

Sobre la edificación en arcillas expansivas

Jesús Llorca Aquesolo, ingeniero de caminos

478-5

sinopsis

En este artículo se estudian los diferentes problemas que plantea la edificación en arcillas expansivas, los cuales, hoy en día, no tienen una respuesta todo lo completa y precisa que necesitarían los constructores.

La falta de métodos teóricos que nos permitan obtener resultados fiables sobre la posible peligrosidad de un suelo expansivo y el hecho de que, con el estudio del terreno mediante ensayos de laboratorio —especialmente cuando éstos se hacen con muestras inalteradas— se consiguen ciertos resultados importantes pero incompletos, nos llevan a la conclusión de que el análisis de la experiencia local de edificación y de los daños y deformaciones de las obras existentes, así como las mediciones de campo, constituyen la mejor información sobre la posibilidad y el modo de construir en este tipo de suelos.

1. INTRODUCCION

El fenómeno de la expansividad de los suelos arcillosos, al que hasta hace relativamente poco tiempo se le prestaba escasa atención en el país, ha pasado, en los últimos años, al primer plano de la actualidad geotécnica.

Si este problema pasaba antes desapercibido en la mayor parte de las obras, llegando a edificarse urbanizaciones, poblados y demás construcciones sin conocimiento del mismo (incluso en los Estudios Geotécnicos pocas veces se planteaba su existencia), ahora es raro encontrar un suelo arcilloso que no se identifique como potencialmente expansivo.

Actualmente se reconocen como peligrosos para la construcción, por su potencial expansivo, hasta los suelos sobre los que se ha edificado tradicionalmente y donde no se conoce la existencia de síntomas que puedan evidenciar la necesidad de medidas especiales. Estudios Geotécnicos recientes identifican como suelos expansivos (y, consecuentemente, recomiendan distintas medidas destinadas a contrarrestar ese efecto), por ejemplo, no sólo las arcillas gris-verdosas del antiguo Madrid (calles Embajadores, Toledo y otras), sino hasta los bien conocidos niveles superiores del «TOSCO» madrileño.

Estas conclusiones se hacen, por lo general, de acuerdo con los resultados del reconocimiento habitual del terreno, con ensayo de muestras en el laboratorio. Sin embargo, pasa desapercibido el hecho de que, en muchos casos, se trata de zonas edificadas desde hace siglos, y que sobre esos suelos se han levantado edificios y construcciones en general de todo tipo y de las más variadas características. No se hacen las debidas conclusiones del hecho de que muchos de los edificios existentes se encuentran en servicio, en buen estado de conservación, hace ya cientos de años, sin deformación ni daños que, de existir, hubiesen orientado sobre la peligrosidad del terreno a causa de sus importantes cambios de volumen.

El hecho de que un suelo arcilloso se reconozca como potencialmente expansivo por su composición mineralógica, granulometría, límites de consistencia, etc., sólo constituye una parte del problema, pues para que se produzca ese hinchamiento o retracción del suelo, aún tienen que coincidir numerosos factores, tanto naturales como debidos a la actividad del hombre. Todos estos factores, actuando en mayor o menor proporción, controlan el equilibrio de humedad del suelo, del que en definitiva dependen sus cambios de volumen.

Lo antes indicado no merecería atención si se tratase de casos aislados. Pero, como muestra la experiencia, este problema se ha generalizado en el país, pudiéndose encontrar situaciones análogas a las descritas con mayor frecuencia cada día, tanto en Madrid como en distintas zonas de Andalucía y en otros lugares del sur del país.

Vaya por delante que lo indicado se refiere al caso concreto de edificación en zonas urbanizadas, ciertamente las de mayor interés práctico por ser donde más se construye, aunque también se puede extender a todos aquellos lugares donde existe alguna experiencia de construcción en general.

En estas zonas son cada día más frecuentes los casos en los que se observa una bien definida contradicción entre las conclusiones y recomendaciones de los Estudios Geotécnicos y las que se podrían y debieran hacer de la experiencia de edificación, en lo referente a los problemas que puede presentar la expansividad de los suelos.

El perjudicado con este estado de cosas es el responsable técnico de la obra, a quien en algunos casos le resulta difícil aceptar la idea de que en suelos sobre los que él mismo ha edificado sin precauciones especiales, ahora le señalen la necesidad de tomar medidas contra algo que, por su propia experiencia, cree innecesario. En otros casos, aun cuando acepta la posible expansividad del terreno, se ve ante la difícil situación de decidir el conjunto de medidas mínimas imprescindibles, necesarias en cada caso particular. Las preguntas que surgen, una vez identificado un suelo como expansivo, son interminables: ¿Es suficiente una cimentación especial o hay que reforzar la propia estructura? ¿Cómo disponer las juntas de dilatación-asentamiento? ¿Solera sobre el terreno, independiente de la estructura, o forjado de planta baja?, etc.

Hay que reconocer que, en este caso particular, los geotécnicos no estamos a la altura de las circunstancias, ya que normalmente nos limitamos a identificar los suelos por su grado de expansividad y a enumerar todas las posibles medidas habidas y por haber, entre las que el encargado técnico de la obra se ve obligado a elegir las que considere necesarias, con frecuencia sin un criterio bien definido para ello.

Sobre este problema, de gran actualidad, al que en mi opinión no se le ha dado el más adecuado enfoque, quisiera hacer algunos comentarios, dejando por entendido que se trata de una opinión particular.

2. SOBRE EL ESTUDIO DE LOS SUELOS EXPANSIVOS

Es importante el esfuerzo que se ha hecho en los últimos años para el estudio de los problemas que presentan los suelos expansivos en la edificación, principalmente en los países probablemente más afectados por este fenómeno, tales como Africa del Sur, Israel, Australia, U.S.A. y otros.

En general estos adelantos se refieren principalmente al estudio teórico del porqué de la expansividad de los suelos, a la definición de las propiedades de los suelos que presentan peligrosidad para la construcción y a la deducción de fórmulas e índices que permitan la identificación de esos suelos.

Sin embargo, cara al objetivo principal que se persigue, el cual constituye en definitiva la razón que motiva todo ese esfuerzo —cómo construir en suelos expansivos—, existe una evidente laguna, debida a que los resultados de esas investigaciones y estudios no llegan frecuentemente a tener la aplicación práctica que de ellos se espera.

Los caminos que se pueden seguir para obtener la información necesaria son, en términos generales, dos: el reconocimiento del terreno mediante sondeos, con ensayo de muestras en el laboratorio y el análisis de la experiencia local de edificación junto a ensayos y mediciones de campo.

Pues bien, la situación antes descrita es debida, en mi opinión, a que se sobrevaloran las posibilidades actuales de los métodos tradicionales de reconocimiento del terreno con ensayos de muestras en el laboratorio, y, sin embargo, se olvida la experiencia local de construcción.

Sin poner en duda la importancia del reconocimiento del terreno para este fin, ni aun menos las perspectivas de la Geotecnia en este campo, hay que reconocer que, hoy por hoy, la mejor y más completa información que se puede obtener a efectos prácticos, sobre cómo construir en suelos expansivos, está en el análisis de la experiencia local de edificación y en las observaciones y mediciones de campo en cada caso particular.

En efecto, con el reconocimiento habitual del terreno se pueden definir las propiedades expansivas de un suelo, pero éstas constituyen sólo la primera parte de la respuesta a este difícil problema; la segunda, y no menos importante, consistente en estimar si durante los años de vida de una construcción se pueden dar las condiciones necesarias para que se manifieste esa supuesta expansividad del terreno. Esta segunda parte no tiene hoy más respuesta que a través del análisis de la experiencia local de edificación y de los posibles daños y deformaciones de las construcciones.

Normalmente, en los suelos bajo las construcciones se establece, con el tiempo, un nuevo equilibrio de humedad, con unas variaciones a lo largo del año que dependen de numerosos factores, unos de los cuales son naturales (el terreno, las condiciones topográficas e hidrogeológicas y, finalmente, el clima) y otros debidos a la actividad del hombre (urbanísticos, constructivos, relacionados con la vegetación, etc.).

Generalmente, la combinación de suelos arcillosos sobreconsolidados, con frecuencia terciarios, con climas semiáridos o áridos, suele dar las condiciones más favorables para importantes cambios de volumen del suelo.

En lo que respecta a España, es bien conocida la abundancia del tipo de suelos indicado. El clima semiárido y árido del país también es claramente favorable para el desarrollo de las propiedades expansivas del suelo. Así, según el Mapa Agronómico Nacional, la falta de agua es general para casi todo el país, teniendo como tendencia su aumento de norte a sur. El déficit medio anual de precipitación es del orden de los 400 mm en la provincia de Madrid, y llega a superar los 700 mm en algunas localidades de Andalucía y Murcia.

Si bien los factores naturales mencionados son más o menos fijos para cada lugar determinado, los debidos a la actividad del hombre variarán en función de qué y cómo se construya. En este aspecto del problema, todos los detalles son importantes, desde la distribución y orientación de los edificios en planta y sus formas y dimensiones, hasta el ancho de las aceras y los tipos de árboles que se planten junto a estas construcciones. Todos estos factores influyen en el equilibrio de la humedad del suelo.

Independientemente de la importancia de cada uno de los factores naturales o artificiales en el establecimiento de ese equilibrio de humedad, no existen métodos que permitan valorar la influencia del conjunto de los mismos. Por ello, el único camino que se puede seguir está en el análisis de la experiencia local de edificación. Los edificios y construcciones que han pasado la prueba del tiempo, aunque con mayor o menor fortuna, son los mejores testigos que hablan sobre la importancia de la supuesta expansión del suelo en términos muy concretos.

No cabe duda de que el estudio más completo de un suelo sería el que reuniese en sí ambas posibilidades. Pero sea por la razón que fuere, en la práctica actual los Estudios Geotécnicos se basan, en su mayor parte, en los ensayos de muestras en el laboratorio, despreciando esa frecuentemente gran experiencia que se puede sacar de los edificios existentes.

Para mejor entendimiento de las posibilidades actuales de cada uno de estos métodos, vale la pena analizarlos, aunque sea someramente.

3. ENSAYO DE MUESTRAS DE TERRENO EN EL LABORATORIO

Los numerosos métodos y ensayos propuestos para este fin por distintos autores, se pueden clasificar en dos grupos, según se hagan sobre muestras alteradas o inalteradas.

1. Ensayos con muestras alteradas.

1a. *Métodos basados en la utilización de los resultados de los ensayos de identificación.*

Estos ensayos se hacen habitualmente para la determinación de las propiedades físicas de los suelos, independientemente del problema de la expansividad. Los principales son: los límites de Atterberg (W_L , W_p , I_p); el límite de retracción (W_s), el peso específico seco (γ_d), el contenido coloidal o de partículas que pasan por un tamiz determinado y los distintos estados de humedad natural del terreno (W).

Así, por ejemplo, pueden acusar un grado de expansividad muy alto:

- Los suelos que tienen un contenido coloidal $> 28\%$; $I_p > 35$; $W_s < 11$; valores éstos obtenidos por Holtz y Gibbs con unas arcillas de California (U.S.A.).
- Los suelos con un porcentaje de finos que pasa por el tamiz 200 superior al 35%; $W_L > 60$; $\gamma_d > 1,75 \text{ g/cm}^3$; $W < 15$, según la experiencia de CHEN basada en su trabajo en la zona de ROCKY MOUNTAIN (U.S.A.).

1b. *Métodos basados en la determinación de índices que se deducen de distintas combinaciones de los parámetros anteriores.*

Entre éstos, los más conocidos son: la actividad coloidal del suelo, que se define como

$\frac{I_p}{\% < 2 \mu}$ y los índices que relacionan las distintas humedades del suelo, con los límites de consistencia W/W_p , W/W_L , $\frac{W - W_p}{I_p}$ u otros.

SKEMPTON estableció que pueden ser altamente expansivos los suelos con una actividad coloidal superior a 1,25. Datos más recientes indican, sin embargo, que pueden ser bastante expansivos los suelos con una actividad coloidal del orden de 0,6. VIJAYVERGIYA y GHAZZALY establecieron que con valores del índice W/W_L inferiores a 0,25, las arcillas de Israel y USA analizadas tienen un potencial expansivo muy alto. Asimismo, se consideran muy peligrosos índices de desecación W/W_p menores de 0,6. SOWERS, por su parte, considera que las arcillas de alta plasticidad no entumescen si su contenido inicial de humedad corresponde a un índice de fluidez $\frac{W - W_p}{I_p} \geq 0.2$.

1c. *Métodos basados en ensayos especiales para definir la expansividad de los suelos.*

Los ensayos más conocidos de éstos son el de «Expansión potencial por sedimentación o volumen de sedimentación» y el de «Cambio potencial del volumen o hinchamiento Lambe». El primero de estos ensayos fue propuesto en los comienzos del estudio de las arcillas expansivas y hoy día carece de interés práctico alguno.

El ensayo Lambe, sin embargo, ha adquirido una gran divulgación en el país, e incluso se ha incluido en las recientes normas NTE-CEG «Estudios Geotécnicos». La clasificación de los suelos por su cambio potencial de volumen, según este ensayo, en: no crítico, marginal, crítico y muy crítico, es suficientemente bien conocida, por lo que no se comenta con más detalle.

En este grupo se pueden incluir también los ensayos de hinchamiento libre, presión de hinchamiento y ensayo edométrico que se mencionan más adelante, si se hacen con muestras alteradas.

Al igual que en los casos anteriores, se han propuesto también numerosas fórmulas empíricas con las que se pretende relacionar distintos parámetros del suelo con el fin de determinar su capacidad de expansión.

Según SEED y otros, para suelos naturales remoldeados, el hinchamiento libre, S en %, se puede relacionar con el índice de plasticidad como sigue:

$$S = 2,16 \times 10^{-3} \times (I_p)^{2,44}$$

RANGANATHAN y SATYANARAYANA encontraron, para los «black cotton soils» de la India, que el hinchamiento libre se podía relacionar con los límites líquido y de retracción:

$$S = 41,13 \times 10^{-5} (W_L - W_p)^{2,67}$$

McDOWELL definió para unas arcillas de Texas la presión de hinchamiento P_h a través del índice de plasticidad:

$$P_h = 0,5 I_p - 5$$

Más recientes (1973) son las relaciones encontradas por VIJAYVERGIYA y GHAZZALY para unos suelos de Israel y USA:

$$\lg_{10} S = \frac{1}{12} (0,4 W_L - W + 5,5)$$

$$\lg_{10} P_h = \frac{1}{12} (0,4 W_L - W - 0,4)$$

2. Ensayos con muestras inalteradas

En este grupo se pueden incluir principalmente tres ensayos: hinchamiento libre, presión de hinchamiento y ensayo edométrico. Son, indudablemente, los más precisos y completos ensayos de laboratorio, pero tienen el inconveniente de no estar normalizados, por lo que la interpretación de los resultados, si no se especifican con detalle todos los pormenores del ensayo, es propensa a confusiones.

En efecto, por una parte se utilizan simultáneamente distintas modalidades o variantes de estos ensayos; así, por ejemplo, el mismo término «presión de hinchamiento» oculta distintos sentidos: en unos casos se entiende como la presión que impide la expansión; en otros, como la presión necesaria para recuperar el volumen inicial de la muestra después de hinchar ésta libremente. Por otra parte, los resultados de estos ensayos no solamente dependen del tipo de aparato que se utiliza, del diámetro de la muestra, del agua que se usa para saturarla, etc., sino también de la habilidad y la experiencia del operador que realice el ensayo.

Podría objetarse que lo antedicho se puede referir igualmente a cualquier otro ensayo mecánico usual; ciertamente, pero si en los ensayos habituales se obtienen resultados normalmente inferiores a los reales, por la inevitable alteración parcial de las muestras y los factores antes indicados, en los ensayos para definir la expansividad de los suelos esos mismos factores nos sitúan del lado de la inseguridad. Por ejemplo, los módulos edométricos de arcillas sobreconsolidadas pueden llegar a ser hasta seis y más veces inferiores a los medidos con ensayos de carga in situ. Esto, sin embargo, no es motivo de especial preocupación, pues nos pone del lado de la seguridad en la evaluación de asientos ya que los reales serán menores que los de cálculo; sin embargo, los movimientos previstos con los datos de hinchamiento libre y la presión de hinchamiento de las mismas arcillas serán inferiores a los reales.

En ensayos con muestras inalteradas, HOLTZ y GIBBS califican las arcillas de California ensayadas con un grado de expansividad muy alto si registran, al saturarlas, un aumento de volumen superior al 30%. Este ensayo se refiere a muestras secadas al aire. CHEN, por su parte, califica los suelos de ROCKY MOUNTAIN ensayados como altamente expansivos si sufren, al saturarlos, un cambio de volumen superior al 10% y/o una presión de hinchamiento superior a los 10 kg/cm². Este último ensayo se refiere a la presión necesaria para recuperar el volumen inicial de la muestra, después de hinchada bajo una carga de 0,5 kg/cm² durante 24 horas.

Finalmente, dado que los resultados de estos ensayos aislados se reconocen comúnmente como poco concluyentes, varios autores proponen la interpretación conjunta de distintos ensayos, admitiendo que para que se produzca el fenómeno de hinchamiento han de coincidir varios de estos resultados. En ese aspecto, la más conocida y usada en el país es la tabla de HOLTZ y GIBBS, en la que se resumen los resultados de los ensayos realizados (por cierto con sólo 38 muestras) con unas arcillas de California, y la tabla de CHEN, en la que resume su experiencia de años de estudio de los suelos de ROCKY MOUNTAIN (U.S.A.):

ESTIMACION DE LOS PROBABLES CAMBIOS DE VOLUMEN DE LOS SUELOS EXPANSIVOS (SEGUN HOLTZ Y GIBBS)

Contenido coloidal % 0,001 mm	Indice de plasticidad	Límite de retracción	Expansión probable. Cambio volumétrico en % (seco a saturado)	Grado de expansión
> 28	> 35	< 11	> 30	muy alto
20-13	25-41	7-12	20-30	alto
13-23	15-28	10-16	10-30	medio
< 15	< 18	> 15	< 10	bajo

(SEGUN CHEN)

% que pasa por tamiz 200	Límite líquido	S.P.T.	Expansión probable. Cambio de volumen en %	Presión de hinchamiento kg/cm ²	Grado de expansión
> 35	> 60	> 30	> 10	> 10	muy alto
60-95	40-60	20-30	3-10	2,5-10	alto
30-60	30-40	10-20	1-5	1,5-2,5	medio
< 30	< 30	< 30	< 1	0,5	bajo

Como se puede observar, la diversidad de parámetros, índices y criterios que se utilizan para la identificación de la expansividad de los suelos es enorme, lo que, en cierto modo, constituye una buena muestra de la escasa precisión de todos estos métodos.

La pregunta que surge aquí es ¿en qué medida pueden ser útiles los resultados de estos ensayos? Pero antes de contestar a esta pregunta analizaremos la segunda parte que, en mi opinión, debería contener todo Estudio Geotécnico.

4. EXPERIENCIA LOCAL DE EDIFICACION

En los lugares donde se ha edificado desde antaño, existe normalmente una tradición en la construcción, de acuerdo con la cual se han elaborado unos tipos específicos de construcción para cada zona con unas características determinadas, así como toda una serie de medidas dictadas por la práctica que colaboran a que las viviendas sean más seguras y duraderas.

El propio hecho de que el hombre eligiera un lugar determinado para su vivienda ya es, por sí mismo, indicativo de que ese lugar reunía mejores condiciones que otras zonas, incluso vecinas; en unos lugares el hombre se protegía de las inundaciones, en otros de los vientos huracanados, y en los terceros (¿por qué no?) de los suelos peligrosos para sus casas por sus importantes cambios de volumen.

Hay lugares donde, a pesar de todo ello, las viviendas sufrían daños, o se encontraban soluciones eficaces y económicas o se abandonaban dichos lugares.

Un buen ejemplo de lo indicado lo constituye el emplazamiento de numerosos pueblos y casas rurales andaluzes, así como los tipos de construcción utilizados y las medidas especiales adoptadas en la edificación sobre suelos expansivos.

Lo mejor que se puede hacer cuando se construye en esos lugares es seguir la experiencia elaborada durante decenas y cientos de años. Máxime cuando, como norma general, las construcciones modernas son más pesadas que las antiguas, y los materiales de construcción actuales son más resistentes, factores estos que favorecen a las nuevas construcciones.

Despreciar esa experiencia normalmente conlleva un alto precio. El coste de los trabajos necesarios para conseguir la integridad y funcionalidad de los edificios dañados suele ser comparable, en muchos casos, al de la propia obra.

Como caso anecdótico, hace unos años se construyó una nueva urbanización a las afueras de un pueblo de la provincia de Sevilla. Los vecinos del pueblo conocían, por su propia experiencia, la peligrosidad que ocultaba el suelo de esa zona para la edificación, cosa que pasó desapercibida para los responsables de la nueva obra. Los grandes desperfectos en varias viviendas no se hicieron esperar.

En las grandes urbes se pierde normalmente esa sabiduría popular, esa tradición. Además, las edificaciones de grandes ciudades poco tienen que ver con las antiguas casas que se derriban. Pero, en estos casos, la inspección de las construcciones existentes, con todos sus detalles y, principalmente, el análisis de las causas de las posibles deformaciones y daños, proporciona la mejor muestra sobre el qué y cómo construir en esas condiciones.

La inspección cuidadosa de las deformaciones y daños que afectan a una construcción permite definir, normalmente con suficiente claridad, las causas a que éstos son debidos: el despegue de elementos adosados a los edificios, el agrietamiento de elementos lineales de gran longitud, el abombamiento de los suelos de planta baja, e infinidad de otros detalles, son síntomas que indican la peligrosidad de un suelo. Verdad que cada uno de estos detalles, por separado, puede ser debido a otras causas ajenas a la expansividad; pero todos ellos, en conjunto, constituyen una muestra inequívoca sobre las causas de lo sucedido. El problema reside muchas veces en que el trabajo de inspección requiere la presencia de especialistas con gran experiencia en este campo.

El problema se presenta más fácil cuando existe una experiencia de construcciones relativamente recientes, cuando se conserva la documentación de las mismas e, incluso, cuando se conoce a los especialistas y técnicos que las realizaron, los cuales pueden facilitar una información completa sobre las mismas.

Ahora bien ¿qué se puede decir de los casos en los que esa experiencia de construcción es positiva? Por ejemplo, cuando en las proximidades del solar en estudio e, incluso, en el propio solar existen construcciones de distintos tipos y de las más variadas características, en buen estado de conservación, o, si acusan daños, éstos no son atribuibles a la expansividad del suelo, o cuando inspeccionada una construcción en pie, o presenciado su derribo, se observa que no se tomaron medidas especiales contra los cambios de volumen del suelo, ni durante la construcción, ni posteriormente durante su explotación.

Evidentemente, en estos casos sólo cabe deducir que o los suelos no son expansivos o no se han dado las condiciones necesarias para que se ponga de manifiesto su posible expansividad. En general, y para análogas circunstancias futuras, no hay razón en estos casos para adoptar medidas especiales en las nuevas construcciones, independientemente de lo que se deduzca del ensayo de muestras en el laboratorio, dado que durante la vida de cualquier edificio no se pueden evitar condiciones extremas que pongan de manifiesto los movimientos del terreno por cambios de volumen (importantes sequías, pérdidas de las conducciones subterráneas, vegetación adulta junto a las construcciones, etc.).

Quedan fuera de lo indicado, como es lógico, los casos de nueva construcción para los que se efectúen importantes movimientos de tierras y los edificios que lleven gran número de sótanos con los que se alcanzan niveles de terreno distintos a los superiores, sobre los que descansaban las cimentaciones antiguas.

El caso de la nueva construcción en el antiguo casco urbano madrileño o, ampliando más la zona, en la meseta de la margen izquierda del Manzanares, puede servir como ejemplo de lo indicado. En esta zona se derriban con gran frecuencia antiguos edificios para levantar otros nuevos. La construcción, que podríamos denominar típica madrileña de los siglos pasados, son casas ligeras (entre dos y cinco plantas), sin sótanos, con cimentación superficial de escasa profundidad (correspondiente al espesor de rellenos), estructura reticular de madera y muros de cerramiento de fábrica de ladrillo. Estas construcciones van adosadas unas a otras a lo largo de las calles, con frecuencia sin juntas que las separen.

La inspección de estas casas evidencia que no se contemplaron en ellas medidas especiales relacionadas con los posibles cambios de volumen del suelo, ni durante su construcción ni durante sus largos años de vida. A la hora de su derribo, estas construcciones se encuentran en un estado de conservación muy variado, llegando, en no pocos casos, a una situación de ruina; pero en general no se conocen síntomas que puedan explicar el mal estado de conservación de esas construcciones por las potenciales propiedades expansivas del suelo.

Sin embargo, en no pocos Estudios Geotécnicos para nuevas obras se reconocen esos mismos suelos como potencialmente expansivos y se recomiendan las correspondientes medidas especiales destinadas a contrarrestar ese efecto, medidas que llegan a encarecer sustancialmente la obra.

Curiosamente, cuando se habla sobre la expansividad de los suelos madrileños, se pretende demostrar su importancia con los problemas acaecidos en urbanizaciones y poblados de construcción relativamente reciente, es decir, de los últimos 20 años. Se desprecia, sin embargo, la existencia de construcciones más antiguas y, por supuesto, más representativas cara a los posibles problemas relacionados con la expansividad de los suelos.

En este orden de cosas, opino que son de sumo interés las investigaciones efectuadas en África del Sur por JENNINGS y KERRICH, quienes basándose en las observaciones efectuadas en un gran número de casas levantadas sobre arcillas expansivas, recomiendan efectuar la elección del tipo de cimentación y de las medidas a adoptar en función de la magnitud real de los movimientos del terreno debidos al proceso hinchamiento-deseccación:

Calidad del terreno	Hinchamiento retracción en mm.	Tipo de cimentación y otras medidas
Excelente	0-6	Cimentación corriente.
Bueno	6-12	Cimentación corriente, reforzada.
Satisfactorio	12-50	Juntas de asiento más frecuentes de lo habitual.
Malo	50-100	Cimentación por pilotes con muros de ladrillo, armados.
Muy malo	0-100	Cimentación por pilotes con base ensanchada.

Asimismo, según HOLTZ y GIBBS, son necesarias medidas especiales si los movimientos debidos al hinchamiento-retracción del suelo superan los 20 mm.

Resumiendo este apartado se puede decir que si con el reconocimiento habitual del terreno, con ensayos de laboratorio, se pretende la definición de las propiedades expansivas de un suelo, con la investigación aquí indicada se persiguen dos finalidades fundamentales:

- Determinar si durante los años de vida de un edificio se han dado las condiciones necesarias para que se manifieste la posible expansividad de un suelo.
- Definir el comportamiento de cada una de las construcciones analizadas bajo el efecto de esos movimientos, es decir, comprobar la viabilidad de cada tipo de construcción.

5. COMENTARIO CRITICO A ESTOS METODOS

Aun efectuando mediciones instrumentales sobre el terreno en sus condiciones naturales antes de realizar una obra, no es tarea fácil predecir las variaciones que en el comportamiento del terreno introducirá la nueva construcción, independientemente de la voluntad del hombre.

Las modificaciones del relieve natural de la zona por explanaciones, y de las condiciones hidrogeológicas con excavaciones y obras subterráneas, la variación del régimen de evaporación al cubrir una superficie y plantar árboles o talar los existentes y otros factores, influyen de forma decisiva en la modificación del equilibrio de humedad del suelo.

En zonas urbanas, a las que aquí nos referimos, esta influencia es menor, en especial cuando se construye en sustitución de edificios viejos, y si no se introducen modificaciones de importancia en el entorno de la obra.

En consecuencia, si es difícil predecir el comportamiento del terreno con ensayos in situ, considerablemente más arduo será reproducir las condiciones naturales en el laboratorio.

Desde un punto de vista práctico, es decir, de los problemas que se presentan a los constructores en cada obra a realizar en suelos supuestamente expansivos, son muy problemáticas las posibilidades de definir la peligrosidad expansiva de un suelo mediante ensayos del terreno en el laboratorio. A este respecto, son principalmente poco representativos todos los ensayos que se realizan con muestras alteradas. Obviamente, estos ensayos, hechos con mezclas o pastillas de suelo triturado, secado al horno, tamizado, humedecido, etcétera, poco tienen que ver con el comportamiento del terreno natural.

Evidentemente, a mayor contenido coloidal, mayor proporción de determinados minerales arcillosos, mayor densidad seca, etc., mayores serán las probabilidades, en un principio, de que un suelo sea expansivo. Pero como contrapartida, suelos que se definen por esos ensayos como potencialmente expansivos, pueden igualmente no serlo, o acusar cambios de volumen despreciables para una obra determinada. Para que tenga lugar esa supuesta expansión, como ya se indicó anteriormente, tienen que coincidir numerosos factores que controlan las variaciones de humedad del terreno y su humedad mínima, de los que dependen los cambios de volumen.

Al referirnos a los ensayos de laboratorio, debemos aclarar los distintos conceptos que encubre la expresión «identificación de los suelos expansivos» y la importancia de los resultados de los mencionados ensayos. Bien entendido que estos ensayos pueden ser de gran utilidad para **identificar o distinguir** del resto del terreno las distintas capas o niveles cuya existencia, en una zona dada, se conoce por la experiencia de obras anteriores.

Como ensayos para **identificar o reconocer** un suelo, por su grado de expansividad, sólo sirven para obtener una primera información sobre la posible peligrosidad del suelo, pero, en ningún caso, de estos ensayos se puede deducir la repercusión que tendrá en una obra determinada.

Los ensayos con muestras inalteradas son, con gran diferencia, los que mejor reflejan el comportamiento del terreno al hinchar o retraer, aunque habría que solucionar los inconvenientes antes señalados debidos a la falta de normalización. Sobre estos ensayos cabe señalar, además, que para obtener resultados óptimos habría que ensayar un número suficiente de muestras que permita construir el gráfico que relaciona el hinchamiento con la carga que se aplica.

En la práctica, el reducido número de muestras que se ensaya está normalmente fuera de todos los mínimos admisibles. Así, según se deduce del análisis de numerosos estudios recientes, en la mayoría de los casos se efectúan dos o tres ensayos para definir el grado de expansividad del suelo, siendo abundantes los casos que se limitan al ensayo de una sola muestra.

Parece evidente que, si a la escasa precisión de los parámetros que se utilizan para la identificación de los suelos expansivos, se añade el reducido número de muestras que se ensayan, los resultados de los mismos carecerán de toda representatividad. Hay que reconocer que el ensayo de un número reducido de muestras no es solamente no deseable, sino que puede resultar francamente peligroso. Como bien indica CHEN:

«Hacer pocos ensayos es peor que no hacer ninguno».

Además, al referirnos al potencial expansivo de un suelo, habría que hacerlo con relación a una obra determinada, pues un mismo suelo puede tener una expansividad de importancia para una construcción y despreciable para otra.

6. CONCLUSIONES

Como resumen de lo anteriormente expuesto, podrían deducirse las siguientes conclusiones:

- Los problemas que plantea la edificación en suelos expansivos no tienen, al menos hoy en día, una respuesta todo lo completa y precisa que requieren los constructores.

La labor que se ha hecho en este campo es importante, principalmente en lo que atañe al estudio del fenómeno de expansividad en sí y de las propiedades de los suelos expansivos; pero los resultados de esos estudios no han encontrado aún suficiente aplicación práctica.

- La respuesta más completa a esos problemas estaría en un estudio que recogiese tanto el análisis de la experiencia local de edificación, como el reconocimiento del terreno, con ensayo de muestras en el laboratorio. Sin embargo, por razones difíciles de explicar, se desprecia esa experiencia, cuando debería constituir una parte imprescindible de todo Estudio Geotécnico.

Hoy en día, la falta de métodos teóricos que permitan identificar con rapidez y seguridad la posible peligrosidad expansiva de un suelo para la construcción, hace que el análisis de la experiencia local de edificación y de los daños y deformaciones de las obras existentes, así como las mediciones de campo, constituyan la información más completa y precisa sobre el qué y el cómo se puede, o se debe, construir sobre esos suelos.

- El reconocimiento del terreno con ensayos de laboratorio constituye una parte importante del estudio; pero, como muestra la práctica, la importancia de estos trabajos se ha sobrevalorado, por lo que conviene recordar sus limitaciones.

Los parámetros e índices propuestos para este fin son de gran utilidad para identificar o distinguir del resto del terreno las capas o niveles, cuya peligrosidad es ya conocida por la experiencia de obras existentes.

Como datos para valorar el grado de expansividad de un suelo o, mejor dicho, con el fin de definir su peligrosidad para una construcción determinada, éstos sólo son indicativos de que un terreno puede ser más o menos expansivo.

- La información que abunda en la literatura técnica para identificación de los suelos expansivos y definición de su grado de expansividad es válida para zonas, regiones o unidades geomorfológicas determinadas, y en principio no es aplicable en otras condiciones.

La tabla de HOLTS, por ejemplo, que tanta divulgación ha encontrado, se refiere a unos suelos de California, y que difícilmente podrá ser utilizada para identificar los suelos de otras regiones. Cada uno de estos lugares podrían y deberían tener sus tablas propias.

- Los parámetros e índices que se utilizan para identificar o reconocer un suelo por su grado de expansividad son poco representativos por separado; pero, incluso, aunque coincidan varios de estos valores aumenta poco la representatividad y fiabilidad de esos resultados. Estos no deberían utilizarse como dato único para justificar medidas especiales en la edificación.

- Todos los ensayos que se hacen con muestras alteradas están muy lejos de reproducir el comportamiento del terreno en condiciones naturales, por lo que sus resultados sólo pueden tener un carácter meramente orientativo. Por ello, se debería dar preferencia a los ensayos de identificación que se hacen independientemente del problema de expansividad (límites de consistencia, peso específico seco, granulometría, etc.), ya que los ensayos especiales ideados para este fin (volumen de sedimentación, cambio potencial de volumen o hinchamiento Lambe) poco añaden, a efectos prácticos, a la información que se obtiene con los ensayos anteriores. En este orden de cosas, no creo que la inclusión del ensayo de hinchamiento Lambe en las normas NTE-CEG haya resultado óptimo, dado que de reconocer la necesidad de ejecución de ensayos especiales, éstos deberían elegirse entre los que se hacen con muestras inalteradas.
- Los ensayos que se hacen con muestras inalteradas son los que proporcionan los resultados más representativos; pero su interpretación se ve dificultada por la falta de normalización. Por ello, junto a los resultados conviene especificar todos los pormenores del ensayo.
- Lo antedicho se refiere a zonas donde existe experiencia de edificación. Pero, incluso en terrenos vírgenes, no hay que olvidar las posibilidades que ofrecen las observaciones y mediciones de campo. En este orden de cosas, entiendo que es de gran interés práctico el estudio de JENNING y KERRICH, en el que se relacionan el tipo de cimentación a utilizar y otras medidas con los movimientos de la superficie del terreno, medidos in situ.

résumé

A PROPOS DE L'EDIFICATION SUR DES ARGILES EXPANSIVES

Jesús Llorca Aquesolo, ingénieur des Ponts et Chaussées

Dans cet article, l'auteur fait l'étude des différents problèmes posés par l'édification sur des argiles expansives. Ces problèmes n'ont pas une réponse aussi complète et précise que les constructeurs demanderaient.

Le manque de méthodes théoriques permettant d'obtenir des résultats de confiance sur le possible danger d'un sol expansif et le fait que, avec l'étude du terrain moyennant des essais de laboratoire —particulièrement lorsque ceux-ci sont faits sur des échantillons inaltérés—, on obtient certains résultats importants mais incomplets, font en arriver à la conclusion que l'analyse de l'expérience locale d'édification et des dommages et déformations des ouvrages existants, ainsi que les métrages, constituent la meilleure information sur la possibilité et la façon de construire sur ce type de terrains.

summary

ABOUT BUILDING ON EXPANSIVE CLAY

Jesús Llorca Aquesolo, Roads Engineer

The different problems that building on expansive clay presents are studied in this article and which do not have as complete and precise an answer as builders would need today.

The lack of theoretical methods that would allow us to have feasible results about the possible danger of an expansive soil, and the fact that with land studies using laboratory tests — especially when these are made with inalterable samples — certain important results are obtained, but they are incomplete, and bring us to the conclusion that the analysis of local building experience and of the damages and deformations of the existing works, and also field measurements constitute the best information over the possibility and way of building on this kind of soil.

zusammenfassung

BAUARBEITEN AUF EXPANSIV-LEHMBOEDEN

Jesús Lorca Aquesolo, Strassenbauingenieur

In diesem Artikel werden die verschiedensten Probleme, die sich bei Bauarbeiten auf Expansivlehmböden ergeben, behandelt. Für diese Probleme gibt es gegenwärtig noch keine so vollständige und genaue Lösungen, wie sie von den Bauunternehmern benötigt werden.

Der Mangel an theoretischen Methoden, die uns gestatten würden, zuverlässige Ergebnisse über die mögliche Gefährlichkeit eines Expansivbodens zu bekommen, und die Tatsache, dass beim Studium des Geländes durch Laboratoriumsversuche — besonders wenn dieselben mit unveränderten Proben durchgeführt werden — gewisse bedeutsame, wenn auch unvollständige Ergebnisse erzielt werden, lassen den Schluss zu, dass das Studium der örtlichen Bauverfahren und der Schäden und Verformungen an den bestehenden Bauwerken, sowie Feldmessungen die beste Information über die Möglichkeit und die Art des Bauens auf derartigen Böden darstellen.