

El gráfico de la figura 19 resume las anteriores cifras. Hemos de hacer observar el enorme coeficiente de utilización, que varía de 0,74 a 0,85, según los años, si se prescinde de los años 1931 y 1932, afectados por la crisis general. Téngase en cuenta que este coeficiente se refiere a la totalidad de la energía

disponible, incluso la eventual. Prescindiendo de esta última energía, se llega al 0,95 de la total.

Como resumen podemos decir que desde 1925 a 1930 (seis años), casi se ha cuadruplicado el consumo, y aun incluyendo los años de crisis hasta 1932, en ocho años se ha triplicado la venta.

En un próximo artículo terminaremos.

Esteban EFRANDONEA y LARRACHE  
Ingeniero de Caminos

# Introducción a la Mecánica de tierras <sup>1</sup>

## III

### 9.º El factor de concentración.

En la ecuación [11] se introdujo un parámetro  $\nu$ , llamado factor de concentración, sobre cuyo valor vamos a tratar con alguna extensión.

La marcha para determinar este parámetro tiene como punto de origen la ley experimental de Terzaghi

$$\epsilon = -\frac{1}{A} \log nep (p + p_0) + C \quad [30]$$

aplicable tanto a las arenas como a las arcillas que sufren deformaciones axiales reversibles (elásticas), estando coartada toda deformación transversal.

En dicha fórmula representan:

$\epsilon$ , el coeficiente de porosidad del terreno.

$p$ , la máxima tensión principal en un estado de deformación axial.

$A$ ,  $p_0$  y  $C$  son parámetros característicos del terreno cuyos valores se determinan mediante tres determinaciones experimentales de  $\epsilon$  y de  $p$ .

Si representamos por  $n$  el volumen específico de poros del terreno, tendremos

$$\epsilon = \frac{n}{1-n} \quad \text{o sea} \quad n = \frac{\epsilon}{1+\epsilon} \quad [31]$$

Esta ley de Terzaghi nos facilita un modo de relacionar las tensiones y las deformaciones de un terreno, cuando estas deformaciones son simplemente axiales y reversibles al cesar la causa que las produce. Una vez conocida esta relación podremos calcular el trabajo elástico de la deformación en el cual entrará el parámetro  $\nu$  y, finalmente, expresando la condición de mínimo (teorema de Menabrea-Castigliano) obtendremos el valor de  $\nu$ .

Tal es, expuesto en síntesis, el camino que vamos a seguir.

Representando por  $e$  la deformación longitudinal específica correspondiente a la tensión  $p$ , tendremos que el módulo de elasticidad  $E$  estará definido por la ecuación

$$E = -\frac{dp}{de} \quad [32]$$

De las igualdades [31], recordando que no existen deformaciones transversales, se deduce

$$de = \frac{dk}{k} = \frac{d\epsilon}{1+\epsilon}$$

y como, por otra parte, diferenciando [30] resulta

$$d\epsilon = -\frac{1}{A} \frac{1}{p+p_0} dp$$

tendremos en definitiva

$$E = A(1+\epsilon)(p+p_0)$$

que constituye la ley de elasticidad de arenas y arcillas, válida en las condiciones antedichas y que ha sido comprobada experimentalmente. Su forma es algo complicada, pero teniendo en cuenta que la variación de  $\epsilon$ , dentro de los límites de la deformación reversible, es muy pequeña, puede ponerse en vez de la variable  $\epsilon$  un valor constante intermedio  $\epsilon_m$ . Entonces, el módulo de elasticidad del terreno valdrá

$$E = \frac{p+p_0}{w}$$

siendo

$$w = \frac{1}{A(1+\epsilon_m)}$$

una constante peculiar del terreno que se determina, lo mismo que  $p_0$ , mediante ensayos de laboratorio. En cuanto a la tensión molecular  $p$ , en general, vale

$$p = \sigma_z + \gamma z$$

y se obtiene componiendo los campos de la carga exterior y del peso propio.

Hay casos en que el valor de  $\sigma_z$  es despreciable comparado con  $\gamma z + p_0$ . Entonces, el módulo de elasticidad

$$E = \frac{\gamma z + p_0}{w} \quad [33]$$

aumenta proporcionalmente con la profundidad.

Si el terreno es poco coherente,  $p$  será casi nulo y tendremos

$$E = \frac{\gamma z}{w} \quad [34]$$

Por el contrario, si el terreno fuese muy coherente,  $p_0$  coincidirá con el coeficiente  $p_k$  de cohesión [19] y entonces recaemos en la ley de Hooke

$$E = \frac{p_k}{w} = \text{constante} \quad [35]$$

La expresión del trabajo elástico, aplicada al volumen comprendido entre las superficies esféricas  $r_1$  y  $r_2$ .

<sup>1</sup> Véase la REVISTA de 1.º de noviembre de 1934, página 393.

representadas en la figura 6 de nuestro primer artículo, y recordando las fórmulas [23], es

$$T = \frac{1}{2} \int_V \frac{\sigma_r^2}{E} dV = \frac{1}{2} \int_V \frac{\nu^2 \rho^2}{2\pi r^2} \frac{\cos^2 \nu - 40}{E} \sin^2 \theta dV$$

Suponiendo que se trate de un terreno muy coherente, podremos sustituir en vez de  $E$  el valor [35] y entonces la condición

$$\frac{dT}{d\nu} = 0$$

nos da los valores  $\nu = 0, \nu = 3$ .

El valor cero es inadmisibles, porque desaparecería el tensor elástico. El valor 3 es quien responde perfectamente a la condición de mínimo.

Si el terreno fuera poco coherente podríamos aplicar la ley [34] de elasticidad, y entonces se obtiene el valor  $\nu = 4$ . Queda así demostrado que el comportamiento elástico del terreno apenas influye en el valor de las tensiones, toda vez que, de uno a otro caso extremo, el factor de concentración pasa desde el valor 3 al valor 4. En los casos intermedios, donde se aplique la ley [33], tendremos

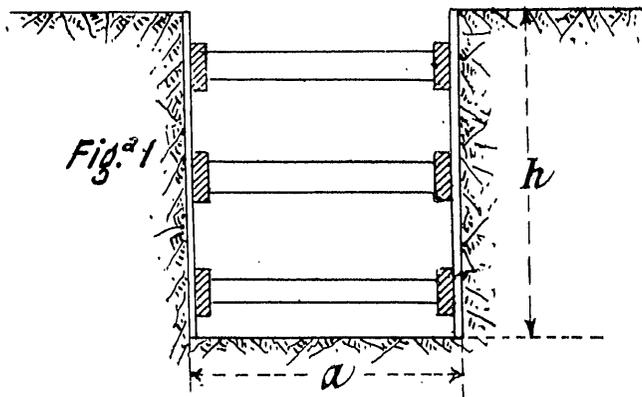
$$3 < \nu < 4$$

10. Zonas de plasticidad en la solera de una excavación

La teoría sobre los fenómenos de plasticidad en las tierras permite resolver con aproximación suficiente diversos problemas que se plantean con gran frecuencia en las cimentaciones, y explica, en muchos casos, el comportamiento de éstas durante la ejecución de los trabajos.

Como ejemplo instructivo, vamos a estudiar la zona de plasticidad que se origina por el simple hecho de efectuar una excavación.

Supongamos una zanja rectangular (fig. 1), de anchura  $a$  y profundidad  $h$ . Antes de hacer la excava-



ción el campo de tensiones estaba representado por las ecuaciones [22], en las cuales podemos admitir, con objeto de simplificar los cálculos,  $\xi = 1$ .

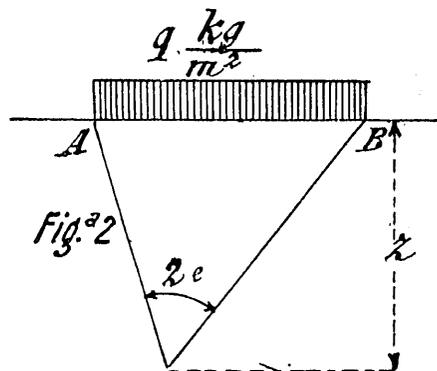
Una vez abierta la zanja y contrarrestados los empujes laterales acodalando la entibación, las masas de tierra que están por encima de la solera ejercen sobre ésta presiones verticales, de manera que el efecto de la excavación equivale a suprimir la carga uniforme  $\gamma h$ , o sea el peso del desmonte.

Si efectuamos la composición sustractiva de los dos campos tensoriales con arreglo a lo expuesto en el

párrafo séptimo, y teniendo en cuenta que las tensiones principales producidas por una carga uniforme de  $q \frac{kg}{m^2}$  (fig. 2) para  $\nu = 3$  son <sup>1</sup>

$$\sigma_1 = \frac{q}{\pi} (2e + \text{sen } 2e)$$

$$\sigma_2 = \frac{q}{\pi} (2e - \text{sen } 2e)$$



se obtiene el campo resultante

$$\sigma'_1 = \gamma z - \frac{\gamma h}{\pi} (2e - \text{sen } 2e)$$

$$\sigma'_2 = \gamma z - \frac{\gamma h}{\pi} (2e + \text{sen } 2e)$$

Aplicando la condición de plasticidad [19] se obtiene la ecuación

$$\frac{\gamma h}{\pi} \text{sen } 2e = k \left( p_k + \gamma z - \frac{\gamma h}{\pi} 2e \right)$$

que representa la línea de separación de las zonas plástica y elástica originadas por la apertura de la zanja.

Suponiendo que el terreno está desprovisto de cohesión tendremos que sustituir el valor cero en vez de  $p_k$ , y la ecuación anterior nos da

$$z = \frac{h}{\pi} \left( \frac{\text{sen } 2e}{k} + 2e \right)$$

donde no interviene el peso específico de las tierras.

La ordenada máxima corresponde a los valores del ángulo que cumplen la condición

$$\frac{dz}{de} = 0$$

Así se obtiene como valor de dicha ordenada máxima

$$z_{\text{máx.}} = \frac{h}{\pi} \left[ \cot \varphi_r + \left( \frac{\pi}{2} + \varphi_r \right) \right]$$

que para los valores prácticos del ángulo de rozamiento  $\varphi_r$  da valores de  $z$  superiores a la profundidad  $h$ . Esto quiere decir que cuando el terreno carece de cohesión es inevitable una zona de plasticidad por debajo de la solera. En cambio, la ordenada máxima para la cohesión  $p_k$  es

$$z_{\text{máx.}} = \frac{h}{\pi} \left[ \cot \varphi_r + \frac{\pi}{2} + \varphi_r \right] - \frac{p_k}{\gamma}$$

y entonces es posible determinar un valor crítico de la profundidad por debajo de la cual la zona de plas-

<sup>1</sup> Sus trayectorias son dos haces de elipses e hipérbolas homofocales en A y B.

tividad no alcance a la solera. Este valor se obtiene resolviendo la ecuación

$$z_{\text{máx.}} = h$$

de la cual resulta

$$h_{\text{crit.}} = \frac{\pi \rho h}{r \left[ \cot \varphi_r - \left( \frac{\pi}{2} - \varphi_r \right) \right]}$$

Para los valores

$$\rho h = 0,25 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \gamma = 0,0016 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \quad \varphi_r = 30^\circ$$

resulta una profundidad crítica

$$h_{\text{crit.}} = \frac{3,14 \times 0,25}{0,0016(1,732 - 1,047)} = 716 \text{ cm}$$

Esta teoría nos dice que, al efectuar la hinea de un cajón sin fondo, llega un momento crítico a partir del cual se altera la estructura interna del terreno por debajo de la solera. Esta alteración puede afectar a una zona muy extensa. Así se explica por qué la resistencia del terreno en la cámara de trabajo sea menor que la deducida mediante las consideraciones clásicas. La dislocación es intensa, sobre todo en las proximidades del cuchillo, lo cual favorece el avance de la hinea. Cuando el relleno de la excavación restablece el equilibrio primitivo cesan estos efectos, que serían peligrosos para la estabilidad del cimientó.

Federico ALICART  
Ingeniero de Caminos

### Propagandas hidráulicas

## La conferencia del Sr. Lorenzo Pardo, en Lorca

Trata el problema del regadío de Lorca, no como un problema de interés local; sino que desbordándolo, para hacerlo general, igualmente que lo es el regadío de los campos de Cartagena y el de la cuenca del Almanzora, forma con los tres reunidos un empeño de primera magnitud dentro del ámbito nacional.

Afirma que en el estudio del Plan Nacional de Obras Hidráulicas ha seguido la misma directriz que en el del Ebro; cuyo estudio fué posible en virtud de la comprensión y amplitud de miras del conde de Guadalhorce, que permitieron crear la Confederación, donde se fundieron las actividades de todas las técnicas en una labor común, que tendió, como primer objetivo, a la ejecución de las obras de rendimiento inmediato para lograr una base económica firmísima que facilitara la prosecución de las menos eficaces hasta llegar a aquellas que, de otro modo, no podrían acometerse.

Dice que llegaron para la Confederación del Ebro épocas malas; pero que la raigambre adquirida por su organización garantiza un total resurgimiento, sin que pueda desconocerse el daño irreparable que se produjo por la desarticulación y el abandono de obras capitales y de las más productivas.

Al encargarse del Plan Nacional, siguió idéntico camino, en cuanto a la necesidad de la previa visión de conjunto y del estudio de las realidades geográficas y económicas de la nación, evitando, cuidadosamente, la acumulación de iniciativas aisladas de visión parcial.

Destaca en este estudio la necesidad de un reparto de las aguas públicas, sin más limitaciones que las del interés nacional; el reconocimiento de la realidad levantina en materia de riegos; y la urgencia de fijar la atención en la vertiente mediterránea.

Demuestra, con el auxilio de gráficos, que la importación de mercancías agropecuarias en el decenio 1922 a 1932 fué de 1 232 millones de pesetas, de las que 900 millones corresponden a productos obtenibles en España, siendo esta cifra semejante a lo que im-

porta la introducción de minerales, maquinaria y materias químicas, que se venía considerando como causa del desequilibrio de nuestra balanza comercial.

Deduce, pues, que lo inmediato es la obtención de estos productos, cuyo mercado está en España misma, necesitándose para ello 530 000 hectáreas de nuevo regadío; y calculando las necesarias para atender al aumento de consumo en los veinticinco años que durará la realización de las obras (aumento debido al incremento de población y a la intensificación del consumo por la mejora del nivel de vida), tendremos otras 750 000 hectáreas.

Llega, así, a fijar en 1 280 000 hectáreas la superficie total de transformación, comparable con el actual regadío existente, que se cifra en 1 450 000 hectáreas.

Insiste, en vista de este resultado, en que son inadecuadas las críticas al Plan por suponer que está hecho con miras a la exportación; sin que ello sea obstáculo para que ante una demanda exterior puedan permutarse los cultivos para satisfacerlos; aumentándose, con esto, el resultado económico.

Plantea el punto más propenso a suscitar antagonismos: el de la distribución de esta superficie total entre las distintas cuencas; la hecha en el Plan se funda en la consideración de que la labor humana debe dirigirse a modificar convenientemente las realidades geográficas y económicas; resultando insensato, desconociéndolas, invertir su sentido.

Establece, como base de tal criterio, los índices representativos de los aumentos en cada región, partiendo del regadío actualmente existente en las mismas, resultando:

	Indices medios	Diferencia
Ebro.....	1,00	Mediterránea = 0,82
Júcar y Segura .	0,81	
Sur.....	0,66	
Guadalquivir...	1,51	Atlántica = 1,44
Tajo ....	1,54	
Duero.....	1,24	
Guadiana.....	2,91	