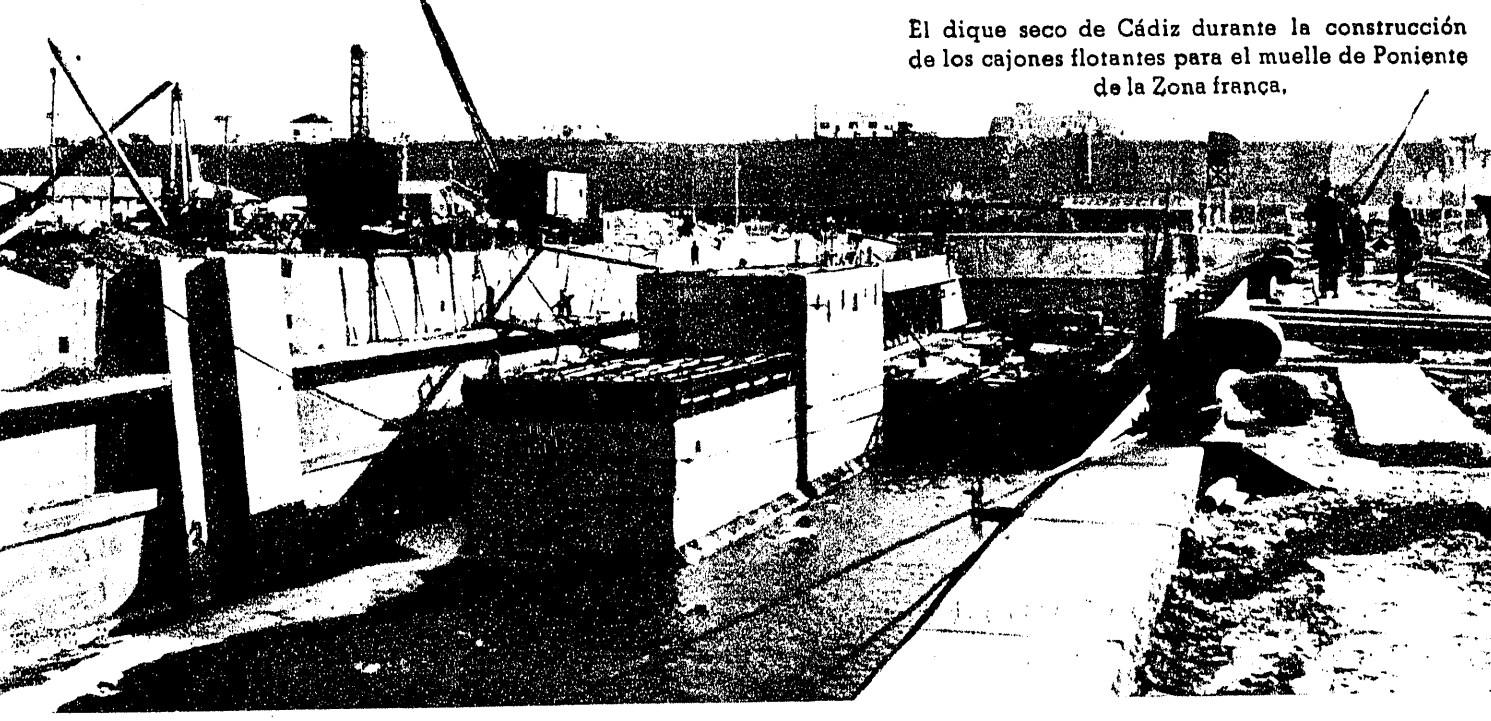


El dique seco de Cádiz durante la construcción de los cajones flotantes para el muelle de Poniente de la Zona franca.

IMPRESIONES SOBRE EL DESARROLLO DE LA MECANICA DEL SUELO

Por JOSÉ A. JIMÉNEZ SALAS
Ingeniero de Caminos.

TODOS parecemos estar de acuerdo en que puede tomarse como fecha del nacimiento de la Mecánica del Suelo la de la publicación de la *Erdbaumechanik*, de Terzaghi, en el año 1925. Pero las opiniones no son tan unánimes en la valoración de esta nueva rama de la técnica, que nació aquel año, con la ayuda facultativa de las prensas de la editorial Deuticke, bajo la mirada, entre enternecida y recelosa, de la Escuela Politécnica de Viena.

Duros y persistentes fueron los ataques que la recién nacida hubo de soportar desde el principio, y, puesto que salió victoriosa de ellos, podemos hoy permitirnos el recibir con tranquilidad los que hoy se le dirigen; con tranquilidad, pero no con altanería, que es la posición, pocas veces justificable y casi nunca justificada, de quienes se suben a un árbol psicológico, por temor de combatir a la misma altura que el enemigo.

Ciertamente, hoy, al cabo de veintiocho años, resguardada la Mecánica del Suelo en el amplio y sólido edificio de sus realizaciones, las invectivas de quienes la consideran vana elucubración de académicos, empiezan a sonar algo polvorientas y cascadas, más propicias para la evocación que para la polémica.

Pero no queremos detenernos ahora en estas cuestiones, ya tan bruñidas por el tiempo, aunque fueran tan ásperas allá por los años treintas. Más bien, en este momento en que nos asomamos — con aire que nuestra petulancia de hombres de la era atómica tiñe de una punta de condescendencia — a la obra acumulada por nuestros mayores a lo largo de un siglo, queremos ver si es posible hallar alguna raíz, algún signo precursor de esta rama de la técnica tan nueva, tan moderna, que es la Mecánica del Suelo.

Si en un tiempo fueron numerosos los que creyeron que ésta era una diversión de teorizantes, sin base ni utilización práctica, ahora, al disminuir el número de quienes así pensaban, aumenta por momentos el de aquellos que creen que es algo absolutamente reciente, creado por Terzaghi de la nada, sin precedencia alguna.

Sin embargo, y como ya escribí otra vez, la realidad es otra. La Mecánica del Suelo tiene sin duda derecho al prestigio y a la popularidad de la que, entre los medios técnicos, goza, por ser una escuela que ha tomado como norma distintiva el aplicar el método experimental — la sistemática que ha creado a la ciencia moderna —, a un antiquísimo problema: la lucha del constructor contra las tierras y el agua que tan a menudo las empapa.

Vista así, la Mecánica del Suelo pierde importancia como fenómeno espectacular y casi mágico, pero gana consistencia y aclara su estirpe; que es difícil conseguir timbre de nobleza si no se tienen "padres reconocidos".

El hombre actual — y no pienso al decir esto en los jóvenes ni tampoco los excluyo — propende a una postura desligada, a creer que el mundo nace con cada batir del péndulo, que el valor de un hombre se mide por su fortuna presente, y que una técnica se invalida por un artículo del último número de una revista. Tampoco es este lugar para tratar de tan desolada teoría, pero hoy, cuando por el imperativo de la ocasión efectuamos el gesto que este hombre actual se tiene prohibido — mirar hacia atrás —, resulta confortante encontrar entre las amarillas páginas de los viejos números de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS los testimonios de que quienes nos precedieron se enfrentaron con las mismas dificultades que nosotros — pues, como dice Santayana, los poderes físicos no aprenden a comportarse — lucharon contra ellas, y las vencieron.

No cabe duda de que una parte muy importante de la actividad de los Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos está relacionada con cuestiones de movimiento de tierras, de cimentaciones y de estabilidad de taludes, temas todos que hoy se tratan en la Mecánica del Suelo, y, así pues, desde los primeros números de la REVISTA encontramos abundantes artículos y notas que a ellas se refieren.

Aparte de notas breves y de referencias de poca importancia, no más tarde que en 1856 encontramos un artículo sobre muros de sostenimiento, debido a D. Eduardo Saavedra, en el que se expone el método gráfico de Cousinery, basado en la teoría de Coulomb, que sigue siendo hoy la de más general aplicación en la práctica.

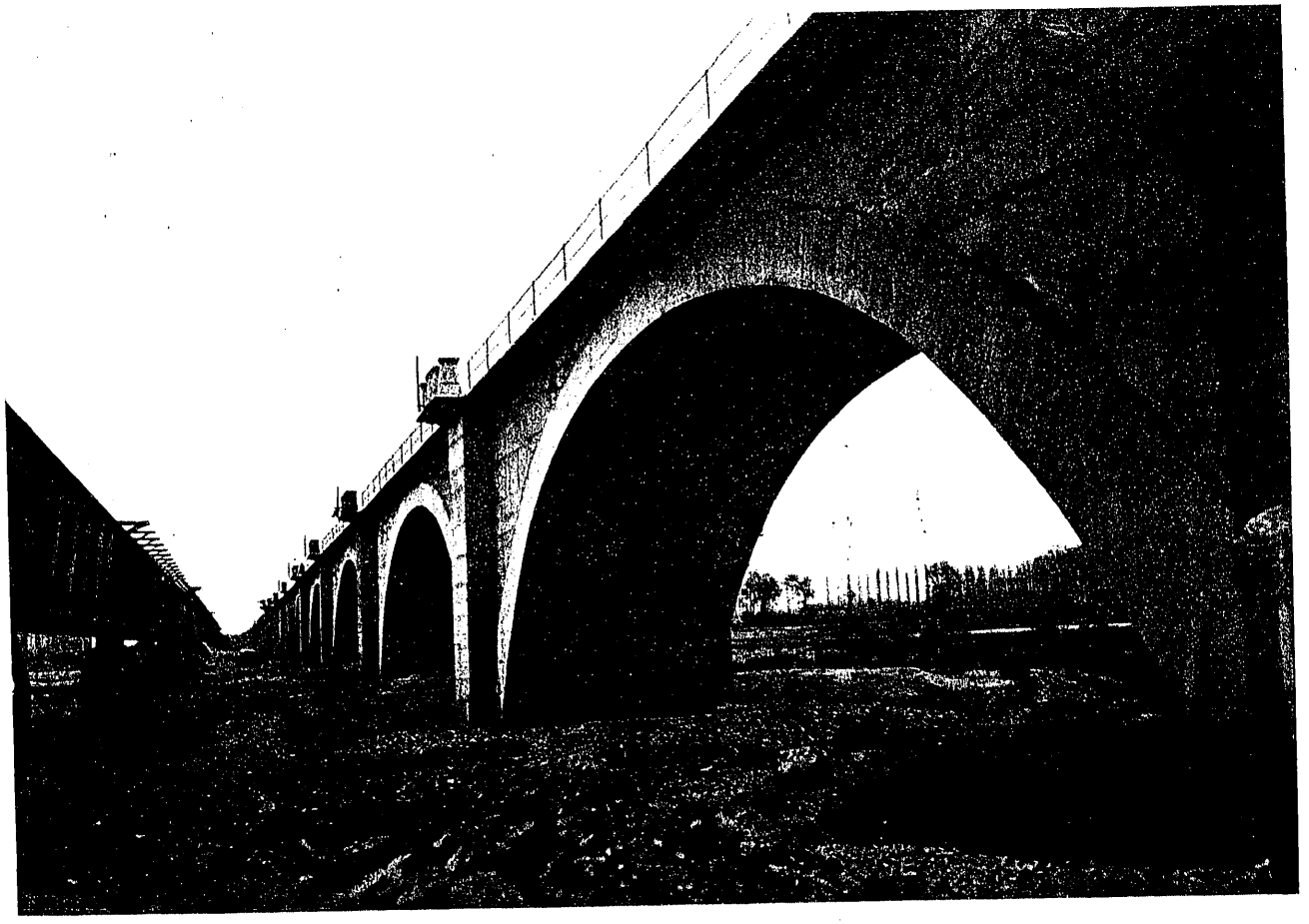
Con sólo espigar descuidadamente los venerables primeros tomos de la colección de la REVISTA, hemos encontrado, en 1859, un importante artículo sobre las cimentaciones del puente de Róchester, que, como es sabido, fué el primero del mundo en el que se empleó el aire comprimido. El artículo está acompañado de láminas detalladas, y asombra el ver con qué bombas neumáticas — de mano — se llevó a cabo el trabajo. En 1860, se encuentra un artículo sobre la hinca de pilotes Mitchell y, para terminar esta pequeña enumeración, citemos una nota, del año 1861, sobre las leyes experimentales del asiento de los terraplenes, que nos demuestra que a veces la técnica — más a menudo de lo que se cree — no hace más que morderse la cola: se dice en esta nota que "los efectos son sensiblemente diferentes según las precauciones observadas en la construcción del terraplén y según las reglas seguidas en la formación del perfil". Según estas reglas, los asientos pueden ser muy grandes y desiguales, produciéndose hasta grietas y corrimientos, "por ejemplo, cuando el terraplén, sea por seguir un método vicioso, por ignorancia de los agentes o incuria de los jefes, se ha construído de una sola capa en toda su altura, en una cinta central del camino y por ensanchamientos después de toda la altura para formar los paseos y el talud", mientras que el resultado es bueno y los asientos pequeños, "cuando, por el contrario, los terraplenes se han hecho con inteligencia y con cuidado por capas horizontales extendidas a todo lo ancho de la explanación y de una altura de 30 a 40 cm.". Y termina el artículo con unas tablas de asientos previsibles según la calidad de las tierras, el espesor de las tongadas y el vehículo o medio empleado para su reparto, ya que cada uno de ellos — vagonetas, carros, cestos y carretillas — produce una consolidación diferente.

Resultaría vano mi intento de dar aquí una reseña, por ligera que fuese, del desarrollo de la técnica de las cimentaciones desde aquella época a la presente. Sería además un mero y frío trabajo de erudición, al que habría de faltar por completo la vívida nota personal. Mi primer contacto, y bien externo, con esta técnica, se establece en una triste y lluviosa noche de mayo en la que, después de terminar, con tintas multicolores, el pliego de descriptiva que D. José Granda nos había encargado, me acerqué a la Escuela, entre emocionado y curioso, para participar en la despedida del duelo de un gran Ingeniero, D. José Eugenio Ribera, cuyos méritos, a decir verdad, como recién llegado a la Escuela, desconocía.

Me formé en aquella ocasión un gran concepto de Ribera, concepto que, contra lo que suele suceder, se ha agrandado y afirmado conforme

he ido conociendo y sido capaz de comprender en qué consistió su obra. Me formé también, de mis conversaciones con los "veteranos", que ya habían pasado por la clase de Entrecanales, una gran idea de la influencia que la labor de un Ingeniero de la talla de aquél, cuyo féretro se alejaba cubierto de cuantas rosas pudieron entregar los jardines de la Escuela, puede tener sobre la técnica y el progreso de una nación. Y oí también de labios de esos mismos "veteranos" las primeras referencias de esa lucha contra el terreno, que es la vida del Ingeniero que se ocupa de cimentaciones.

Fué Ribera en esta clase de trabajos — como también en tantas otras ramas de la Ingeniería — un gran innovador y un realizador admirable. Hincó en 1906 los primeros cajones de hormigón armado con aire comprimido — en el puente de Valencia de Don Juan (León) —, y en 1909 los del puente de Amposta, uno de ellos de 29,50 m., que es, a lo que sé, el hincado a mayor profundidad en España. En el puente de María Cristina, de San Sebastián, hincó en 1908 los primeros pilotes de hormigón armado del mundo. Los cajones flotados, fondeados y después hincados por aire comprimido fueron también para él campo de brillantes aplicaciones, como en el puente de San Telmo, en Sevilla (1920). No menos interés dedicó a los cajones flotantes fondeados, para obras marítimas, tipo éste de obra en la que los Ingenieros españoles han destacado, pues fué empleado ya por el Ingeniero D. Evaristo de Churruca en el rompeolas del puerto de Bilbao, con cajones metálicos, de 1895 a 1902, sobre lecho de escollera enrasado con campana de buzo; perfeccionado después, con cajones metálicos recuperables, para el puerto de Valencia, por el Ingeniero D. Fausto Elio, y, con cajones de hormigón en masa, para el puerto de Barcelona, por el Ingeniero don Carlos de Angulo. Introducido el hormigón armado para esta clase de obras, fué empleado por D. Francisco Montenegro en el puerto de Huel-



Puente de la RENFE en Marcilla, sobre cajones de aire comprimido. A la izquierda, el viejo puente metálico, sobre cimientos tubulares, también de aire comprimido.

va, con la interesante peculiaridad de que se efectuó una consolidación previa del terreno por medio de un relleno de arena, que se dragó antes de colocar los cajones, procedimiento que ha sido empleado recientemente en el puerto de Nueva York, y que en Huelva dió resultados plenamente satisfactorios, en un terreno excepcionalmente compresible de fangos floculados de gran susceptibilidad tixotrópica. Ribera empleó cajones flotantes fondeados de hormigón armado en la Avenida Marítima de Santa Cruz de Tenerife, y posteriormente han sido utilizados por distintos Ingenieros en los diques rompeolas del Musel y San Esteban de Pravia y en los muelles de Escombreras, Tarifa, Zona franca de Cádiz y Avilés. Pero la obra más notable de este género es el dique seco de Cádiz, en solución concebida por Ribera, y construída por Entrecanales, con catorce enormes cajones flotantes de 53 m. de longitud, 17 m. de ancho y 6,50 m. de altura, en el momento de la botadura, que se recrecía a flote hasta 17 m.

Ribera no era, como él mismo lo declaró, un negociante, sino, hasta lo más íntimo de su ser, un Ingeniero, y, como tal, amante de su técnica, razón de su vivir y no instrumento de lucro. Bien lo demostró cuantas veces se le planteó un problema interesante o la posibilidad de una innovación, arriesgando su fortuna, su fama y hasta su vida. Este mismo entusiasmo le llevó a encargarse en la Escuela de la asignatura de Puentes de Fábrica y Hormigón Armado, en la que distrajo muchas horas que hubiera podido emplear en sus asuntos propios, con mucho más beneficio personal y, en lugar de guardar egoístamente su rica experiencia, la vertió en los cuatro tomos de su obra, conocida hoy de todos los Ingenieros de Caminos; obra que conserva en la actualidad toda su vigencia, precisamente por no tratarse de resumen libresco de teorías de moda, sino ser, en su mayor parte, crónica fiel y razonada de hechos vividos.

El segundo tomo de esta obra, publicado, en primera edición, en 1926, trata exclusivamente de cimientos y, como se dice en el prólogo, deja demostrado "que, por lo menos en esta rama de la construcción, los Ingenieros de Caminos no sólo no han ido a la zaga de la técnica extranjera, sino que, por el contrario, han sido más audaces y casi estoy por decir que más innovadores". Bien se puede decir tal si se habla de Ribera.

Dejó este ilustre Ingeniero la labor docente — no la profesional, que continuó hasta los últimos días de su vida — en 1931, por el rígido imperativo de la edad, que le llevó a la jubilación, y su cátedra quedó en manos de D. José Entrecanales, que ha sido desde entonces maestro, que no profesor, de las sucesivas generaciones de Ingenieros.

Tomó Entrecanales entre sus manos la cátedra de Ribera cuando ya las ondas producidas en Viena por la *Erdbaumechanik* de Terzaghi rompían en las playas de nuestra Península, y en su primer programa de clase incluyó decididamente los puntos principales de las nuevas teorías, como son: ensayos de laboratorio y en obra para la investigación de terrenos, compresibilidad de las arcillas, histéresis, etc. Con esto aumentó el volumen de las enseñanzas dedicadas a cimientos hasta equipararse a la parte consagrada a los puentes, por lo cual la asignatura pasó a denominarse "Cimientos y puentes de fábrica", y, más tarde, "Geotecnia, cimientos y puentes de fábrica", cuando la Mecánica del Suelo llegó a tener importancia bastante para ostentar una personalidad peculiar, separada y más general que la técnica de los cimientos.

No hemos de extendernos en describir la labor docente y profesional de Entrecanales, ya que, afortunadamente para todos, no ha sonado la hora baldía que la costumbre marca para las alabanzas; pero no podría comprenderse lo que sigue sin señalar cómo su labor en la cátedra ha creado la "conciencia geotécnica" que hoy impregna ya a la técnica española.

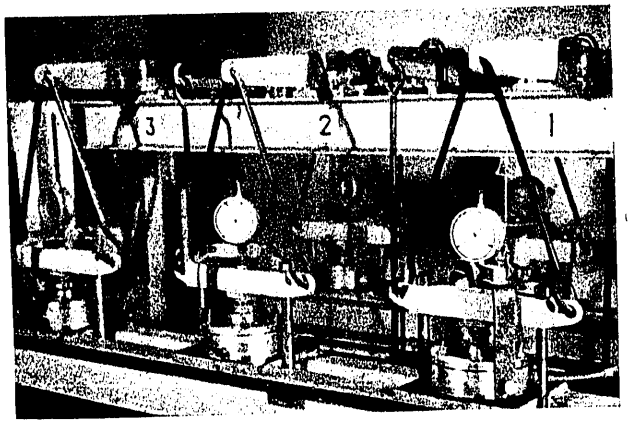
En época posterior, y paralelamente, la Mecánica del Suelo recibió dentro de la Escuela un importante refuerzo: desde que se hizo cargo don José Luis Escario de la cátedra de Caminos, en el año 1940, explicó las aplicaciones de las nuevas teorías en la construcción y conservación de carreteras, que plantean problemas esencialmente idénticos a los de las cimentaciones — todo es carga admisible sobre una superficie, y estabilidad de taludes —, pero que se presentan con características diferentes.

Pero el esfuerzo de ambos profesores no podía rendir todo el fruto merecido mientras no existieran laboratorios capaces de determinar los coeficientes característicos de las tierras. Siendo la Mecánica del Suelo, en último análisis, la aplicación del método experimental al estudio del terreno, el laboratorio es uno de sus instrumentos favoritos, aunque no el exclusivo, pues también se hace experimentación en la obra. A este respecto, resulta interesante leer el artículo de don

Ramón María Serret en la REVISTA del 13 de enero de 1915, en el que hace una documentada descripción de los derrumbamientos del canal de Panamá, que, al incitar a la creación de un Comité de la Asociación Americana de Ingenieros Civiles, deben considerarse como una de las "catástrofes fundacionales" de la Mecánica del Suelo; que no hay nada como las catástrofes para hacer progresar la técnica, y, al frente de ellas, la catástrofe mayor, que es la guerra. Pues bien, y volviendo al artículo de la REVISTA, D. Ramón María Serret se lamenta, al final del mismo, de que tales accidentes sean tan difíciles de prevenir, pues no se pueden reproducir en un laboratorio las condiciones en que se desarrollan. No se podían reproducir, es cierto, pero he aquí que en aquella circunstancia, Terzaghi, en su modesto laboratorio de Viena — un lóbrego semisótano abovedado —, se puso, como obediente a los deseos expresados en el citado artículo, a crear las técnicas que diez años más tarde habrían de ser capaces de cumplirlos.

No se llegó tan pronto en España hasta este punto, y es preciso esperar hasta el año 1944, en el que se equipan en la Escuela dos laboratorios: la sección de Geotecnia del Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción, y la sección de Mecánica del Suelo del Laboratorio del Transporte. Ambos laboratorios cuentan hoy con aparatos para efectuar todos los ensayos con terrenos que la técnica moderna precisa, como son edómetros, aparatos de resistencia al esfuerzo cortante, triaxiales, etc.

Hemos llegado al momento actual, terminando así nuestra ojeada retrospectiva. ¿Cuál será el rumbo futuro de la Mecánica del Suelo, en el mundo, en España, en la Escuela?



Bancada de seis edómetros en el Laboratorio del Transporte.

El desarrollo de la Mecánica del Suelo en nuestro país se halla sin duda vinculado al de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, la cual, creada y organizada en el seno de la Escuela, ha salido después de su ámbito, para ensanchar su campo de acción y tomar mayores vuelos.

Pero este desarrollo está también indisolublemente ligado a la Escuela; por una parte, por la función rectora de ésta, a través de la actividad docente, y, por otra, a causa de sus dos Laboratorios, los más importantes en España entre los dedicados a esta especialidad, los mejor equipados y los de actuación más intensa.

Para atisbar cuál puede ser el porvenir en el mundo de la Mecánica del Suelo, vale la pena detenerse algunos momentos en analizar la interesante evolución que viene experimentando en los últimos años.

El Congreso Internacional celebrado en Harvard en 1936 puso aparentemente de manifiesto que esta nueva técnica había llegado, basándose en consideraciones teóricas y en ensayos de laboratorio, a elaborar una serie de teorías capaces de resolver con mayor o menor aproximación casi cualquier problema que pudiera presentarse, en relación con el terreno, al Ingeniero constructor. Pero, en los años subsiguientes, mientras que las deducciones efectuadas encontraron adecuada comprobación al tratarse de terrenos arenosos, en arcillas se llegó unas veces a notables éxitos, pero en otras, el comportamiento real del suelo fué muy distinto del esperado.

Se llegó así al descubrimiento de las arcillas "anormales" o "muy susceptibles", dotadas de una estructura especial que no puede ser preservada por ningún procedimiento de toma de muestras, por cuidadoso que éste sea. En estas arcillas, el laboratorio no puede ayudar para dar sus coeficientes mecánicos, ya que éstos, cuando aquél recibe la muestra, están ya irremisiblemente alterados. Sin embargo, todavía le quedó al laboratorio, para estos casos, la tarea de averiguar, por ensayos sencillos y rápidos, cuándo se trata de una arcilla normal, y cuándo el Ingeniero tiene que habérselas con una de estas capas de otras arcillas de personalidad tan original y definida. Una vez descubierta e identificada, el futuro comportamiento de uno de estos terrenos tan sólo podrá preverse a partir de observaciones y ensayos cada vez más y más precisos en las obras, y, al mismo tiempo, con la ayuda de ensayos de laboratorio que, sin tener una aplicación concreta, de-

ducible teóricamente por las leyes físicas, estén en correlación estadísticamente demostrable con los fenómenos que queramos prever.

Veamos, por ejemplo, en el siguiente cuadro, los resultados de la determinación de los límites de Atterberger y humedad natural de algunas arcillas de distintos países:

Localidad	Experimentador	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad	Humedad natural
Newport	Skempton	60	26	34	50
Huelva	L. Central	64	25	39	51
Kippen	Skempton	70	28	42	40-60
Guadalquivir	L. Transporte	70	27	43	41
Avilés	L. Transporte	72	28	44	39
Bacuta	L. Transporte	39	21	18	39
Getafe	L. Transporte	60	29	31	27

Se aprecia aquí que las arcillas de Newport son casi idénticas a las de Huelva, y las de Kippen, a las del Guadalquivir y Avilés. Sabiendo que una de estas arcillas es normal, se puede suponer, sin temor a errores, que la que en ese cuadro figura como idéntica a ella lo es también, y éste es el caso de las cinco primeras arcillas de este cuadro.

Pero veamos ahora la arcilla de Bacuta; es decir, de la misma ría de Huelva, pero en la margen opuesta a aquella en la que la ciudad está asentada.

Del examen de sus límites podríamos pensar que es una arcilla menos plástica que las demás, y de ahí pasar a suponer que sería menos compresible y de mayor rozamiento interno: menos peligrosa, en fin. Y, sin embargo, nos encontramos ante una arcilla de condiciones muy peculiares, ante lo que los americanos llaman *quick-clay* y que también se halla en algunos puntos de la bahía de Cádiz. Son suelos éstos con una proporción de arcilla relativamente pequeña, pero floculados. Los flóculos de arcilla, por ser ésta escasa, no son bastantes para llenar por completo los huecos de las partículas más gruesas, sino que quedan formando como puentes o eslabones entre ellas.

Una perturbación mecánica destruye estas ligazones, y las partículas sólidas quedan flotando en el agua que rellena los poros, con lo cual toda resistencia al esfuerzo cortante queda anulada y el suelo se comporta como un flúido.

Y así ocurre que, cuando se hincan pilotes en este terreno, la perturbación de la hinca liquida completamente el terreno, fenómeno que se presentó en la construcción de un varadero, bajo la dirección del Ingeniero D. Modesto Vigueras: los pilotes se hincaban muchos metros, después del primer golpe de maza, sin ulterior golpeo ni sobrecarga alguna.

Al cabo de algún tiempo, sin embargo, las partículas vuelven a ponerse en contacto por su propio peso, se expulsa el agua en exceso, y la resistencia al esfuerzo cortante aparece nuevamente. Y así fué que al ensayar dichos pilotes después de transcurridas algunas semanas, resistieron hasta quince toneladas, sin mostrar signo alguno de hundimiento, como tampoco en el servicio ulterior del varadero.

Pero esta arcilla, ensayada en el laboratorio al esfuerzo cortante, da resultados normales, lo que se debe a que su delicada estructura sufre ya la primera fase del fenómeno durante la operación de toma de muestras. Los datos que indujeron a dictaminar que se trataba de una *quick-clay* no fueron los de ese ensayo, sino su escasa proporción de arcilla, ciertas anormalidades en la curva edométrica y la proximidad de su humedad natural al límite líquido, aun a profundidades relativamente considerables, lo cual es característico de los suelos floculados. Datos todos ellos que no entran realmente en el concepto de medidas, sino más bien en el de síntomas, constituyendo más bien un síndrome al modo de la clínica que una determinación cuantitativa.

Podríamos hablar así de síndrome de *quick-clay*, como podríamos hablar también de síndrome de arcilla expansiva, como la de Getafe que figura en el mismo cuadro, terreno firme, resistente, pero sobre el cual los edificios más ligeros, si se encuentran cimentados superficialmente, se agrietan por completo, porque la capa superior de este estrato se hincha y se contrae con las alternativas de humedad y sequedad según el cambio de estaciones. Peligro éste contra el que nos ponen alerta los altos índices y el bajo contenido de humedad natural. Lo mismo pasa en Sevilla, en el barrio de Heliópolis, por ejemplo, donde la arcilla es de la misma calidad que ésta, pero está desecada hasta bastante profundidad. Lo mismo ocurre en la Ciudad Universitaria de Bogotá y en muchos lugares de Inglaterra, en donde este fenómeno está siendo muy estudiado, pues hasta las

carreteras se han agrietado en los pasados años de sequía.

Tampoco estos fenómenos de las arcillas son asequibles a las teorías clásicas, ni lo son las arcillas fisuradas de Londres, estudiadas estos últimos años por Skempton, ni la arcilla azul del Guadalquivir, la firme, la del valle alto, que también está fisurada, por lo que su cohesión, que es muy fuerte, se conserva tan sólo si está en régimen de compresiones.

Y menos encajan todavía en las teorías clásicas las arcillas de las cuencas terciarias españolas, duras, precomprimidas y muchas veces con yeso, ni las de extremada susceptibilidad tixotrópica que se encuentran en Canadá y en las naciones escandinavas. Son éstas absolutamente distintas de las *quick-clays* típicas, del estilo de las de Cádiz y Huelva, a las que nos hemos referido. Sus granos son finísimos y homogéneos, pero su resistencia, una vez perturbadas, es mucho menor que su resistencia original. En Saint Thuribe, cerca de Quebec, existen unas arcillas en las cuales la razón entre su resistencia en estado natural y su resistencia, una vez que son perturbadas, sea por amasado, hinca de pilotes o cualquier otra clase de acción mecánica suficientemente intensa, es igual a 150. Es decir, que la resistencia de esta arcilla, una vez perturbada, es menos de un siete por mil de la original. No es de extrañar que cualquier movimiento que en ella se inicie tome pronto caracteres de catástrofe impresionante, y, por ejemplo, en 1898 hubo un corrimiento que afectó a 2 000 000 de m.^{3} de tierras, cerrando un valle en 3 Km. de longitud.

Es excepcional, evidentemente, encontrar casos tan extremos, pero no es raro hallar en las naciones escandinavas, y también en Inglaterra, arcillas cuya resistencia, una vez perturbadas, es tan sólo el 5 o el 10 por 100 de su resistencia original, y hay que suponer que en otros muchos países también las habrá, aunque hasta la fecha no se hayan identificado.

Todos estos problemas nuevos que la Mecánica del Suelo se ha encontrado obligada a estudiar y tratar de resolver, ha empujado a las técnicas que la componen a buscar perfeccionamientos cada vez mayores a lo largo de los caminos ya trillados, y, al mismo tiempo, a emprender otros inéditos.

En primer lugar, se hizo evidente que la información que se obtenía de las propiedades físicas del subsuelo, mediante los procedimientos en uso, no era siempre lo bastante completa.

Por una parte, la técnica que se usaba para la toma de muestras inalteradas no era suficientemente perfecta, ni se halló el modo de perfeccionarla lo necesario para el caso de las arcillas muy sensibles. Por otra parte, pronto hubo que reconocer una verdad evidente desde el principio, la cual es que los depósitos homogéneos son raros, en oposición a los supuestos corrientes de los cálculos, que se basan en la hipótesis del semiespacio elástico, homogéneo e isótropo, o, a lo más, en un semiespacio constituído por un número muy limitado de capas homogéneas.

Tanto una como otra de las circunstancias que acabamos de indicar dieron más y más valor a los ensayos directos sobre el terreno, y, en especial, se han desarrollado hasta adquirir un papel muy importante las técnicas de la penetración directa, en las que se han distinguido los holandeses, y el ensayo denominado *vane-test*, perfeccionado por los suecos y los ingleses.

Estos métodos de exploración son especialmente necesarios en estructuras aluviales, en las cuales los distintos lentejones y vetas del terreno se hallan imbricadas en forma muy compleja, de tal manera que para hacer un estudio preciso en el Laboratorio, tal que los resultados obtenidos fueran realmente representativos, el número de muestras habría de ser demasiado grande.

Ahora bien: para la interpretación de los resultados de estos procedimientos exploratorios, cuyo valor es solamente semiempírico, es necesario contar también con ensayos de laboratorio de las clases típicas de los suelos encontrados y es preciso estudiar el conjunto de datos así formado, con el respaldo de una buena dosis de experiencia.

Esta experiencia puede tener dos formas: la primera, la más primitiva, la más valiosa también, pero la más escasa, es la experiencia personal. La segunda, es la experiencia colectiva, concretada en publicaciones y en estudios de conjunto.

En algunos casos, como, por ejemplo, cuando se trata de una zona de características muy homogéneas, densamente poblada, puede ocurrir que algún Ingeniero situado en muy favorables circunstancias llegue a alcanzar la experiencia necesaria. Esto puede ocurrir, por ejemplo, respecto a las arenas arcillosas de Madrid, la arcilla del Guadalquivir, y, en España, en muy pocos sitios más.

Pero lo normal será que el Ingeniero tenga que efectuar trabajos en regiones muy distintas, o bien en una zona con terreno heterogéneo, como,

por ejemplo, los fangos de Bilbao, y, en casos como éstos, no tendrá tiempo, en los reducidos límites de la vida humana, para adquirir una experiencia suficiente para cada uno de los terrenos que puedan presentársele, y habrá de apoyarse en datos o experiencias de los demás Ingenieros.

Resulta de aquí que el porvenir de la Mecánica del Suelo depende en grado sumo de la cooperación entre los Ingenieros y del intercambio mutuo de sus experiencias, lo cual se efectúa, en el campo nacional, con publicaciones y revistas, función en la cual ha de caber un papel primordial a la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS. En el campo internacional, preferentemente en los Congresos, y a este respecto es bueno recordar que este verano se celebrará en Zurich el III Congreso Internacional de Mecánica del Suelo, al que la Escuela envía representantes y trabajos.

De todo lo que hemos ido indicando, y como resumen, vemos que la Mecánica del Suelo ataca hoy cada uno de los problemas que se le someten de un modo pragmático y realista, sin juicio apriorístico alguno ni esquematización sistemática.

Emplea, además, una combinación de los métodos propios de la Mecánica aplicada y de la Física con aquellos otros que son privativos de las ciencias naturales, una de las cuales es la Geología.

Los progresos en la Mecánica del Suelo no pueden hacerse hoy sólo en el laboratorio y en el despacho. Es preciso hacer también observaciones en el campo, en la obra, comparar los resultados obtenidos con los datos de ensayos tales como los de penetración, dinámica y estática, los del *vane-test* y otros rápidos y sencillos que se puedan efectuar en el campo. Es necesario coleccionar también historias, "historias clínicas", podíamos decir, de numerosos casos en los que las mediciones se hayan hecho con precisión y agrupar estas historias por áreas integradas en unidades geomorfológicas análogas.

En conjunto, puede sintetizarse el modo actual de trabajar de la Mecánica del Suelo, de la siguiente forma:

1.° Identificación precisa, rigurosa. Es preciso identificar al terreno de que se trata con toda clase de datos y coeficientes hallados en el laboratorio, historia geológica, situación geomorfológica. Sólo así los resultados hallados pueden tener aplicación en otro caso, ya que sólo así podrá tenerse la seguridad de una semejanza real entre los casos que se comparen.

2.° Investigación profunda y detallada, haciendo uso de la teoría y del laboratorio, pero también de una constante comprobación en el campo, haciendo toda clase de medidas sobre las obras construídas, y coleccionando el mayor número posible de "historias clínicas".

3.° Sistematización clara y sencilla, basada en reglas semiempíricas, que permita la aplicación práctica de las investigaciones anteriores, aun para Ingenieros que no tengan experiencia en aquella particular formación de suelo, y también en el caso de formaciones heterogéneas y erráticas.

Siguiendo esta línea de actuación, la Mecánica del Suelo se ha de desarrollar de tal forma, que no perderá jamás su característica de ser una herramienta eficaz para la aplicación práctica, aun a pesar de todas las dificultades que una técnica cualquiera encuentra siempre al pretender adaptarse a la Naturaleza, tan varia y cambiante. Sin duda, estas dificultades son mayores para el Ingeniero que se ocupa de estos temas que, por ejemplo, para el que se dedica a estructuras metálicas. Este idealiza sus piezas por medio de representaciones geométricas abstractas, dibuja, calcula, y tan sólo al final decide tener en cuenta la realidad física, las más de las veces por el simple procedimiento de comparar las tensiones halladas con las admisibles según un catálogo.

El proyectista de hormigón armado, el hidráulico, han de tener mucho más en cuenta las características reales de los elementos que manejan, pero, aun así, su principal actividad discurre por el campo de las consideraciones abstractas.

Muy al contrario, para el Ingeniero que se ocupa de Mecánica del Suelo, los cálculos, la experiencia de laboratorio, los mismos ensayos en el campo y la observación de las obras, son, ante todo, ayudas para conseguir una visión directa y en cierta manera intuitiva del fenómeno que estudia. Y es así como, en opinión de muchos, ninguna de las actividades que el Ingeniero puede desarrollar exhibe, de manera tan clara, esta lucha del hombre con la Naturaleza para someterla a sus deseos, que es la esencia de la técnica y la cifra del anhelo fáustico de la civilización en la que nos ha cabido la suerte, buena o mala, de nacer.