

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. METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DIRECTO IN SITU EN SUELOS Y ROCAS

Geotechnics. Test method for in situ determination of direct shear strength of soils and rocks

Descriptores: Suelo; Terreno; Ensayo; Determinación;
Esfuerzo (propiedades generales y ensayos);
Roca.

1. Edición

1998

ICS: 93.020

REPRODUCCION PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.
Teléf.: 30-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: ncnorma@ceniai.inf.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.

- La presente norma ha tomado como base para su elaboración la norma ASTM D 4554-90.
- Ha sido elaborada por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas (ENIA) del Ministerio de la Construcción en consenso con el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 20 de Geotecnia.
- Las principales modificaciones están relacionadas con lo establecido en las normas ASTM D 4554-90 y la BS 5930 – 1981. La norma ASTM D 4554 - 90 no plantea el método en particular para suelos, aunque está incluido en esta norma.
- Sustituye a la NC 54 – 284: 84 .
- Consta de los Anexos A, B y C, informativos.

© NC, 1998

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. Generalidades	1
3. Aparatos, materiales, utensilios y medios de medición	1
4. Procedimiento	6
5. Cálculo, gráficos e interpretación de los resultados	10
Anexos	13
A. Bibliografía	13
B. Esquemas recomendados para la consolidación de los bloques	15

GEOTECNIA. METODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE DIRECTO IN SITU EN SUELOS Y ROCAS

1 Objeto

Esta Norma Cubana especifica el procedimiento para determinar la resistencia al esfuerzo cortante in situ de suelos y rocas.

2 Generalidades

- La determinación de los parámetros de la resistencia al cortante se realiza mediante el ensayo de 3 bloques como mínimo, sometidos a diferentes presiones normales. Aquí se describe el procedimiento de ensayo de uno solo de esos bloques. En los restantes solamente cambiará la presión normal actuante.
- Las dimensiones recomendadas de los bloques son de 50 cm x 50 cm x 30 cm ó 70 cm x 70 cm x 35 cm.
- Los bloques de material a ensayar y en particular el plano de corte deben mantener durante la preparación y ensayo las condiciones naturales in situ, a menos que se prevean otras condiciones que se deseen modelar, como puede ser la saturación total que ocurre en las obras hidráulicas. La dirección del corte modelará el comportamiento del plano de corte ante las futuras cargas, impuestas a este por la estructura.
- Los ensayos de corte se programarán por el responsable de la investigación de manera que se satisfagan las incertidumbres implícitas en la investigación, recomendándose que se realicen no menos de 2 series de ensayos por cada condición geotécnica de interés.
- Los resultados de los ensayos de cortante directo in situ son parte del conjunto de investigaciones necesarias para determinar las propiedades de resistencia de suelos y roca, y como tales deben ser analizados con los resultados de los ensayos del laboratorio.

3 Aparatos, materiales, utensilios y medios de medición

3.1 Equipamiento para conformación de los bloques de roca o suelo que pueden ser:

- Sierras para roca, perforadoras o taladros para voladura y otros.
- Martillo, cincel, barretas, pico, palas, hachuela, y otros.
- Cajones metálicos de dimensiones interiores 70 cm x 70 cm x 35 cm, ó de 50 cm x 50 cm x 30 cm, o materiales y herramientas para el encofrado de los bloques (véase las figuras 1 y 2).
- Cemento y agregados finos para la confección de hormigón.
- Yeso.

3.2 Equipamiento para la aplicación de la fuerza normal.

- Gato hidráulico, gato plano o peso muerto de suficiente capacidad para la aplicación de la fuerza normal.
- El sistema será capaz de mantener la carga normal seleccionada con un 2 % de precisión a lo largo del ensayo y garantizará la descarga total o parcial si es necesaria.
- El sistema tendrá un recorrido tal que permita el desplazamiento vertical de acomodamiento y consolidación del bloque.
- El sistema estará provisto de articulaciones o rótulas que permitan centrar la carga.
- Placa de carga rígida, reforzada, con dimensiones de 50 cm x 50 cm ó 70 cm x 70 cm y superficie superior pulida.
- Cojinetes de acero que garanticen mediante calibración el desplazamiento horizontal del bloque con una resistencia a fricción menor que el 1 % de la fuerza tangencial a aplicar en el ensayo bajo cualquier fuerza normal.

3.3 Equipamiento para la aplicación de la fuerza tangencial.

- Uno o más gatos hidráulicos de capacidad adecuada y recorrido mínimo de 15 cm .
- El sistema estará provisto de articulaciones o rótulas que permitan centrar la carga.

El sistema garantizará que se mantenga la fuerza tangencial deseada ± 2 % y su incremento en escalones o continuo.

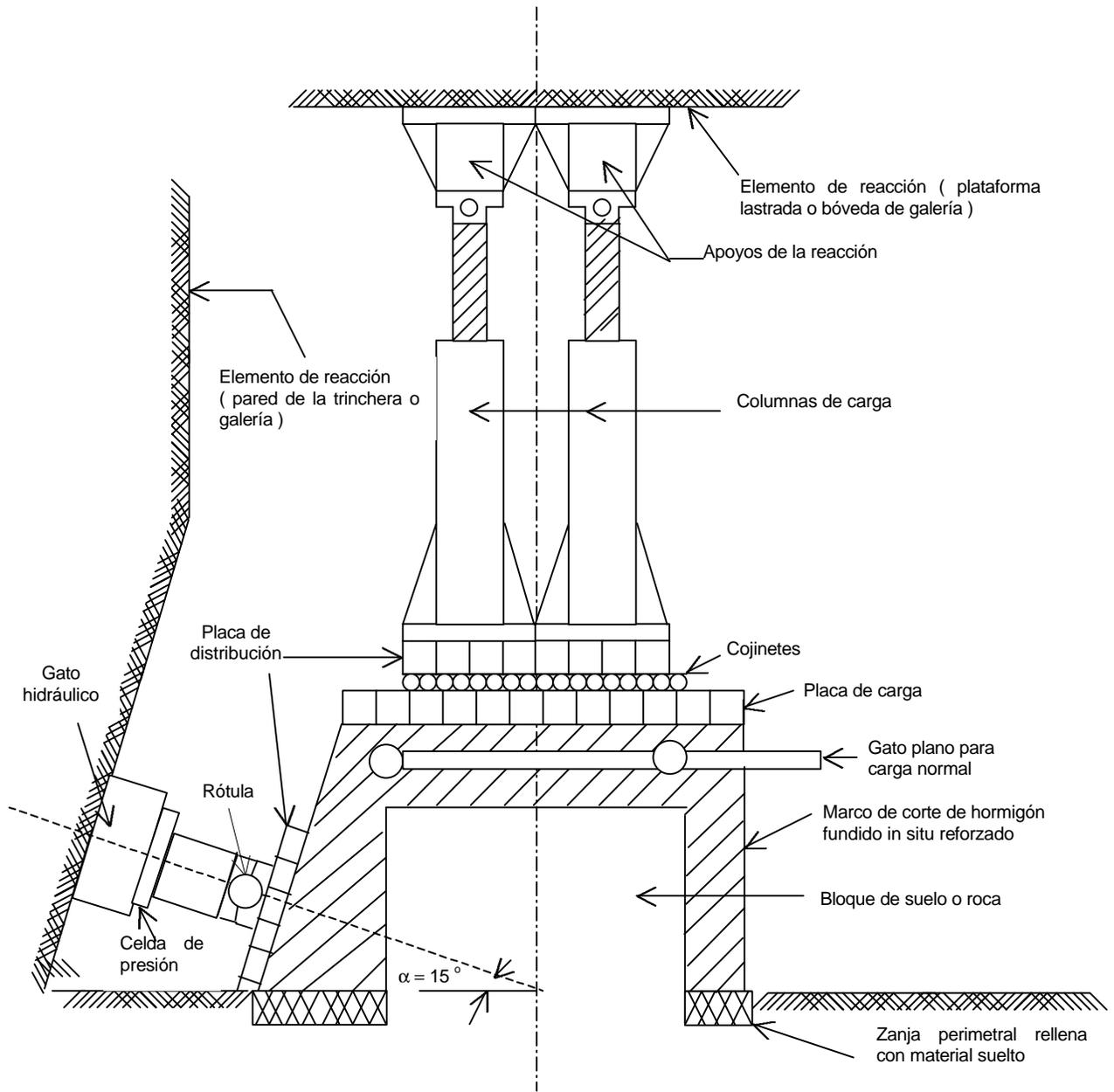


Figura 1. Montaje del ensayo con marco de corte de hormigón

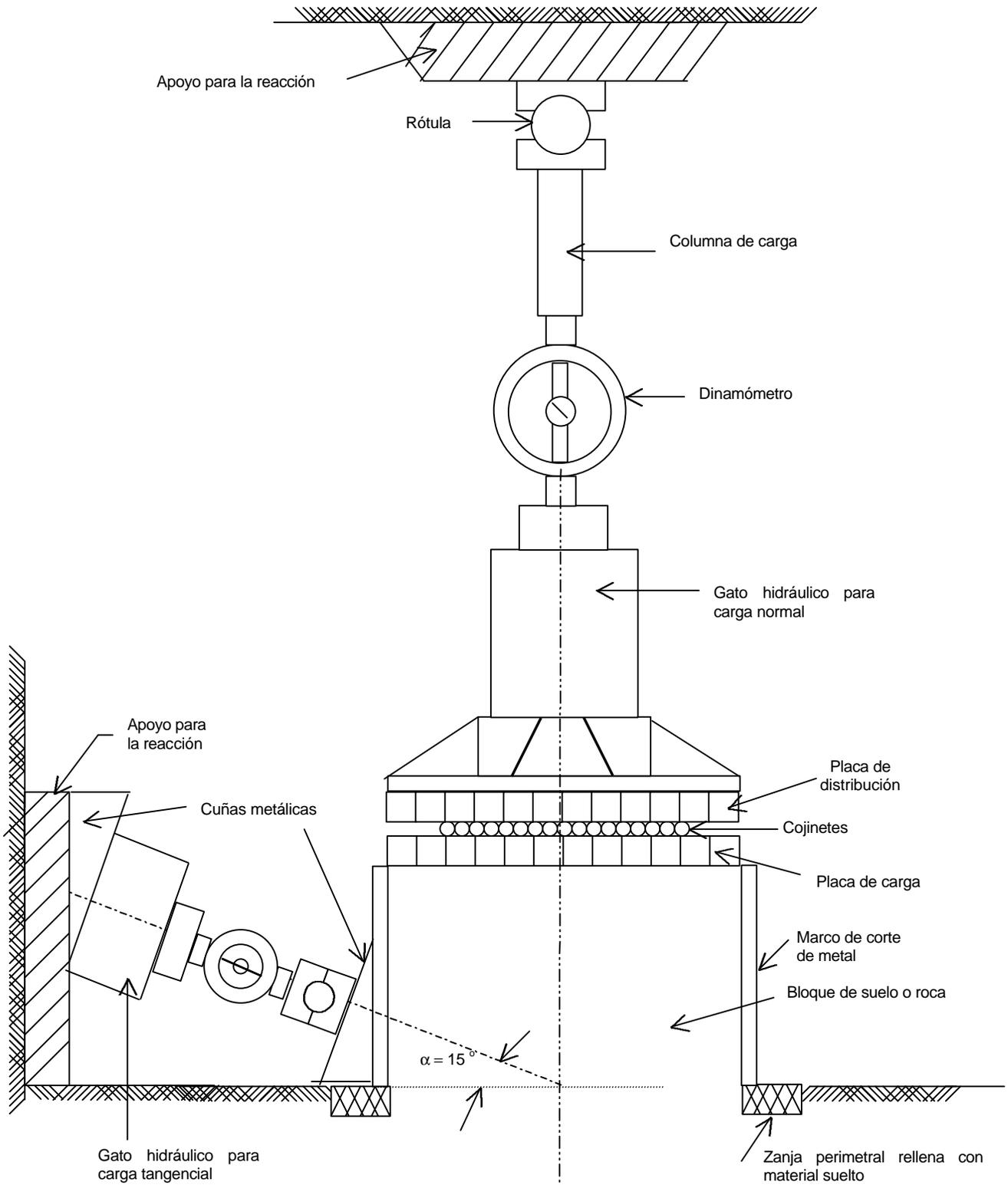


Figura 2 - Montaje del ensayo con marcos de corte de acero

- El sistema hidráulico, en caso que se utilicen varios gatos, garantizará el funcionamiento uniforme de éstos al unísono y con la misma respuesta mecánica.
- Cuñas metálicas en forma de triángulo rectángulo con amplitud de 15° en su ángulo más agudo, en caso que se utilicen cajones metálicos, o inclinación de la cara frontal del bloque de hormigón.

3.4 Sistema de medición de las fuerzas.

- Anillos dinamómetros, celdas tensométricas o gatos planos para el control de la fuerza normal, cualquiera de ellos será empleado con previa calibración, capacidad adecuada y precisión de no menos del 2 % de la fuerza máxima a aplicar en el ensayo.
- Para el control de la fuerza tangencial se utilizarán celdas tensométricas o anillos dinamómetros con las mismas exigencias planteadas anteriormente. Para ensayos de roca donde se emplean cargas grandes se preferirán celdas tensométricas por su mayor maniobrabilidad y ligereza.

3.5 Sistema de medición de desplazamientos.

- Se medirán con indicadores de carátula o transductores electrónicos colocados en ocho puntos como se puede observar en la figura 3 . Para el control de los desplazamientos verticales se emplearán cuatro indicadores con recorrido mínimo de 20 mm y precisión mayor que 0,05 mm, ubicados sobre la cara superior del bloque, cerca de las esquinas y a 2 cm de los bordes.
- Para el control de los desplazamientos horizontales en la dirección del corte se emplearán dos indicadores de recorrido mínimo de 50 mm y precisión mayor que 0,05 mm .
- El control de los desplazamientos horizontales laterales se realizará con 2 indicadores de recorrido mínimo de 20 mm y precisión mayor a 0,05 mm .
- Vigas o vigas de referencia rígidas.
- Brazos portaindicadores.
- Placas de cristal fijadas al marco de corte y a la placa de carga o empotradas en el cajón de hormigón que envuelve el bloque. Cada placa de cristal será de dimensiones suficientes para acomodar sobre cada una el vástago de un indicador.

3.6 Sistema de reacción.

- Columnas de carga compuestas por tubos, nudos y tapones en suficiente variedad de tramos de diferentes longitud para alcanzar cualquier distancia y con la sección necesaria para evitar su pandeo.
- Planchas de acero de diferentes espesores para cubrir pequeñas distancias como calzos.

- Como reacción a la fuerza normal se utilizarán vigas lastradas o ancladas en el caso de ensayos a cielo abierto, y el propio macizo rocoso en caso de ensayos en túneles o excavaciones subterráneas.
- Como reacción para la fuerza tangencial se emplearán las paredes de la trinchera o galería según el caso.
- Si el estado del suelo o la roca así lo exige, se reforzarán los puntos de apoyo para la reacción con planchas metálicas o los bloques de hormigón fundidos in situ, que distribuyan la carga a una mayor área del macizo.

3.7 Otros instrumentos, herramientas y utensilios que faciliten el trabajo incluyendo: reloj-cronómetro, nivel de burbuja, plomada, cinta métrica, mandarina y serrucho

4 Procedimiento

4.1 Preparación del ensayo

4.1.1 En el área escogida para realizar los ensayos se conformará con los medios de excavación existentes, un escalón del material a ensayar cuyas dimensiones oscilarán entre 0,50 m y 0,60 m de altura y 1,00 m a 1,40 m de ancho, en dependencia de las dimensiones del bloque a conformar.

4.1.2 De acuerdo al tipo de suelo o roca existente se conformará en el escalón antes mencionado el bloque de ensayo, utilizando los medios de excavación que eviten la alteración o rotura del mismo.

4.1.3 En suelos homogéneos y estables y en rocas sanas, el bloque puede ser excavado en toda su altura definitiva, dejando siempre un exceso de 20 cm en la parte superior que se retirará posteriormente.

4.1.4 En suelos blandos, eluvios rocosos o rocas muy alteradas o blandas el proceso de conformación del bloque es simultáneo con la introducción gradual del marco de corte, tomando medidas para evitar que este altere la muestra.

4.1.5 En caso de que el material a ensayar pueda sufrir hinchamiento o relajamiento, antes del proceso de conformación del bloque, se aplicará una carga sobre la parte superior del bloque aproximadamente igual a la carga geológica anterior a que estaba sometido.

4.1.6 Una vez introducido el cajón de corte, se coloca este bien nivelado, se retirará el material sobrante por encima y se rellenarán todas las oquedades y espacios vacíos entre el bloque y el cajón con suelo compactado, yeso o mortero de cemento, en dependencia de la dureza del material a ensayar.

4.1.7 El plano de corte coincidirá con la base del bloque y estará ocupado totalmente por el material a ensayar y coincidirá con el objeto de interés, ya sea el suelo o la roca en sí o determinadas intercalaciones o discontinuidades como pueden ser foliaciones, esquistosidades, fallas, grietas rellenas y otras.

4.1.8 En caso de suelos muy inestables o rocas muy alteradas o blandas pueden quedar los bloques de forma muy irregular. De emplearse el cajón de corte metálico se rellenará todo el espacio vacío con un material de mayor dureza que el ensayado (mortero u hormigón). También es posible cubrir el bloque con una estructura de hormigón armado para lo cuál se construirá un encofrado resistente que permita hormigonar in situ un cajón que cubra todo el bloque con un espesor mínimo de hormigón de 15 cm . El hormigón será dosificado para obtener una resistencia de 35 MPa a los 28 días. Podrá ser desencofrado después de los 8 días y sometido a carga de ensayo una vez alcanzada la resistencia adecuada.

4.1.9 Alrededor de la base del bloque se excavará una zanja de 10 cm de ancho y 5 cm de profundidad que posibilite el desplazamiento libre del mismo.

4.1.10 Se montarán u hormigonarán los apoyos para la reacción cuidadosamente alineados y paralelos con las caras del bloque que recibirán las fuerzas normal y tangencial.

4.1.11 Una vez listo el bloque se montará el equipamiento según se muestra en la figura 1.

4.1.12 El equipamiento para la aplicación de la fuerza normal se colocará centrado sobre la cara superior del bloque.

4.1.13 El equipamiento para la aplicación de la fuerza tangencial se colocará alineado con la dirección del corte, centrado o distribuido uniformemente sobre una cara del bloque e inclinado. La resultante de la fuerza tangencial debe pasar por el centro de la base del plano de corte con un ángulo de aproximadamente 15° y una tolerancia de $\pm 5^\circ$.

4.1.14 El ángulo exacto obtenido se medirá con una precisión de $\pm 1^\circ$.

4.1.15 Después de instalado el equipamiento de aplicación de las fuerzas se le aplica a estos una pequeña carga de ajuste cuya magnitud depende del tipo de suelo o roca ensayada y su estado.

4.1.16 Se montarán las vigas de referencia y los indicadores de carátula según la figura 3 .

4.1.17 Los indicadores de desplazamiento verticales deben situarse de forma que tengan reserva para ofrecer lecturas negativas.

4.1.18 Se chequeará la rigidez de todo el sistema de medición y la libertad de movimiento de los vástagos de los indicadores.

4.2 Consolidación del bloque.

4.2.1 Se tomará un juego de lecturas iniciales de cada indicador.

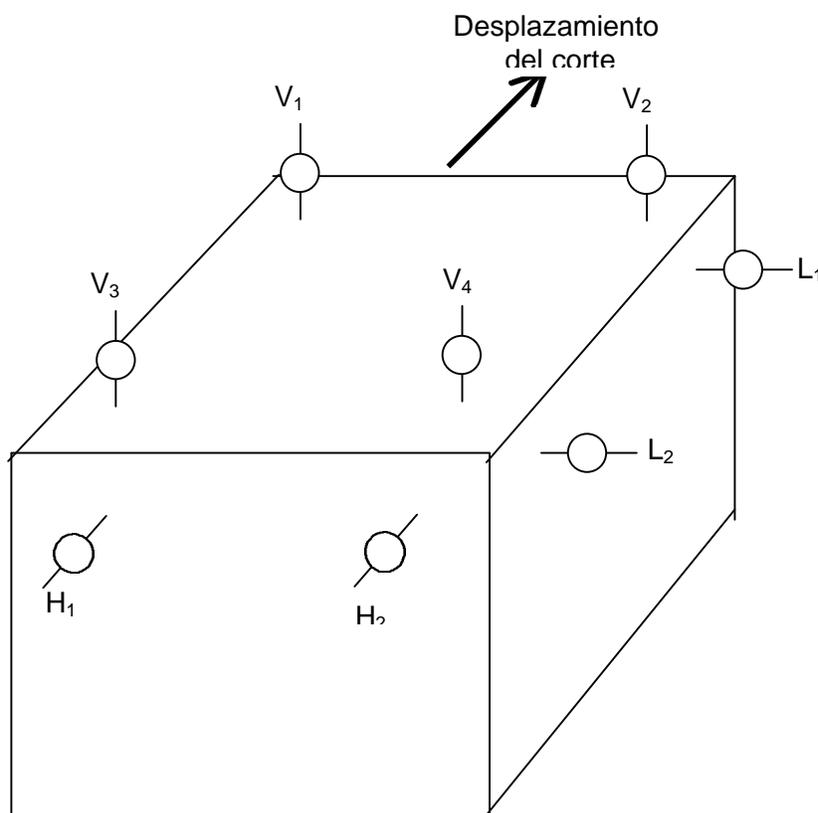
4.2.2 La carga de consolidación se aplicará por escalones o continuamente hasta el valor especificado del ensayo y se mantendrá por períodos de tiempo variables, todo esto en dependencia del tipo de material ensayado y su estado.

4.2.3 En el Anexo B, se ofrecen indicaciones orientativas sobre el esquema de carga.

4.2.4 La aplicación de la fuerza normal de forma continua se realizará de manera regular con una velocidad uniforme, se tomarán lecturas cada minuto de las cargas y de los desplazamientos verticales (asentamiento).

4.2.5 La aplicación de la fuerza normal por escalones supone mantener la carga por el tiempo recomendado en el Anexo B, tomando lecturas periódicas; al alcanzar la fuerza total prevista se esperará la estabilización convencional de las deformaciones recomendadas en la misma tabla. En este último intervalo se tomarán lecturas a 0 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min y 45 min respectivamente y en lo sucesivo se continuarán agregando lecturas cada 15 min hasta que se cumpla la condición de estabilización.

4.2.6 Después del proceso de aplicación de la fuerza normal en ensayo de suelos arcillosos, o rocas con matriz arcillosa o con discontinuidades arcillosas, se comenzará a plotear la curva de la consolidación del material, empleando para ello gráficos semilogarítmicos idénticos a los empleados en el ensayo edométrico para estimar el tiempo para el ciento por ciento de la consolidación primaria (t_{100}).



V 1, V 2, V3, V4 - Indicadores de desplazamiento vertical.

H 1, H 2, - Indicadores de desplazamiento horizontal.

L1, L2, - Indicadores de desplazamiento lateral.

Figura 3. Ubicación de los indicadores de desplazamiento.

4.2.7 La magnitud de la fuerza total y de los escalones de carga, de la velocidad de aplicación de la misma, así como de las condiciones de estabilización, se determinará por el técnico responsable de la investigación y se plasmarán en el programa de ensayo teniendo en cuenta las condiciones de trabajo bajo las cargas impuestas por la futura obra.

4.3 Corte

4.3.1 La fuerza de corte puede ser aplicada continuamente o por escalones observando que se cumpla una razón de la deformación horizontal no mayor de 0,1 mm / min a 0,2 mm / min, durante el proceso inicial de carga, antes que se alcance la resistencia al cortante máxima. En caso de ensayos drenados se utilizarán velocidades de corte menores de 0,1 mm / min, durante la etapa inicial antes de alcanzar la resistencia máxima.

4.3.2 Los criterios para establecer las condiciones de estabilización, la velocidad de aplicación de las cargas o la magnitud de los escalones de carga durante el corte, serán establecidos según las condiciones de trabajo del suelo bajo las cargas impuestas por la obra, por el técnico responsable de la investigación teniendo en cuenta lo aquí expuesto y serán plasmadas en el programa de ensayo.

4.3.3 Se tomarán como mínimo antes de alcanzar la resistencia máxima 10 lecturas de los indicadores horizontales y los instrumentos de medición de la carga a intervalos iguales, de magnitud entre 30 seg y 1 min .

4.3.4 El tiempo total para alcanzar la resistencia máxima de las arcillas, rocas en matriz arcillosa o rocas con discontinuidades rellenas por arcilla, debe ser mayor que seis veces el t_{100} estimado en la etapa de consolidación. Se supone que para adoptar la velocidad de carga correcta se requiere que el técnico tenga experiencia de ensayos con materiales similares para poder estimar la magnitud de la resistencia al cortante máximo a la hora de decidir la velocidad de aplicación de las cargas de corte.

4.3.5 En caso que se desee mantener constante la carga normal durante todo el proceso de corte, la fuerza normal debe ser corregida (disminuida) en la magnitud de la componente vertical de la fuerza tangencial inclinada, a fin de que la prueba se mantenga constante en el valor especificado en el ensayo. Estas correcciones se realizarán cada vez que se tomen lecturas de los instrumentos.

4.3.6 En casos de ensayos de suelos blandos, con bajas cargas, se tendrá en cuenta la influencia del cambio de área durante el corte, reduciendo la carga normal en la magnitud de:

$$\frac{\Delta_s (P_v)}{L}$$

donde:

Δ_s es el desplazamiento medio, en milímetros;

L es el lado del bloque, en milímetros;

P_v es la carga normal total, en kilonewton y definida en el punto 5.3 .

4.3.7 Después de alcanzar la resistencia máxima se continuará bombeando el gato inclinado observando una razón de deformación de 0,2 mm / min y tomando lecturas de los indicadores e instrumentos de medición de carga cada un desplazamiento entre 0,5 mm y 5,0 mm . En caso de ensayos drenados, después de alcanzar la resistencia máxima, se deben utilizar velocidades de carga de 0,02 mm / min hasta 0,10 mm / min .

4.3.8 Se considera alcanzada la resistencia residual, cuando al menos 4 lecturas consecutivas la carga tangencial no se diferencie en más de un 5 % entre cada una para un desplazamiento horizontal de 10 mm .

4.3.9 Después de terminado el ensayo, se invertirá el bloque, se fotografiará o dibujará, se describirá detalladamente, se medirá el área real de corte, la rugosidad y se tomarán muestras del área de corte para ensayos físicos de identificación.

5 Cálculo, gráficos e interpretación de los resultados

5.1 Todas las lecturas de los indicadores, instrumentos de medición de la carga y del cronómetro, serán llevados durante el ensayo en el modelo que se presenta en el Anexo C.

5.2 Las deformaciones de cada juego de indicadores son promediadas para cada lectura.

5.3 Se calculan los esfuerzos normales y tangenciales por las siguientes fórmulas:

$$s = \frac{P_v}{A_c} \quad (\text{kN/m}^2)$$

donde:

σ es el esfuerzo normal, en kilonewton por metro cuadrado;

P_v es la carga normal total, en kilonewton;

A_c es el área de la superficie de corte, en metro cuadrado.

$$P_v = P_{va} + P_{ca} \cdot \text{sen } \alpha$$

P_{va} es la fuerza normal aplicada en el gato vertical, en kilonewton ;

$P_{ca} \cdot \text{sen } \alpha$ es la componente vertical de la fuerza de corte aplicada con el gato inclinado (P_{ca}), en kilonewton;

α es el ángulo de inclinación de la carga tangencial, en grados

$$t = \frac{P_H}{A_c} \quad (\text{kN/m}^2)$$

donde:

τ es el esfuerzo tangencial, en kilonewton por metro cuadrado;

$P_H = P_{ca} \cdot \cos \infty$ es la carga tangencial total, en kilonewton;

$P_{ca} \cdot \cos \infty$ es la componente horizontal de la fuerza de corte aplicada con el gato inclinado (P_{ca}), en kilonewton.

5.4 Se confeccionará el gráfico de esfuerzo tangencial (τ) versus desplazamientos de corte (Δ_S) y desplazamientos normales (Δ_n), del cual se determinan los valores de la resistencia al cortante máxima ($\tau_{m\acute{a}x}$) y residual (τ_r), véase la figura 4 .

5.5 De los resultados de cada serie de ensayos bajo distintas cargas normales se confeccionará un gráfico de la resistencia a cortante máximo ($\tau_{m\acute{a}x}$) y resistencia a cortante residual (τ_r) versus esfuerzo normal (σ), de los cuales se determinan los parámetros de resistencia al cortante, véase la figura 5 .

5.6 Los resultados de cada serie de ensayos se presentan con una descripción detallada del equipamiento, metodología, características de cada bloque y del material ensayado, fotografías, resultados de los ensayos físicos de identificación, gráficos y tablas de los valores de esfuerzo tangencial (τ) y esfuerzo normal (σ) y los parámetros de resistencia al cortante, cohesión (C) y ángulo de fricción interna (ϕ).

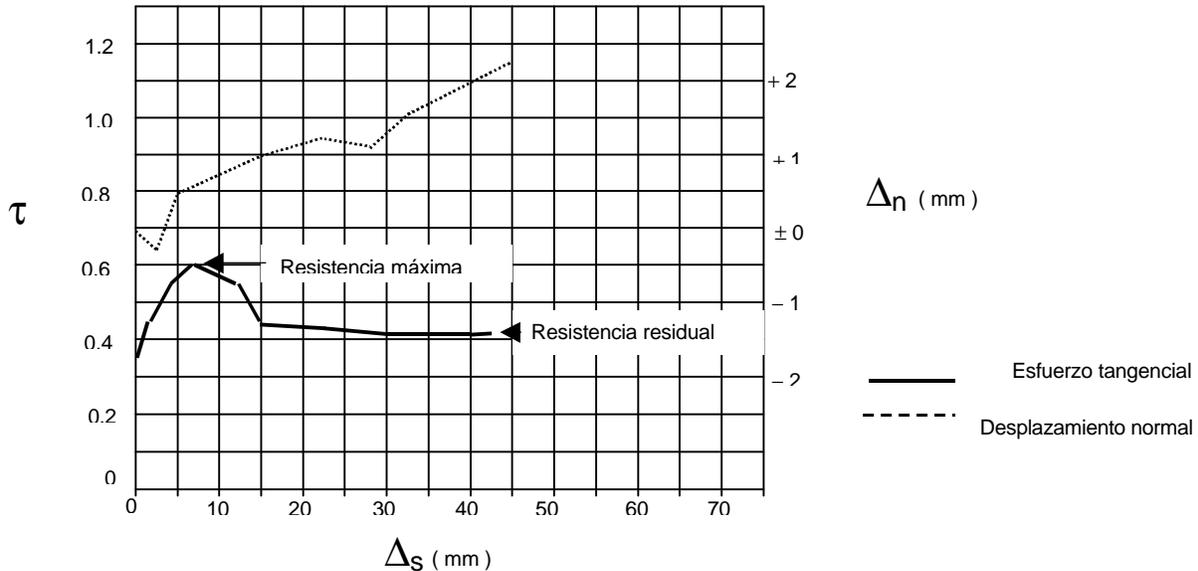
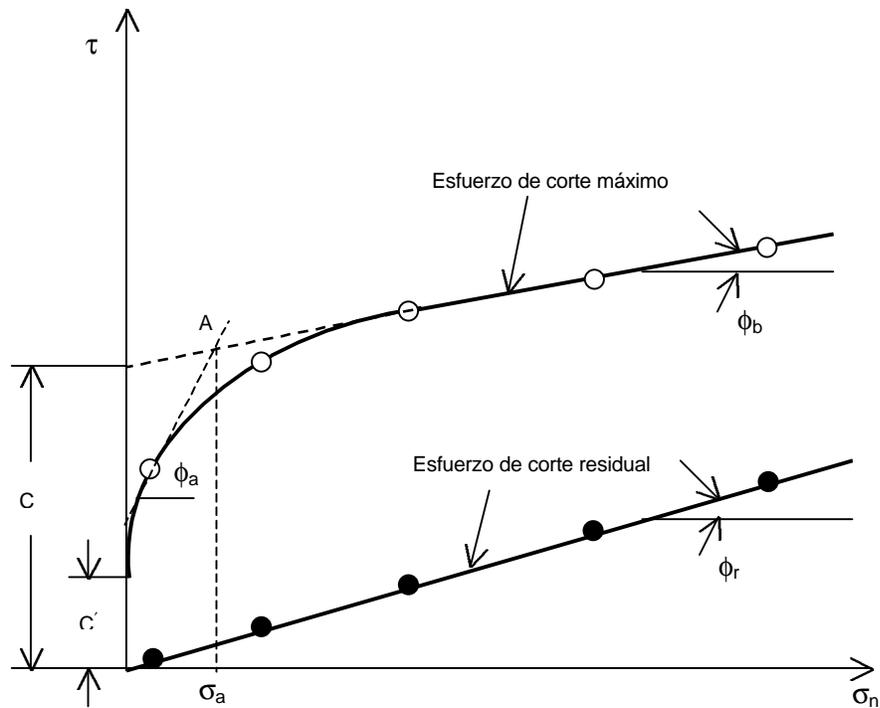


Figura 4. Gráfico de esfuerzo tangencial versus desplazamientos



ϕ_r es el ángulo de fricción interna residual;

ϕ_a es el ángulo de fricción interna aparente antes del valor de σ_a ;

ϕ_b es el ángulo de fricción interna aparente después del valor de σ_a ;

C' es el intercepto de la curva de resistencia cortante máxima, puede ser cero;

C es la cohesión aparente en el nivel de esfuerzo correspondiente ϕ_b ;

C_r es el intercepto de la curva de resistencia cortante residual, la cual es generalmente insignificante.

Figura 5. Gráfico de esfuerzo tangencial versus esfuerzo normal

**ANEXO A
(Informativo)
BIBLIOGRAFÍA**

ASTM D 4554: 90. Test method for in situ Determination of Direct shear strength of Rock Discontinuities.

BS 5930: 1981. Code of practice for. Site Investigations. Section Five. Field Tests.

ANEXO B
(informativo)
ESQUEMAS RECOMENDADOS PARA LA CONSOLIDACION DE LOS BLOQUES

Tipo de suelo y su estado		Tipo de incremento hasta la carga especificada (σ)	Intervalo de tiempo de aplicación del incremento (t min)	Rangos de la magnitud del incremento σ (kN/m^2)	Máximo de la magnitud del incremento σ máx (kN/m^2)	Condición de estabilización final (mm/min)
Arenas	Sueltas	Continuo	—	—	—	0,02 / 15
	Medias					
	Densas					
Limos	Arenosos	Continuo	—	—	—	0,02 / 30
	Arcillosos	Por Escalones	30	50	100	0,02 / 60
Arcillas	Muy blandas a blandas	Por escalones	120	25 - 50	50	0,02 / 120
	Media a firmes		60	50	100	0,02 / 120
	Duras a Muy duras		30	50 - 100	200	0,02 / 60
Mezclas de suelos con gravas, naturales o artificiales, eluvios rocosos	Matriz Arenosa o Arcillosa	Continuo	—	—	—	0,02 / 30
	Matriz Arcillosa	Por escalones	30	50 - 100	200	0,02 / 60
Rocas	Sanas	Continuo	—	—	—	0,05 / 10
	Con Discontinuidades	Arcillosas	15	100 - 200	500	0,05 / 10
		De otro carácter	Continuo	—	—	—

