

NOTA ACERCA DE LA PRESION INTERSTICIAL (*)

Por JOSE LUIS FERNANDEZ CASADO

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

En el libro de "Mecánica de Rocas", de Stagg y Zienkiewicz, los editores incluyen una nota sobre la presión intersticial que, por su importancia, merece ser divulgada. El autor de la presente nota ha encontrado algunas dificultades en su desarrollo y pretende hacer unas aclaraciones sobre este particular.

En el texto de Stagg y Zienkiewicz, *Mecánica de las Rocas*, en el capítulo dedicado a la presión intersticial, aparece una nota del editor en la cual se desarrolla la solución general del problema planteado partiendo de un estudio específico sobre el volumen elemental. Dicho estudio, muy interesante, a nuestro parecer, resulta poco intuitivo.

La presente nota tiene por objeto el desarrollo de dicho estudio en forma más gráfica y su posible aclaración en algún paraje que pudiera ser algo confuso.

1. Estudio del volumen elemental aislado.

Si consideramos un volumen elemental aislado, sometido a presión intersticial (p), es fácil demostrar que esta acción equivale a una tracción hidrostática sobre dicho volumen, igual a (p), y al mismo tiempo a una compresión hidrostática, también igual a (p), pero actuando solamente sobre la zona maciza del volumen elemental.

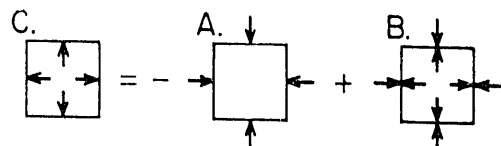
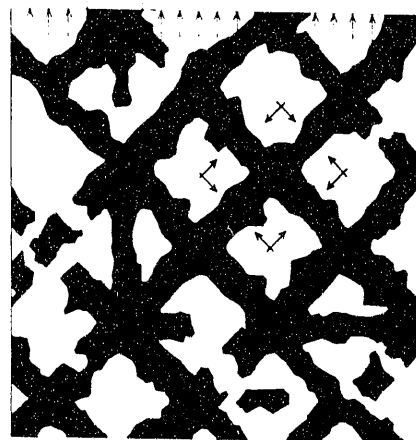
En la figura 1 se ha representado el volumen elemental (es arbitraria e indiferente la ordenación de intersticios). Los poros de las caras exteriores se consideran cerrados. Las presiones ficticias (α) y (β) son iguales a (p) y de sentido contrario, actúan sobre las zonas macizas de las caras exteriores. La presión intersticial actuando, en los poros cerrados de las caras exteriores, y las presiones (α) dan lugar a la tracción hidrostática mencionada. Las presiones (β) junto a la presión interior, actuando sobre las zonas macizas, dan lugar a la presión hidrostática mencionada.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de agosto de 1974.

Este doble estado de presiones hidrostáticas podemos reproducirlo en la realidad. La tracción hidrostática es igual y con sentido contrario a una compresión hidrostática actuando en el

$$|\alpha| = |\beta| = |p|$$

$$\begin{matrix} (\beta) \downarrow \downarrow \downarrow \downarrow & (\beta) \downarrow & (\beta) \downarrow \\ (\alpha) \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow & (\alpha) \uparrow & (\alpha) \uparrow \end{matrix}$$



$$\begin{cases} |\epsilon_A| = \sigma_A \frac{1-2\mu}{E} \\ |\epsilon_B| = \sigma_B \frac{1-2\mu}{E} \end{cases} \quad \sigma_B = \sigma_A \frac{\epsilon_B}{\epsilon_A} = p \frac{\epsilon_B}{\epsilon_A} \text{ (comp.)}$$

$$\sigma_C = \sigma_A - \sigma_B = \left(1 - \frac{\epsilon_B}{\epsilon_A}\right) p = \eta p \text{ (trac.)}$$

$$1 - \frac{\epsilon_B}{\epsilon_A} = \eta = \text{porosidad efectiva}$$

Figura 1.

exterior de las caras límite del elemento (puede realizarse en una prensa de compresión uniaxial, teniendo presente la relación de Poisson). La compresión hidrostática sobre las zonas macizas del volumen elemental, mediante una célula triaxial sometida a presión (p).

En la figura se representa las relaciones expuestas y se deduce las tracciones hidrostáticas que aparecen en el volumen elemental, en función de las deformaciones unitarias de los dos estados de carga mencionados.

Resulta, para el elemento aislado sometido a presión intersticial, una tracción expresada por:

$$\sigma_r = \left(1 - \frac{\varepsilon_{11}}{\varepsilon_A}\right) p = \eta p \quad [1]$$

El valor de $\eta = 1 - \frac{\varepsilon_{11}}{\varepsilon_A}$ (relación de Geertsman) puede designarse como *porosidad efectiva*. Es siempre superior a la porosidad geométrica del material y equivale a ésta en el caso irrealizable de una isotropía perfecta (*).

II. Integración del volumen elemental en una estructura o macizo.

Si el volumen elemental pudiera deformarse libremente, el efecto de la presión intersticial sería equivalente a una tracción hidrostática cuyo valor viene dado por la fórmula [1]. En el caso general en que la libre deformación queda coaccionada habrá que añadir a las tensiones anteriores las correspondientes a una analogía térmica, definida por:

$$\alpha T = \frac{\eta p}{E} (1 - 2 \nu) \quad [2]$$

en la que (α) es el coeficiente térmico del material y (T) el incremento de temperatura resultante de la analogía; las demás letras, valores conocidos.

Resultan, pues, las tensiones en una estructura o macizo sometido a la acción del agua

(*) Es decir, el material responde como si la porosidad fuese continua, distribuida en todo su volumen y de valor η . La hipótesis es puramente racional (isotropía), pero no lo es menos la hipótesis de partida en la elasticidad. De todos modos, estas particularidades pueden tenerse presente en el estudio del estado de rotura.

u otro fluido a la suma de las correspondientes a las siguientes acciones:

1. Acción "pascaliana" correspondiente a considerar impermeables las superficies de contacto del fluido con la estructura o macizo en cuestión. Es simplemente la acción hidrostática que se considera en presas o macizos cuando se prescinde de la presión intersticial.

2. Una tensión hidrostática cuyo valor es la presión intersticial, en el punto considerado, por la porosidad efectiva. Viene dada por la expresión [1].

3. Las tensiones correspondientes a la analogía térmica, es decir, a una elevación de temperatura definida por [2].

4. Las correspondientes al peso del agua o fluido de saturación, que son una simple función de peso.

Las dificultades y limitaciones que pudieran presentarse, así como las correspondientes a discontinuidades, son las propias de la Mecánica Elástica.

III. Sistema diferencial de tensiones.

Al plantear las ecuaciones de equilibrio de fuerzas en un volumen elemental de la estructura, las tracciones debidas a la presión intersticial, actuando en caras opuestas, equivalen a fuerzas de volumen. Resulta el sistema:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= \frac{\partial (\eta p)}{\partial x} \\ -\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \dots &= \frac{\partial (\eta p)}{\partial y} \\ -\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \dots &= \frac{\partial (\eta p)}{\partial z} - \gamma_{sat}. \end{aligned} \quad [3]$$

Estas ecuaciones, cuyo planteamiento es inmediato, tienen el inconveniente que los efectos de la presión intersticial resultan menos intuitivos. Pueden ponerse en función de "tensiones totales" mediante la transformación

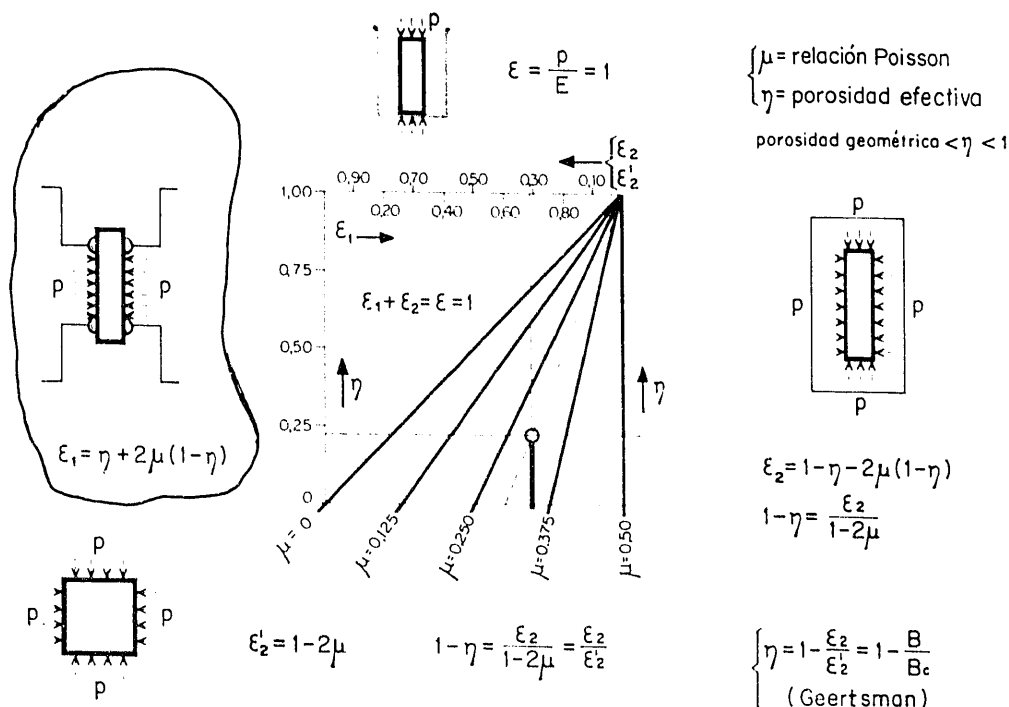


Figura 2.

$\sigma = \sigma + \gamma p$; resulta el sistema:

$$-\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$$

$$-\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \dots = 0 \quad [4]$$

$$-\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \dots = -\gamma_{sat}$$

IV. Resumen.

La aplicación de lo expuesto a la estructura más sencilla, la probeta, puede servirnos de resumen. En este sentido, tomamos prestada

de M. Alonso Franco la figura 2, en la que los valores de ϵ_2 y ϵ'_2 son equivalentes a ϵ_{11} y ϵ_{11} , pero tomando por unidad la deformación uniaxial. La figura encerrada en el contorno responde a un tipo de ensayo muy generalizado.

BIBLIOGRAFIA

- STAGG y ZIENKIEWICZ: "Mecánica de las rocas", 1970.
- J. L. FERNANDEZ CASADO: "Presión intersticial", Cimbria, diciembre 1971.
- M. ALONSO FRANCO: "Tensiones que aparecen en un medio poroso debidas a la presión intersticial de un fluido que circula por sus huecos", R.O.P., octubre 1973.
- J. L. JUSTO ALPAÑES, M. ALONSO FRANCO y J. L. FERNANDEZ CASADO: "Discusión del artículo anterior", R.O.P., febrero 1974.