

NOTA IMPORTANTE:

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

ININ/ Oficina Nacional de Normalización

GEOTECNIA. DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DE LOS SUELOS MEDIANTE COMPRESION TRIAxIAL. ENSAYO SIN CONSOLIDACIÓN Y SIN DRENAJE

Geotechnics. Determination of the shear strength
of soils in triaxial compression. Unconsolidated-undrained test

ICS: 93.020

1. Edición

Marzo 2002

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Teléf.: 830-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: nc@ncnorma.cu

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 20 de Geotecnia integrado por las siguientes instituciones:
 - Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas
 - Ministerio de la Construcción
 - Ministerio de la Industria Ligera
 - Ministerio de la Industria Básica
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias
 - Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”
 - Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos
 - Oficina Nacional de Normalización
- Tiene como bases en su elaboración las normas ASTM D-2850-87 Standard Test Method for Unconsolidated, Undrained Compressive Strength of Cohesive Soils in Triaxial Compression y BS 1377 British Standard Methods of test for Soils for Civil engineering purposes, Part 1:1990 General Requirements and sample preparation y Part 7:1990, Shear strength tests (total stress) por lo cual se sustenta en los principios generales que establecen estas organizaciones en correspondencia con las exigencias de las nuevas tendencias internacionales, ajustándola a las características nacionales del equipamiento y los accesorios.
- Sólo se refiere al esquema rápido de ensayo y se dejan los restantes esquemas para una nueva Norma Cubana que se confeccionará posteriormente.
- Sustituye a la NC 54-289:84 Suelos. Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos mediante compresión triaxial.
- Consta de Anexo A, informativo.

© NC, 2002

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:

Oficina Nacional de Normalización (NC).

Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.

Impreso en Cuba

Indice

1 Objeto	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Términos y definiciones.....	1
4 Aspectos generales del ensayo.....	2
5 Aparatos, utensilios e instrumentos de medición.....	3
6 Preparación de los especímenes	7
7 Procedimiento	9
7.1 Montaje del espécimen y ajuste del equipamiento.....	9
7.2 Aplicación de la presión de cámara	9
7.3 Rotura del espécimen.....	10
7.4 Desmontaje del ensayo	12
8 Expresión de los resultados	12
9 Reporte	16
Anexo A (informativo) Reporte	17
Bibliografía.....	18

**GEOTECNIA. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE
DE LOS SUELOS MEDIANTE COMPRESIÓN TRIAXIAL.
ENSAYO SIN CONSOLIDACIÓN Y SIN DRENAJE**

1 Objeto

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de un espécimen de suelo cohesivo sometido a presión de confinamiento constante y deformación axial controlada sin consolidar y sin permitir el drenaje del líquido de los poros. Los especímenes pueden ser de suelo inalterado ó de suelo alterado (compactado o remoldeado).

2 Referencias normativas

Las siguientes Normas contienen disposiciones que, al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones de esta Norma Cubana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos sobre la base de ellas que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente. La Oficina Nacional de Normalización posee en todo momento la información sobre las normas internacionales, regionales y cubanas en vigencia.

NC 14:1998	Geotecnia. Método de conservación y transportación de muestras de suelos.
NC 20:1999	Geotecnia. Determinación de la granulometría de los suelos.
NC 61:2000	Geotecnia .Identificación y descripción del suelos (examen visual y ensayos manuales simples).
NC 67:2000	Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio.

3 Términos y definiciones

Para los propósitos de esta norma se aplican las siguientes definiciones.

3.1 Ensayo de compresión triaxial

Ensayo en el cual una muestra cilíndrica de suelo cubierta por una membrana impermeable y sometida a una presión de confinamiento es comprimida axialmente a velocidad de deformación constante hasta que ocurra la falla.

3.2 Esfuerzos principales

Esfuerzos que caracterizan un estado donde los esfuerzos cortantes son nulos. Se define por el esfuerzo principal mayor (σ_1), el esfuerzo principal menor (σ_3) y el esfuerzo desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$).

En el ensayo triaxial y a los efectos de esta norma $\sigma_1 > \sigma_3$ y el esfuerzo principal intermedio $\sigma_2 = \sigma_3$ por tener simetría axial.

3.2.1 Esfuerzo principal menor (σ_3)

En el ensayo triaxial es la presión del fluido en la cámara que se aplica isotrópicamente al espécimen.

3.2.2 Esfuerzo principal mayor (σ_1)

En el ensayo triaxial es el esfuerzo que resiste el espécimen al ser deformado a una velocidad constante, más la presión del fluido de la cámara.

3.2.3 Esfuerzo desviador ($\sigma_1 - \sigma_3$)

El esfuerzo vertical que resiste el espécimen. Diferencia entre el esfuerzo medido en el eje vertical (σ_1) y el esfuerzo medio en el eje horizontal (σ_3). Se descompone en el esfuerzo normal y tangencial al plano de falla.

3.3 Plano de falla

Plano de rotura que surge en el espécimen cuando se incrementa el esfuerzo desviador hasta valores que el suelo es incapaz de resistir. En suelos de comportamiento plástico la superficie de falla puede no llegar a formarse.

3.4 Falla

Estado que alcanza el espécimen cuando ocurre el 15 % de deformación axial. El espécimen puede llegar al estado de falla antes de dicha deformación si se detecta un máximo del esfuerzo desviador. El esfuerzo asociado a este estado se denomina esfuerzo de falla.

3.5 Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje (C_u)

Máxima resistencia al esfuerzo cortante que puede ofrecer un suelo saturado y sin drenaje.

4 Aspectos generales del ensayo

4.1 El ensayo se realiza a especímenes en forma de cilindro recto de altura aproximadamente dos veces el diámetro. el diámetro puede variar entre 35 mm y alrededor de 110 mm. la selección del diámetro del espécimen se realizará según el tamaño máximo de la partícula en el suelo el cual no deberá ser mayor de 1/6 del diámetro del espécimen.

Para suelos homogéneos de granulometría fina, se puede usar especímenes de diámetros pequeños. En general es conveniente usar los especímenes con el mayor diámetro posible.

4.2 El espécimen deberá ser confinado, en una cámara triaxial rellena con agua y sometida a presión, mediante una membrana impermeable que cubra la parte cilíndrica y por cabezales imper-

meables. El incremento de la fuerza axial se logra aplicando al espécimen una velocidad de deformación axial constante, ocurriendo la falla en un tiempo entre 10 minutos y 20 minutos.

4.3 En este método de ensayo no se permite el drenaje de la muestra, por lo que la resistencia obtenida es determinada en función de los esfuerzos totales y depende de la historia tensional a que se ha sometido el suelo en su evolución geológica o en su preparación y de la presión de confinamiento en la cámara triaxial.

4.4 Normalmente se ensaya un grupo de especímenes del mismo tipo de suelo para determinar la envolvente resistente de Mohr. Este método de ensayo no proporciona el procedimiento para determinar dicha envolvente.

NOTA: Para suelos saturados la envolvente de rotura de Mohr será aproximadamente una línea recta horizontal para todo el rango de presiones de confinamiento. En suelos no saturados puede ocurrir consolidación, aunque no se permite drenaje del espécimen, por lo que la envolvente de resistencia puede tener la forma de una curva suave de pendiente positiva.

4.5 Antes de comenzar una serie de ensayos se deberán definir las siguientes condiciones:

- a) Dimensiones de los especímenes de ensayo.
- b) Presión de confinamiento de los especímenes en la cámara triaxial.

NOTA: Es conveniente que la presión de confinamiento cubra el rango probable de presiones verticales que se aplicará in situ, sobre el suelo. Para suelos normalmente consolidados se acepta un rango de presiones de $0,5 \sigma_v$, $1 \sigma_v$ y $2 \sigma_v$. Para arcillas preconsolidadas no es conveniente que la presión de confinamiento más baja sea menor que la presión vertical total in situ, $\hat{\sigma}_v$.

- d) Tipo de espécimen a ser ensayado: inalterado, remoldeado o compactado.
- e) Contenido de agua y peso específico seco del suelo o el esfuerzo de compactación a ser aplicado en especímenes remoldeados o compactados.

4.6 Los valores de resistencia que proporciona este ensayo se aplican al diseño geotécnico en ciertas situaciones donde se asume que las cargas actúan rápidamente y que no hay suficiente tiempo para que las presiones de poros inducidas se disipen, por lo que no ocurre consolidación durante el período de carga (no ocurre drenaje).

5 Aparatos, utensilios e instrumentos de medición

5.1 Aparato de compresión axial (prensa) del tipo gato de tornillo, movido por un motor eléctrico a través de un mecanismo de transmisión, dispositivo hidráulico o neumático; o cualquier otro aparato de compresión con suficiente capacidad y control para comprimir axialmente el espécimen a una velocidad entre 0,2 mm / min y 2 mm / min aproximadamente, alcanzando una deformación axial total de alrededor de un tercio de la altura del espécimen ensayado.

La desviación de la velocidad fijada no deberá ser mayor de $\pm 10 \%$. Las vibraciones ocasionadas por el funcionamiento del equipo deberán ser mínimas.

NOTA: Puede considerarse que un equipo produce vibraciones pequeñas si no se producen rizos en la superficie de una vasija con agua colocada en la plataforma de carga con el equipo en funcionamiento a la velocidad seleccionada en 7.2.4 .

5.2 Dispositivo calibrado de medición de la fuerza axial, con una resolución de 1 % de la fuerza estimada en la falla. Puede ser un anillo dinamométrico, celda electrónica o hidráulica; o cualquier otro dispositivo con la precisión definida anteriormente. El dispositivo de medición de la fuerza axial deberá ser soportado por el puente de carga del equipo de compresión axial para evitar que su peso se transmita al espécimen.

NOTA: Es conveniente disponer de dispositivos con rangos amplios de medición de la fuerza, que puedan ser seleccionados según la resistencia del espécimen. En el caso de anillos dinamométricos se recomienda un rango de 1 kN, 5 kN, 10 kN, 20 kN y 50 kN.

5.3 Cámara triaxial de dimensiones adecuadas al tamaño del espécimen de ensayo y apropiada para ser usada con agua a la presión requerida por el ensayo. Sus características principales se muestran en la figura 1 y son las siguientes:

a) El plato superior de la cámara debe ser de un material resistente a la corrosión preparado con una válvula de salida de aire y un anillo guía del pistón, totalmente ajustado.

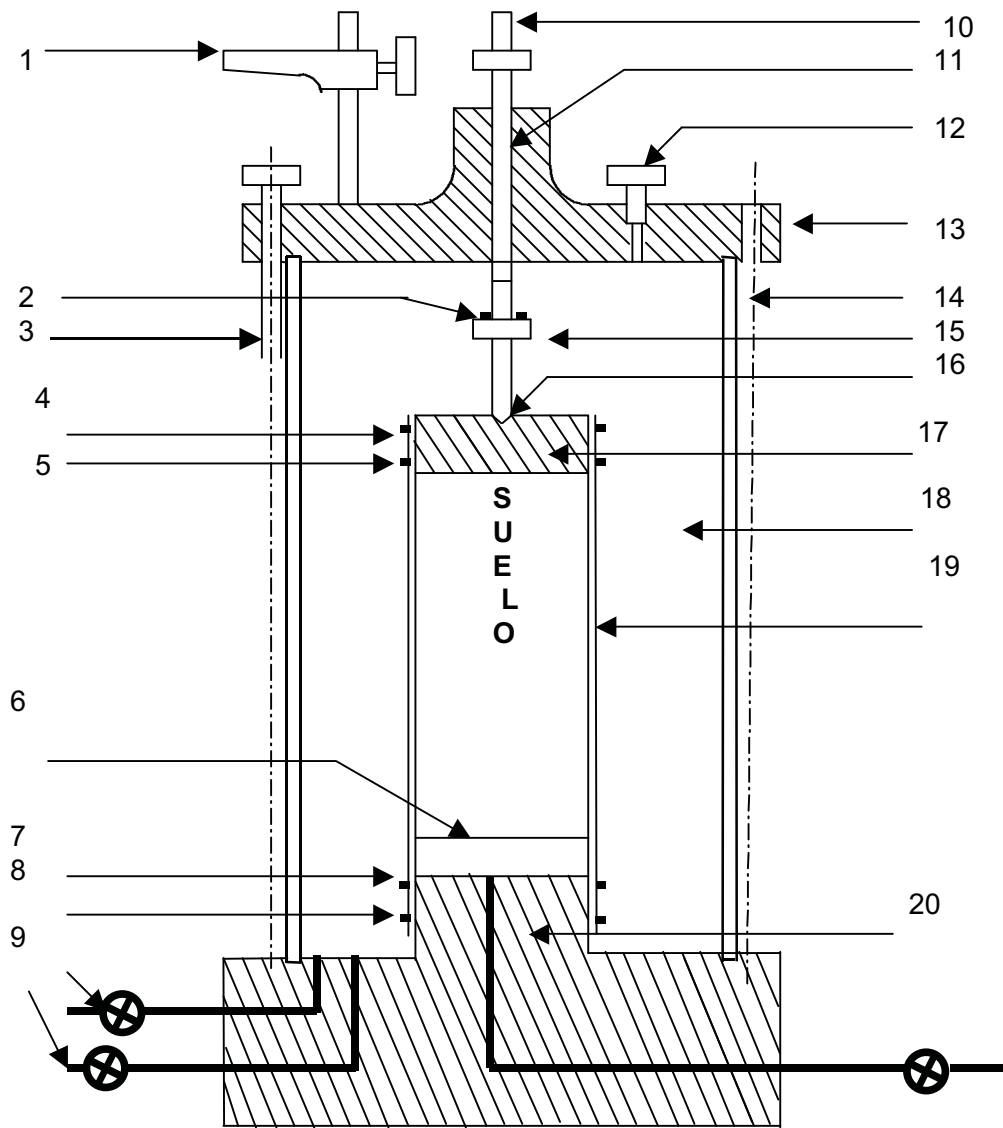


Figura 1 — Cámara Triaxial

- (1) Soporte para el sistema de medición de la deformación axial
- (2) Anillos de goma
- (3) Tornillos de sujeción del cuerpo cilíndrico con el plato superior y la base pedestal
- (4), (5), (7), (8) Anillos de goma
- (6) Base
- (9) Conexión para la presión de cámara
- (10) Pistón de carga
- (11) Anillo guía del pistón
- (12) Válvula de salida de aire de la cámara
- (13) Plato superior
- (14) Cuerpo cilíndrico
- (15) Dispositivo de medición de la fuerza axial
- (16) Asiento

- (17) Cabezal
- (18) Agua a presión
- (19) Membrana
- (20) Base pedestal

b) El pistón de carga debe estar perfectamente limpio y ligeramente engrasado para aplicar al espécimen la fuerza axial de compresión. El pandeo lateral del pistón durante el ensayo deberá ser despreciable. La fricción entre el pistón y su guía deberá ser lo suficientemente pequeña de tal forma que permita que el pistón se deslice libremente por su propio peso cuando la cámara está vacía. El ajuste entre el anillo guía y el pistón deberá ser tal que la pérdida de agua sea mínima.

c) El cuerpo cilíndrico de la cámara debe ser de un material preferiblemente transparente o con ventanillas transparentes para que el espécimen pueda ser observado. Cuando sea ensamblada la cámara, después de montado el espécimen, el cuerpo cilíndrico deberá quedar totalmente sellado en su unión con los platos superiores e inferiores.

d) La base o pedestal de la cámara debe ser de un material resistente a la corrosión con una válvula de entrada y salida del agua .

5.4 Dispositivo para aplicar, mantener y medir la presión en la cámara triaxial, este dispositivo consiste de un compensador de presión y un medidor conectado al sistema con una exactitud de ± 5 %. El compensador de presión deberá tener la capacidad suficiente para suministrar o admitir agua de la cámara durante la compensación. Pueden ser usados compensadores de aire - agua con presión suministrada por un compresor, agua - mercurio, agua - aceite con presión suministrada mediante un pistón y peso muerto; u otros equipos que midan y mantengan la presión con los requisitos definidos en este apartado.

5.5 Base y cabezal de la muestra, piezas rígidas e impermeables construidas de un material no corrosivo, de formas cilíndricas y del mismo diámetro inicial del espécimen a ensayar. La base deberá estar acoplada a la cámara para evitar movimientos laterales o inclinación. El cabezal debería tener un asiento concéntrico para la alineación del pistón con el espécimen y su peso no deberá producir una presión mayor de 1 kN/m^2 sobre el espécimen. La superficie de la base y el pedestal en contacto con la membrana deberá ser plana y estar limpia, lisa y libre de ralladuras.

NOTA: Las presiones producidas por el peso del cabezal pueden exceder 1 kN/m^2 siempre que los datos del ensayo sean corregidos por el efecto de estas presiones.

5.6 Indicador de deformación, indicador de carátula u otro dispositivo que mida las deformaciones axiales con una exactitud de 0,03 % y recorrido de 25 % de la altura del espécimen a ensayar, como mínimo.

5.7 Membrana de goma de alta densidad usada para encerrar el espécimen. Deberá proporcionar protección segura contra la filtración del agua de la cámara. Las membranas deberán ser inspeccionadas cuidadosamente antes de ser usadas y desecharse las que presentan defectos. El diámetro de la membrana no estirada deberá estar entre 90 % y 95 % del diámetro del espécimen y su espesor no deberá exceder del 1 % del diámetro del espécimen. La membrana deberá sellarse en la base y el cabezal con cualquier método seguro, preferiblemente anillos de goma con grasa

silicona entre la membrana y la base o el cabezal. En la sección 8.4 se da un método para corregir el esfuerzo desviador por el efecto de la rigidez de la membrana.

5.8 Dispositivo de medición del tamaño del espécimen, dispositivo para medir la altura y el diámetro del espécimen, deberá medir la dimensión deseada con una exactitud de 0,1 % de la altura y no deberá producir alteración del espécimen.

5.9 Cronómetro, dispositivo de medición del tiempo del ensayo con una exactitud de 1 segundo.

5.10 Balanza, usada para determinar la masa al espécimen y deberá determinar su masa con una exactitud de 0,1 % de la masa total.

5.11 Extractor de muestra, el dispositivo de extracción de la muestra del tubo muestreador deberá extraer la muestra en la misma dirección que entró y a una velocidad constante. La extracción deberá hacerse con extremo cuidado para evitar la flexión de la muestra y minimizar la alteración.

5.12 Aparatos para la determinación del contenido de humedad del suelo según se establece en la NC 67:2000.

5.13 Aparatos diversos, tallador de muestras y herramientas de tallar, anillos de goma, equipo de compactación, hojas de datos.

6 Preparación de los especímenes

6.1 Dimensiones de los especímenes. Los especímenes cilíndricos deben tener un diámetro entre 35 mm y 110 mm y una altura de aproximadamente el doble del diámetro. Se determina el promedio del diámetro y la altura del espécimen usando el aparato especificado en 5.8. Se toman como mínimo tres mediciones de la altura a 120° y al menos tres valores del diámetro en los cuartos de la altura del espécimen. El tamaño máximo de las partículas dentro del espécimen no debe exceder 1/6 del diámetro del espécimen.

NOTA: Si en el espécimen se encuentran partículas mayores, después de ser ensayado, puede ser realizado un ensayo granulométrico de acuerdo con el método de ensayo de la NC 20:1999 e incluir los resultados en el reporte del ensayo.

6.2 Especímenes inalterados. Los especímenes se preparan de muestras extraídas con tubos muestreadores de pared delgada que garantizan un mínimo de alteración o de bloques de suelo extraídos directamente, preservados y transportados ambos según la NC 14:1998. Se preparan los especímenes usando preferiblemente muestreadores de pared delgada, de aproximadamente 1,5 veces la longitud del espécimen, y que cumpla la condición de $Ar \leq 20\%$. Determinándose Ar mediante la siguiente expresión:

$$Ar = \frac{De^2 - Di^2}{Di^2} \times 100$$

donde:

Ar es la relación de área, en tanto por ciento;

D_e es el diámetro exterior del tubo, en centímetros;

D_i es el diámetro interior del borde cortante del tubo, en centímetros.

También pueden ser usados talladores de muestras u otros equipos que garanticen un mínimo de alteración del suelo, sección transversal circular uniforme y perpendicular a su eje de simetría y un mínimo de pérdida del contenido de agua.

Los tubos muestreadores pueden ser divididos longitudinalmente o en secciones convenientes para facilitar la extracción de la muestra con un mínimo de alteración.

Los especímenes se preparan en un medio ambiente donde los cambios del contenido de agua del suelo sean mínimos. Se labran los extremos de la muestra asegurando la perpendicularidad de las caras con el eje del espécimen y se rellenan las irregularidades que surgen como consecuencia de la remoción de fragmentos con residuos del labrado del suelo. Se registrará la ubicación del espécimen con relación a la muestra de suelo.

Se determina las dimensiones iniciales del diámetro y la altura (D_o y H_o) y la masa húmeda (W_h) del espécimen de acuerdo con 5.8, 5.10 y 6.1. Se coloca la membrana y se sella el espécimen con la base y el cabezal, según 7.1 .

6.3 Especímenes remoldeados

Dentro de un molde con las dimensiones similares al espécimen inalterado el cual ha sido ensayado, se remoldea el espécimen manualmente cuidando de no atrapar aire en su interior para garantizar un peso específico uniforme con la misma relación de vacíos y contenido de agua del espécimen inalterado. El espécimen se remoldea preferiblemente con la membrana colocada y ajustada al molde. Se determinan las dimensiones iniciales del diámetro y la altura (D_o y H_o) y la masa húmeda (W_h) del espécimen de acuerdo con 5.8, 5.10 y 6.1 .

6.4 Especímenes compactados

El grado de compactación a alcanzar, cuando se preparan los especímenes, dependerá de los requerimientos del control de la compactación de campo. Los especímenes se preparan mediante la compactación de seis capas como mínimo en un molde dividido de sección circular con dimensiones según 6.1. El material requerido para la preparación del espécimen se mezcla con la cantidad de agua necesaria para producir el contenido de humedad deseada y se guarda en un ambiente húmedo durante 16 horas como mínimo antes de ser compactado por uno de los siguientes métodos.

a) A humedad y peso específico seco del suelo especificados, se amasa o apisona cada capa hasta que la masa total de suelo sea colocada en el molde.

b) A humedad y esfuerzo de compactación especificado, se ajusta el número de capas, el número de golpes por capas y la fuerza por golpes.

La superficie de cada capa se escarifica antes de colocar el material de la próxima capa. El diámetro del apisonador usado para compactar el material debe ser igual o menor que la mitad del diámetro del molde donde se compacta el espécimen. Se emparejan las caras del espécimen de manera que sean perpendiculares al eje de la muestra, se quita el molde y se determinan las dimensiones iniciales del diámetro y la altura (D_0 y H_0) y la masa húmeda (W_h) del espécimen de acuerdo con 5.8, 5.10 y 6.1. Se determina el contenido de agua mediante el exceso de material usado para preparar el espécimen de acuerdo con el método especificado en NC 67:2000.

NOTA: Es común que el peso específico del espécimen, al ser liberado del confinamiento lateral, sea menor que el calculado considerando el volumen del molde, como resultado del hinchamiento.

7 Procedimiento

7.1 Montaje del espécimen y ajuste del equipamiento

7.1.1 Se coloca la membrana en el molde estirador de membrana y mediante succión se adhiere la membrana a la pared interior del molde. Se coloca el espécimen en la cámara triaxial sobre la base impermeable y el cabezal sobre él. Se cubre con la membrana de goma liberando la succión, cuidando de no atrapar aire y manteniendo la alineación y verticalidad del espécimen. Si el espécimen es remoldeado dentro de la membrana, se cubre la base y el cabezal con dicha membrana. Se sella la membrana a la base y al cabezal con anillos de gomas u otro sellaje adecuado sin atrapar aire.

NOTA: Engrasar ligeramente la superficie cilíndrica de la base y el cabezal con grasa silicón ayuda a sellar el espécimen.

7.1.2 Se ensambla la cámara triaxial y se pone el pistón en contacto con el cabezal varias veces para lograr la alineación y asiento correcto. Si es necesario se desarma la cámara y se corrige cualquier excentricidad. Durante esta operación debe cuidarse de no aplicar una presión al espécimen mayor de 0,5 % del esfuerzo desviador máximo estimado.

7.1.3 Se coloca la cámara triaxial en la prensa y se conectan los dispositivos de carga axial, medición de la carga axial y medición de la deformación vertical y se toma la lectura del indicador de deformación. Se conecta el dispositivo de medición y de mantenimiento de la presión y se llena la cámara con agua dejando salir el aire por la válvula superior de la cámara.

7.2 Aplicación de la presión de cámara

7.2.1 Se aplica la presión deseada al líquido de la cámara triaxial.

7.2.2 Si el dispositivo de medición de la fuerza axial se encuentra fuera de la cámara, la presión de cámara provocará una fuerza sobre el pistón que será registrada por el dispositivo de medición de la fuerza axial. En este caso se coloca el pistón ligeramente sobre el cabezal y se ajusta el dispositivo de medición de la fuerza axial de manera que compense el efecto de la presión de cámara y la fricción inicial del pistón o se mide este efecto en el dispositivo de medición de la fuerza axial y posteriormente se corrige la fuerza axial medida. Si el dispositivo de medición de la fuerza axial se localiza dentro de la cámara no será necesario hacer las correcciones antes mencionadas.

7.2.3 Se ajusta todo el montaje con la manivela de la prensa de forma que el pistón esté en contacto con el cabezal sin transmitir presión al espécimen. Se registra la lectura inicial del indicador de deformación o se ajusta el indicador de deformación a cero lectura.

7.2.4 Se selecciona una velocidad de deformación axial de 1 % de deformación por minuto para materiales plásticos y 0,3 % de deformación por minuto para materiales duros y frágiles que se caracterizan por alcanzar el esfuerzo desviador máximo entre 3 % y 6 % de deformación axial. El tiempo de duración del ensayo, según estas velocidades será de 10 minutos a 20 minutos.

NOTA: Se puede aplicar la presión a la cámara después de ensamblada y antes de ser colocada en la prensa. En tal caso el ajuste inicial de los dispositivos es similar a lo expresado anteriormente.

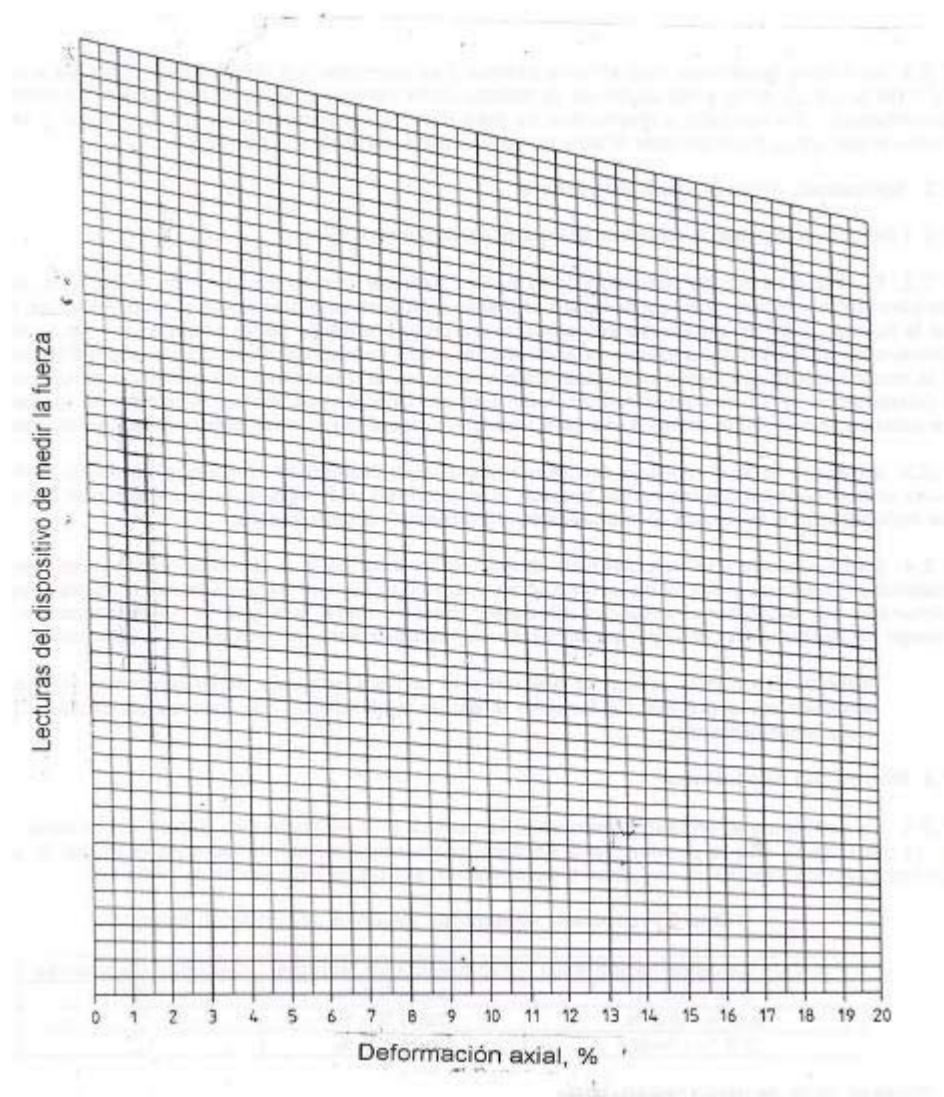
7.3 Rotura del espécimen

7.3.1 Se comienza el ensayo conectando la prensa a la velocidad de deformación axial seleccionada, se verifica que la presión de la cámara permanece constante durante la etapa de la rotura. Se registran los valores de esfuerzo y deformación según se expresa en la tabla 1.

Tabla 1 — Frecuencia de lecturas según la deformación axial

Intervalo de deformación axial	Frecuencia de lecturas	Cantidad de lecturas
0 % - 0,5 %	Cada 0,1 %	5
0,5 % - 3,0 %	Cada 0,5 %	5
3,0 % - final	Cada 1,0 %	12*
* Hasta el 15 % de deformación axial.		

7.3.2 La definición de la curva esfuerzo deformación puede requerir mayor cantidad de lecturas fundamentalmente al inicio del ensayo y en las proximidades de la zona de esfuerzos máximos.



NOTA: Es conveniente plotear el esfuerzo axial versus la deformación axial en la medida que avanza el ensayo para determinar la falla con mayor precisión. El uso de la rejilla de corrección mostrada en la figura 2 permite plotear estos valores directamente sin necesidad de cálculos.

7.3.3 Se continúa el ensayo hasta que se cumpla una de las siguientes condiciones:

- a) La deformación axial alcanza el 15 % .
- b) El esfuerzo desviador haya disminuido en un 20 % de su valor máximo.

c) Pasado 5 % de deformación adicional a la deformación correspondiente al esfuerzo desviador máximo.

7.4 Desmontaje del ensayo

7.4.1 Con el retroceso manual o automático de la prensa se baja a cero la fuerza axial, se drena el agua de la cámara, se desmonta la cámara y se separa el espécimen de la membrana y los cabezales.

7.4.2 Se hace un esquema del espécimen mostrando el ángulo de deslizamiento y la superficie de falla si son visibles, se parte el espécimen y se describe visualmente el suelo según la NC 61:2000. Se deben evitar demoras que ocasionen pérdida de humedad del espécimen. Se determina el contenido de agua de todo el espécimen o de porciones representativas según la NC 67:2000. La humedad debe determinarse en las zonas adyacentes a la superficie de falla, si se definió dicha superficie durante el ensayo.

8 Expresión de los resultados

8.1 Se calcula el área, A, de la sección transversal del espécimen para una carga axial dada, asumiendo que éste se deforma como un cilindro recto, como sigue:

$$A = \frac{A_o}{1 - \dot{a}} \quad (\text{cm}^2)$$

donde:

A_o es el promedio inicial del área de la sección transversal del espécimen, en centímetros cuadrados; calculado del diámetro inicial, D_o , en centímetros;

ε es la deformación axial, expresada como un decimal, igual a :

$$\dot{a} = \frac{\Delta H}{H_o} \quad (\text{Adimensional})$$

donde:

ΔH es el cambio de longitud del espécimen medido por el indicador de deformación y corregido por la lectura inicial si es necesario; en centímetros;

H_o es la longitud inicial del espécimen, en centímetros.

8.2 Se calcula la fuerza axial (P), en kilonewton; aplicada al espécimen en cada grupo de lecturas mediante la multiplicación de la diferencia entre la lectura dada y la lectura inicial del dispositivo de medir la fuerza por su factor de calibración, en kilonewton / división.

8.3 Se calcula la diferencia de esfuerzos principales (esfuerzo desviador) $(\sigma_1 - \sigma_3)$, en kilopascal; para una carga axial aplicada dada como sigue:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{P \times 10\,000}{A} \quad (\text{kPa})$$

donde:

P es la carga axial aplicada dada, en kilonewton;

10 000 es la constante de conversión de kilonewton por centímetro cuadrado a kilopascal.

8.4 Corrección del esfuerzo desviador por la rigidez de la membrana de goma.

8.4.1 Se corrige el esfuerzo desviador máximo, $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$, por el efecto de la rigidez de la membrana para obtener el esfuerzo desviador en la falla, $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$, si este excede el 5 % calculado mediante :

$$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{4 \text{ Em. t. } \dot{a}_1}{D} \quad (\text{kPa})$$

donde:

$\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)$ es la corrección a ser sustraída del esfuerzo desviador calculado, en kilopascal;

$D = \sqrt{\frac{4 A_0}{\delta}}$ es el diámetro del espécimen, en centímetros;

t es el espesor de la membrana, en centímetros;

Em es el Módulo de Young del material de la membrana, en kilopascal;

\dot{a}_1 es la deformación axial, en fracción decimal.

Si $\Delta(\sigma_1 - \sigma_3)$ es menor que el 5 % del esfuerzo desviador máximo, el esfuerzo desviador en la falla $(\sigma_1 - \sigma_3)_f = (\sigma_1 - \sigma_3)_{\text{máx}}$.

8.4.2 El Módulo de Young del material de la membrana puede ser determinado colgando una tira circular de 10 mm de ancho en una varilla fina. En el otro extremo se cuelga otra varilla y se le añaden pesos ligeros para provocar su estiramiento. El valor del módulo puede ser calculado mediante la siguiente expresión:

$$E_m = \frac{F \cdot l}{A_m \cdot \Delta l} \times 10\,000 \quad (\text{kN/m}^2)$$

donde:

F es la fuerza aplicada para estirar la membrana, en kilonewton;

l es la longitud de la tira de la membrana sin estirar, en centímetros;

A_m es el doble del espesor inicial de la membrana, en centímetros, multiplicado por el ancho de la tira de la membrana, en centímetros;

Δl es el cambio de longitud, de la tira de la membrana debido a la aplicación de la fuerza aplicada (F), en centímetros.

Un valor típico de E_m para membranas de látex es 1 400 kN / m².

NOTA: Normalmente se desprecia el efecto de la membrana sobre la presión lateral, σ_3 .

8.5 Se calcula la resistencia del esfuerzo cortante sin drenaje en la falla, C_u , en kilopascal, de la expresión:

$$C_u = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}{2} \quad (\text{kPa})$$

8.6 Curva de esfuerzo - deformación

Se prepara un gráfico que muestre la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación axial, planteando la deformación axial (en porcentaje) en el eje de las abscisas y el esfuerzo desviador en el eje de las ordenadas. Se selecciona el esfuerzo desviador máximo y la deformación asociada según las definiciones dadas en 4.4 .

8.7 Se calcula el esfuerzo principal mayor y menor en la falla como sigue:

El esfuerzo principal menor (σ_3) es la presión en la cámara durante el ensayo, en kilopascal.

El esfuerzo principal mayor (σ_1) es la presión en la cámara durante el ensayo más el esfuerzo desviador, en kilopascal.

8.8 Se calcula el peso específico húmedo (γ_f), peso específico seco, (γ_d) relación de vacíos (e) y el grado de saturación (S) del espécimen mediante las siguientes expresiones:

8.8.1 Peso específico húmedo:

$$\gamma_f = \frac{Wh}{A_o \cdot H_o} \times 9,807 \quad (\text{kN} / \text{m}^3)$$

donde:

Wh es la masa húmeda del material, en gramos;

8.8.2 Peso específico seco:

$$\gamma_d = \frac{Ws}{A_o \cdot H_o} \times 9,807 \quad (\text{kN} / \text{m}^3)$$

donde:

Ws es la masa seca del material, en gramos;

8.8.3 Relación de vacíos:

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 \quad (\text{Adimensional})$$

donde:

γ_s es el peso específico de las partículas sólidas del material.

8.8.4 Saturación:

$$S = \frac{\omega \cdot \gamma_s}{e \cdot \gamma_w} \times 100 \quad (\%)$$

donde:

ω es la humedad del material, en fracción decimal;

γ_w es el peso específico del agua ($10 \text{ kN} / \text{m}^3$)

NOTA: El peso específico de las partículas sólidas del material puede ser asumido si no ha sido determinado mediante ensayos del material.

9 Reporte

El reporte deberá incluir lo siguiente:

9.1 Reconocimiento de que el ensayo se realizó por el procedimiento establecido en esta norma, identificada por su código y título.

9.2 Identificación del espécimen: obra, ubicación, número de la cala, número de la muestra, profundidad, número de registro, fecha de perforación de la muestra, fecha de ejecución del ensayo. Parte y orientación con relación a la muestra de suelo.

9.3 Descripción visual del espécimen según NC 61:2000 incluyendo nombre del grupo del suelo, símbolo, si el estado de la muestra es inalterada, remoldeada o compactada. Masa húmeda, altura y diámetro inicial del espécimen y su relación. Esquema mostrando la forma de falla.

9.4 Humedad, peso específico húmedo ($\bar{\alpha}_f$), peso específico seco ($\bar{\alpha}_d$), relación de vacíos (e) y saturación (S) del espécimen. Se informará además si la humedad se obtuvo de partes, o de la masa total del espécimen, si el peso específico de las partículas de suelo se asumió o si fue obtenido mediante ensayos de laboratorio. Análisis granulométrico, si se realizó.

9.5 Esfuerzo desviador y el valor de los esfuerzos principales mayor y menor en la falla. Deformación axial en la falla en porcentaje. Velocidad de deformación axial en la falla en porcentaje por minuto. aplicada durante el ensayo. Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje.

9.6 Curva esfuerzo - deformación

Como se describe en 8.6.

9.7 Si se usó la corrección del esfuerzo desviador por la rigidez de la membrana debe indicarse el valor de la corrección calculada, el espesor y el Módulo de Young del material de la membrana.

9.8 Incidencias del ensayo que puedan influir en la interpretación de los resultados, tanto en la descripción visual como en la ejecución del ensayo.

Anexo A
(informativo)

Reporte

Organismo:	Dependencia:	Determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos cohesivos mediante compresión triaxial. Ensayo sin consolidación y sin drenaje																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Este ensayo se ejecutó mediante la Norma Cubana:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Obra :		Registro:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
Cala :	Muestra :	Profundidad :	Fecha de Perforación																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Operador :		Calculista:		Fecha de ensayo:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Humedad: Inicio: <input type="checkbox"/> Final: <input type="checkbox"/>	1	2	Parte y Orientación		Descripción de la muestra																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Recortes: <input type="checkbox"/> Total: <input type="checkbox"/>			M U E S T R A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Pesafiltro No:																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Masa húmeda + tara (WhT)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Masa seca + tara (WsT)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Tara																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Humedad (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Promedio ω (%)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Tipo de muestra: Natural: <input type="checkbox"/> Remoldeada: <input type="checkbox"/> Compactada: <input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Características físicas Diámetro inicial (D_0): _____ cm Altura (H_0): _____ cm Masa húmeda (Wh): _____ g Volumen: _____ cm ³			<table border="1" style="width:100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td rowspan="16" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); text-align: center;">Esf. Desviador (kPa)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td>Peso específico húmedo (γ_t)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kN/m³.</td> </tr> <tr> <td>Peso específico seco (γ_d)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kN/m³.</td> </tr> <tr> <td>Relación de vacíos (e)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>Saturación (S)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">%</td> </tr> <tr> <td>Peso específico asumido</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Peso específico por ensayos</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kN/m³</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo Principal Mayor en la falla, σ_{1f}</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kPa</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo Principal Menor en la falla, σ_{3f}</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kPa</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo Desviador en la falla ($\sigma_1 - \sigma_3$)_f</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kPa</td> </tr> <tr> <td>Deformación axial en la falla, (ϵ_f)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">%</td> </tr> <tr> <td>Velocidad de deformación axial en la falla</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">%/min</td> </tr> <tr> <td>Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje, (Cu)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kPa</td> </tr> <tr> <td>Módulo de Young de la membrana, (Em)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kPa</td> </tr> <tr> <td>Espesor de la membrana, (t)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">cm</td> </tr> <tr> <td>Corrección por membrana, Δ ($\sigma_1 - \sigma_3$)</td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2">kPa</td> </tr> </table>			Esf. Desviador (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	Peso específico húmedo (γ_t)			kN/m ³ .		Peso específico seco (γ_d)			kN/m ³ .		Relación de vacíos (e)					Saturación (S)			%		Peso específico asumido			kN/m ³		Peso específico por ensayos			kN/m ³		Esfuerzo Principal Mayor en la falla, σ_{1f}			kPa		Esfuerzo Principal Menor en la falla, σ_{3f}			kPa		Esfuerzo Desviador en la falla ($\sigma_1 - \sigma_3$) _f			kPa		Deformación axial en la falla, (ϵ_f)			%		Velocidad de deformación axial en la falla			%/min		Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje, (Cu)			kPa		Módulo de Young de la membrana, (Em)			kPa		Espesor de la membrana, (t)			cm		Corrección por membrana, Δ ($\sigma_1 - \sigma_3$)			kPa	
Esf. Desviador (kPa)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Peso específico húmedo (γ_t)			kN/m ³ .																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Peso específico seco (γ_d)			kN/m ³ .																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Relación de vacíos (e)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
Saturación (S)			%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Peso específico asumido			kN/m ³																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Peso específico por ensayos			kN/m ³																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Esfuerzo Principal Mayor en la falla, σ_{1f}			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Esfuerzo Principal Menor en la falla, σ_{3f}			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Esfuerzo Desviador en la falla ($\sigma_1 - \sigma_3$) _f			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Deformación axial en la falla, (ϵ_f)			%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Velocidad de deformación axial en la falla			%/min																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje, (Cu)			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Módulo de Young de la membrana, (Em)			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Espesor de la membrana, (t)			cm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Corrección por membrana, Δ ($\sigma_1 - \sigma_3$)			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Resistencia al esfuerzo cortante sin drenaje, (Cu)			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Módulo de Young de la membrana, (Em)			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Espesor de la membrana, (t)			cm																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Corrección por membrana, Δ ($\sigma_1 - \sigma_3$)			kPa																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

Bibliografia

- BS 1377: 1990 British Standard Methods of test for Soils for Civil Engineering Purposes. Part 1 — General requirements and sample preparation. Part 7. Shear strength test (total stress)
- ASTM 2850 - 87 Test Method for Unconsolidated, Undrained of Cohesive Compressive Strength Soils in Triaxial Compression.