la deformación.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

5. Indicar la velocidad de la deformación en el reporte.
6. Determinar el contenido de agua (indicar sí el contenido de agua se obtuvo de los cortes o de la muestra ensayada).
7. Hacer un esquema de la muestra fallada y mostrar la pendiente de falla.

5. RESULTADOS

Calcular la deformación axial (con aproximación del 0.1%):

$$\varepsilon_n = \frac{\delta_n}{H_0}$$

δn = Lecturas del micrómetro en mm.
Ho = Altura inicial de la muestra.

Calcular el área transversal corregida para cada lectura del micrómetro:

$$A_c = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_n}$$

A_0 = área inicial de la muestra en mm^2.
εn= deformación axial en mm/mm.

Calcular el esfuerzo de compresión:

$$\sigma_c = \frac{P}{A_c}$$

P = carga aplicada (a cada 1kPa).

Graficar la curva esfuerzo de compresión (ordenada) en kg/cm^2 y en kPa – deformación axial (abscisa) en % y seleccionar el valor máximo del *esfuerzo de compresión* o el esfuerzo de compresión para el 15% de deformación axial y reportar este esfuerzo como la *resistencia a la compresión no confinada (qu)* en kg/cm^2 y en kPa. La escala a utilizar en el eje de las abscisas debe ser de 0% a 20%.

Graficar la curva esfuerzo de compresión (ordenada) en kg/cm^2 y en kPa – deformación axial (abscisa) en mm/mm y determinar la pendiente de la recta que une el punto del origen de la gráfica con el punto máximo del esfuerzo de compresión para obtener el *Módulo Elástico Secante (Es)* en kg/cm^2 y en kPa. La escala a utilizar en el eje de las abscisas debe ser de 0 a 0.2.

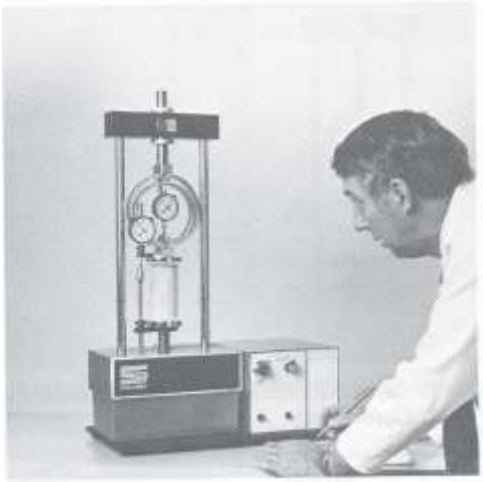
Graficar el círculo de Mohr y determinar la *resistencia al esfuerzo cortante (Su)* como ½ de *qu* en kg/cm^2 y en kPa.

Nota: Se anexan figuras en donde se observa el equipo y sus características y algunos aditamentos. El equipo de compresión no confinada es marca SOILTEST.

6. CONCLUSIONES

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Las propias de esta sesión práctica tanto personales como las realizadas en clase.



Unconfined Compression Apparatus, Motorized

Function
Measures load and deformation of undisturbed or remolded soil samples at uniform, controlled loading rates.

Testing Standards
ASTM D-2166; AASHTO T-208.

Features
- Allows more rapid testing.
- More accurate, repeatable test procedures.
- Hands-off loading for better sample observation and recording of data.

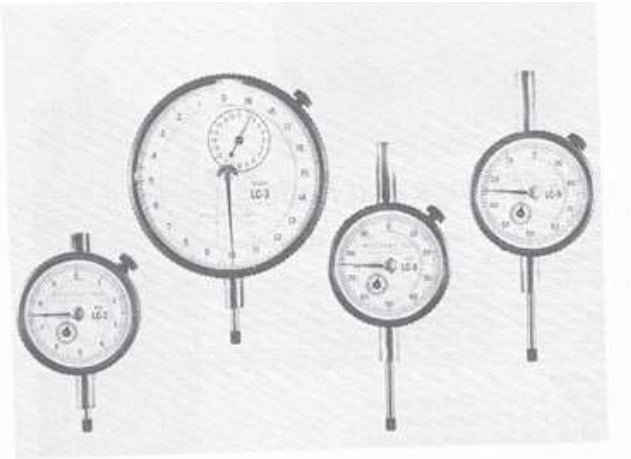
Specifications

Sample Size	Up to 3" diam. x 9" h. (7.6 x 22.9 cm)
Speed Control	10-turn vernier dial, adjusts through ratio of 1000:1
Load Control	Down/Stop/Up rotary switch
Loading Speeds	From 0.00025 in./min. to 0.25 in./min. (0.00635 mm/min. to 6.35 mm/min.)
Platens	3" (7.6 cm) diam., with concentric grooves for centering sample
Platen Discs	Lucite, 1/4" thick, two supplied
Platen Clearances	9-9/16" max. x 3-1/8" min. (24.3 x 7.9 cm)
Platen Travel	3" (7.6 cm) max.
Proving Ring	Double-type, with dial indicator and calibration curve
Strain Indicator	Dial-type, 0.0001" graduations
Base	High-strength aluminum alloy, with rubber feet
Dimensions	19-1/2" w. x 10-1/2" d. x 33-1/2" h.

Models
Includes pad of 100 data sheets (DU-1).
U-590. 500 lb. Load Capacity. 115v AC, 50/60 Hz.
U-590-4. 500 lb. Load Capacity. 230v AC, 50/60 Hz.
U-590M. Metric. 2224.1 N Load Capacity. 115v AC, 50/60 Hz.
U-590M-4. Metric. 2224.1 N Load Capacity. 230v AC, 50/60 Hz.
U-600. 1000 lb. Load Capacity. 115v AC, 50/60 Hz.
U-600-4. 1000 lb. Load Capacity. 230v AC, 50/60 Hz.
U-600M. Metric. 4448.2 N Load Capacity. 115v AC, 50/60 Hz.
U-600M-4. Metric. 4448.2 N Load Capacity. 230v AC, 50/60 Hz.
U-610. 1500 lb. Load Capacity. 115v AC, 50/60 Hz.
U-610-4. 1500 lb. Load Capacity. 230v AC, 50/60 Hz.
U-610M. Metric. 6672.3 N Load Capacity. 115v AC, 50/60 Hz.
U-610M-4. Metric. 6672.3 N Load Capacity. 230v AC, 50/60 Hz.

Anexo 1.1. Equipo motorizado de compresión no confinada.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



Dial Indicators

Function

Sensitive, low-friction dial indicators for measuring displacements; contact points adjust with equal accuracy to both sudden and gradual dimension changes; adjustment not delayed by inertia.

Specifications

Contact Pressure.	Exceptionally low.
Contact Point.	Immediate response, up or down; movement magnified to indicator hand with minimal friction; 3/16" (5 mm) radius x 1/4" (6 mm) l.
Dials.	With continuous graduations and revolution counters.
Clockwise Dials.	Measure movement toward dial case; pointer at zero with stem extended.
Counter-clockwise Dials.	Measure movement away from dial case; pointer at zero with stem retracted.
Brake.	Indicated by "B" in model number; holds final reading until manually released.

Models

		English Reading		
No.	Range	Divisions	Movement	Face Diam.
LC-2	0.2"	0.0001"	Clockwise	2-1/4"
*LC-2B	0.2"	0.0001"	Clockwise	2-1/4"
LC-4	0.3"	0.0001"	Clockwise	2-1/4"
LC-3	0.4"	0.0001"	Counter-clockwise	3-5/8"
LC-8	1.0"	0.001"	Clockwise	2-1/4"
LC-9	1.0"	0.001"	Counter-clockwise	2-1/4"
LC-10	2.0"	0.001"	Clockwise	2-3/4"
LC-14	2.0"	0.001"	Counter-clockwise	2-3/4"
**LC-11	3.0"	0.001"	Clockwise	3-5/8"

*With brake.
**With 2 revolution counters.

		Metric Reading		
No.	Range	Divisions	Movement	Face Diam.
LC-2M	5 mm	0.002 mm	Clockwise	57 mm
*LC-2BM	5 mm	0.002 mm	Clockwise	57 mm
LC-4M	8 mm	0.002 mm	Clockwise	57 mm
LC-3M	10 mm	0.0025 mm	Counter-clockwise	
LC-12	25 mm	0.01 mm	Clockwise	57 mm
LC-13	25 mm	0.1 mm	Counter-clockwise	
**LC-10M	50 mm	0.02 mm	Clockwise	
**LC-11M	80 mm	0.02 mm	Clockwise	

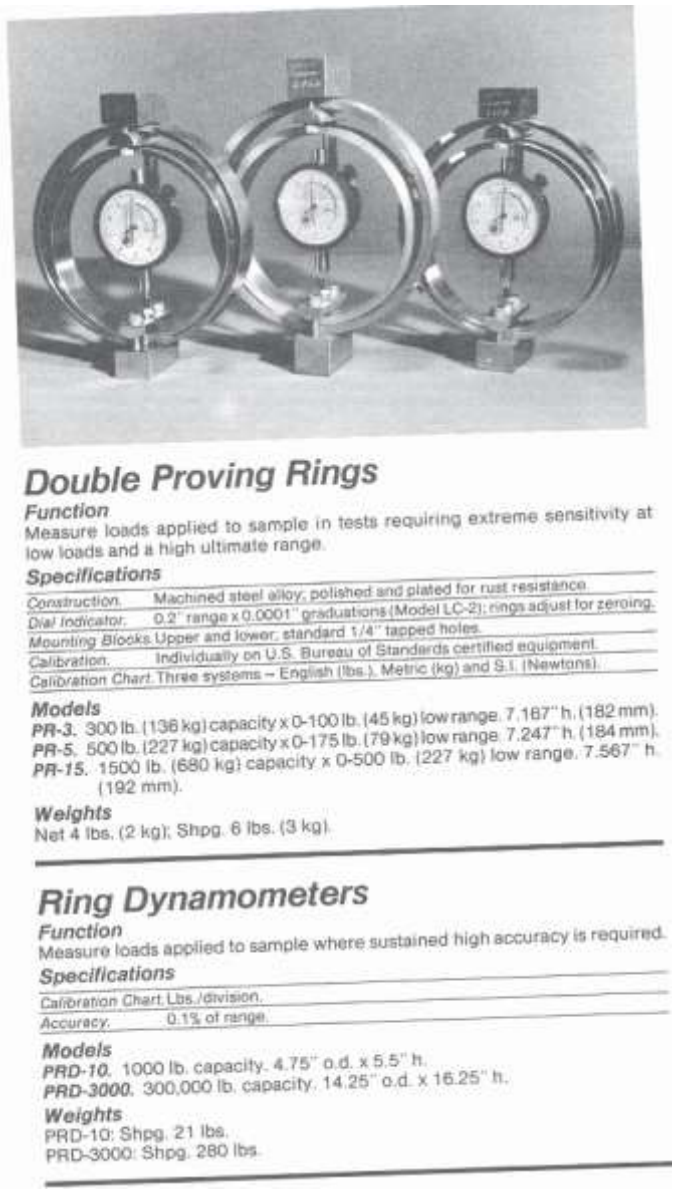
*With brake.
**With 2 revolution counters.

Weights

Net 12 oz. (340 g); Shpg. 1 lb. (454 g).

Anexo 1.2. Micrómetros

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



Double Proving Rings

Function
Measure loads applied to sample in tests requiring extreme sensitivity at low loads and a high ultimate range.

Specifications

Construction.	Machined steel alloy; polished and plated for rust resistance.
Dial Indicator.	0.2" range x 0.0001" graduations (Model LC-2); rings adjust for zeroing.
Mounting Blocks.	Upper and lower; standard 1/4" tapped holes.
Calibration.	Individually on U.S. Bureau of Standards certified equipment.
Calibration Chart.	Three systems – English (lbs.), Metric (kg) and S.I. (Newtons).

Models
PR-3. 300 lb. (136 kg) capacity x 0-100 lb. (45 kg) low range. 7.167" h. (182 mm).
PR-5. 500 lb. (227 kg) capacity x 0-175 lb. (79 kg) low range. 7.247" h. (184 mm).
PR-15. 1500 lb. (680 kg) capacity x 0-500 lb. (227 kg) low range. 7.567" h. (192 mm).

Weights
Net 4 lbs. (2 kg); Shpg. 6 lbs. (3 kg).

Ring Dynamometers

Function
Measure loads applied to sample where sustained high accuracy is required.

Specifications

Calibration Chart.	Lbs./division.
Accuracy.	0.1% of range.

Models
PRD-10. 1000 lb. capacity. 4.75" o.d. x 5.5" h.
PRD-3000. 300,000 lb. capacity. 14.25" o.d. x 16.25" h.

Weights
PRD-10: Shpg. 21 lbs.
PRD-3000: Shpg. 280 lbs.

Anexo 1.3. Anillos dobles de carga.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA No. 3
RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS
Prueba No. 3 Corte directo

1. OBJETIVO

Obtener el valor de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo granular.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1. RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS.

En los suelos, se acepta que la resistencia se presenta como una combinación de esfuerzo normal y cortante. Esta combinación de esfuerzos es un punto en el plano de Mohr. Las fallas reales en suelos nunca se dan por esfuerzo cortante puro, tampoco que tengan resistencia a la tensión, ya que ésta no es una condición confiable ni permanente. La mecánica de suelos estudia la resistencia al esfuerzo cortante de estos materiales combinando un esfuerzo normal.

La propuesta clásica para analizar la resistencia de los suelos, es la de analizar la fricción en el plano de contacto de un bloque sobre un plano, ver *figura 1*.

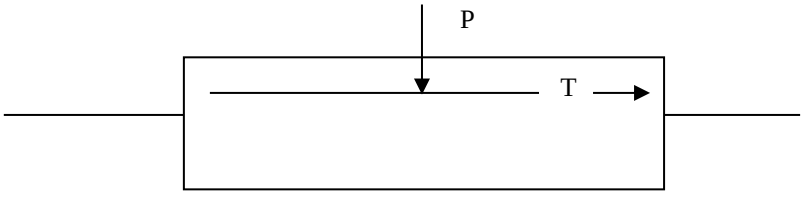


Figura 1. Bloque sometido a esfuerzo normal y cortante.

2.2. ENSAYE DE CORTE DIRECTO ORDINARIO.

Este ensaye se encuentra estandarizado por la norma ASTM D-3080.

El ensaye de Corte Directo consiste en aplicar una fuerza normal y una horizontal (corte) a la mitad de la caja de corte y medir los desplazamientos horizontales como verticales. Con estos datos se determinan las gráficas:

- Esfuerzo de corte - desplazamiento horizontal

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

- Desplazamiento vertical - desplazamiento horizontal
- Esfuerzo normal - esfuerzo de corte

Con estas gráficas se determinan los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo.

Puede ser aplicado en arenas y en arcillas, sólo se debe considerar el tamaño del espécimen; por ejemplo, para muestras cuadradas, el lado no debe ser menor a 50 mm ó 10 veces el tamaño máximo de partículas.

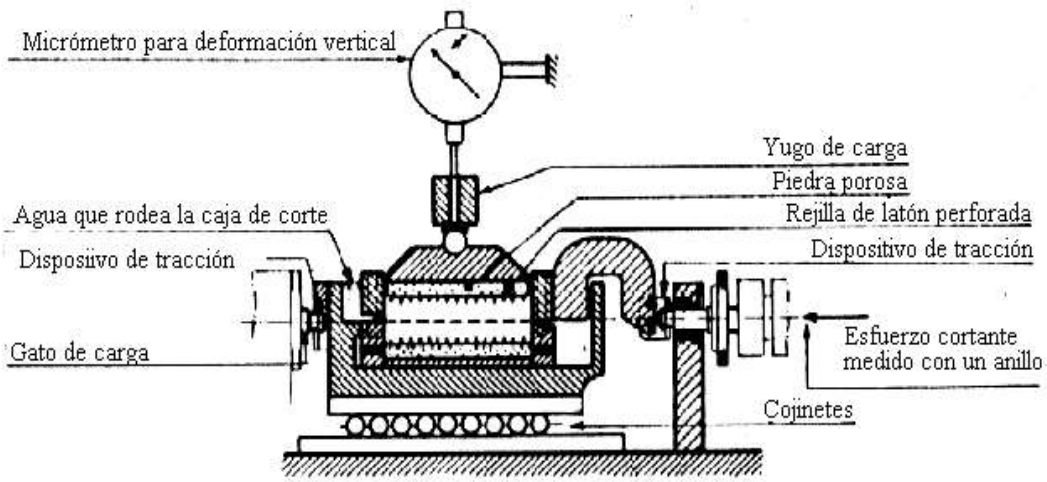
3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

3.1. EQUIPO

Equipo de corte directo ordinario.

El aparato de corte directo se esquematiza en la *figura 2*. Básicamente éste consta de una caja de corte formada por dos marcos que contienen a la muestra. El marco inferior es fijo, mientras que el superior se desplaza en forma horizontal. Las muestras a ensayar en algunos aparatos de corte son de forma prismática, tal como se observa en la *figura 2*, pero también pueden ser de forma cilíndrica.

3.2. MATERIAL



SECCION DE LA CAJA DE CORTE

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

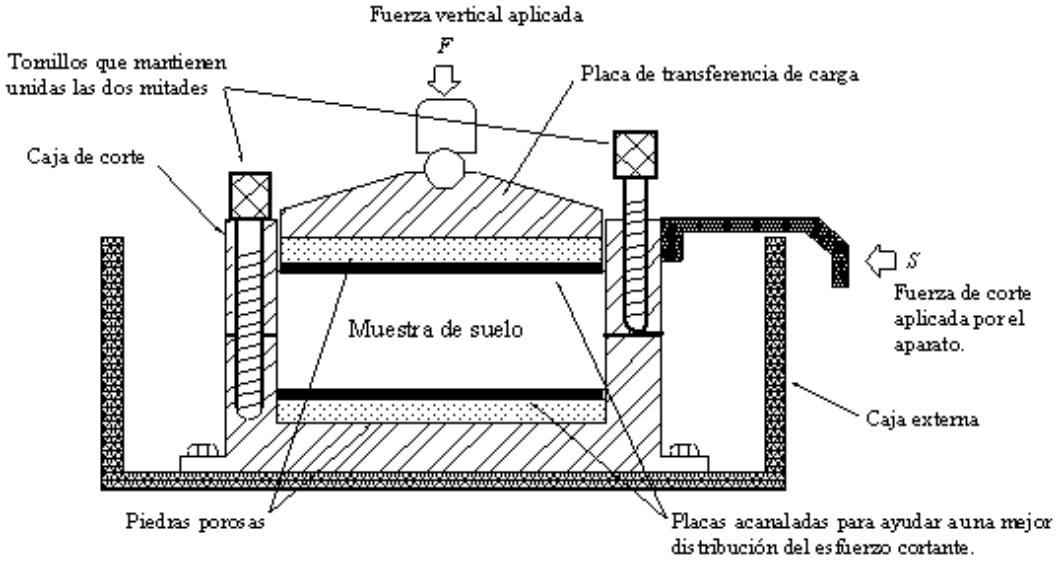


Figura 2. Esquemas de un equipo de corte directo ordinario.

Una vez que se ha recortado la muestra, ésta se coloca dentro de la caja de corte que forma los dos marcos, de tal manera que la mitad de su altura quede comprendida en cada uno de ellos.

En la parte superior e inferior de la muestra se colocan piedras porosas para permitir el drenaje del material en caso de que ésta se sature con agua.

Posteriormente se coloca sobre la probeta una placa para que se distribuya la aplicación de la carga vertical (P), misma que desarrolla un esfuerzo normal σ_n.

$$\sigma_n = \frac{P}{A}$$

Donde A es el área de la probeta según un plano horizontal.

4. DESARROLLO DE LA SESIÓN PRÁCTICA

1.- Una vez que la muestra se ha formado dentro de la cazuela de corte se procede a aplicar una fuerza normal σ_n.

2.- A continuación, se aplica a la probeta una fuerza horizontal (T).

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

$$\tau = \frac{T}{A}$$

Donde A es el área de la probeta según un plano horizontal.

La fuerza horizontal se puede aplicar bajo carga controlada o deformación controlada.

3.- Bajo la aplicación de la fuerza F se deben medir las deformaciones verticales y horizontales mediante los micrómetros que se muestran en la *figura 3*. La carga aplicada se debe medir mediante el micrómetro del anillo de carga.

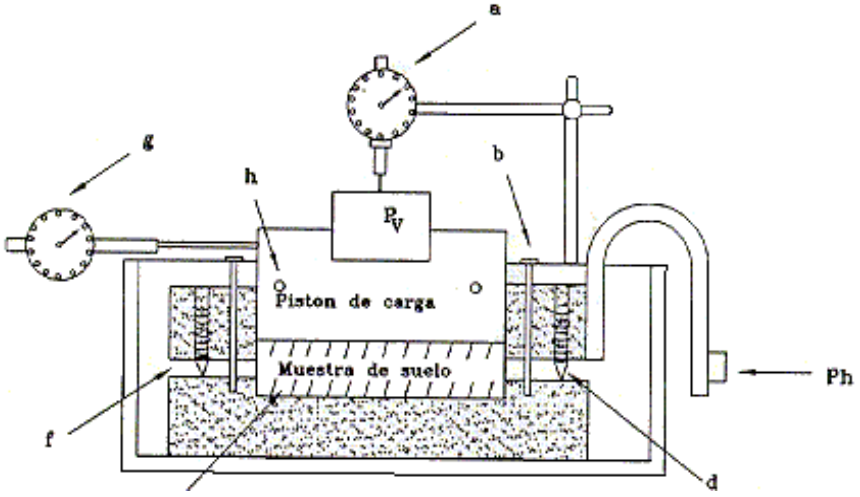


Figura 3.a. Disposición de los micrómetros de deformación.

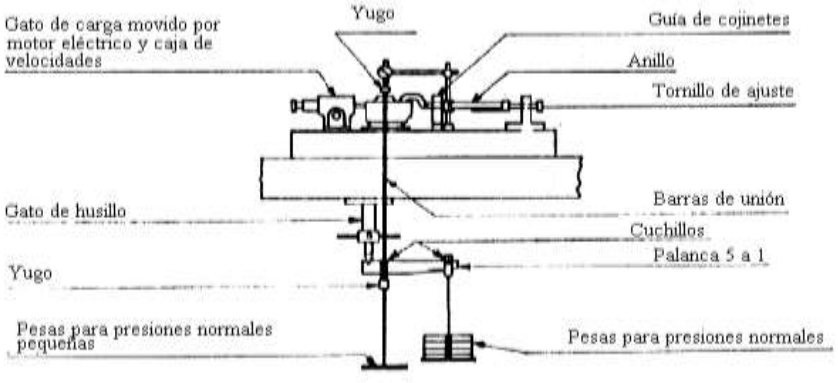


Figura 3.b. Disposición del sistema de carga.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

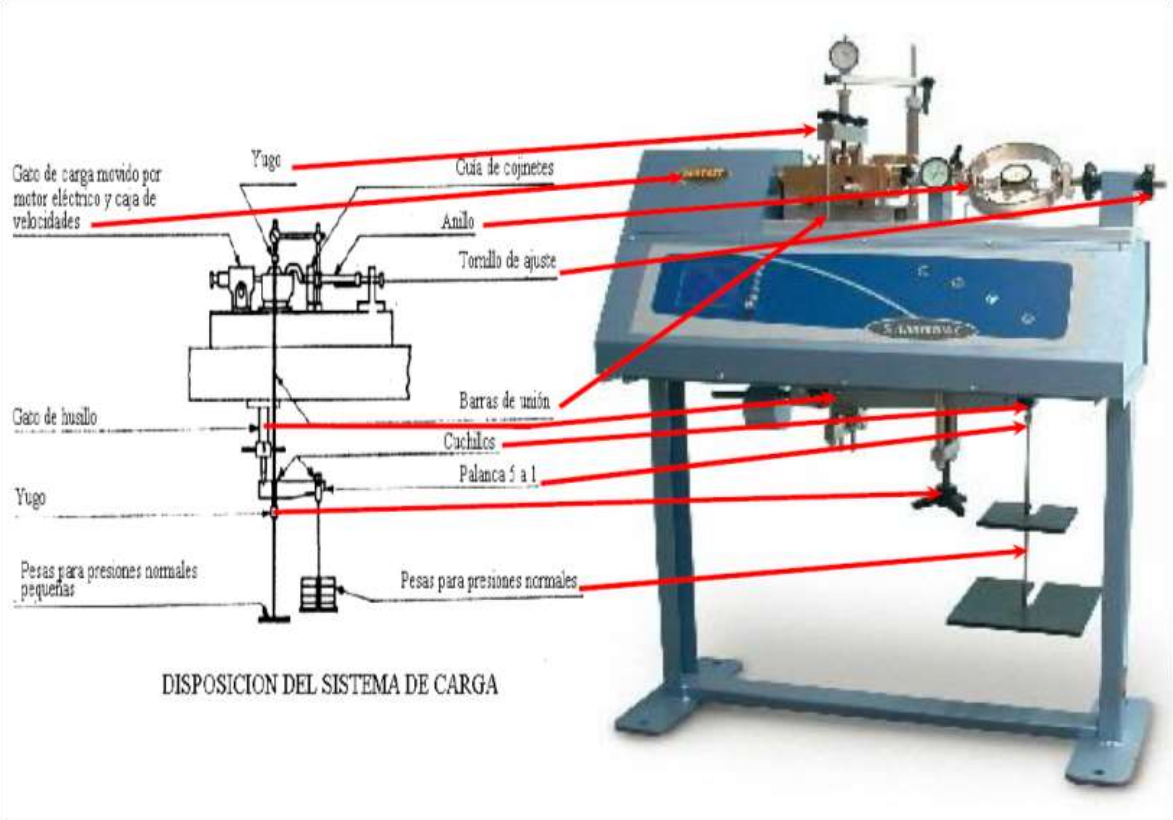


Figura 3. Posición de los micrómetros de deformación y anillo de carga.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE VACÍOS
PRUEBA DE CORTE DIRECTO

Descripción de la muestra:	Muestra No.:
Localización:	
Operador:	Fecha:

Diámetro de la muestra, $\mathbf{D_{prom}}$ (cm)	
Altura de la muestra, $\mathbf{H_{prom}}$ (cm)	
Peso del depósito + arena seca (antes de usar), $\mathbf{W_1}$ (g)	
Peso del depósito + arena seca (después de usar), $\mathbf{W_2}$ (g)	
Peso volumétrico seco del espécimen, $\boldsymbol{\gamma_d}$ (g/cm^3) $\gamma_d = \frac{W_1 - W_2}{\frac{\pi D^2}{4} H}$	
Peso específico relativo de los sólidos, $\mathbf{s_s}$	
Relación de Vacíos, **e** $e = \frac{s_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1$	

$\gamma_w = 1.0\, g/cm^3$

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

PRUEBA DE CORTE DIRECTO

Descripción del suelo:			Muestra No.:	
Relación de Vacíos:				
Constante de calibración del anillo:				
Velocidad de deformación (mm/min):				
Area de la muestra (cm^2):				
ESFUERZO NORMAL en la cazuela (kg/cm^2):				

Tiempo	Desplazamiento Horizontal		Desplazamiento Vertical		Lectura del Anillo	Fuerza Cortante	Esfuerzo Cortante
(min)	(mm)	(cm)	(mm)	(cm)		(kg)	(kg/cm^2)
0.0							
0.5							
1.0							
1.5							
2.0							
2.5							
3.0							
3.5							
4.0							
4.5							
5.0							
5.5							
6.0							
6.5							
7.0							
7.5							
8.0							
8.5							
9.0							
9.5							
10.0							
10.5							
11.0							
11.5							
12.0							
12.5							
13.0							
13.5							
14.0							
14.5							
15.0							
15.5							
16.0							
16.5							
17.0							
17.5							
18.0							
18.5							
19.0							
19.5							
20.0							
20.5							
21.0							
21.5							
22.0							
22.5							
23.0							
23.5							
24.0							
24.5							
25.0							
25.5							
26.0							
26.5							
27.0							
27.5							
28.0							
28.5							
29.0							
29.5							

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

DETALLES DEL PROCEDIMIENTO (deformación controlada)

1. Verificar la nivelación del brazo de palanca para aplicación de la carga normal.
2. Instalar el anillo de carga en el equipo de corte directo.
3. Colocar las piedras porosas de la parte inferior, así como los tornillos que mantienen las dos partes de la caja de corte unidas firmemente (para suelos granulares colocar sólo las placas de bronce, para suelos finos, además, colocar las piedras porosas y papel filtro).
4. Determine las dimensiones de la caja de corte ($\boldsymbol{D_{prom}}$ y altura libre a partir de las piedras porosas).
5. Colocar una cantidad suficiente de suelo en un recipiente y determinar el ***peso suelo + recipiente***.
6. Rellenar la caja de corte con este material hasta la altura y compacidad deseadas y determinar el ***peso del suelo restante + recipiente***.

Nota: Para muestras sueltas, es recomendable montar la caja sobre el equipo de corte antes de elaborar la probeta para evitar alteraciones por el manejo.

7. Determinar la altura nominal de la probeta de suelo ($\boldsymbol{H_{prom}}$).
6. Colocar las piedras porosas de la parte superior y el cabezal de carga.
7. Asegurar la caja de corte directo a la base contenedora mediante los tornillos de ajuste del dispositivo.
8. Colocar el marco de carga y los micrómetros de deformación vertical y horizontal.
9. Aplicar la carga vertical deseada, ***N***, al espécimen.
10. Retirar los tornillos que mantienen unidas las dos partes de la caja de corte.
11. Ajustar los tornillos espaciadores para separar las dos mitades de la caja aproximadamente ***0.64 mm***.
12. Llevar a cero la lectura inicial de los micrómetros.
13. Iniciar la aplicación de la carga horizontal, ***S***, a una velocidad de ***0.5 mm/min***.
14. Tomar lecturas de carga, deformación horizontal y deformación vertical *cada medio minuto*.
15. Repetir el procedimiento anterior al menos dos veces en las que se aplique una carga vertical diferente en cada ocasión.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

5. RESULTADOS

1. Para cada esfuerzo normal aplicado, trazar una gráfica de *esfuerzo cortante vs. desplazamiento horizontal*, así como una gráfica de *desplazamiento vertical vs. desplazamiento horizontal*.
2. Determinar los esfuerzos cortantes de falla, ***s***, de la primera de las gráficas que se trazó.
3. Con los valores obtenidos, trazar una gráfica de *esfuerzo cortante de falla contra esfuerzo normal*, (s - σ'), la cual se aproximará a una recta que pasa por el origen.
4. El ángulo de fricción del suelo, ϕ', se puede determinar como la pendiente de la envolvente de falla:

$$\emptyset' = \boldsymbol{ang}\,\mathbf{tan}\left(\frac{\boldsymbol{s}}{\boldsymbol{\sigma'}}\right)$$

VALORES TEÓRICOS

El ángulo de fricción, ***φ'***, es función de la <u>*compacidad relativa*</u> de la arena, tamaño de grano, forma, principalmente, para un suelo en específico.

Para un suelo dado, a mayor relación de vacíos, menor será el ángulo de fricción, ***φ'*** y viceversa.
En consecuencia, a mayor grado de compacidad, mayor será el valor del ángulo ***ϕ'***.

Tabla 1. Estado del suelo – compacidad relativa (Das, 2011).

Estado del suelo	**Compacidad relativa (Cr) (%)**	***ϕ'*** **(°)**
Arena de grano redondeado:		
Suelta	0-50	28-32
Compacidad Media	50-70	30-35
Densa	70-100	35-40
Arena de grano anguloso:		
Suelta	0-50	30-36
Compacidad Media	50-70	34-40
Densa	70-100	40-45

6. CONCLUSIONES:

Las propias de esta sesión práctica tanto personales como las realizadas en clase.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA No. 4
DETERIMINACIÓN DE LA CURVA DE COMPACTACIÓN
Prueba No. 4 Prueba de compactación PROCTOR ESTANDAR

1. OBJETIVO

Obtener la curva de compactación de un suelo mediante la prueba Proctor Estándar realizada en el laboratorio.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

PRUEBA DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO UTILIZANDO UN ESFUERZO ESTANDAR – 600 kN-m/m^3 (ASTM – D 698 -91).

ALCANCES.

Este método de prueba cubre el procedimiento de compactación de laboratorio para determinar la relación entre el contenido de agua y el peso volumétrico seco de los sólidos (curva de compactación) compactados dentro de un molde con 101.6 mm ó 152.4 mm de diámetro y un pistón de 24.4 N de peso, el cual se deja caer desde una altura de 305 mm; obteniendo un esfuerzo de compactación de 600 kN-m/m^3.

Esta prueba se aplica solamente a los suelos que tienen el 30% en peso o menor de partículas retenidas en la malla 3/4" (19 mm).

Se especifican tres procedimientos alternativos. El procedimiento usado debe ser como se especifica para el material muestreado. Si no se especifica un procedimiento, la selección se basa en la granulometría del material.

Procedimiento A.

Molde	101.6 mm de diámetro
Material	Pasa la malla No. 4 (4.75 mm)
Capas	3
Golpes por capa	25
Uso	Se puede usar si el 20% en peso del material o menor se retiene en la malla No. 4.
Otros usos	Si no se especifica este procedimiento y el material cumple con la granulometría anterior se debe usar el procedimiento B o C.

Procedimiento B.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Molde	101.6 mm de diámetro
Material	Pasa la malla No. 3/8" (9.5 mm)
Capas	3
Golpes por capa	25
Uso	Se debe usar si más del 20% en peso del material se retiene en la malla No. 4 (4.75 mm) y el 20% en peso del material o menor se retiene en la malla 3/8" (9.5 mm).
Otros usos	Si no se especifica este procedimiento y el material cumple con la granulometría anterior se debe usar el procedimiento C.

Procedimiento C.

Molde	152.4 mm de diámetro
Material	Pasa la malla 3/4"(19.0 mm)
Capas	3
Golpes por capa	56
Uso	Se debe usar si más del 20% en peso del material se retiene en la malla 3/8" (9.5 mm) y menos del 30% en peso del material se retiene en la malla 3/4" (19.0 mm).

Nota: El molde de 6" (152.4 mm) de diámetro no se debe usar con los procedimientos A y B.

DEFINICIONES.

Sobre tamaño de partículas o fracción gruesa (Pc en %). Es la parte de la muestra total no usada para la realización de la prueba de compactación; es decir, es la parte retenida en la malla No. 4 (4.75mm), 3/8" (9.5mm) o 3/4" (19.0mm), dependiendo del procedimiento a usar.

Esfuerzo estándar de compactación. Es el esfuerzo de compactación de 600 kN-m/m^3 aplicado por el equipo y por el procedimiento ejecutado en esta prueba.

Peso volumétrico seco máximo estándar ($J_{d\ máx}$ en kN/m^3). Es el valor máximo definido en la curva de compactación utilizando un esfuerzo de compactación estándar.

Contenido de agua óptimo estándar (w_{opt} en %). Es el contenido de agua en donde el suelo puede compactarse a un peso volumétrico seco máximo utilizando un esfuerzo de compactación estándar.

Fracción de prueba o fracción fina (P_F en %). Es la parte de la muestra total usada para realizar la prueba de compactación; es decir, es la fracción que pasa la malla No. 4 (4.75 mm) para el procedimiento A,

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

3/8" (9.5 mm) para el procedimiento B, o 3/4" (19.0 mm) para el procedimiento C.

RESUMEN DEL MÉTODO DE PRUEBA.

Se coloca un suelo en tres capas con un contenido elegido de agua dentro de un molde con dimensiones dadas. Cada capa de suelo se compacta con 25 a 56 golpes con un pistón de 24.4 N de masa, dejándolo caer desde una altura de 305 mm, sometiendo al suelo a un esfuerzo de compactación de 600 kN-m/m^3. Se determina el peso volumétrico seco máximo. El procedimiento se repite para un número suficiente de contenidos de agua con el objetivo de establecer la relación entre el peso volumétrico seco y el contenido de agua del suelo. Estos datos se grafican para obtener una relación curvilínea conocida como *curva de compactación*. El peso volumétrico seco máximo y el contenido de agua óptimo se determinan de la curva de compactación.

USO Y SIGNIFICADO.

El suelo colocado como un relleno ingenieril (terraplén, relleno de cimentación, talud) se compacta a un estado más denso para obtener propiedades mecánicas adecuadas: resistencia cortante, compresibilidad o permeabilidad. Inclusive, los suelos debajo de las cimentaciones se compactan para mejorar sus propiedades mecánicas. La prueba de compactación de laboratorio provee la base para determinar el grado de compactación (Gc %) o la compacidad relativa (Cr %), y el contenido de agua necesario para alcanzar las propiedades mecánicas requeridas; así como para controlar los procedimientos constructivos y asegurar que la compactación alcanzada y el contenido de agua sea la especificada.

Durante el diseño de rellenos ingenieriles las pruebas de resistencia al esfuerzo cortante, de consolidación y de permeabilidad, requieren la preparación de especímenes de prueba; esto se realiza compactando un suelo para un contenido de agua y peso volumétrico dado. Es común en la práctica, primero determinar el contenido de agua óptimo y el peso volumétrico seco máximo bajo una prueba de compactación dada. Los especímenes de prueba se compactan con contenidos de agua elegidos, ya sea por abajo o por arriba del contenido de agua óptimo, o inclusive para el contenido de agua óptimo; y para un peso volumétrico seco, relacionado con un porcentaje del peso volumétrico seco máximo. La selección del contenido de agua, ya sea por abajo o por arriba del contenido de agua óptimo, o en el óptimo; y el peso volumétrico seco máximo se pueden basar en la experiencia, o se puede investigar un rango de valores para determinar el porcentaje necesario de compactación.

3. EQUIPO Y MATERIAL REQUERIDO

EQUIPO

Molde (4"). Diámetro interior promedio de 101.6 mm +/- 0.4 mm
Altura de 116.4 mm +/- 0.5 mm.
Volumen de 944 cm^3 +/- 14 cm^3. (Ver *figura 1*)

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

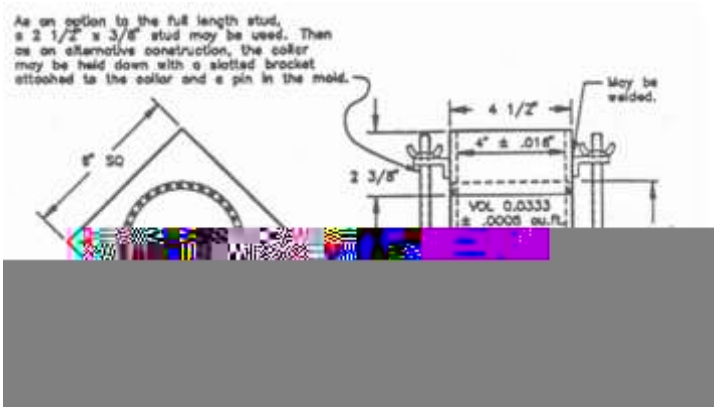


Figura 1. Molde de 4" (ASTM D 698).

Molde (6"). Diámetro interior promedio de 152.4 mm +/- 0.7 mm.
Altura de 116.4 mm +/- 0.5 mm.
Volumen de 2 124 cm^3 +/- 25 cm^3. (Ver *figura 2*)

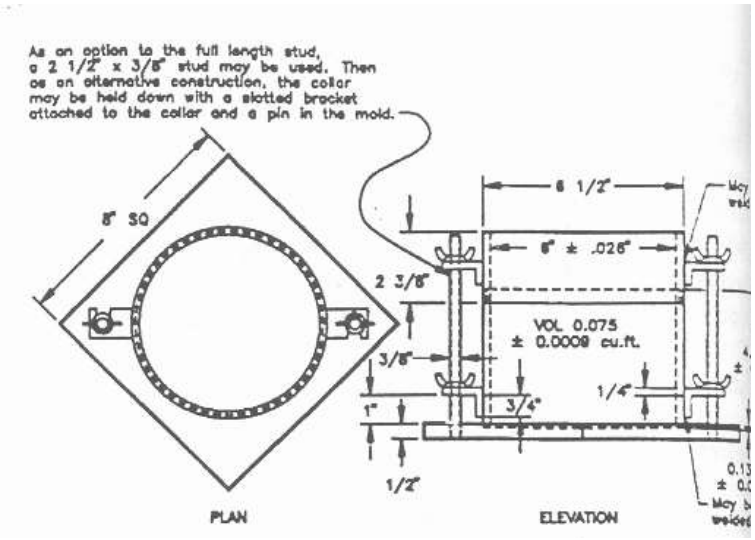


Figura 2. Molde de 6" (ASTM D 698).

- **Pisón Manual** Caída libre de 304.8 mm +/- 1.3 mm desde la superficie del espécimen.
  Masa de 2.5 +/- 0.01kg.

  El área transversal del pistón debe ser circular, con diámetro de 50.80 +/- 0.13 mm, y tener una superficie de contacto plana.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA No. 5
PRUEBA DE COMPACTACIÓN HARVARD MINIATURA

1. OBJETIVO

Realizar la compactación por amasado mediante la prueba Harvard Miniatura.

.

PRUEBA DE COMPACTACIÓN DE LABORATORIO HARVARD MINIATURA (Wilson, 1950).

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Cuando se usan rodillos pata de cabra, neumáticos, rodillo de rejilla o segmentado la carga se pone en contacto con el suelo prácticamente sin impacto. A media que el rodillo se adapta a la superficie del suelo, la rotación del rodillo o neumático produce una acción de amasado.

RODILLO PATA DE CABRA.

Estos compactadores concentran su peso sobre el área de contacto de un conjunto de puntas de forma variada y penetran al suelo ejerciendo presiones estáticas muy grandes en los puntos en que estas protuberancias ejercen su acción. Conforme se van dando pasadas y el material se va compactando, las patas profundizan cada vez menos en el suelo y llega un momento en que ya no se produce ninguna compactación adicional. En una cierta profundidad pequeña, la superficie queda siempre distorsionada pero se compacta bajo la siguiente capa que se tienda.

La presión que ejerce el rodillo pata de cabra sobre el suelo no es uniforme, los vástagos penetran ejerciendo presiones crecientes, mismas que llegan a un máximo en el instante en que el vástago se encuentra en su máxima penetración, a partir de ese momento la presión disminuye conforme el vástago va saliendo.

La acción del rodillo es tal que hace progresar la compactación de la capa de suelo de abajo hacia arriba. En las primeras pasadas los vástagos y una parte del tambor mismo penetran en el suelo, lo que permite que la mayor presión se ejerza en el lecho inferior de la capa por compactar; para que esto ocurra el espesor de la capa no debe ser mayor que la longitud del vástago. Al aumentar el número de pasadas del equipo la parte inferior de la capa va adquiriendo mayor resistencia, lo que impide la penetración del rodillo y de sus vástagos, compactando el suelo suprayacente. El proceso puede llegar a un límite en el que el rodillo "camina" sobre el suelo y transmite todo su peso a través de los vástagos sin que haya contacto entre el tambor y el suelo.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

de charolas.
- Vernier (calibrador).

4. RESULTADOS

Los cálculos para este ensayo son similares al ensayo de compactación Proctor, es decir, se debe calcular la densidad húmeda y con el contenido de agua que posee la muestra se determina su densidad seca.

Al realizar varias determinaciones se obtiene la curva de compactación en donde se recomienda, conociendo la gravedad específica (Gs) del suelo ensayado, incluir la curva de saturación (S=1).

También es posible calcular la energía específica de compactación de acuerdo a la fórmula descrita en el ensayo de compactación Proctor.

Una vez graficadas ambas curvas se determina el peso volumétrico seco máximo y su contenido de agua óptimo.

5. CONCLUSIONES

Las propias de esta sesión práctica tanto personales como las realizadas en clase.

OBSERVACIONES.

Pueden producirse errores en la determinación del peso volumétrico seco máximo debido a la existencia de grumos en el suelo o a una mezcla incompleta de suelo-agua que provoca una mala distribución de la humedad.

Las capas a ser compactadas dentro del molde deben tener un espesor similar y los golpes dados por el pisón deben distribuirse uniformemente.

No debe usarse el mismo suelo compactado para determinaciones sucesivas, cada uno de los puntos que se determinen deben realizarse con una fracción de suelo distinta.

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

SESIÓN PRÁCTICA No. 6
CONO DE ARENA

1. OBJETIVO

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una vez que se han definido los criterios de compactación para las obras en terreno, es necesario utilizar un método para determinar la densidad o peso unitario que el suelo alcanza luego de la compactación.

Para obtener estas densidades existen los siguientes métodos en terreno:

A) Cono de arena
B) Balón de densidad
C) Densímetro nuclear

Cono de arena (ASTM D1556-64):

El método del cono de arena, se aplica en general a partir de la superficie del material compactado, este método se centra en la determinación del volumen de una pequeña excavación de forma cilíndrica de donde se ha retirado todo el suelo compactado, ya que el peso del material retirado dividido por el volumen del hueco cilíndrico nos permite determinar la densidad húmeda. Determinaciones de la humedad de esa muestra nos permiten obtener la densidad seca.

El método del cono de arena utiliza una arena uniforme normalizada y de granos redondeados para llenar el hueco excavado en terreno. Previamente en el laboratorio, se ha determinado

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

varía menos de 0,08 g/cc de la densidad determinada por el instrumento nuclear y si el promedio de los ensayes del cono de arena difiere menos de 0,032 g/cc del promedio de las mediciones nucleares, no es necesario hacer ajustes a la curva de calibración.

Por el contrario, si el promedio de las determinaciones de densidad por el cono de arena está a más de 0,032 g/cc por sobre o bajo del promedio de las mediciones nucleares, los ensayes siguientes deben ser ajustados en el monto de la diferencia de los promedios, trazando así una curva de calibración corregida, que será paralela a la original.

- Precisión. La precisión (P) del sistema está determinada por la gradiente de la curva de calibración y la desviación estándar de los rayos gamma detectados en cuentas por minuto (CPM), mediante la siguiente expresión:

$$P = S / m; \text{ donde:}$$

S = desviación normal (CPM)
m = gradiente (CPM/kg/m3)

Se determina la pendiente de la curva de calibración en el punto 1760 kg/m3 en CPM por kg/m3. Luego se determina la desviación normal de 10 lecturas repetitivas de 1 minuto, cada una tomada en un mismo punto, en un material que tenga una densidad de 1760 ± 80 kg/m3. Si el valor resultante (P) es menor que 20 kg/m3, el equipo se considerará en estado óptimo.

- Normalización. Cada día de uso y cuando las medidas de los ensayos sean dudosas, se chequeará la operación del equipo con un patrón de referencia provisto con cada medidor.
Luego de emplear un tiempo de estabilización para el equipo de acuerdo con las instrucciones del fabricante, se realizan por lo menos 4 lecturas repetitivas de 1 minuto cada una sobre el patrón de referencia.

Los límites de aceptación están dados por la expresión:

$$Ns = No \pm 1{,}96 \text{ Ö } No$$

Donde:
Ns = cuenta medida al chequear la operación sobre el patrón de referencia
No = cuenta establecida previamente en el patrón de referencia (promedio de 10 lecturas).

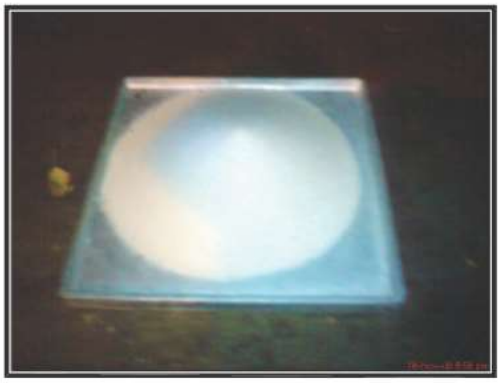
MÉTODO RETRO DISPERSIÓN

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Aquí de observa como se coloco la placa y como se le fue dando forma al agujero para extraer el material a analizar.

3.- Después de vaciar la arena en el agujero, se procede a pesar la jarra si arena para saber que cantidad salió de la jarra (w3).

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.



Aquí se observa como queda la placa después de vaciar la arena, esta arena se recoge después y se hace pasar por una malla para su recuperación.

Nuevamente se pesa la jarra para saber el peso de la jarra después de utilizar la arena (w3)

4.- Después de pesar se prosigue a obtener el peso de la arena en el cono, y se obtiene con el volumen del cono y como se conoce el peso especifico de la arena solo se despeja (w2).

5.- Una vez obtenido todo lo anterior se prosigue a aplicar el formato de práctica para finalmente obtener el peso específico del suelo y se compara con la grafica de compactación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- MECANICA DE SUELOS, TOMO 1, JUAREZ BADILLO, EDI. LIMUSA
- http://www.unalmed.edu.com
- MANUAL DE FORMULA TECNICAS, 30 EDICION, GIECK, EDI. ALFAOMEGA

1. HISTORIAL DE CAMBIOS

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

Revisión	Sección	Descripción de la modificación	Fecha de la modificación
0	Todas	Nuevo	2013.10.24
1	Portada	Actualización de Responsable de Gestión de la Calidad	2016.08.19
2	Portada	Actualización del Representante de la Dirección.	2017.08.18
3	Portada	Actualización del Jefe de Sección	2022.03.01
4	Formato	Por ampliación de alcance se renombra FESA PIC I02 por FESA PAL IIC MS.	2022.08.22
5	Portada	Actualización por cambio de administración.	2025.02.05
	Índice	La Práctica Determinación de la curva de compactación en el índice ocupaba el lugar 3 y se actualizó al lugar 4. La Práctica Prueba de compactación Harvard miniatura en el índice ocupaba el lugar 4 y se actualizó al lugar 5. La Práctica Cono de arena en el índice ocupaba el lugar 5 y se actualizó al lugar 6. La Práctica Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en el índice ocupaba el lugar 6 y se actualizó al lugar 3.	
	Todas	Se actualizó el formato de las ecuaciones.	

2. HISTORIAL DE REVISIONES

Fecha de revisión	Responsable de realizar la revisión	Próxima fecha de revisión
2015.01.12	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2016.01.12
2016.01.12	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2017.01.12
2016.08.19	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2017.08.19
2017.08.18	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2018.08.18

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.

2018.08.20	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2019.08.20
2019.08.02	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2020.08.02
2020.08.04	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2021.08.04
2021.04.01	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2022.08.04
2022.04.01	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2023.04.04
2023.04.11	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2024.04.11
2024.02.16	Ing. Omar Ulises Morales Dávila	2025.02.10
2025.02.05	Ing. Ricardo García Valdivia	2026.02.13

Este documento es propiedad del Sistema de Gestión de la Calidad de los Talleres y Laboratorios de Licenciatura de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, se prohíbe la reproducción parcial o total sin la autorización correspondiente.