

# EDAFOLOGÍA O GEOTECNIA

POR FRANCISCO DURÁN, INGENIERO DE CAMINOS

*El autor se muestra partidario de dar una mayor extensión a los servicios de sondeos, que proporcionen un conocimiento del subsuelo en las diversas obras que se proyectan, y que, juntamente con otros ensayos, proporcionen datos prácticos para el estudio de los complejos problemas de fundaciones, causa de tantas averías y accidentes.*

## I

En el Congreso de Carreteras del año 1938, verificado en La Haya, la 6.<sup>a</sup> Cuestión — Estudio del subsuelo de las carreteras — ha adquirido una gran importancia y extensión, pues se han presentado 18 Memorias de las siguientes naciones: Alemania, Argentina, Australia, Bélgica, Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Hungría, Indias Inglesas, Indias Holandesas, Japón, Holanda, Polonia, Suecia y Suiza.

Estas Memorias, todas ellas muy interesantes, enciñen más o menos a los dos apartados de la 6.<sup>a</sup> Cuestión:

- a) Determinación de las propiedades del subsuelo. Métodos de ensayo, aparatos de medida.
- b) Influencia de estas propiedades sobre la construcción de las carreteras (cimientos y revestimientos) y sobre su conservación.

Son especialmente interesantes las Memorias de los Estados Unidos, Hungría y Argentina. En esta Nación se ha empezado a preparar un mapa edafológico de carreteras del país, basado en los diversos estudios que se van haciendo para la construcción de carreteras. El mapa se va haciendo por zonas, y en los correspondientes planos se indican datos muy útiles para el Ingeniero y constructor, respecto a las materias de la 6.<sup>a</sup> Cuestión que nos ocupa. Redacta ese mapa edafológico la División de Investigaciones de Carreteras de la Dirección Nacional de Vialidad.

Todo lo dicho demuestra, no sólo la evidente importancia del asunto que se estudia, sino que muchas naciones encuentran ya evidente esa evidencia y le prestan especial atención.

En España existe, desde hace tiempo, una Jefatura de Sondeos e Informes Geológicos que no tiene programa determinado y que, principalmente, se ha dedicado a los correspondientes para las presas de embalse. Sin que se quiera ver en ello la menor censura para los demás servicios, sólo se ha recurrido a los sondeos de esa Jefatura en casos de grandes acci-

dentos, o ante problemas de construcción, difíciles ya, planteados irremediamente.

En los puertos, en que serían más necesarios por la enorme importancia de las obras y por la dificultad que opone el mar a la toma de datos topográficos, se ha prescindido de este estudio edafológico de capital importancia, como lo han demostrado los casos en que se ha recurrido a los sondeos después de accidentes en las obras, como en los puertos de Vigo, Santander, Castellón, Denia, etc. En este último, por deducciones de generalización, se suponía todo el fondo de roca, y no uno, sino varios Ingenieros y algunos llamados a consulta, dictaminaron sobre esa base una clase de obra, cuyo proyecto hubo de modificarse cuando los sondeos demostraron que sólo existía fango. Aparte de los accidentes a que esto puede dar lugar, económicamente, puede llegarse a lesionar gravemente los intereses del Estado o los del contratista de las obras. Y es que en los puertos son tales las dificultades, que, sin duda, se ha dicho: "Perdido por mil...".

En ferrocarriles, los problemas se agudizan con respecto a las carreteras, no sólo por la mayor importancia de las obras, sino por la mayor sujeción del trazado a características más estrechas. Y así como un mapa de relieve ofrece mejor campo de observación para un avance de estudio, así sería excelente conocer el relieve y naturaleza interior antes de decidirse por una solución que luego presente en la construcción un problema infranqueable, al menos económicamente, lo que ya ha sucedido varias veces, como quizá en el ferrocarril de Baeza a Utiel.

En cuanto a las obras hidráulicas, es tan evidente la necesidad de los sondeos, que puede decirse que ella fué la que engendró el servicio de ese nombre, en el Ministerio de Obras Públicas.

Vemos, pues, que así como en un principio se construyeron las obras sin planos y sin topografía, a gusto y capricho del constructor, y que luego se fué perfeccionando la toma de datos y los estudios com-

parativos, pero solamente de la superficie, hace tiempo que ha llegado el momento de penetrar en ésta, buscando la seguridad de las obras y su eternidad, si es posible económicamente. Quizá en el instante crítico en que los aeroplanos y dirigibles nos ofrecen sus alas y sus lomos para arrancarnos por completo de la esclavitud en que mares y tierras nos tuvieron encerrados miles de años.

Ya alguien dijo:

"Así en la vida, sólo conocemos  
Cuando nos acercamos a la muerte,  
Para tender el vuelo irremediable,  
Que aquello que no fué debió haber sido.  
¡Sondar, sondar, entrar en la conciencia,  
Trae la felicidad! ¿No es la mentira  
madre de la ilusión y de las artes?  
"Porque ese cielo azul que todos vemos,  
ni es cielo, ni es azul. Lástima grande  
que no sea verdad tanta belleza".  
Sondar es conocer, pero: ¿Es posible  
llegar a conocer los coeficientes  
todos, de algún problema constructivo?  
Si uno tan sólo falta, ya es erróneo  
el triste resultado a que llegamos.  
Quizá fuese mejor, cual los antiguos,  
a capricho fijar las dimensiones  
de sus obras perpetuas, que la suerte  
caprichosa también, les dió el acierto.  
Porque ¿qué es calcular? Sentirse esclavo  
del número, del lápiz, de la recta,  
de esos garfios, que son las integrales  
que se clavan con saña en nuestra mente,  
y nos obligan a seguir, abúlicos,  
ensuciando el papel con garabatos."

Pero abandonemos los endecasílabos, que ya bastante esclavitud tiene el pensamiento con las negras cadenas que forja la pluma al sujetarlo esclavo sobre el papel, exponiéndolo a las frías miradas de la crítica. Aunque quizá la mayor esclavitud traiga la mayor libertad, como decíamos resultaba con respecto a los puertos y, por el contrario, la mayor libertad, como la que ofrecen los aires al aeroplano, lleva el camino fatalmente a la mayor esclavitud: la tiranía de la recta, fría, rígida, inmutable.

Los sondeos actualmente son imprescindibles económicamente y técnicamente, y parece necesario dar a ese servicio toda la amplitud que requiere, dotándole, no sólo del personal necesario para los trabajos de campo y de laboratorio, sino creando éstos para deducir las características y principales propiedades

de los suelos en que han de fundarse o apoyarse todas las obras de ingeniería de los diversos servicios de Obras Públicas.

Consideramos que este servicio de Geotecnia es esencialmente especializado y que debe tener la autoridad máxima en su contacto con los demás servicios, contacto que no debe perder más que en casos de muy poca importancia.

No es posible fijar, *a priori*, la organización detallada que pudiera dársele, pero desde luego creemos que al frente del servicio debiera estar un Ingeniero Jefe o Inspector del Cuerpo, ya especializado en el servicio, y varios Ingenieros Jefes para los servicios de sondeos, informes geológicos y corrección de terrenos y laboratorio, y por último, los Ingenieros y demás personal necesario para atender a toda la extensión que a este servicio debe darse, si no se quiere seguir casi completamente a ciegas proyectando obras que, aunque se apoyan en el bastón del coeficiente de *inseguridad*, muchas veces dan un tropiezo, en aquel coeficiente preferido, que sólo aparece en el momento de la catástrofe.

Nada hemos dicho de la modificación de las propiedades del subsuelo, porque se aparta algo del programa de la 6.<sup>a</sup> Cuestión, pero parece complemento indispensable de la misma, y aunque bien pudiera dejarse que estas modificaciones se efectuaran por los distintos servicios, parece más conveniente la centralización y especialización de los mismos. Las inyecciones de cemento, para impermeabilizar los vasos de los pantanos, o modificación del suelo de fundación, los saneamientos y drenajes para dar salida a la excesiva humedad del suelo o bajar el nivel de la capa acuífera, las voladuras u otros medios para romper el liso de deslizamiento, la fijación de la necesidad de revestimientos en los túneles y de los espesores convenientes de revestimientos sucesivos y otros trabajos que requieren larga práctica y especialización, pues no es posible adquirir el ojo clínico ingenieril en los libros ni en una sola obra, aconsejan que este servicio sea también una sección complementaria del Servicio de Sondeos.

Además, para deducir enseñanzas provechosas es conveniente y aun necesario que cada obra en que se efectúen sondeos y modificaciones de importancia del subsuelo, tenga la monografía correspondiente, ilustrada con planos, fotografías, etc., y con los resultados satisfactorios y fracasos que en los trabajos, tanto de exploración como de modificación del terreno hayan ocurrido.

Y ya puestos a meditar en las modificaciones importantes que pudieran tener los servicios que pudie-

ramos llamar especiales, con mayor razón que los que oficialmente se comprendían bajo ese nombre, hemos de hablar de lo conveniente que sería, igual que existe una Jefatura de Puentes, crear una Jefatura de Presas o estructuras, en la que se calcularan éstas con arreglo a criterios mejor definidos que los que hoy existen para ello, y se redactaran también estados comparativos de las presas calculadas, ya que no colecciones oficiales de las mismas para los tipos más corrientes de alturas, inclinación de laderas, etc. Claro que la variabilidad de estas características es mayor que en los puentes, pero ya en mi artículo que, tratando de esto, escribí hace años (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 1926), creí haber demostrado las enormes ventajas de los cálculos en serie, que evitan muchísimos errores. Sería también esta Jefatura, igual que la de Puentes lo es, una especie de laboratorio matemático como el que se preconiza en los artículos de las revistas técnicas extranjeras.

Por último, he de volver sobre los puertos en los cuales sería conveniente, si no centralizar, ordenar el servicio de dragados y roturas de rocas, que por su gran importancia debiera estar todo en manos del Estado, pues actualmente, cualquier proyecto y aun la conservación de puertos llevan consigo la adquisición de elementos (dragas, romperrocas, etc.), de gran coste, teniendo que hacerse un estudio para la deducción de los precios unitarios a base de dicha adquisición, del desgaste durante la obra y de la amortización correspondiente, siempre complicado, y que por muy bien hecho que esté, da lugar muchas veces a incidentes desagradables y onerosos con la contrata. No es la primera vez que se ha pensado en un tren completo de dragado para atender a los puertos de menos importancia; pero aun para los principales sería conveniente la ordenación en conjunto para sacar el mayor rendimiento a los capitales empleados.

## II.

Escritas estas cuartillas en los comienzos del año 1939, la no publicación, en aquel año, de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS les hizo perder oportunidad, pues gran parte de lo apuntado se ha llevado a efecto, pero estimamos que ha vuelto a adquirir interés por la publicación de algunos artículos sobre Geotecnia o Geodinámica y movimiento de terrenos. La teoría sobre éstos, que se aplica en la práctica por el procedimiento de tanteos, a nuestro parecer de carácter poco fundado, pudiera adquirir mayor consistencia científica, por experimentación en modelos

de laboratorio, en que las diversas capas de terrenos u otros materiales se coloreasen en diversos matices, para estudiar las superficies de deslizamiento resultantes de aplicarles esfuerzos equivalentes a los que habrían de sufrir los terrenos en la realidad, y que se hicieran patentes aquellas por un corte transversal apoyado en una superficie plana y transparente, sin rozamiento sensible, de modo parecido a como hoy se efectúa en el laboratorio de nuestra Escuela para estudiar las trayectorias de los filetes líquidos.

Buscar círculos pésimos, con coeficientes óptimos, puede parecer cínico, si no resulta cómico. El deslizamiento plano y el cilíndrico circular es cierto que cumplen la condición de estar, durante todo el movimiento, en contacto íntimo las superficies de apoyo y deslizante; pero aunque resulta más fácil para el estudio adaptar una circunferencia que una recta, a las partes vistas y exteriores de las líneas de apoyo y deslizante, poco puede decirse de la parte interna; pues por lo general, como sucede en el muelle de Maliaño, en Santander, no se tienen sondeos anteriores al hundimiento, y los que se hacen luego no dan completa idea de la modificación que pueda haber sufrido el subsuelo en el deslizamiento.

Sin embargo, en este caso de Maliaño, comparando aquellos numerosos perfiles laterales y los cercanos en que el movimiento fué escaso, se obtiene por lógica deducción de continuidad, lo que debió haber sido el perfil de máximo corrimiento. Y hay que confesar sinceramente que de esta comparación, al menos para nosotros, no se deduce la formación de un liso circular de deslizamiento. Más bien parece que la presión de las arenas de relleno sobre el fango haya producido la proyección del fango bajo el muelle, arrastrando en parte los pilotes y escolleras, propagándose como una onda fangosa y que, al faltar el apoyo al muro y escollera, hayan éstos caído a rellenar los huecos dejados por la evasión de aquél.

Si en los experimentos y teorías (Hertz) de la acción de un peso sobre terrenos cualesquiera, se efectúa esta transmisión ondulatoria, parece tanto o más lógico que fuera así en el caso que nos ocupa. Es sensible que los perfiles de sondeos no se hubieran prolongado más al exterior del muelle para poder deducir si seguía la ondulación, como ya parece iniciada la segunda onda en algunos de ellos. También salta a la vista que si se miden las áreas transversales de hundimiento y rebasamiento con respecto a la línea de frente del muelle construido, en el perfil tomado por la Junta de Obras y publicado en la REVISTA, debieran ser iguales si hubo simple desliza-

Copiamos a continuación lo que dice a este particular la Jefatura de Sondeos en su documentado informe:

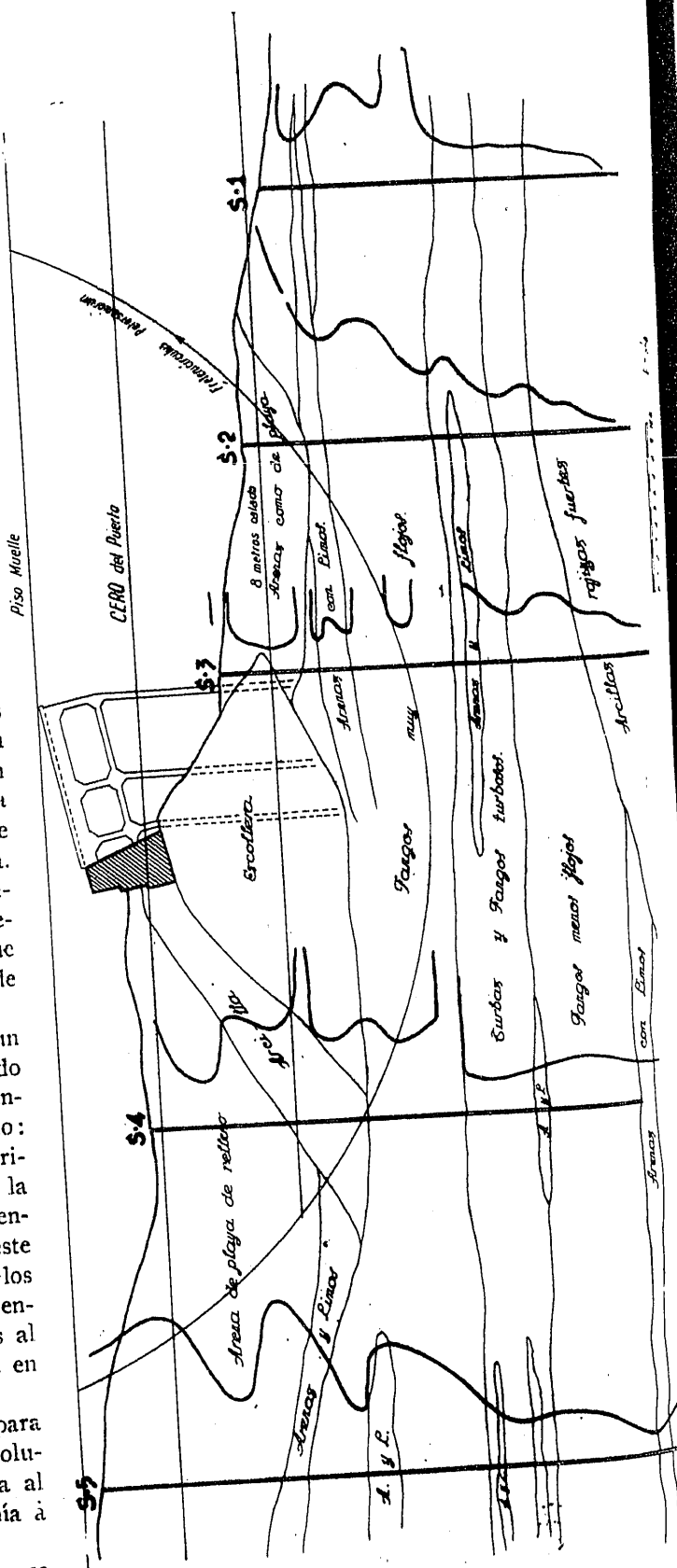
"El terreno triásico subyacente presenta la misma inclinación hacia tierra que en el perfil anterior, con 24 metros de profundidad en el sondeo 1, y 44 metros en el sondeo 8; y toda esa profundidad está rellena de sedimentos en los que, a la simple vista del perfil, se advierte un gran predominio de fangos.

lógicamente podía temerse.

"Pero todavía presenta este corte geológico un mayor interés; está en él perfectamente comprobado el movimiento que se produjo en el terreno en el centro del tramo 8.º y el alcance del mismo. En efecto: se observa que los fangos mencionados han experimentado una marcada depresión al respaldo de la escollera; esto es: bajo el relleno de arena, descendiendo hasta 4 ó 5 metros en el punto máximo, y este movimiento originó el trastorno y confusión con los fangos de un pequeño estrato arenoso, perfectamente acusado en los sondeos anteriores y siguientes al lugar del hundimiento, pero que no se encuentra en el sondeo 4.

"La arena del relleno descendió en parte, para ocupar el lugar de los fangos evadidos, y otro volumen penetraría entre los huecos de la escollera al dislocarse ésta y la protección arcillosa que tenía a su respaldo.

"El movimiento de huída de los fangos no se



propagó aquí en profundidad, y así vemos el horizonte turboso que los limita mantenerse en un nivel casi constante de 19 metros bajo el cero de referencia a lo largo de todo el perfil.

"Roto el estrato de arena antes mencionado, los fangos se desbordaron por encima, y tal vez por debajo del mismo, introduciéndose entre la escollera removida (y así se ha acusado en los sondeos), y produciendo un pequeño levantamiento a alguna distancia de la línea de atraque del muelle. El movimiento horizontal de fangos por debajo del referido banco arenoso pudiera haber contribuido a reducir aún más la consistencia de aquéllos al romper su cohesión, justificando así las indicaciones de los gráficos de hinca en los sondeos 3 y 4.

"En la hoja núm. 3 de los planos se dibuja la sección transversal del nuevo muelle de hormigón armado en el lugar de máximo trastorno, que es precisamente al que corresponde el corte geológico número 2, y se agrega a aquel perfil el que obtuvo la Dirección del Puerto en el fondo de la bahía en unos 25 metros desde la línea del muelle, a raíz de ocurrir el hundimiento. Vemos allí que se levantó el terreno en algunos metros de extensión, en la forma que en dicho plano se representa, con un máximo de 3,50 metros a la distancia de 13 metros de la primitiva línea del muelle y refiriéndose a un fondo de calado que allí había de 9,50 metros.

"En el perfil obtenido con los sondeos se ha encontrado alguna variación respecto del que figura en la mencionada hoja 3, deducido, como hemos dicho, inmediatamente después de haber ocurrido la avería.

Esta variación, por reducción de calado, puede ser debida a haber arrojado arenas con el fin de prevenir nuevos hundimientos, o bien a que hubiera continuado, aunque en forma lenta, algún movimiento ascendente de los fangos en restablecimiento del equilibrio."

Se copia también en la figura adjunta el perfil 2 de máximo movimiento de dicho informe.

Dignos de admiración son Terzaghi, Peterson, Frelleinius y Frontard, Rendulic, Caquot, etc.; pero en realidad, aplicando una metáfora ya iniciada en este asunto y REVISTA, no parece que aún se haya pasado de la especie de curanderismo en que se hallaba la técnica de las fundaciones, sino que lo han adornado, sustituyendo las oraciones enrevesadas y heréticas y las palabras mágicas de los saludadores o compone-huesos, por las cabalísticas fórmulas matemáticas, no basadas en una seria experimentación, ni en los rayos X de los sondeos, que son los que deben proyectar en la pantalla del Ingeniero la fractura que hay que componer o prevenir.

Todo lo apuntado sólo sirve, a nuestro entender, para corroborar la necesidad de la Geotecnia en todos los servicios de Obras Públicas, con la aplicación de los sondeos necesarios y la experimentación de laboratorio y publicación de monografías.

\* \* \*

Quizá, en este artículo, pueda parecer inútil que se le dé tanta importancia a los sondeos, pero hasta la cosa más inútil del mundo puede llevarnos a encontrar su algo útil al buscar el *porqué* de su inutilidad.

Hay una pequeña poesía italiana, muy expresiva, aunque algo infantil, que dice:

Noi abbiamo tutti nel cuore  
una piccola, piccola cosa  
che amiamo con ardore  
é ci sembra meravigliosa.  
Ma gli altri dicono: Perché?  
É la cosa piu inutile del mondo.  
E noi non sappiamo perché,  
ma ci sembra la piu utile del mondo.

(GIORGIO SCERBANESCO, *La bambola ceca.*)

Busquemos siempre en lo que nos parezca más inútil esa *piccola, piccola cosa*.