

# 4A

## ENSAYO TRIAXIAL

### 1. GENERALIDADES. TIPOS DE ENSAYOS

#### 1.1. INTRODUCCIÓN

Los aparatos triaxiales tienen como característica común el que aplican, o pretenden aplicar, sobre el contorno de la muestra, solamente tensiones normales, es decir, tensiones principales.

Existen varios tipos de aparatos: el triaxial común, en el que se aplica sobre la muestra una compresión cilíndrica en su contorno y otra distinta según su eje; el triaxial verdadero, en el que las tres tensiones principales se pueden variar a voluntad, y el de corte simple en el que la muestra sufre deformación plana. El triaxial común es el más extendido, pues aún con la limitación de que la tensión principal intermedia coincide con una de las otras ( $\sigma_2 = \sigma_3$  en ensayos de compresión;  $\sigma_2 = \sigma_1$  en tracción) se pueden conocer las tensiones en cada momento, tanto efectivas como totales.

## 1.2. TIPOS DE ENSAYOS

Debido a la facilidad de control, tanto de la velocidad de aplicación de la carga como de las condiciones de drenaje, se pueden realizar los tres tipos de ensayos siguientes:

- Ensayo consolidado con drenaje (C-D): Se permite el drenaje de la probeta durante todo el ensayo. La necesidad de permitir la disipación de las presiones intersticiales inducidas; primero por la aplicación de la presión de célula (consolidación) y luego por la acción del desviador (rotura), hace que el ensayo sea tanto más “lento” cuanto más impermeable sea el suelo.
- Ensayo consolidado sin drenaje (C-U): Únicamente se permite el drenaje durante el proceso de consolidación y permanece cerrado durante la aplicación del desviador. El ensayo se denomina entonces “lento-rápido”, aún cuando dicha rapidez es relativa, pues se debe permitir la igualación de la presión del agua intersticial en toda la muestra, sobre todo en los ensayos en que se mide dicha presión.
- Ensayo sin drenaje (U-U): La llave de drenaje permanece cerrada durante el ensayo, éste se denomina entonces “rápido”.

En los dos últimos tipos se pueden medir las presiones intersticiales, aún cuando el ensayo sin drenaje sólo tiene interés en contados casos (por ejemplo en ensayos sobre arcillas fisuradas).

## 2. DESCRIPCIÓN DEL APARATO

---

El elemento fundamental de un aparato triaxial es la célula, donde se produce la consolidación y rotura de la muestra del suelo. En un ensayo triaxial puede verse:

- La muestra, cilíndrica, con dos placas porosas arriba y abajo (no son necesarias en el ensayo sin drenaje) y envuelta en una membrana de goma fina.
- La cámara, limitada por el cilindro transparente, que rodea la muestra y que, llena con un fluido a presión, comprime hidrostáticamente a la muestra (presión lateral).
- La parte superior, con el vástago deslizante, por medio del cual se aplica el desviador sobre la probeta a través del cabezal.
- La base y el sistema de conexiones para dar y/o medir las presiones de célula e intersticial.

A esta célula se le pueden acoplar distintos dispositivos encaminados a lograr una mayor perfección en los resultados, o bien para medir determinadas magnitudes, como puede ser un cojinete rotatorio que gira durante la aplicación de la carga en la zona de contacto del vástago con la tapa, para evitar rozamientos; un sistema de medida de la sección de la probeta; placas lubricadas en la base de la muestra para evitar la constricción lateral de éstas; etc.

Además de la célula, la instalación para este ensayo consta de:

Prensa de carga

Sistema hidráulico para dar presiones de célula y cola

Buretas para medida de volumen de líquidos intersticiales

“Indicador de cero” para medida de presiones intersticiales

Aparatos de medida diversos (flexímetros, manómetros, anillo dinamométrico)

### **3. PREPARACION DE LA MUESTRA Y EJECUCIÓN DEL ENSAYO**

---

Tiene como finalidad establecer los tamaños de las partículas y conocer el porcentaje de ellas que corresponden a cualquier rango de tamaños.

La separación de las partículas por tamaños es realizable por medios mecánicos siempre que dichas partículas superen un cierto tamaño mínimo. Para tamaños inferiores se determina la granulometría por medios indirectos

### 3.1. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La muestra, como se ha visto consiste en un cilindro con una relación altura-diámetro que suele estar entre 2 y 2,5 y de dimensiones variables, siendo las más normales 1,5" (3,81 cms.) de anchura y 3" (7,62 cms.) de altura, o 4" por 8".

Según la preparación de la muestra se puede distinguir:

- Muestra inalterada: Se ha de tallar con un pequeño torno, hasta conseguir las dimensiones que ha de tener la probeta, o bien se hincan en el bloque inalterado de terreno un cilindro metálico de pared delgada y borde afilado en cuyo interior queda alojada una muestra con las dimensiones transversales necesarias. Posteriormente se cortan las bases que han de quedar paralelas y perfectamente lisas.
- Muestra amasada: normalmente con una humedad y densidad dadas lo que se realiza en el molde de compactación Harvard (para el caso más normal de probetas de 1,5" por 3") o en otro cualquiera de las dimensiones apropiadas.

Una vez tallada la muestra, se coloca en la célula, sobre una piedra porosa desaireada y sobre ella se sitúan la otra piedra porosa y el cabezal; se rodea el conjunto con una membrana de goma, que se ha de fijar en sus extremos a la base de la célula y al cabezal, y se cierra la célula, abriendo la llave de la entrada de agua hasta que ésta rebose por la válvula superior, con lo que la muestra queda lista para el paso siguiente.

## 3.2. EJECUCIÓN DEL ENSAYO

En los ensayos normales, las condiciones más comunes que se suelen dar son:

- a) La muestra está saturada
- b) La consolidación es isotrópica
- c) El desviador aplica una carga de compresión ( $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ )

La práctica a realizar se ciñe a esto y lo sucesivo se refiere al ensayo “lento-rápido” (consolidado-sin drenaje) y con medida de presiones intersticiales.

Con la célula, y en su interior la muestra preparada, tenemos que realizar las siguientes operaciones:

Saturación de la probeta

Consolidación

Rotura

Para ello se somete a la probeta a una compresión isotrópica (consolidación) por medio de la presión de célula con la llave de drenaje abierta y comunicada a una presión de cola que permita la disolución del aire de los poros. Durante el proceso de consolidación se mide el cambio de volumen de la probeta a través del medidor del agua drenada hasta que no se registra paso de agua, lo que supone que ha acabado el proceso de consolidación. Finalizado éste, se puede comprobar que la muestra está saturada midiendo el incremento de

presión intersticial correspondiente a un incremento dado de presión de célula cuando se cierra el drenaje. Si son iguales quiere decir que:

$$\Delta u = \Delta \sigma_{oct}$$

lo que implica que el coeficiente B de Skempton vale 1, como corresponde una muestra saturada.

Para comprobar que ha terminado la consolidación, se cierra el drenaje y se observa si hay variación de la presión intersticial. Si se produce dicha variación quiere decir que el fenómeno de la consolidación continúa.

Una vez consolidada la probeta, se puede proceder a la aplicación del desviador. Para ello se va desplazando el pistón hasta hacer contacto con el cabezal. La fuerza necesaria para vencer la presión de célula se anota y se descuenta de los valores que se vayan midiendo. A partir de ahí se pone en marcha la prensa con la velocidad adecuada en función de las condiciones de drenaje y el tipo de suelo, anotándose cada cierto tiempo los siguientes valores:

Deformación axial de la probeta

Deformación lateral de la probeta (1)

Carga aplicada

Presión intersticial

Las medidas deben ser más continuas al principio del ensayo pudiéndose distanciar más al aumentar la deformación.

La rotura de la probeta se producirá, bien por deslizamiento a lo largo de un plano, bien por una rotura dúctil en la que la muestra toma forma de tonel. En este caso el ensayo se supone terminado cuando la deformación axial es del 12 %.

---

(1) Este valor, necesario para saber la sección real en cada momento, no es necesario en el caso de ensayo sin drenaje en el que  $\epsilon_s = 1 / (1 - \epsilon)$  siendo  $\epsilon$  la deformación axial en tanto por uno.