

Comentarios al artículo "Tensiones que aparecen en un medio poroso debidas a la presión intersticial de un fluido que circula por sus huecos", de M. Alonso Franco, publicado en el mes de Octubre de 1973.

Por J. L. JUSTO ALPAÑES, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Me gustaría comentar algunos puntos del citado artículo:

1. Está universalmente admitido que las tensiones efectivas son las tensiones de las que dependen tanto las deformaciones como la resistencia del esqueleto de las partículas. El autor está de acuerdo con esta definición cuando al establecer las ecuaciones de las deformaciones las hace depender exclusivamente de las tensiones efectivas (ec. 2 del autor).

Sin embargo, en la página 897 el autor indica que las tensiones efectivas son las "correspondientes al área de la parte sólida de un elemento diferencial", y, en consecuencia, todas las fórmulas en que intervienen dichas tensiones arrancan de esta definición, entre ellas la ecuación del autor (*):

$$\sigma' = \sigma - n u \quad (1)$$

Esta ecuación está en contradicción, tanto con la teoría como con la experimentación realizada hasta el momento en suelos, rocas y hormigón (Jiménez Salas y Justo, 1971; Del Campo y Piquer, 1963).

Una manera intuitiva de ver esto es la siguiente:

Supongamos una partícula de arena situada sobre el fondo de una fosa submarina situada a 10.000 m de profundidad. Esta partícula esta-

(*) En lugar de emplear las notaciones del autor se utilizan aquí las recomendadas por las Sociedades Internacionales de Mecánica del Suelo y de las Rocas.

rá sometida, desde el punto de vista práctico, a las siguientes presiones (**):

Presión total, $\sigma = 1.000 \text{ kp/cm}^2$.

Presión intersticial, $u = 1.000 \text{ kp/cm}^2$.

Sin embargo, la presión efectiva es prácticamente nula, como se demuestra por el hecho de que esta arena *ni está consolidada ni tiene resistencia alguna*, y si un buzo pudiera bajar a dichas profundidades la podría colocar perfectamente sobre la palma de su mano a pesar de la enorme presión total a que está sometida.

Sin embargo, es evidente que si un elemento diferencial atraviesa dicho grano de arena, la presión en la parte sólida será de 1.000 kp/cm² (Jiménez Salas y Justo, 1971), y si esta presión se refiere al área total, como hace el autor siguiendo la costumbre general, su presión vendrá dada por la ecuación (1).

Lo anterior indica claramente que *en este caso* la presión efectiva viene dada por la ecuación:

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2)$$

y no por la ecuación (1), que con una porosidad media de 0,4 nos daría una presión efectiva tan enorme como 600 kp/cm².

La aceptación de la ecuación (1) conduce al autor a decir: "Sobre la porosidad interesa resaltar que puede ser mucho mayor que la que se considera normalmente a efectos de bombeo"; y a admitir la existencia de zonas con porosidad igual a la unidad (?).

(**) Se supone que el peso específico del agua vale 1 Tm/m³.

Estamos de acuerdo en que el agua *en las arcillas* puede estar en "espesores moleculares dentro de la red cristalina", pero no creamos que este agua pueda "transmitir presión".

2. En la figura 1, el autor dice haber prescindido de las fuerzas de viscosidad al establecer el equilibrio horizontal de fuerzas. Sin embargo, opinamos que precisamente a la existencia de dichas fuerzas se debe el que haya un gradiente de presiones en sentido horizontal (Justo, 1970), lo mismo que ocurre en una tubería horizontal de diámetro constante.

3. Aunque hay algunos puntos oscuros en la página 898 del artículo del autor, está claro, a la vista de los resultados, que el autor supone que tanto el agua como las partículas sólidas son incompresibles (aunque no lo es, evidentemente, el esqueleto de las partículas). Con estas hipótesis, en el estado *A + B* del autor la deformación tiene que ser nula, cosa que se

demuestra experimentalmente, pues se trata de un medio poroso en el que las partículas sólidas están sometidas en toda su superficie a una presión hidrostática p (Jiménez Salas y Justo, 1971).

El hecho de que el autor no llegue a este resultado es consecuencia de admitir la ecuación (1).

REFERENCIAS

- DEL CAMPO, A., y PIQUER, J. S.: "Influencia de las presiones intersticiales en el estado de tensiones de un medio poroso. Aplicación a presas de gravedad y bóveda". C.E.H., publ. 15. Madrid, 1963.
- JIMENEZ SALAS, J. A., y JUSTO, J. L.: "Geotecnia y cimientos. I. Propiedades de los suelos y de las rocas". Rueda, págs. 324 a 327. Madrid, 1971.
- JUSTO, J. L.: "A formal proof of Darcy's law in isotropic and anisotropic porous media". Lab. Transporte y Mecánica del Suelo. Madrid, 1970.

Contestación del autor a los comentarios de J. L. Justo Alpañés.

Creo que las observaciones que formula Justo Alpañés se derivan de no estar hablando exactamente de las mismas cosas. Parece que él se limita al campo de la Mecánica de Suelos, en donde el esquema ideal del medio está formado por partículas sólidas totalmente rodeadas de líquido; compruébese que la fórmula de mi artículo $\sigma = \sigma - \gamma p$, que tanto le preocupa, es la misma, con otra notación, que la que figura en su libro (pág. 123) y en la que admite $\gamma = 1$, por tratarse de suelos (superficie de contacto entre partículas, despreciable). Con esta aclaración podrían darse por contestados los comentarios de Justo, pero creo es mi obligación puntualizar la pretensión y alcance del referido artículo.

Se hizo constar que era un estudio racional, considerando el material isótropo y aplicables los principios elementales de la Mecánica Elástica. Ciñéndonos más, responde a la exposición que del tema se hace en el capítulo III del texto de Stagg y Zienkiewicz, *Rock Mechanics*, y más

concretamente a las observaciones del editor (páginas 86 y siguientes en la edición inglesa, y páginas 92 y siguientes en la edición española). A nadie se le ocultan las limitaciones que pueden derivarse de este planteamiento. Partir de un sólido elemental, cuyo material, por definición, tiene intersticios finitos, y reducirlo a dimensiones infinitésimas establece una clara contradicción; no obstante, el método es fértil. Sugerimos al lector que medite sobre presas bóvedas, estribos rocosos, etc., y considere volúmenes elementales de partida con dimensiones de metros cúbicos.

Respecto a definiciones, utilizo las del mencionado texto. De existir alguna confusión es aplicable lo indicado por Francis Birch acerca del particular (*). Por otro lado, estas definiciones no tienen otro valor, como veremos a con-

(*) Francis Birch: "When I use the word, it means just what I choose it to mean, neither more nor less". Megageological Considerations in Rock Mechanics. Conferencias de Santa Mónica. California, 13 y 14 de junio de 1963.