



## EDIFICACIONES CIMENTADAS EN ARCILLAS EXPANSIVAS

José A. Jiménez Salas  
Ingeniero de Caminos

En el número 174 de esta REVISTA, correspondiente al mes de junio del presente año, aparece un artículo del arquitecto don Rafael de la Hoz que me interesó enormemente, no tan sólo por la precisión y claridad con que está escrito, sino por tratar de un problema, el de la cimentación sobre arcillas expansivas, al cual llevo dedicando, desde hace algún tiempo, parte importante de mi actividad.

Al final de dicho trabajo la REVISTA incluye una nota en la que invita a ulteriores aportaciones sobre el problema, respondiendo a la cual tengo el honor de presentar este artículo.

El punto principal que deseo exponer es que las arcillas, en su expansión, no producen tan sólo el efecto de "estallamiento" descrito por el señor De la Hoz, sino también otro, que, en ocasiones, llega a ser más importante, o, al menos, más difícil de evitar, el efecto de "levantamiento".

Este levantamiento tiene una forma peculiar, es "en cúpula", máximo en el centro del edificio y mínimo en las esquinas (fig. 1), aun cuando causas locales pueden alterar esta regla. Es típica la apariencia de que los ángulos *han asentado*, cuando lo cierto es que han quedado retrasados respecto al movimiento general. En el interior, las solerías están levantadas; los tabiques, destrozados.

Esta forma del levantamiento se debe a que el sitio más protegido es el centro del edificio, mientras que debajo de las esquinas el cimiento está más ventilado, el camino es más corto para la evaporación.

El fenómeno se presenta en muchos países, como son: Tejas, Sudáfrica, Burma, Argelia, Marruecos, Cuba y España. Ha dado origen a gran número de trabajos, entre los cuales se cuentan incluso algunos nuestros (2) y (3); pero hoy, de lo que vamos a tratar es de las consecuencias prácticas.

En climas húmedos, como es el de Inglaterra, el fenómeno es puramente estacional. El suelo aumenta o disminuye de volumen a lo largo del año, según una ley de aspecto sinusoidal (fig. 2), a partir de un nivel máximo, que corresponde al suelo saturado. Este fenómeno ha causado grietas en muchos edificios de dicho país, pero no resulta muy temible, por no afectar más que a una capa relativamente superficial. A un metro o metro y medio de profundidad, el efecto estacional, en Inglaterra, ya no llega. Basta bajar la cimentación a esa profundidad para que no se produzcan movimientos, lo cual se consigue de modo económico por pozos, o mediante unos pilotes cortos moldeados *in situ*, en perforaciones efectuadas, sin entibación, por unas grandes barrenas, montadas sobre camiones.

En los climas áridos, como es el nuestro, el fenómeno tiene características distintas y más difíciles de



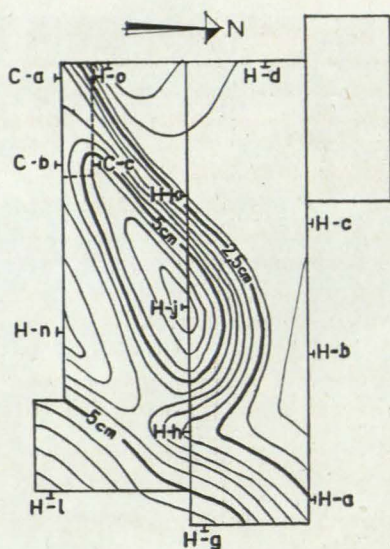


FIG. 1.—Ejemplo de levantamientos producidos en un edificio en Tejas, según Dawson (1). La figura corresponde al estado del edificio cuatro años después de su construcción.

dominar. La evaporación, en una superficie de agua libre, es varias veces superior a la precipitación, lo cual hace que el suelo se encuentre desecado hasta una profundidad considerable, con una permanente "deficiencia de humedad".

La construcción de un edificio tiene como consecuencia la formación, debajo del mismo, de una especie de "nube" (fig. 3), producida por la condensación de la humedad en esa zona, protegida de la evaporación y algo más fría que el terreno circundante.

Esta nube progresa muy lentamente, y a veces tarda muchos años en llegar a una situación de estabilidad. La consecuencia es un levantamiento progresivo del edificio, que aumenta de año en año, mezclado, aunque no siempre, con un efecto estacional (fig. 4).

En un levantamiento de este tipo intervienen capas de terreno bastante profundas, hasta seis, ocho o más metros. La solución de bajar las ci-

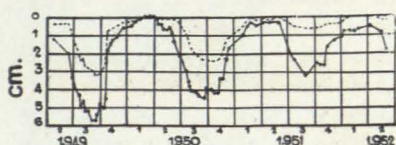


FIG. 2.—Movimientos estacionales en Bridgewick (Essex), según Ward (4). La línea llena corresponde a la superficie del terreno. La de puntos, a 60 centímetros de profundidad. A 1,50 metros de profundidad los movimientos tienen ya una amplitud menor de 1 centímetro.

mentaciones ya no es tan sencilla como en los climas húmedos, aunque, como veremos en otra ocasión con detalle, es la que se adopta en multitud de casos.

Para que el fenómeno de levantamiento tenga esta forma es preciso que el clima sea árido, y que la capa freática esté lejos de la super-

"límite plástico" que la experiencia indica que está próximo al punto lentocapilar.

Es muy sencillo, aun en obra y sin aparato alguno, darse cuenta de si un suelo está por encima o por debajo del límite plástico. Este es el grado de humedad que precisa tener un suelo para que puedan ha-

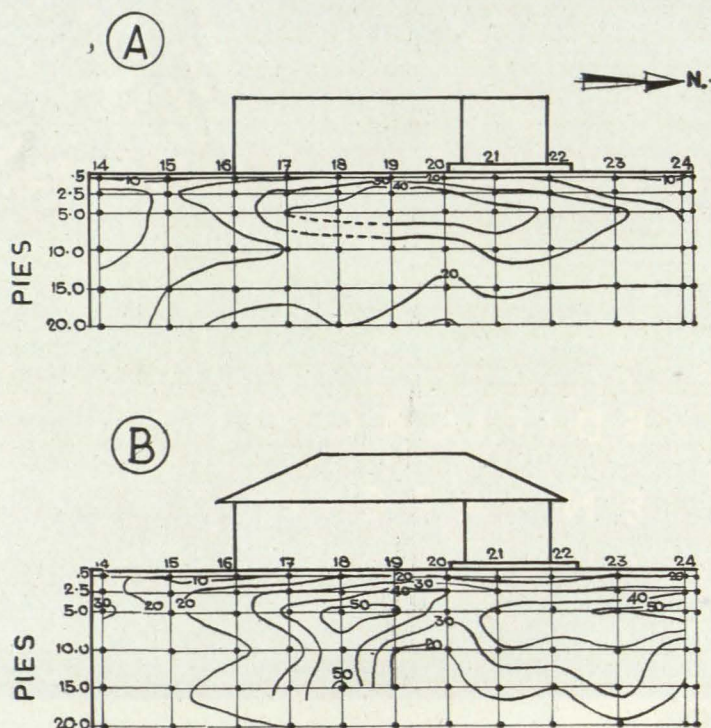


FIG. 3.—"Nube" de condensación de humedad formada bajo un edificio, según Jennings (5). El edificio se comenzó a construir en agosto de 1950. La fig. A corresponde al 16 de marzo de 1951. B, al 7 de enero de 1952. Los números de las curvas son índices de humedad relativa.

ficie. Es decir, que el suelo se halle en un grado profundo de desecación.

La forma teóricamente correcta de juzgar el grado de desecación de un suelo es relacionar su humedad con el punto "lentocapilar" o "de ruptura capilar", límite por debajo del cual el transporte de agua de un punto a otro de la masa ha de hacerse en estado de vapor, por el juego de evaporaciones y condensaciones. En estas circunstancias el transporte es muy lento, la superficie se encuentra insuficientemente alimentada y la evaporación es muy reducida. Sin embargo, este punto "lentocapilar" no es fácil de determinar, ni aun en un buen laboratorio, por lo cual, en la práctica, se recurre al

cerse con él bastoncitos de 3 mm. de diámetro, simplemente haciendo rodar una pequeña porción de suelo entre la mano y una superficie lisa. Por tanto, si tomamos un pequeño terrón de suelo y lo hacemos rodar en la forma dicha y conseguimos bastoncitos que tengan bastante menos que 3 mm. de diámetro, por ejemplo, 1 mm., el suelo está bastante por encima del límite plástico, y, en consecuencia, no está profundamente desecado, no tiene una gran deficiencia de humedad, y no es muy peligroso desde el punto de vista de la posibilidad de levantamientos, más que, si acaso, si cimentamos en la zona de influencia estacional.

Si, al contrario, cuando los bas-



toncitos, al llegar a los tres milímetros de diámetro, o antes, se rompen y desmigajan por completo, el suelo está en el punto lentocapilar o más seco, y la construcción del edificio, al coartar la evaporación, producirá un aumento en su grado de humedad. Para que esto produzca, a su vez, un levantamiento importante, es preciso, además, que la arcilla sea capaz, por su naturaleza, de sufrir grandes variaciones de volumen con los cambios de humedad previsible, lo cual es un segundo aspecto del problema que pasamos a continuación a estudiar.

#### VARIACIONES DE VOLUMEN DE LA ARCILLA Y PRESIÓN DE ENTUMECIMIENTO

La arcilla es capaz de sufrir grandes variaciones de volumen. Este es un hecho cuya explicación ha de buscarse en el campo de la físico-química, según creemos haber demostrado suficientemente en una publicación del año 1953 (7), confirmada más recientemente por otros trabajos extranjeros (8) (9). Por ello, esta capacidad de cambios de volumen puede ser muy distinta, con arreglo a gran número de factores, como son la especie mineralógica de la arcilla, cationes absorbidos, concentración de sales en el agua intersticial, preconsolidación previa, etcétera, sin que pueda localizarse el peligro en una sola clase de arcillas, como son las bentoníticas. El levantamiento producido en el terreno por el aumento de humedad consecuente a la construcción de un edificio será grande o pequeño, dependiendo de todos esos factores. En particular, hemos encontrado en Andalucía daños en edificios sobre arcillas ilíticas, que, a primera vista, debían ser poco peligrosas.

Muchos esfuerzos se han hecho en el sentido de hallar algún criterio sencillo que permita prever si una arcilla va a sufrir o no cambios importantes de volumen. Para Altmeier (10) el límite de retracción es una indicación muy importante, según los siguientes límites:

#### LÍMITE DE RETRACCIÓN CAMBIOS DE VOLUMEN

En cambio, para Holtz y Gibbs (11) resulta útil el "entumecimiento libre", llamando así a la diferencia entre el volumen de sedimentación y el volumen del suelo pulverizado y seco, expresado en

tanto por ciento de este último. Según este autor:

#### ENTUMECIMIENTO LIBRE CAMBIOS DE VOLUMEN

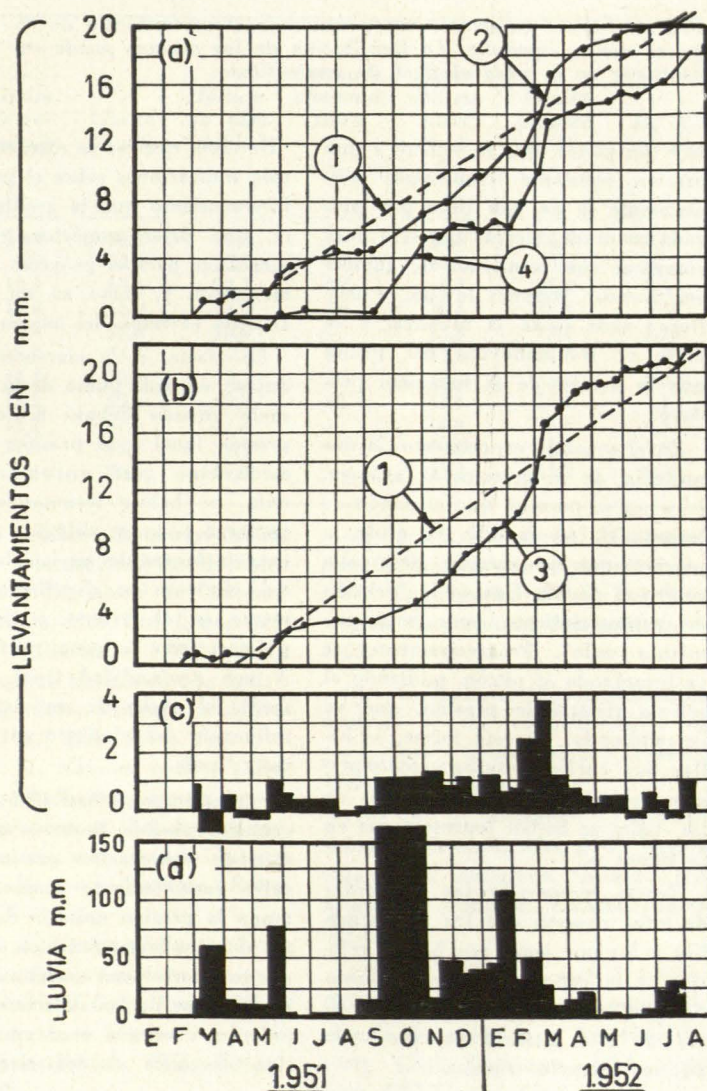
Por otra parte, también los límites de Atterberg pueden ser, como siempre, un indicio apreciable.

Sin embargo, nuestra experiencia hasta el momento actual no nos ha dado una correlación muy marcada entre dichos criterios y la realidad. Lamentándolo, nos hemos visto em-

pujados a confiar tan sólo en dos ensayos de laboratorio que no son, con bastante diferencia, tan sencillos como los que acabamos de reseñar. Estos dos ensayos son el de entumecimiento bajo una carga determinada y el de determinación de la curva entumecimiento-presión de entumecimiento.

En el primero, se coloca una muestra del suelo, que ha de ser inalterada (cortada cuidadosamente de un bloque conservado en las mismas condiciones que el suelo natural)

FIG. 4.—Movimientos originados por la construcción de un edificio en Sudáfrica, según Kantey y Donaldson (6). En a) y b): 1.—Tendencia general. 2.—Referencias colocadas en el interior de la casa. 3.—En los muros exteriores. 4.—Sobre el terreno circundante, a 10 metros como máximo de la casa. c) Movimiento, entre cada dos lecturas sucesivas, de las referencias colocadas en los muros exteriores. d) Cantidad de lluvia caída entre cada dos lecturas sucesivas.





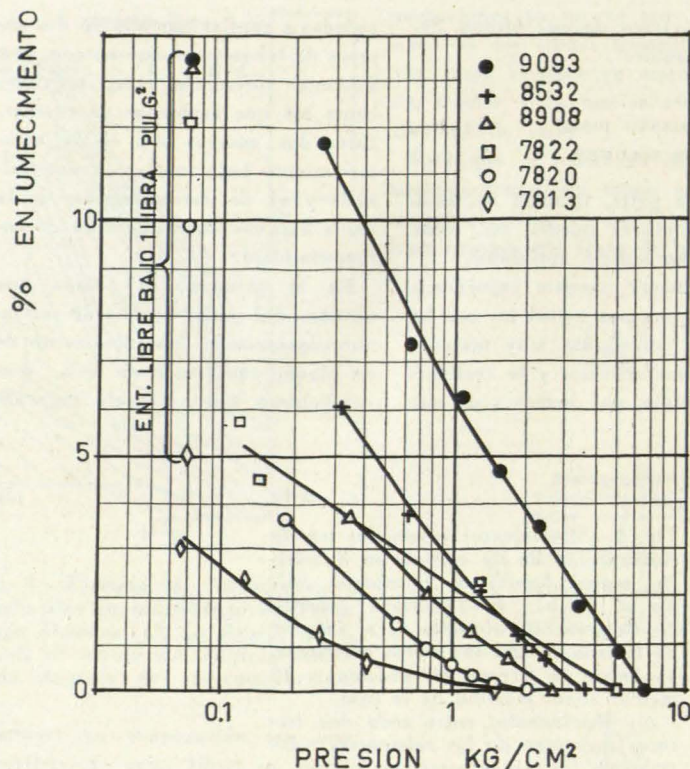


FIG. 5.—Curvas entumecimiento-presión de entumecimiento de algunos suelos españoles. La localización de los mismos puede encontrarse en la tabla al final de este artículo.

bajo un pistón que la somete a una presión constante (empleamos normalmente la de una libra por pulgada cuadrada, elegida tan sólo para comparar con resultados de autores americanos). Después de ello, se hace llegar agua hasta la muestra, y se mide el levantamiento del pistón que la acción de la humedad produce.

En el segundo experimento, la disposición de la muestra es análoga, pero no se permite que el pistón se levante, y, en cambio, se mide la presión que la muestra desarrolla contra el pistón. Esta es la "presión de entumecimiento para entumecimiento nulo". Progresivamente, se va levantando el pistón, midiendo al mismo tiempo la presión, que va descendiendo. De esta forma, se hallan las curvas *entumecimiento-presión de entumecimiento*, algunas de las cuales se hallan representadas en la figura 5.<sup>a</sup>

Hemos comparado los resultados de estos ensayos con los más sencillos a los que antes nos hemos referido, y la concordancia no ha sido siempre buena. En la tabla del final de este artículo podemos ver algunos ejemplos típicos.

De estos ensayos se extraen no tan sólo indicaciones sobre el peligro de levantamiento que la arcilla presenta, sino datos numéricos concretos, esenciales para el proyecto de la cimentación y, como en un próximo artículo veremos, del mismo edificio.

En efecto, si la cimentación produjese, en cada punto de la masa de suelo situado debajo de ella, una presión igual a la presión de entumecimiento para entumecimiento nulo, no habría levantamiento. Sin embargo, esto es difícil y con frecuencia imposible, ya que la presión del cemento se distribuye rápidamente en el terreno, y desaparece prácticamente a poca profundidad. A una profundidad igual a vez y media el ancho de un cimiento la influencia del cemento es prácticamente nula.

Sin embargo, es casi siempre teóricamente posible llegar a una solución de cimentación que no pueda sufrir levantamiento alguno, aumentando la presión unitaria de tal forma que los levantamientos de las capas inferiores sean compensados con los asientos de las superiores. En la práctica, resulta a veces que la presión necesaria es demasiado eleva-

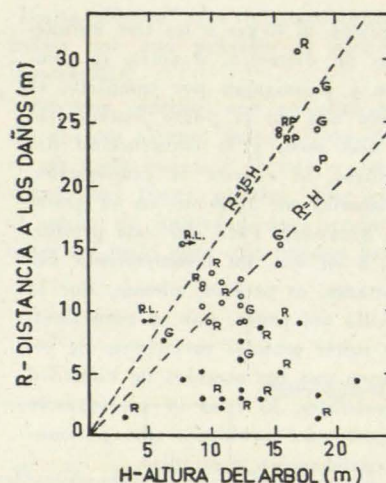


FIG. 6.—Distancia a la que se han producido daños por las raíces de los árboles, según Ward (4). Los círculos corresponden a casos detalladamente investigados, y expresan la máxima distancia a la que se ha dejado sentir la influencia de las raíces. Los puntos llenos corresponden a casos simplemente notificados y expresan la distancia mínima entre el árbol y el edificio dañado. R = hilera de árboles. G = grupo de más de cuatro árboles. P = el área entre el árbol y el edificio está pavimentada. L = árboles muy podados (su altura actual es artificial, y menor que la correspondiente a su desarrollo radicular).

da para tener una seguridad suficiente desde otro punto de vista, desde el punto de vista del hundimiento, pero de todas formas puede llegarse, mediante tanteos, a una solución en la que el levantamiento posible sea muy pequeño. Esto se encuentra para nosotros facilitado por el hecho de que en España es frecuente que la capa intumesciente no sea muy profunda, o al menos, que las presiones de entumecimiento bajen rápidamente al aumentar la profundidad, cosa que no ocurre ni en Tejas ni en Sudáfrica.

Sin embargo, y por muchas precauciones que se tomen, con un suelo de esta clase, nunca se podrá estar seguro de que la estructura no va a sufrir levantamientos desiguales. En efecto, los ensayos demuestran, en todas las áreas que hemos estudiado, que la presión de entumecimiento varía mucho de un punto a otro, por lo cual, aun cuando tomemos un gran número de muestras y hagamos un gran número de ensayos, nunca podremos estar seguros de la realidad en la aplicación de nuestros cálculos. Por ello, es imprescindible tomar, en estos casos, medidas constructivas, de las cuales



nos ocuparemos en un próximo trabajo, para no abusar hoy de la hospitalidad que amablemente nos presta esta Revista.

#### CAUSAS SECUNDARIAS DE LEVANTAMIENTOS

No queremos dejar ahora, sin embargo, de citar algunas causas de movimientos en terrenos de arcillas expansivas, que escapan del cuadro general que anteriormente hemos descrito.

Las dos que se encuentran con más frecuencia son los escapes de agua y la vegetación.

En primer lugar, toda fuga en las cañerías de alimentación o desagüe de un edificio cimentado sobre un terreno de esta clase producirá, por razones obvias, un levantamiento que puede ser grave. También ha de tenerse mucho cuidado con los desagües de aguas pluviales.

En segundo lugar, toda vegetación debe ser proscrita de las inmediacio-

nes del edificio. En efecto, la vegetación consume mucha agua, y mantiene al terreno en un estado de humedad próximo al llamado "punto de marchitamiento", que no está muy alejado del "punto lentocapilar" de que antes hemos hablado. Resulta así que, mientras bajo el centro del edificio el terreno aumenta de humedad, en las zonas próximas a él se mantiene el grado original de desecación, y la transición es más violenta y desigual. En otras ocasiones, la vegetación, de un tipo inadecuado para el clima árido, necesita riegos frecuentes, y son estos riegos los que originan levantamientos, que no pueden ser concordantes con los del centro del edificio, y también producen grietas.

Pero las averías más importantes se producen por las plantas arbustivas o los árboles, cuyas raíces, muy potentes, alcanzan a mucha distancia, y se introducen por debajo de los cimientos.

Una regla empleada corrientemente es la de suponer que las raíces

de un árbol pueden extenderse a una distancia equivalente a su altura. Sin embargo, en Inglaterra se han llevado a cabo investigaciones según las cuales esta suposición peca de optimista, puesto que algunas veces los efectos pueden aparecer a una distancia hasta el doble de la altura del árbol.

En la figura 6.<sup>a</sup> se resumen los resultados de estas investigaciones. Puede apreciarse que los daños se extienden a mayor distancia cuando los árboles están plantados en hileras, ya que entonces las raíces se encuentran, y tienden a extenderse lateralmente, en dirección al espacio libre. El mismo efecto se produce cuando existe un pavimento impermeable sobre el área de desarrollo radicular.

Por último, deseo hacer constar mi agradecimiento a los químicos del Laboratorio del Transporte, señores Serratosa y Viñas, que me han ayudado fundamentalmente en la obtención de los datos de suelos españoles que figuran en este artículo.

Procedencia y número de la muestra	Entumecimiento para 1 lib/pul <sup>2</sup> %	Presión de entumecimiento kg/cm <sup>2</sup>	Límite de retracción	Límite líquido	Índice de plasticidad	Entumecimiento libre %	Humedad natural H. N. %	Límite plástico L. P.	H. N. L. P.
Ecija 9093 .....	22,6	6,80	10,4	66,6	40,6	—	20,9	26,0	0,80
Ecija 8908 .....	13,2	2,87	7,9	58,6	37,9	—	16,1	20,7	0,78
Morón 7822 .....	12,1	5,01	12,1	49,1	28,1	80	8,7	21,0	0,41
Morón 7813 .....	5,7	1,60	10,5	42,0	23,2	70	10,6	18,8	0,56
Heliópolis 9150 .....	5,7	1,53	—	58,0	38,6	—	22,3	19,4	1,15
Bornos 10421 .....	4,1	0,72	16,0	74,8	47,3	60	31,6	27,5	1,15
Morón 7817 .....	1,8	0,55	14,4	30,9	15,4	50	13,1	15,5	0,85
Bornos 10419 .....	1,6	0,11	18,3	69,0	42,3	60	31,3	26,7	1,17
Ecija 9322 .....	1,0	0,16	12,2	67,9	41,3	—	34,8	26,6	1,31
S. Pablo 6512 .....	0,0	0,0	11,5	42,0	21,7	—	30,8	20,3	1,52
Cornatel 5692 .....	0,0	0,0	—	26,9	11,0	—	13,1	15,9	0,82

#### REFERENCIAS

(1) R. F. Dawson: "Movement of small houses erected on an expansive clay soil". Memorias del III Congreso Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones, Zurich, 1953. Vol. I, pág. 346.

(2) J. A. Jiménez Salas, J. M. Serratosa, y M. Sobreviola: "Swelling clays". Memorias del X Cong. de la Asociación Int. Permanente de Congresos de Carreteras. Estambul, 1955. Separata 19.

(3) J. A. Jiménez Salas: "Report on the conditions of the strata of black clay at Moron Air Base (Spain)". Madrid, 1955. (No publicado.)

(4) W. H. Ward: "Soil move-

ment and weather". Memorias del III Congreso Internacional de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones, Zurich, 1953. Vol. I, pág. 477.

(5) J. E. Jennings: "The heaving of buildings on desiccated clay soils". Municipal affairs. Pretoria, 1953. Volumen XVIII, núm. 215 y 216.

(6) B. A. Kantley y G. W. Donaldson: "Preliminary report on level observations at Leeuhoof, Vereining". Boletín núm. 9 del National Building Research Institute, Pretoria, 1952.

(7) J. A. Jiménez Salas, y J. M. Serratosa: "Compressibility of clays". Memorias del III Cong. Int. de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Cimentaciones, Zurich, 1953. Vol. I, página 192.

(8) I. Th. Rosenqvist: "Investigations in the clay-electrolyte-water system". Publicación núm. 9 del Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, 1955.

(9) G. M. Bolt: "Physico-chemical analysis of the compressibility of pure clays". Geotechnique, Londres, 1956, vol VI, pág. 86.

(10) W. T. Altmeyer: "Discussion sobre la Memoria núm. 516". Memorias de la American Society Civil Engineers, 1955, vol. LXXXI, página 658-17.

(11) W. G. Holtz, y H. J. Gibbs: "Engineering properties of expansive clays". Memorias de la American Society Civil Engineers, 1954, volumen LXXX, pág. 516-4.