

Descripción del comportamiento tensodeformacional de los suelos granulares. Teoría del estado crítico

Description of the stress - strain behaviour of granular soils

M. T. Mateos y J. Estaire

Laboratorio de Geotecnia. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. C/ Alfonso XII nº3 y 5. 28014 Madrid.

ABSTRACT

The main features of the stress - strain behaviour of granular soils are described in this paper on the basis of the typical results of triaxial tests. The principal feature of this behaviour consists on the capability of this kind of soils to change their volume when they are suffering shear strains. The complete and general behaviour of granular soils is explained through a general theory known as Critical State Theory.

Key words: Granular soils, stress - strain behaviour, critical state.

Geogaceta, 20 (6) (1996), 1318-1320
ISSN:0213683X

Introducción

El comportamiento tensodeformacional de los suelos granulares depende, a igualdad de otros parámetros, de su densidad relativa (D_r), que determina tanto su resistencia, medida a través del ángulo de rozamiento interno, como su deformabilidad.

En general, los suelos granulares se diferencian de los suelos cohesivos en que tienden a cambiar de volumen cuando son sometidos a deformaciones tangenciales. Este fenómeno se conoce como dilatancia. En el caso de los suelos granulares de baja densidad, dicha tendencia es a disminuir su volumen durante los procesos de carga y a incrementarlo durante las descargas. Si se trata de un suelo denso, la tendencia es la contraria.

Así, al someter un suelo granular a una deformación de corte, el decremento de volumen producido, si se encuentra en estado suelto, o el incremento, si en estado denso, tienden a generar un suelo con la misma densidad. De esta forma, una vez alcanzada dicha densidad final, el suelo se deforma indefinidamente sin que se produzcan variaciones tensionales ni cambios de volumen en el mismo.

Consecuentemente, es posible definir un estado de densidad crítica en el que las condiciones de corte. Dicho estado, para unas condiciones de tensiones determinadas, corresponde al definido por la Línea de Estado Crítico (LEC) dentro de la teoría del mismo nombre. (Roscoe & Burland, 1958; Schofield & Wroth, 1968; Atkinson & Bransby, 1978; Wood, 1990).

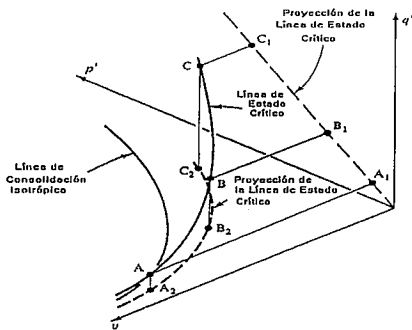


Fig. 1.- Línea de estado crítico en el espacio p' - q - v .

Fig. 1.- Critical state line in p' - q - v space.

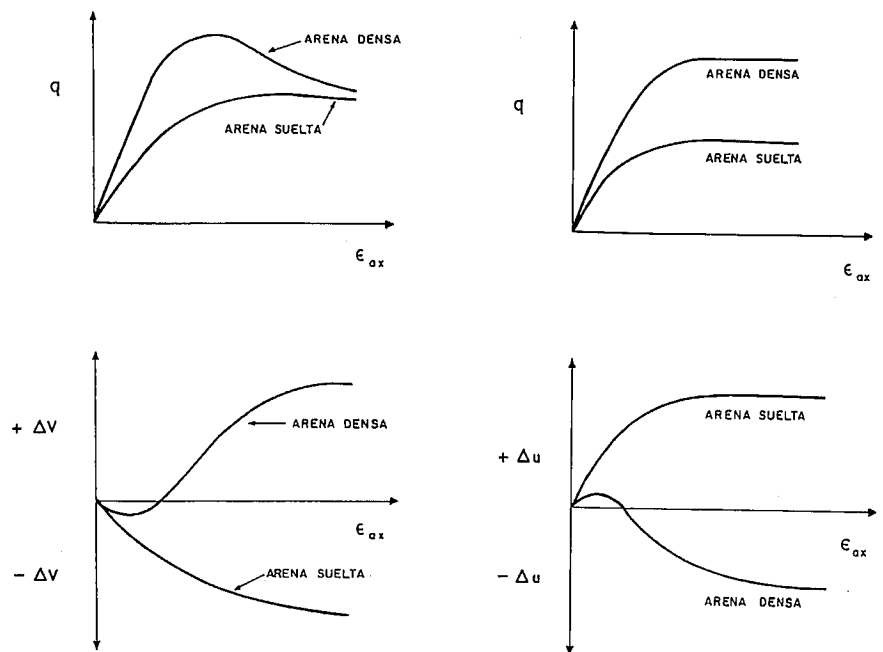


Fig. 2.- Resultados típicos de ensayos triaxiales estáticos realizados con suelos granulares (CD y CU).

Fig. 2.- Typical results of static triaxial tests made with granular soils (CD & CU).

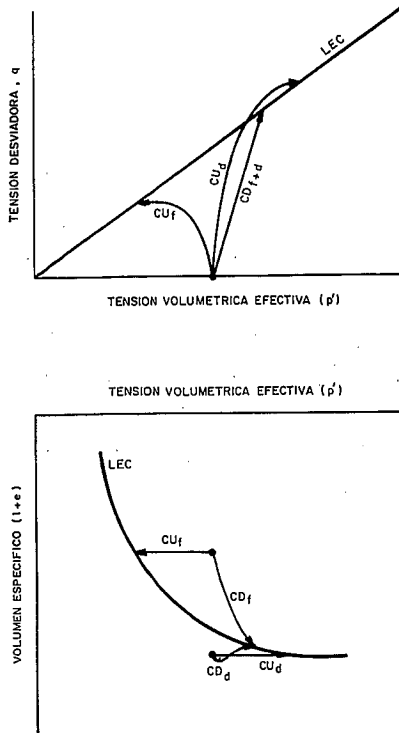


Fig. 3.- Evolución de los ensayos triaxiales estáticos realizados con suelos granulares.

Fig. 3.- Evolution of the triaxial static tests made with granular soils.

Fundamentos de la Teoría del Estado Crítico (TEC)

La aportación básica de esta teoría a la Mecánica de Suelos radica en la hipótesis que considera que la resistencia y el comportamiento tensodeformacional de un suelo no son consecuencia únicamente de los cambios en las tensiones efectivas (principio de Terzaghi), sino también de los cambios de volumen o índice de poros que se estén produciendo en el mismo.

La TEC describe el comportamiento tensodeformacional de los suelos mediante una serie de ecuaciones básicas que relacionan tres variables principales:

- p' : tensión volumétrica efectiva.
- q : tensión desviadora.
- v : volumen específico ($v = 1+e$).

Así, es posible representar el estado en el que se encuentra un suelo mediante un punto en el espacio $p'-q-v$ (figura 1). Si se representan los estados residuales propios de un suelo se observa que se disponen según una curva denominada Línea de Estado Crítico (LEC). Esta línea representa aquellas combinaciones de estados tensionales ($p'-q$) y de densidad (v) en las que se producen en el suelo

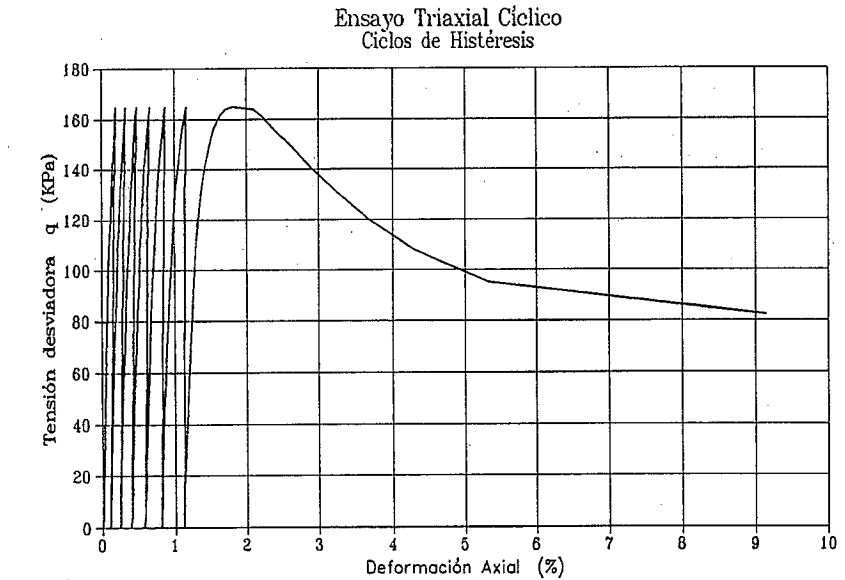
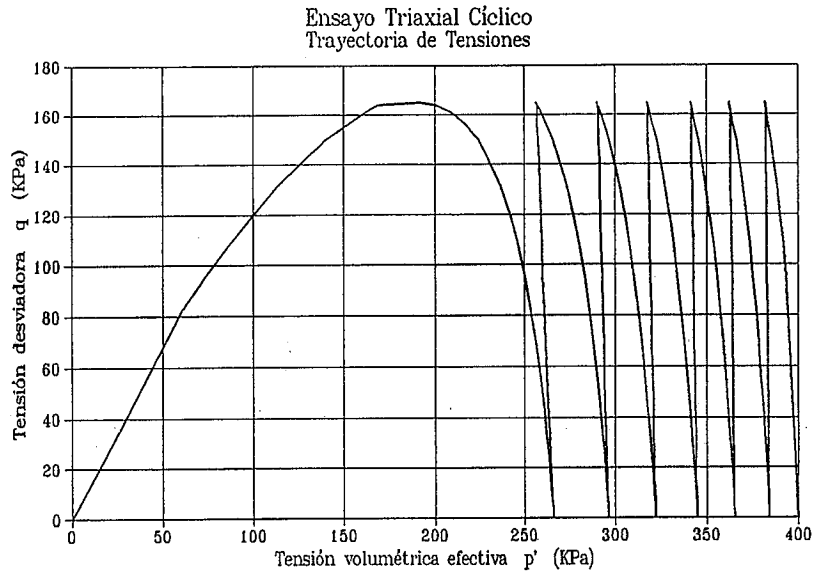


Fig. 4.- Resultados de un ensayo triaxial dinámico realizado con un suelo granular de baja densidad (licuación).

Fig. 4.- Results of a triaxial dynamic test made with a granular soil of low density (liquefaction).

deformaciones plásticas desviadoras ilimitadas sin que cambien las tres variables que definen su estado.

Como puede verse en la figura 1, la proyección de la LEC en el plano $p'-q$ es una recta que pasa por el origen y cuya pendiente (M) es un parámetro necesario para modelizar el comportamiento de los suelos, porque determina el rango de tensiones en los que un suelo muestra ten-

dencia a aumentar o disminuir su volumen.

Características del comportamiento experimental de los suelos granulares

Al describir los resultados que se obtienen en el laboratorio cuando se ensaya un suelo granular en un aparato triaxial es conveniente distinguir, a efectos de ma-

por claridad, los resultados de los ensaen estado de alta y baja densidad es semejante y que se alcanza cuando cesan los cambios de volumen en ambos estados del suelo. Consiguientemente, el suelo en ambos casos ha alcanzado el estado definido por la LEC.

En cuanto a los ensayos sin drenaje, la mayor resistencia de los suelos densos es debida a la disminución de la presión intersticial que tiene lugar en estos a causa de su tendencia a aumentar de volumen. Al contrario, el rápido aumento de

presión intersticial que se produce en los suelos de baja densidad hace que las tensiones efectivas se anulen y el suelo pierda su resistencia.

En la figura 3 se han proyectado estos mismos resultados en los planos $p' - q$ y $p' - v$ con el fin de mostrar como los comportamientos descritos conducen al suelo al estado definido por la LEC, y como los suelos granulares densos son capaces de soportar estados tensionales por encima de los definidos por la LEC cuando se proyecta sobre el plano $p' - q$.

Comportamiento dinámico: el comportamiento dinámico de estos suelos resulta más complejo debido básicamente a las importantes deformaciones plásticas que se producen en las descargas.

Los suelos de baja densidad se caracterizan por desarrollar un proceso conocido como licuación, en el que tras varios ciclos de carga - descarga y una vez que se alcanza la LEC, se generan grandes incrementos de presión intersticial, de forma que el suelo pierde la resistencia totalmente y se producen grandes deformaciones (figura 4).

Si se trata de un suelo de alta densidad, en los primeros ciclos de carga se generan pequeños aumentos de presión intersticial, tanto durante las cargas como las descargas (figura 5). A medida que la LEC los incrementos de presión intersticial disminuyen en las cargas y aumentan en las descargas. Finalmente, una vez que la trayectoria de tensiones sobrepasa la LEC se producen, para estados tensionales por encima de ésta, decrementos de presión intersticial que son capaces de compensar los grandes incrementos que se generan en las descargas e impiden que se anulen las tensiones efectivas, aunque en cada ciclo haya grandes oscilaciones de presión intersticial.

Este comportamiento se traduce en que durante la primera fase del ensayo los ciclos de histéresis son muy cerrados y cuasi elípticos (figura 5b) mientras que una vez que se alcanza la LEC adoptan una forma «sigmooidal» característica. Es

entonces cuando la parte de la curva correspondiente a los procesos de carga muestra dos tramos: en el primero de ellos la pendiente de la curva disminuye constantemente, lo que quiere decir que el suelo se hace más deformable; en el segundo tramo, la pendiente de la curva aumenta, es decir, el suelo se rigidiza como corresponde a la disminución de presión intersticial que está teniendo lugar por encima de la LEC.

Conclusiones

El fin principal de esta descripción es reseñar como el comportamiento de los suelos granulares queda completamente explicado dentro del marco de la Teoría del Estado Crítico. De esta forma es posible establecer las bases necesarias para el desarrollo de modelos numéricos capaces de describir la relación entre las deformaciones que se producen en el suelo y la historia de tensiones aplicada a partir de una serie de parámetros característicos del mismo obtenidos mediante ensayos de laboratorio comunes.

Así, se comprueba como el comportamiento de un suelo granular va a ser consecuencia de su estado de densidad y de la trayectoria de tensiones a la que sea sometido. Consiguientemente, conociendo la densidad relativa de un suelo en concreto es posible saber cual va a ser su comportamiento al ser sometido a un proceso de carga determinado.

Referencias

Atkinson, J.H. & Bransby, P.L. (1978). Ed. McGraw-Hill. Univ. Series in Civ.Eng., 375 pags.
 Roscoe, K.H. & Burland, J.B. (1968). *Eng. Plast.* J. Heyman and F.A. Leckie, eds. Cambr. Univ. Press. Cambridge, pags. 535 - 609.
 Schofield, A. & Wroth, P. (1968). McGraw-Hill Publ. Comp. Ltd. 310 pags.
 Wood, D.M. (1990). Cambridge University Press, 462 pags.

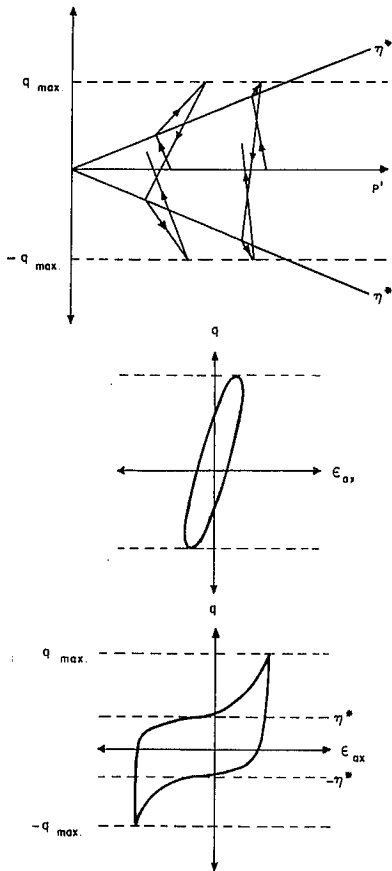


Fig. 5.- Resultados de un ensayo triaxial dinámico realizado con un suelo granular denso (movilidad cíclica).

Fig. 5.- Results of a triaxial dynamic test made with a granular soils of high density (cyclic mobility).