

ESTADO ACTUAL DE LA MECANICA DEL SUELO

Fernando Oliveros, Ingeniero de Caminos

La importancia que va tomando esta ciencia en el ámbito de la técnica es notoria y su difusión cada día mayor. En España, concretamente, ha sufrido un notable desarrollo y los técnicos son cada vez más conscientes de la responsabilidad que encierra una cimentación, pues, en definitiva en ella queda confiada el valor de la estructura.

Tenemos que considerar al suelo como un material de construcción con sus propiedades mecánicas, que deberían ser usadas en el proyecto, pero así como fabricamos con arreglo a unos sistemas y métodos, el hierro, el cemento, etc., al suelo nos lo encontramos ya hecho por la Naturaleza y la necesidad de incorporarle a la estructura que va a resistir las cargas nos obliga a su estudio.

En estas líneas pretendemos expresar, de una forma breve, la situación de los problemas de dicha especialidad, coincidiendo con la celebración del Congreso Internacional que tiene lugar en el año actual en Londres.

Por lo que se refiere a las medidas y propiedades del suelo, se acenúa un gran desarrollo de la química coloidal aplicada a tal campo. Varios trabajos realizados por todo el mundo sobre el loess permite establecer comparaciones y extraer importantes deducciones sobre dicho tipo de suelo.

Como siempre, sigue en pie el estudio de las deformaciones plásticas y elásticas de las arcillas; el temor de los efectos de lavado de las arcillas marinas en relación con su esfuerzo cortante está siendo desarrollado y se ha llegado a la deducción de que tal lavado hace decrecer extraordinariamente el esfuerzo cortante, y por tanto, deja a las masas de suelo sin defensa sujeto a los deslizamientos.

La permeabilidad puede ser influída por la inyección en el suelo de silicatos. Una técnica que, desde luego, puede considerarse puesta a punto es la electro-osmosis, de la cual se han efectuado buenos ensayos y aplicaciones a la construcción en Polonia, pudiéndose decir que el sistema ha salido del ámbito de

la investigación para extenderse ya en la práctica de las cimentaciones.

La necesidad de ir ganando terreno a las zonas polares, obliga al estudio del comportamiento de los suelos sujetos a tales climas. Se ha ensayado la incorporación de ciertos agentes químicos que consiguen disminuir el efecto de la helada. La Reología en este campo ha comenzado a adentrarse y no cabe duda que ha de obtener resultados importantes.

Desde que la A.S.T.M. (1952), inició un Symposium sobre la aplicación de los radicisotopos, la aplicación de la física atómica ha influido mucho sobre nuestra especialidad. Esta puesta a punto la utilización de neutrones para determinar la porosidad del suelo, así como la aplicación de los rayos gamma para determinar su densidad.

En cuanto a las propiedades mecánicas del suelo se admite que los factores fundamentales que influyen directamente en el esfuerzo cortante no han sido todavía descubiertos. Ya se comprenderá la importancia que esta característica del suelo posee, y los estudios que continuamente se hacen sobre la materia.

En Alemania Occidental se han hecho ensayos en el campo a esfuerzo cortante, soslayando el problema de la toma de muestras, que por ser gravas ofrecían dificultades. Este ensayo a escala natural tiene mucha importancia, pues, aparte de la exactitud del método resultan económicos.

La sección de métodos para efectuar medidas "in situ" y extracción de muestras inalteradas ha experimentado leves progresos, si bien se han intensificado y mejorado los procedimientos geofísicos y aerofotográficos. La razón de existir un gran número de modelos de aparatos para medir la resistencia de los suelos a penetración no permite hacer deducciones uniformes faltando la base comparativa.

MILTON VARGAS propugna la adopción de un reducidísimo número de aparatos que ejerzan la prospección según métodos establecidos para todos los países. Una vez conseguido este objetivo convendría deducir de

todas las experiencias mundiales una correlación entre la densidad, el contenido de humedad y la capacidad de carga, con las pruebas de penetración.

En extracción de muestras inalteradas nada importante ha acontecido, pues, los métodos que se propongan han de ser a la par que eficaces, también económicos y no hemos visto ningún nuevo sistema aceptable.

El cálculo de la capacidad de carga de los suelos continúa su orientación hacia la teoría de la plasticidad. Para determinarla, necesitamos conocer las líneas de rotura y la distribución de tensiones a lo largo de ellas. A pesar de la complejidad del problema, tenemos algunos trabajos en que se consiguen buenos resultados, aun cuando se imponen algunas simplificaciones, por ejemplo: suponer que la línea de rotura es recta, un círculo, una espiral logarítmica, o combinación de ellos. En cuanto al segundo punto no se ha conseguido soslayar la ecuación de KÖTTER, la cual es francamente complicada de aplicación. Todas estas cuestiones han sido estudiadas a su vez en modelos reducidos, pero, repetimos, nada definitivo se ha conseguido.

En cuanto a la distribución de tensiones bajo el cimiento, ya sabemos que tenemos dos métodos para determinarlas basados en las teorías de la plasticidad y de la elasticidad, respectivamente; naturalmente, en este último caso se introduce el concepto de que el coeficiente de balasto es constante, lo cual no es cierto, aun cuando los resultados, sin embargo, sean útiles en la mayoría de los casos. Por otra parte, en el caso de las arcillas el desarrollo de la consolidación modifica continuamente la distribución de tensiones en la superficie de contacto. Algunos criterios prácticos de simplificación se imponen para alcanzar resultados, generalmente, aceptables.

En cuanto a los asientos, se está tendiendo a desarrollar la teoría tridimensional de la consolidación, tarea que ha sido atacada por varios investigadores y de cuyos trabajos se confía deducir resultados interesantes.

En cuanto a los suelos expansivos o aquellos que sufren retracciones,

se va profundizando en la materia y aparte de deducir procedimientos para cohibir tales efectos, se han experimentado con éxito aparatos que permiten deducir de los ensayos, los efectos que se producirán en las construcciones. Existe un interesante trabajo de JIMÉNEZ SALAS y SERRATOSA acerca del comportamiento de unas arcillas de Morón. Por medio de ensayos en el Laboratorio dan normas para determinar la presión de hinchamiento y permiten la predicción aproximada de los movimientos de los mismos.

Por lo que se refiere a la cimentación con pilotes, coincidimos con RUTLEDGE en que hay tres razones que retrasan la investigación en este campo: La gran difusión de las fórmulas empíricas, o dinámicas; la dificultad enorme que hay de estudiar el desarrollo de asientos por medio de medidas en el tiempo y, por último, la facilidad con que se deduce, en general, de las pruebas de carga, consecuencias para fijar las cargas de trabajo. Naturalmente este soslayamiento, ya no se extiende al comportamiento de un grupo de pilotes ni para los fenómenos de pandeo.

VAN WEELE nos ofrece un ingenioso método para determinar la resistencia a fricción lateral del pilote por medio de pruebas de carga de pequeña duración. También se ha estudiado la relación entre la penetración del cono holandés en arenas y la resistencia por punta de un pilote.

Se han realizado ensayos de extracción de pilotes Raymond, deduciendo que la presión lateral alrededor de los pilotes hincados en la arena, era mayor que la ejercida por el empuje pasivo, que generalmente se supone. KEZDI nos ha ofrecido una teoría para determinar la resistencia estática de pilotes actuando sobre arenas, de tal forma que puede separar las resistencias por punta y fricción lateral. Sostiene que el pilote resiste primeramente por esfuerzos laterales, pero que después de cierta deformación, es la punta quien comienza a trabajar.

En cuanto a grupos de pilotes también KEZDI, deduce que cuando los pilotes están separados de dos a tres diámetros, la carga de rotura que soporta el grupo es mayor que la suma de las cargas que corresponderían a cada uno de los pilotes, lo cual, como se comprenderá es algo sorprendente. También de gran interés son los análisis del resultado de

56 pruebas de carga que se han hecho sobre pilotes actuando sobre arcilla, y demuestra que la relación de la adhesión del pilote al valor de la cohesión decrece cuando aumenta la dureza y resistencia de la arcilla.

El actual incremento que sufre la utilización de pilotes de acero o los problemas de recalce sobre suelos flojos, pone más de actualidad el problema del pandeo. Este fenómeno plástico, desde luego, se manifiesta en pilotes actuando sobre arcillas blandas y parece que se observan fuertes tensiones en el pilote cuando la arcilla que le rodea tiene un fuerzo cortante mayor que $0,10 \text{ kg. cm}^2$.

Ya contamos con otra nueva fórmula entre las innumerables para deducir la resistencia del pilote basado en los resultados de la hincia propuesta por SRENSEN y HANSEN.

En Rusia se han estudiado los efectos de la vibración aplicados a la hincia de pilotes variando la frecuencia, amplitud, etc., llegando a resultados muy prácticos y satisfactorios.

Pasando ya a la sección de carreteras, pistas de vuelo y vías férreas, en esta rama se han hecho verdaderos progresos, no sólo en las técnicas de Laboratorio, sino en los aparatos precisos para ejecutarlos en el campo.

En la compactación de suelos se han hecho enormes avances sobre todo en lo que respecta a la compactación de suelos por vibración, cuya aplicación se restringe a suelos no cohesivos. Parece que no se han realizado otros avances en la compactación de suelos por medio de pilotes de arena, que los realizados en España, técnica que se encuentra muy desarrollada y en la que hemos obtenido buenos resultados en los últimos tiempos.

En cuanto a la capacidad resistente de los suelos, además del procedimiento de determinar el C. B. R. y el de medir asientos bajo la placa cargada, aparece el empleo del "estabilómetro de California", que, según hemos podido comprobar, se extiende con gran profusión por Estados Unidos.

Hay ya dos estudios aceptables que permiten deducir de las pruebas con la placa cargada la determinación de la capacidad resistente de las pistas de vuelo. De todas formas, fundamentalmente la capacidad resistente de los suelos se presenta bajo el aspecto de carga de rotura y el de compatibilidad del asiento producido, con la estructura. En el este de Europa, el cálculo de espesores se realiza ya

basado en este último procedimiento.

Por lo que se refiere a estabilización de suelos se siguen los dos procedimientos de suelo-cemento y suelo-betún, pero el trabajo de mayor interés es el de LAMBE el cual ha incorporado a las estabilizaciones ciertos elementos, y dispersos aún en cantidades muy pequeñas, producen un aumento de la impermeabilidad de los suelos. Estos elementos hacen más lento las variaciones del tanto por ciento de humedad y además de reducir el efecto de helada mejora su capacidad resistente en cualquier condición de saturación.

En cuanto a empujes de tierras se confirma que el coeficiente de empuje pasivo aumenta su valor con la profundidad. Sin embargo, el problema de la repartición de las tensiones en las estructuras provocadas por empuje pasivo está muy poco orientada, excepto en el problema de las tablestacas en que Rowe ha llegado a resultados satisfactorios. La complejidad de este problema es grande siendo aceptable la aplicación de la teoría de la elasticidad para pequeñas deformaciones y la de plasticidad para grandes. En definitiva, esta Sección de la Mecánica del Suelo está como se ve muy poco desarrollada.

Por último, en cuanto a las presas de tierra y taludes tampoco se han obtenido grandes progresos. La razón de por qué un talud es estable hasta determinado día en que se produce el deslizamiento encierra una serie de incógnitas por ahora imposibles de concretar; unas veces el agua, la sección de elementos químicos, etc., pero casi nunca previsibles por desconocerse, además generalmente, la constitución y buzamiento de los estratos. SKEMPTON habla de taludes de 10:1 en Inglaterra que no son estables.

Los materiales empleados para construir presas de tierra puede decirse que son todos, sin embargo, uno de los que más se usan en los últimos años es la escollera, aun cuando hay pocos trabajos publicados sobre la materia. Continúa el interés creciente por determinar las presiones neutras del agua en el cuerpo de las presas.

En definitiva, hemos visto que ha habido grandes progresos en algunas materias, y aun cuando la complejidad de casi todos los problemas de Mecánica del Suelo los hace matemáticamente inabordables, los ensayos bien de Laboratorios o realizados a escala natural, todo unido, sigue abriendo camino en tan reciente y fundamental rama de la técnica.