

MEDIDA DEL POTENCIAL DE COLAPSO DE UN SUELO PARCIALMENTE SATURADO

INV E – 157 – 13

1 OBJETO

- 1.1 Este procedimiento de ensayo tiene por objeto determinar la magnitud del colapso unidimensional que se produce en el momento en que se inunda un suelo parcialmente saturado.
- 1.2 Este procedimiento se puede utilizar para determinar (1) la magnitud del colapso potencial que puede ocurrir para un esfuerzo vertical (axial) determinado y (2) un índice para clasificar el potencial de colapso.
- 1.3 En la norma se describen la técnica de preparación de la muestra, el equipo necesario, el procedimiento a seguir para cuantificar el cambio de altura causado por el colapso y los procedimientos para la presentación de los resultados.
- 1.4 El método es aplicable tanto a muestras inalteradas de suelo como remoldeadas.
- 1.5 Esta norma reemplaza la norma INV E–157–07.

2 DEFINICIONES

- 2.1 *Colapso* – Disminución de altura que experimenta un suelo confinado lateralmente y sometido a un esfuerzo vertical constante, en el momento de ser inundado. Un suelo con susceptibilidad al colapso puede experimentar deformaciones verticales pequeñas bajo el efecto de esfuerzos verticales importantes mientras su contenido en humedad sea bajo; sin embargo, puede sufrir asentamientos (que pueden ser de gran magnitud) luego de ser inundado, sin que el esfuerzo vertical se incremente. No es necesario que los esfuerzos verticales sean de gran magnitud para que un suelo pueda colapsar.
- 2.2 *Índice de colapso (I_e), porcentaje* – Magnitud relativa del colapso, determinada para un esfuerzo vertical de 200 kPa (2 t/pie²), el cual se calcula con cualquiera de las ecuaciones incluidas en el numeral 2.3, de acuerdo con las instrucciones que se presentan más adelante.

2.3 Potencial de colapso (I_c), porcentaje – Magnitud relativa del colapso, determinada para cualquier nivel de esfuerzo, la cual se calcula con la expresión:

$$I_c = \left[\frac{d_f - d_0}{h_0} - \frac{d_i - d_0}{h_0} \right] 100 = \left[\frac{d_f - d_i}{h_0} \right] 100 \quad [157.1]$$

- Donde: d_0 : Lectura en el dial después de la carga de ajuste, mm (pg.);
- h_0 : Altura inicial del espécimen, mm (pg.);
- d_f : Lectura en el dial al nivel apropiado de esfuerzo después de inundar, mm (pg.);
- d_i : Lectura en el dial al nivel apropiado de esfuerzo antes de inundar, mm (pg.);
- $(d_f - d_0)/h_0$: Deformación unitaria al nivel apropiado de esfuerzo después de inundar;
- $(d_i - d_0)/h_0$: Deformación unitaria al nivel apropiado de esfuerzo antes de inundar.

La anterior expresión se puede reescribir en términos de la relación de vacíos:

$$I_c = \frac{\Delta e}{1 + e_0} \times 100 \quad [157.2]$$

- Donde: Δe : Cambio producido en la relación de vacíos a causa de la inundación;
- e_0 : Relación de vacíos inicial.

Como el ensayo se realiza en condición unidimensional, I_c también se puede expresar de la siguiente manera:

$$I_c = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad [157.3]$$

Donde: Δh : Cambio de altura del espécimen a causa de la inundación, mm (pg.);

h_0 : Altura inicial del espécimen, mm (pg.).

3 RESUMEN DEL MÉTODO

- 3.1** El método de ensayo consiste en colocar un espécimen de suelo con el contenido natural de humedad en un consolidómetro, aplicando una presión vertical predeterminada e inundándolo con un fluido para inducirle el potencial de colapso. El fluido debe ser agua destilada y desionizada cuando se esté evaluando el índice de colapso, i_c . El fluido puede simular el agua de los poros del espécimen u otra condición de campo tal como sea necesario, cuando se esté evaluando el potencial de colapso, i_c .

4 IMPORTANCIA Y USO

- 4.1** Los suelos susceptibles al colapso se encuentran en cualquier parte del mundo. Tienen en el campo, típicamente, densidades y humedades naturales bajas. Las obras de ingeniería fundadas sobre suelos susceptibles al colapso se pueden dañar de repente y, a menudo, se inducen grandes asentamientos cuando estos suelos se saturan después de la construcción. La predicción del potencial de colapso es importante para el diseño de muchas estructuras de ingeniería.
- 4.2** El potencial de colapso, i_c , se usa para estimar los asentamientos que pueden ocurrir en una capa de suelo en un sitio particular. i_c se determina con las ecuaciones presentadas en el numeral 2.3, aplicando un esfuerzo vertical predeterminado y fluidos a un espécimen tomado de la capa de suelo. El asentamiento de la capa de suelo para el esfuerzo vertical aplicado se obtiene multiplicando i_c por $H/100$, donde H es el espesor de la capa de suelo.
- 4.2.1** Los procedimientos para estimar el potencial de colapso son inciertos, porque no se puede aplicar un criterio único a todos los suelos susceptibles al colapso. Por ejemplo, algunos suelos se pueden expandir después de que el fluido es añadido al espécimen hasta que se le aplique un esfuerzo vertical suficiente para contrarrestar la expansión. El colapso puede ocurrir, entonces, después de la aplicación del esfuerzo adicional vertical. Este método se puede usar para

determinar el potencial de colapso, I_c , a una presión vertical particular, o el índice de colapso, I_e , bajo una presión aplicada de 200 kPa. Se puede estimar el valor de I_c para una presión vertical menor, asumiendo que a la presión vertical menor el suelo no se expande después de inundado.

- 4.2.2** La magnitud del asentamiento depende de la extensión del frente de humedecimiento y de la disponibilidad de agua, datos que raramente pueden ser pronosticados antes del colapso.
- 4.3** El índice de colapso, I_e , se usa para medir una propiedad índice básica del suelo.
- 4.3.1** I_e es comparable al índice de expansión medido de acuerdo con la norma ASTM D 4829 y se emplea para describir el grado de colapso que puede exhibir un suelo en particular, bajo determinadas condiciones.
- 4.3.2** El índice de colapso, I_e , no intenta reproducir ninguna condición particular de campo, como la carga colocada, la estructura de suelo, o la química del agua de los poros. En este procedimiento se mantienen constantes las condiciones de prueba, permitiendo la correlación directa de datos entre organizaciones y la investigación directa de un aspecto particular del comportamiento del suelo.
- 4.3.3** El valor de I_e se clasifica en la Tabla 157 - 1.

Tabla 157 - 1. Clasificación del Índice de Colapso, I_e

GRADO DEL COLAPSO DEL ESPÉCIMEN	ÍNDICE DE COLAPSO I_e , %
Ninguno	0
Ligero	0.1 a 2.0
Moderado	2.1 a 6.0
Moderadamente severo	6.1 a 10.0
Severo	> 10

5 EQUIPO

- 5.1** El equipo de ensayo es el mismo que especifica la norma INV E-151.

- 5.2** Para montar el ensayo, se deberán utilizar piedras porosas previamente secadas al aire, con el fin de evitar que la probeta pueda tomar agua por capilaridad.

6 PREPARACIÓN DEL ESPÉCIMEN

- 6.1** Los especímenes pueden ser compactados, remoldeados o tomados de muestras inalteradas. Los especímenes inalterados se deben preparar de acuerdo con las instrucciones de la norma INV E-151.
- 6.2** Se deben usar muestras relativamente inalteradas para determinar el potencial de colapso, I_c . Puesto que los suelos susceptibles al colapso son sensibles a los métodos de muestreo usando fluidos, las muestras deben ser tomadas usando métodos secos. Métodos de muestreo en seco, incluyendo barrenos de doble tubo y tallado a mano de bloques, resultan satisfactorios.

7 CALIBRACIÓN

- 7.1** El consolidómetro se debe montar y calibrar según se indica la norma INV E-151.

8 PROCEDIMIENTO

- 8.1** Se deberá seguir el procedimiento de ensayo descrito en la norma INV E-151, con las siguientes variaciones o cuidados particulares:
- 8.1.1** Comprobar que las piedras porosas estén secas.
- 8.1.2** Se coloca el espécimen en el dispositivo de carga, inmediatamente después de determinar la masa inicial y altura, luego de su compactación o tallado. Se ensambla en el aparato de carga el anillo con el espécimen, el papel filtro, si se usa, y las piedras porosas secadas al aire. Se envuelven el espécimen, el anillo, el papel filtro, si lo hay, y las piedras porosas, tan pronto como sea posible, con una membrana de plástico floja, toalla de papel húmeda o lámina de aluminio, para minimizar cambios en el contenido de humedad y en el volumen del espécimen a causa de la evaporación. Esta envoltura se puede retirar y descartar a la hora de la inundación del espécimen. Se

aplica una presión de asentamiento o ajuste de, por lo menos, 5 kPa. Dentro de los 5 minutos siguientes a la aplicación de la carga de asentamiento, se aplican incrementos de carga cada hora con el contenido natural de agua, hasta alcanzar el valor del esfuerzo vertical para el que se desea conocer el colapso. Los incrementos de carga deben ser 12, 25, 50, 100, 200, etc. kPa. Se debe medir y anotar la deformación antes de aplicar cada incremento de carga.

Nota 1: El intervalo de tiempo entre incrementos de carga antes de la saturación se ha limitado a una hora, para evitar una excesiva evaporación de la humedad de la probeta, que pudiera dar lugar a resultados erróneos.

- 8.2** La presión a ser aplicada al espécimen de suelo antes de la inundación depende de si el valor a ser determinado como apropiado para la situación de diseño es I_c o I_e .
- 8.3** Se inunda la probeta con el fluido 1 hora después de aplicar el esfuerzo vertical apropiado y luego de registrar la lectura del dial de deformación, d_i . Se deben registrar lecturas de deformación axial contra tiempo a, aproximadamente, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30 minutos y 1, 2, 4, 8 y 24 horas después de adicionar el fluido, o según lo establece la norma INV E-151, para observar el comportamiento de la curva que se obtiene al graficar estas dos variables y poder determinar el equilibrio del proceso estudiado. Se debe esperar hasta que se equilibre el proceso de colapso, o un tiempo mínimo de 24 horas, y anotar la lectura del medidor de deformaciones. Esta es la lectura d_f .
- Nota 2: En suelos de alta permeabilidad, el colapso puede ocurrir rápidamente y su dependencia del tiempo puede resultar difícil de medir.*
- 8.3.1** El fluido para determinar I_e deberá ser agua destilada y desionizada.
- 8.3.2** Se deberán usar fluidos adecuados para diferentes condiciones del lugar o cambios anticipados en las características del agua freática, cuando se desee determinar I_c . Estos fluidos deben ser descritos en el informe.
- 8.4** Se añade el fluido permitiendo que el espécimen se sature únicamente desde la base, para que no quede aire atrapado dentro del espécimen.
- 8.5** La duración del incremento de carga que sigue a la inundación, debe ser de toda la noche o hasta que se produzca la consolidación primaria, de acuerdo con el procedimiento de la norma INV E-151.

- 8.6** Los esfuerzos verticales adicionales se pueden colocar en los incrementos establecidos en la norma INV E-151 según se requiera, o hasta obtener la pendiente de la curva esfuerzo-deformación. Se registra la relación deformación-tiempo, como en el numeral 8.3. Se debe dejar cada incremento durante toda la noche o hasta que la consolidación primaria se haya completado.
- 8.7** Finalizado el proceso, se deberá desmontar el equipo, siguiendo las indicaciones incluidas en la norma INV E-151.

9 CÁLCULOS

- 9.1** Se calculan los porcentajes de compresión o deformación unitaria para cada presión aplicada antes de la inundación.
- 9.2** Se dibuja una gráfica semilogarítmica que relacione esfuerzo con deformación, donde el esfuerzo se encuentre en las abscisas en escala logarítmica y la deformación en las ordenadas en escala aritmética. Si se ha determinado la gravedad específica de las partículas sólidas del suelo, se puede colocar la relación de vacíos en lugar de la deformación unitaria.
- 9.2.1** La Figura 157 - 1 muestra los datos de un ensayo realizado para medir el potencial de colapso. Calculando I_c mediante la ecuación del numeral 2.3, para una presión vertical predeterminada de 100 kPa, se obtiene:

$$I_c = (9.6 - 1.5) = 8.1$$

Donde el punto C está a 9.6 % de deformación y B esta a 1.5 % de deformación. El potencial de asentamiento de una capa de suelo de 3 m (10 pies) de espesor con este potencial de colapso, se puede expresar de la siguiente manera, como se indica en el numeral 4.2:

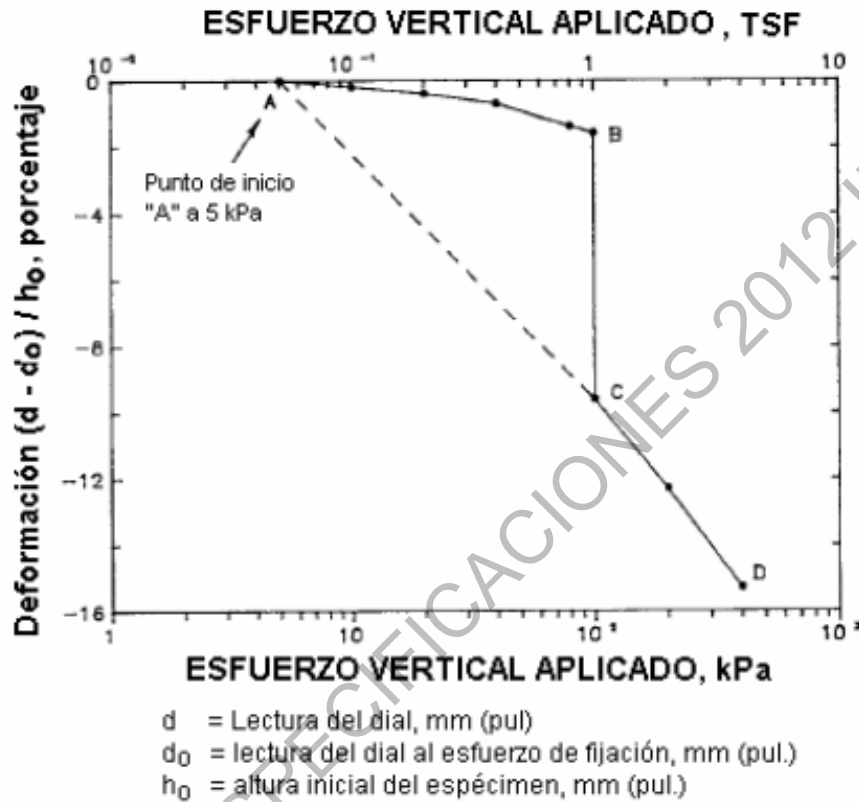
$$\Delta H = \frac{I_c \times H}{100} = \frac{8.1 \times 3}{100} = 0.24 \text{ m}$$

- 9.2.2** El potencial de colapso se puede estimar para un esfuerzo vertical aplicado menor de 100 kPa, calculando la diferencia de deformación entre las curvas en condición inundada (a trazos) y no inundada. Por ejemplo, en la figura 1 el potencial de colapso a 40 kPa, es:

$$I_c = (6.8 - 0.8) = 6.0$$

En este caso, el potencial de asentamiento para la capa de 3 metros de espesor es:

$$\Delta h = \frac{l_c \times h}{100} = \frac{6.0 \times 3}{100} = 0.18 \text{ m}$$



NOTA: $(d - d_0) / h_0$ se multiplica por 100 para obtener porcentaje

Figura 157 - 1. Ejemplo de una curva de compresión de la prueba de potencial de colapso

10 INFORME

10.1 El informe deberá incluir los siguientes aspectos:

10.1.1 Datos de identificación y descripción de la muestra ensayada, indicando si la probeta es inalterada o remodelada.

10.1.2 Contenido de humedad inicial y final, y densidad seca.

10.1.3 Dimensiones de la muestra ensayada.

- 10.1.4** Descripción del consolidómetro utilizado.
- 10.1.5** Esfuerzo vertical aplicado en el momento de inundar la probeta.
- 10.1.6** Porcentaje de compresión o de deformación del espécimen, para cada esfuerzo vertical aplicado antes de la inundación.
- 10.1.7** La curva esfuerzo-deformación mencionada en el numeral 9.2.
- 10.1.8** El índice de colapso, I_c , o el potencial de colapso, I_p , el que sea aplicable.
- 10.1.9** Todas las desviaciones con respecto a estos procedimientos, incluyendo secuencias especiales de carga, preparación especial del espécimen, dimensiones especiales y fluido de inundación.

11 PRECISIÓN Y SESGO

- 11.1** *Precisión* – No se presentan datos sobre precisión, debido a la naturaleza de los materiales sometidos a ensayo según esta norma.
- 11.2** *Sesgo* – No hay valor de referencia aceptado para este método de ensayo; por lo tanto, no se puede determinar el sesgo.

12 NORMAS DE REFERENCIA

ASTM D 5333 – 03