

# COMPRESIÓN INCONFINADA EN MUESTRAS DE SUELOS

INV E – 152 – 13

## 1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe el ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. El ensayo se puede realizar sobre muestras inalteradas, remoldeadas o compactadas.
- 1.2** Este método de ensayo da un valor aproximado de la resistencia de los suelos cohesivos en términos de esfuerzos totales.
- 1.3** Este método de ensayo es aplicable solo a materiales cohesivos que no expulsan agua durante la etapa de carga del ensayo y que mantienen su resistencia intrínseca después de remover las presiones de confinamiento, como las arcillas o los suelos cementados. Los suelos secos y friables, los materiales fisurados o estratificados, los limos, las turbas y las arenas no se pueden analizar por este método para obtener valores válidos de la resistencia a la compresión inconfinada.

*Nota 1: La determinación de la resistencia de los suelos cohesivos con confinamiento lateral, sin consolidación previa y sin drenaje, está regulada por la Norma INV E-153*

- 1.4** Esta norma reemplaza la norma INV E-152-07.

## 2 DEFINICIONES

- 2.1** Los siguientes términos son específicos a esta norma de ensayo:

- 2.1.1** *Resistencia a la compresión inconfinada ( $q_u$ )* – Mínimo esfuerzo compresivo al cual falla una muestra no confinada de suelo, de forma cilíndrica, en condiciones normalizadas. En este método, la resistencia a la compresión inconfinada se toma como la máxima carga por unidad de área alcanzada durante el ensayo, o la carga por unidad de área cuando se alcanza el 15 % de deformación axial, lo que ocurra primero, durante la ejecución del ensayo.

- 2.1.2 Resistencia al corte ( $S_u$ )** – Para los especímenes sometidos al ensayo de resistencia a la compresión inconfinada, la resistencia al corte se define como:

$$S_u = 0.5 \times q_u$$

[152.1]

### 3 IMPORTANCIA Y USO

---

- 3.1** El objetivo básico del ensayo de compresión inconfinada es obtener, de manera rápida, un valor de la resistencia a la compresión de aquellos suelos que tienen la cohesión suficiente para ser ensayados en condición inconfinada.
- 3.2** Muestras de suelos con estructuras pulidas o fisuradas, algunos tipos de loess, arcillas muy blandas, suelos secos y friables y materiales estratificados, o muestras que contienen una cantidad significativa de limo o arena, o ambos (todos los cuales exhiben propiedades normalmente cohesivas), presentan frecuentemente una mayor resistencia al corte cuando se ensayan de acuerdo con la norma INV E-153. También, los suelos no saturados presentan, normalmente, resistencias al corte diferentes cuando se ensayan de acuerdo con la Norma INV E-153.
- 3.3** La sensibilidad del material se puede determinar si se llevan a cabo ensayos sobre la misma muestra en condiciones inalterada y alterada. Este método de determinación de la sensibilidad es adecuado solo para suelos que pueden mantener una forma estable en estado remoldeado.

*Nota 2: Para los suelos que no mantienen una forma estable, se puede utilizar un ensayo de resistencia al corte con veleta o el método de la norma INV E-153 para determinar su sensibilidad.*

### 4 EQUIPO

---

- 4.1 Aparato de compresión** – El aparato de compresión puede ser una báscula de plataforma equipada con un marco de carga activado con un gato de tornillo; un mecanismo de carga hidráulica, o cualquier otro instrumento de compresión con suficiente capacidad de control para proporcionar la velocidad de carga prescrita en el numeral 6.1. En lugar de la báscula de plataforma, la carga puede ser medida con un anillo o una celda de carga fijada al marco. Para suelos cuya resistencia a la compresión inconfinada sea menor de 100kPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>), el aparato de compresión debe ser capaz de medir los

esfuerzos compresivos con una precisión de 1 kPa (0.01 kgf/cm<sup>2</sup>); para suelos con una resistencia a la compresión inconfinada igual o mayor de 100 kPa (1 kgf/cm<sup>2</sup>), el aparato de compresión debe ser capaz de medir los esfuerzos compresivos con una precisión de 5 kPa (0.05 kgf/cm<sup>2</sup>).

- 4.2 Extractor de muestra** – Capaz de extraer el núcleo de suelo del tubo de muestreo a una velocidad uniforme y con mínima alteración, en la misma dirección en que la muestra entró al tubo. Las condiciones en el momento de la extracción de la muestra pueden indicar la dirección de su extracción, pero la principal preocupación es mantener en un mínimo su grado de alteración.
- 4.3 Indicador de deformaciones** – Debe ser un comparador de carátula, graduado a 0.03 mm (0.001") o mejor, que tenga un rango de medición de, por lo menos, 20 % de la longitud del espécimen para el ensayo, o algún otro instrumento de medición, como un transductor que cumpla estos requerimientos.
- 4.4 Micrómetro con dial comparador** – U otro instrumento adecuado para medir las dimensiones físicas del espécimen, dentro del 0.1 % de la dimensión medida.

*Nota 3: Los calibradores vernier no son recomendados para especímenes blandos, ya que éstos se deforman cuando el calibrador se coloca sobre ellos.*

- 4.5 Cronómetro** – Que indique el tiempo transcurrido con una precisión de 1 s, para controlar la velocidad de aplicación de deformación prescrita en el numeral 6.1.
- 4.6 Balanza** – La balanza usada para pesar los espécímenes debe determinar su masa con una precisión de 0.1 % de su masa total.
- 4.7 Equipo para la determinación del contenido de humedad** – Como se especifica en la norma INV E-122.
- 4.8 Equipo misceláneo** – Que incluye las herramientas para cortar y labrar la muestra, instrumentos para remoldearla, formatos para anotar los datos, etc.

## 5 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

- 5.1 Tamaño de las muestras** - Los espécímenes deben tener un diámetro mínimo de 30 mm (1.3") y la mayor partícula contenida en ellos debe ser menor que

1/10 del diámetro del espécimen. Para muestras que tengan un diámetro de 72 mm (2.8") o mayores, el tamaño máximo de partícula debe ser menor que 1/6 del diámetro del espécimen. Si después de terminar un ensayo sobre una muestra inalterada se encuentra, con base en la observación directa, que había partículas mayores que las permitidas, esta información se debe anotar en la sección de observaciones del informe (nota 4). La relación de altura/diámetro se debe encontrar entre 2 y 2.5. Se determinan la altura y el diámetro promedios de la muestra para el ensayo, utilizando el instrumento especificado en el numeral 4.4. Se debe tomar un mínimo de 3 mediciones de la altura (separadas 120°) y, por lo menos, tres del diámetro, igualmente espaciadas a lo largo de la generatriz del cilindro.

*Nota 4: Si se encuentran partículas de suelo grandes en la muestra después del ensayo, se debe hacer un análisis granulométrico de acuerdo con la norma INV E-123, para confirmar la observación visual; los resultados de este ensayo se deben incluir en el informe del ensayo.*

- 5.2 Muestras inalteradas** – Se preparan los especímenes inalterados a partir de muestras obtenidas de acuerdo con las normas INV E-104 o INV E-105, y preservadas y transportadas de acuerdo con las directrices para el grupo de muestras C de la norma INV E-103. Las muestras de tubo se pueden ensayar sin labrar, excepto sus extremos, si las condiciones de la muestra justifican este procedimiento. Las muestras se deben manejar cuidadosamente para prevenir cualquier alteración, cambios en la sección transversal o pérdidas en el contenido de agua. Si el aparato de extracción puede causar compresión o cualquier otro tipo de alteración notoria de la muestra, el tubo de muestreo se debe dividir a lo largo o cortar en secciones pequeñas para facilitar la remoción del espécimen con una alteración mínima. Siempre que sea posible, se deben preparar los especímenes labrados a partir de muestras intactas de mayor tamaño, en un cuarto con humedad controlada. Se debe hacer todo lo posible para prevenir cualquier cambio en el contenido de agua del suelo. Los especímenes deben tener una sección transversal circular uniforme, con sus extremos perpendiculares al eje longitudinal de la muestra. Cuando se recorte o labre una muestra, se debe remover cualquier guijarro pequeño o conchilla que se encuentre. Se llenan cuidadosamente los vacíos en la superficie del espécimen empleando suelo remoldeado, obtenido de los recortes. Si la presencia de guijarros o el desmoronamiento dan lugar a una irregularidad excesiva en los extremos de la muestra, éstos se deberán emparejar con un espesor mínimo de yeso de Paris, cemento, o un material similar. Si la condición de la muestra lo permite, se puede utilizar un torno vertical que acomode la muestra completa, como una ayuda para el labrado de la muestra, hasta alcanzar el diámetro requerido. Cuando se considere importante la prevención del desarrollo de fuerzas de capilaridad, el espécimen se deberá sellar con una membrana de caucho con un recubrimiento de plástico delgado

o con un recubrimiento de grasa o de plástico pulverizado, inmediatamente después de la preparación y durante todo el ensayo. Se determinan las dimensiones y la masa de la muestra para el ensayo. Si el espécimen debe ser emparejado en sus extremos con yeso o cemento, su masa y sus dimensiones se deben determinar antes del emparejamiento. Si la muestra completa no se va a utilizar en la determinación del contenido de agua, se toma una muestra representativa de los cortes para este objeto, y se coloca inmediatamente en una cápsula cubierta. El contenido de agua se debe determinar de acuerdo con la norma INV E-122.

- 5.3 Muestras remoldeadas** – Las muestras remoldeadas se pueden preparar apartir de una muestra inalterada o a partir de una muestra alterada, siempre y cuando sea representativa de la muestra inalterada fallada. En el caso de las muestras inalteradas falladas, se envuelve el material en una membrana de caucho delgado y se amasa completamente el material con los dedos para asegurar un remoldeo completo. Se debe evitar que quede aire atrapado en la muestra. Se debe tener cuidado, con el fin de obtener una muestra de densidad uniforme, con la misma relación de vacíos de la muestra inalterada y con el mismo contenido natural de agua. Se moldea el material alterado en un molde de sección transversal circular, cuyas dimensiones cumplan los requerimientos del numeral 5.1. Después de retirarlo del molde, se determinan la masa y las dimensiones del espécimen para el ensayo.
- 5.4 Muestras compactadas** – Las muestras se deben preparar con un contenido de agua predeterminado y con la densidad prescrita por quien solicita el ensayo (nota 5). Después de preparada la muestra, se recortan los extremos perpendicularmente al eje longitudinal, se retira del molde donde se compactó y se determinan su masa y sus dimensiones.

*Nota 5: La experiencia indica que es difícil compactar, manejar y obtener resultados válidos con especímenes cuyo grado de saturación sea mayor de 90 %.*

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1** El espécimen, previamente medido y pesado, se coloca en el aparato de carga de tal manera que quede centrado sobre la platina inferior. A continuación, se ajusta el instrumento de carga cuidadosamente, de modo que la platina superior apenas haga contacto con el espécimen y se lleva a cero el indicador de deformación.

- 6.2** Se aplica la carga para que se produzca una deformación axial a una velocidad de  $\frac{1}{2}$  a 2.5 % por minuto. Se registran los valores de carga, deformación y tiempo a intervalos suficientes para definir la curva esfuerzo-deformación (normalmente son suficientes 10 a 15 puntos). La velocidad de deformación se debe escoger de manera que el tiempo necesario para la falla no exceda de 15 minutos (nota 6).

*Nota 6: Los materiales blandos que presentan grandes deformaciones en la falla, se deben ensayar con una mayor velocidad de deformación. Por el contrario, los materiales rígidos o frágiles que presentan deformaciones pequeñas en el momento de la falla se deben ensayar con una velocidad de deformación menor.*

- 6.3** Se continúa aplicando carga hasta que los valores de carga decrezcan al aumentar la deformación, o hasta que se alcance una deformación igual a 15 %. Se anota la velocidad de deformación en el informe de los datos de ensayo.
- 6.4** Terminado el ensayo, se determina el contenido de agua de la muestra de ensayo utilizando todo el espécimen, a menos que se hayan obtenido recortes representativos para este fin, como en el caso de las muestras inalteradas. Se menciona en el informe de ensayo si la muestra para determinar el contenido de humedad se tomó antes o después del ensayo de compresión
- 6.5** Se hace un esquema o se toma una fotografía de la muestra en las condiciones de falla, mostrando el ángulo de inclinación de la superficie de rotura, si dicho ángulo es medible.
- 6.6** En el Anexo A se incluye un ejemplo de formato para la anotación de los datos del ensayo. Se puede usar cualquier otro tipo de formato, siempre que contenga todos los datos requeridos. Los valores de las 5 primeras columnas del formato se deben llenar a medida que se realiza el ensayo.

## 7 CÁLCULOS

- 7.1** Se calcula la deformación axial,  $\varepsilon_1$ , al 0.1 % más cercano, para cada carga de interés, y se anota en la casilla correspondiente de la columna 6 del formato del Anexo A. La fórmula a emplear es la siguiente:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad [152.2]$$

Donde:  $\Delta L$ : Cambio de longitud del espécimen, obtenido a partir de las

lecturas del indicador de deformaciones o calculado por un dispositivo electrónico (columna 5 del formato del Anexo A), mm (pg.);

$L_0$ : Longitud inicial del espécimen de ensayo, mm (pg.).

- 7.2 Se calcula el área de la sección transversal media, A, para una carga aplicada dada, como sigue (el valor obtenido se anota en la casilla correspondiente de la columna 7 del formato del Anexo A):

$$A = \frac{A_0}{\Delta^1 \frac{\varepsilon_1}{100} \Delta} \quad [152.3]$$

Donde:  $A_0$ : Área media inicial de la sección transversal de la muestra, mm<sup>2</sup> (pg<sup>2</sup>);

$\varepsilon_1$ : Deformación axial para una carga dada, %.

- 7.3 Para cada carga de interés se calcula el esfuerzo compresivo,  $\sigma_c$ , con tres cifras significativas o con una precisión de 1 kPa (0.01 kgf/cm<sup>2</sup>), y se anota en la casilla correspondiente de la última columna del formato del Anexo A. La ecuación por utilizar es la siguiente:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad [152.4]$$

Donde: P: Carga aplicada (columna 3 del formato del Anexo A), kN (lbf);

A: Área media correspondiente de la sección transversal, mm<sup>2</sup> (pg<sup>2</sup>).

- 7.4 *Gráfico* – Si se desea, se puede dibujar un gráfico que muestre la relación entre los esfuerzos de compresión (en las ordenadas) y la deformación axial(en las abscisas) (Figura 152 - 1). Se selecciona el valor del esfuerzo de compresión máximo, o el esfuerzo de compresión al 15 % de deformación axial, lo que se alcance primero, y se anota como la resistencia a la compresióninconfinada, q. Cu. Cuando se considere necesario para una adecuada interpretación, se incluye la tabla de los datos esfuerzo-deformación, como una parte de los datos del informe.

- 7.5** Si se determinan las resistencias a la compresión sobre el suelo inalterado y remoldeado, se calcula la sensibilidad,  $S_T$ , como sigue:

$$S_T = \frac{q_u \text{ (muestra inalterada)}}{q_u \text{ (muestra remoldeada)}} \quad [152.5]$$

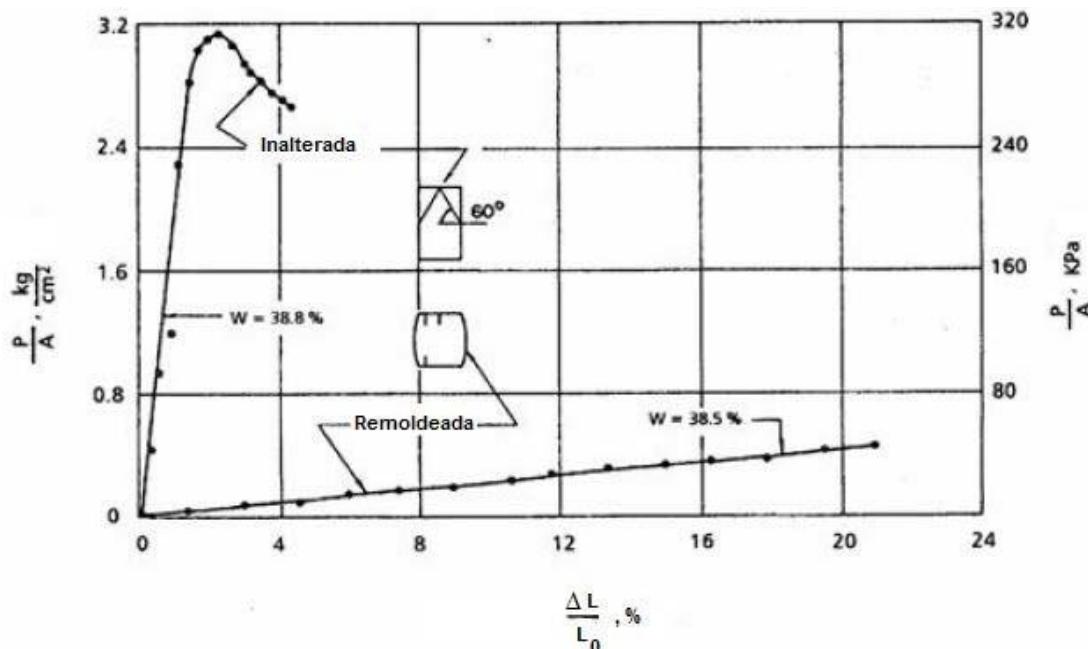


Figura 152 - 1. Gráfico deformación- esfuerzo en el ensayo de compresión inconfinada

## 8 INFORME

- 8.1** El informe debe incluir lo siguiente:

- 8.1.1** Identificación y descripción visual del espécimen, incluyendo la clasificación del suelo, el símbolo y si el espécimen es inalterado, remoldeado, compactado, etc. También, se debe incluir la información que permite identificar el espécimen, (proyecto, localización, número de sondeo, número de la muestra, profundidad, etc.). Las descripciones visuales deben ser hechas de acuerdo con la norma INV E-102.
- 8.1.2** Densidad seca inicial y contenido de agua (especificar si la muestra para el contenido de agua fue obtenida antes o después del ensayo, y si fue obtenida a partir de recortes o de la muestra completa).

**8.1.3** Grado de saturación (nota 7), si fue calculado.

*Nota 7: Se requiere la gravedad determinada de acuerdo con la norma INV E-128 para el cálculo del grado de saturación.*

**8.1.4** Resistencia a la compresión inconfinada y resistencia al corte, kPa.**8.1.5** Altura y diámetro promedios de la muestra.**8.1.6** Relación altura/diámetro.**8.1.7** Velocidad promedio de deformación hasta la falla, %.**8.1.8** Deformación en el instante de la falla, %.**8.1.9** Límite líquido y límite plástico, si fueron determinados, de acuerdo con las normas INV E-125 e INV E-126.**8.1.10** Esquema o fotografía de las condiciones de falla.**8.1.11** Gráfico esfuerzo-deformación, si fue preparado.**8.1.12** Sensibilidad, si fue determinada.**8.1.13** Análisis granulométrico, si fue ejecutado, de acuerdo con la norma INV E-123.

**8.1.14** *Observaciones* – Se debe anotar cualquier condición inusual u otros datos que pudieran ser considerados necesarios para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos; por ejemplo, planos de deslizamiento, estratificación, presencia de conchas, guijarros, raíces, o fragilidad, el tipo de rotura (es decir, forma de barril, cizalla diagonal, etc.).

## 9 PRECISIÓN Y SESGO

**9.1** *Precisión* – Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados obtenidos con este método de ensayo al ensayar una espuma de poliuretano rígido (densidad aproximada:  $0.09 \text{ g/cm}^3$ ), se muestran en la Tabla 152 - 1. Las estimaciones de precisión variarán con el material, por lo que se requiere buen juicio si se quieren aplicar a suelos.

Tabla 152 - 1. Resumen de resultados de ensayo de cada laboratorio

NÚMERO DE LABORATORIOS	PARÁMETRO MEDIDO	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR (1s)	RANGO ACEPTABLE ENTRE DOS RESULTADOS (d2s)
<i>Precisión de un solo operador (repetibilidad en un laboratorio)</i>				
22	Resistencia, kPa Deformación, %	989 4.16	42 0.32	120 0.9
<i>Precisión entre laboratorios (reproducibilidad entre laboratorios)</i>				
22	Resistencia, kPa Deformación, %	989 4.16	53 0.35	150 1.0

- 9.2 Sesgo** – No hay un valor aceptado de referencia para este método; en consecuencia, no es posible determinar el sesgo.

## 10 NORMAS DE REFERENCIA

---

ASTM D 2166 – 06

## **ANEXO A**

### **(Informativo)**

## **FORMATO PARA PRUEBA DE COMPRESIÓN INCONFINADA**

Tipo de  
muestra:

Grafico o foto del espécimen después de la falla

Rata de deformación: %/min

**Observaciones:**