

UN CASO DE RECALCE EN SUELOS EXPANSIVOS⁽¹⁾

A. URIEL (*)
L. ORTUÑO (*)
J. PUEBLA (*)

RESUMEN. Parte de un colegio cimentado sobre un suelo expansivo ha sufrido asentamientos excesivos y severos daños. El terreno consiste en arcilla margosa de alta plasticidad con presiones de hinchamiento de hasta 875 kPa. El colegio fue cimentado a una profundidad de 2,5 m, siguiendo la tradición. Las pérdidas de agua del sistema de saneamiento de los lavabos de la planta baja atrajeron muchas raíces de acacias próximas. Los lavabos fueron clausurados después de varios años, en coincidencia con un largo período de sequía, y las raíces desecaron muy profundamente el terreno, dando lugar a grandes asentamientos. Los árboles han sido ahora talados y el período seco se ha terminado, de tal manera que deben esperarse movimientos de expansión subsiguientemente. Se describen las medidas de remedio por medio de pozos profundos de hormigón. Transmiten altas presiones al suelo a fin de impedir el incremento de volumen bajo ellos. También, los pozos y las nuevas vigas de hormigón armado que descansan sobre ellos están aisladas del terreno y de las antiguas cimentaciones.

ABSTRACT. Part of a school built on an expansive soil has undergone excessive settlement and has been severely damaged. The terrain is made up of marly clay of considerable plasticity with swelling pressure up to 875 kPa. The foundations were laid at a depth of 2,5 m, as per usual. Water leaking from the plumbing system of the ground-floor toilets attracted the roots of acacias growing nearby. The toilets were closed after various years, at the time of a prolonged drought and the acacia roots were responsible for drying up the ground and this in turn caused extensive settlement. The trees have since been chopped down and the period of drought has come to an end, so subsequent expansion can be expected. Corrective treatment using deep wells of concrete are described. They transmit considerable pressure on the ground, with a view to preventing an increase in the underlying volume. In addition, the wells and the new reinforced concrete beams that lie upon them are separated from the immediate vicinity and the old foundations.

1. INTRODUCCION

El caso aquí descrito se refiere a un edificio para colegio, de tres plantas, una parte del cual resultó seriamente dañada, habiendo sufrido un proceso de deterioro desde su construcción en la década de los cincuenta. El colegio fue cimentado sobre suelos expansivos siguiendo las tradiciones de la región; es decir, penetrando unos pocos metros en el subsuelo a fin de evitar los cambios de volumen del suelo debidos a las variaciones estacionales de humedad. No obstante, se produjeron grandes asentamientos y un desplome claramente notable en una sección del edificio, junto con un agrietamiento asociado de las fachadas y los tabiques interiores. La parte del colegio afectada hubo de ser cerrada como resultado de las protestas de los padres de los alumnos.

Se llevaron a cabo prospecciones geotécnicas y se aclararon las razones de los asentamientos de esa parte del edificio. En lo que sigue, se describen el análisis del problema y las medidas de remedio.

2. DESCRIPCION DEL SITIO («ENFOQUE GEOHISTORICO»)

El colegio está situado en las afueras de Ubeda, una ciudad andaluza muy antigua fundada por los romanos. El en otro tiempo fortificado centro de la ciudad se levantó sobre una colina de arenisca sana y, por tanto, sus edificios históricos no han sufrido problemas de cimentación. Esa colina fue, obviamente, un lugar estratégico, pues domina dos de los más importantes y fértiles valles del Sur de España: los valles de los ríos Guadalquivir y Guadalhorce.

Después de los romanos, durante la interminable guerra entre árabes y cristianos, Ubeda alcanzó su mayor población (más de cien mil habitantes atraídos por las reducciones de impuestos, la distribución de tierras a través de la frontera, etc.). La vieja ciudad amurallada resultó muy pequeña para toda aquella gente y, en consecuencia, la ciudad se extendió hacia los valles.

(1) Artículo presentado a la VI Conferencia Internacional de Arcillas Expansivas, Nueva Delhi, diciembre, 1987.

(*) Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Agrónomo, Madrid.

Los constructores de la ciudad debieron empezar a ser conscientes del difícil sitio que habían elegido para vivir. Predominaban en aquellos valles las margas arcillosas de alta plasticidad, las cuales, en asociación con el tipo de clima (con estaciones seca y húmeda bien marcadas), daban lugar muy frecuentemente a problemas relacionados con retracción e hinchamiento.

El índice climático de Thornwaite varía en esta parte de España entre 0 y -20, que se considera que es de lo peor con referencia a arcillas de alta plasticidad en este país.

Es de suponer que, después de haber tenido que tratar con estructuras dañadas, los constructores andaluces descubrieron un método para evitar que sus edificios se movieran hacia arriba y hacia abajo estacionalmente.

A pesar de la alta capacidad de carga de estos suelos, las cimentaciones se hicieron por sustitución de las arcillas expansivas por fábricas de mampostería hasta una profundidad de unos 2,5 m. Como la profundidad activa en España meridional se considera que varía entre 2,5 y 3,5 m, los movimientos estacionales tenían que ser muy pequeños. Además, la construcción de edificios en el Sur de España es tradicionalmente de tipo pesado, con muros muy anchos de mampostería o ladrillo que transmiten tensiones bastante altas al suelo e impiden su hinchamiento.

3. RECONOCIMIENTOS GEOTECNICOS

A fin de investigar la cimentación y las condiciones del subsuelo, se excavaron siete calicatas de 3 a 5 m de profundidad. Cinco de ellas estaban situadas junto a los muros de mampostería de fachada, una junto a un pilar interior y la última y más profunda se excavó a unos pocos metros de la fachada principal (fig. 1).

Por lo que se refiere a las cimentaciones, quedó claro que los constructores del colegio eran conscientes de las

propiedades expansivas del suelo, o, al menos, no actuaron al margen de la tradición. De acuerdo con ello, las fachadas fueron cimentadas sobre muros de mampostería de 2,5 m de profundidad, a pesar de la elevada resistencia de las margas. Los pilares interiores se prolongaron 1,8 a 2,0 m por debajo del nivel del terreno y terminaban en zapatas de hormigón que descansaban sobre fábricas de mampostería.

A pesar de todas esas precauciones, que probablemente habrían dado buen resultado en circunstancias normales, una parte del edificio fue seriamente dañada, mientras que el resto no fue afectado. Las razones de los daños, junto con algunos otros aspectos interesantes observados «in situ» (que se discutirán más adelante), constituyen una visión general de la clase de problemas que pueden encontrarse cuando se trata con suelos que retraen y expanden.

A fin de determinar los movimientos sufridos por la estructura, se dibujaron mapas de grietas y fisuras de la mayoría de los tabiques, suelos y techos.

Como los primeros daños habían aparecido muy poco después de la terminación del edificio en los cincuenta, y una sucesión de diferentes factores había jugado un significativo papel en el proceso de deterioro, la distribución de grietas había resultado casi caótica en muchas áreas.

Sin embargo, el movimiento principal consistía en un asiento considerable de las fachadas lateral y principal (ver fig. 1), que condujeron a un giro apreciable de la parte del edificio dañada (fig. 2). Este movimiento de rotación aparecía muy claramente en el plano vertical que contiene la junta estructural. La junta separa las partes dañadas y no afectada del edificio (figs. 1 y 4).

Como consecuencia de los grandes asientos de la fachada principal, se desarrolló una familia sistemática de grietas en la mayoría de los tabiques y en el lado inte-

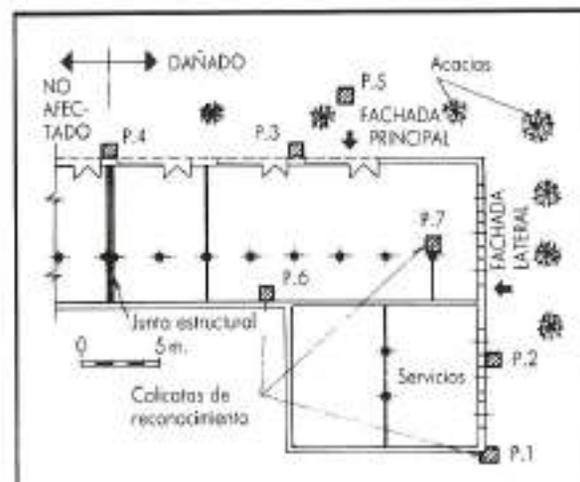


FIGURA 1. Planta de la zona dañada, mostrando la situación de los árboles, los servicios y las calicatas de reconocimiento.



NOTA: la escala de asientos y giro ha sido exagerada.

FIGURA 2. Asiento y giro de la fachada lateral.



AUTOVIA DE ARAGON TRAMO TRIJUEQUE-INTERSECCION C-204.
TRAMO DE HORMIGON

AUTOVIA DE ARAGON

AUXINI realiza actualmente
diversos tramos de autovías dentro
del plan de carreteras 1984/1991.

OFICINA CENTRAL: Padilla, 46
28006 Madrid
Teléfonos: 431 42 20 y 431 54 10
Télex: 49090 AXNI-E



Empresa Asociada de la Industria. Auxini, S.A.

GRUPO INI

Líderes en un mundo de cambio...



Programa Topográfico

SOKKISHA

SDR-VARIN

Distribuidor en exclusiva
para España:

Isidoro Sánchez, S. A.

RONDA DE ATOCHA, 16 - 28012 MADRID - Teléfono 467 53 63 (6 líneas)

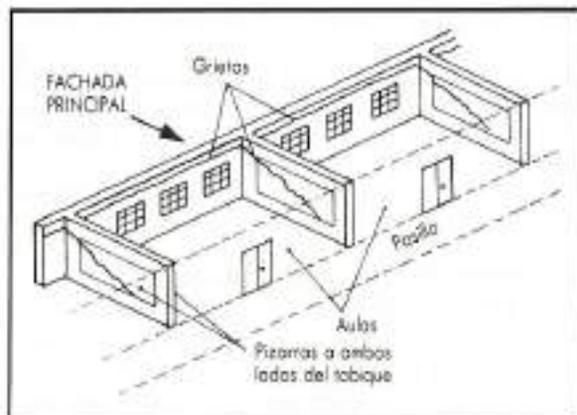


FIGURA 3. Disposición de las grietas en las aulas de la fachada principal.

rior de la propia fachada principal (fig. 3). Las grietas de los tabiques perpendiculares a la fachada eran inclinadas y típicas de asentamientos diferenciales. Se veían muy claramente, ya que el polvo de tiza entraba en ellas y hacía un contraste evidente con el enlucido.

Anecdóticamente, las clases se daban normalmente hasta el momento de evacuación de la parte afectada del edificio, cuando dos niños que dibujaban en pizarras opuestas se vieron repentinamente uno a otro a través de la pared.

Las grietas del lado interior de la fachada eran continuas y horizontales, hecho que denota tensiones verticales de tracción en muros concebidos para trabajar a compresión.

Mirando al edificio desde el exterior y frente a la fachada principal, quedaba clara la tendencia de algunos pilares a asentarse excesivamente. Como consecuencia,

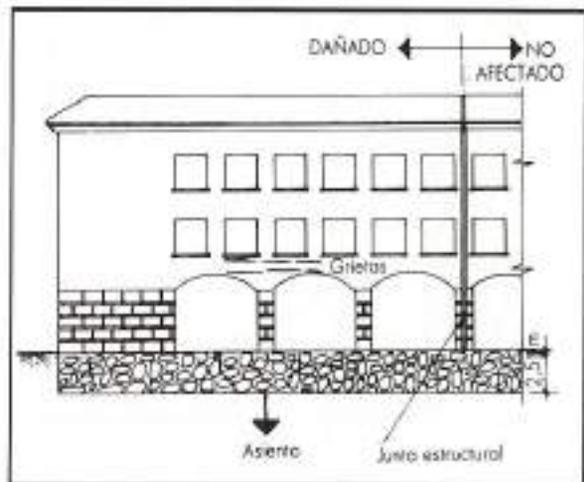


FIGURA 4. Fachada principal mostrando la profundidad de la cimentación y el tipo de grietas.

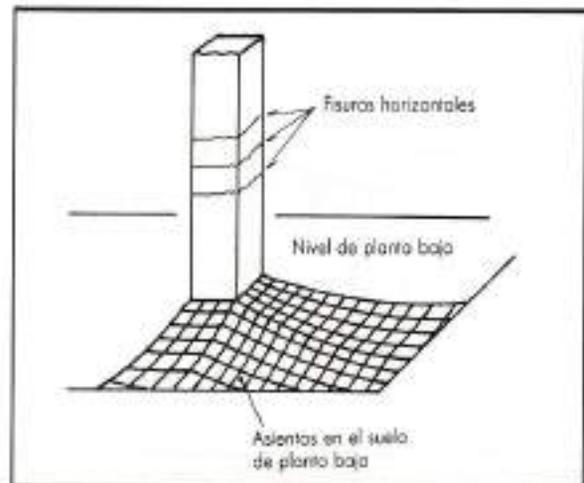


FIGURA 5. Fisuras en pilares interiores y asentamientos de la solera de planta baja.

acabaron por quedar colgando de la estructura en vez de soportarla (fig. 4). (Los arcos son simulados.)

Se observaron aspectos similares en algunos de los pilares interiores hechos de hormigón armado, en los que se desarrollaron 3 o 4 planos de fisuración horizontal, poniendo de manifiesto un estado de tensiones de tracción (fig. 5).

En relación con los efectos de los suelos expansivos y que retraen, se observaron algunos otros aspectos interesantes. En los tabiques paralelos a la fachada principal y sobre las puertas de acceso a las aulas desde el pasillo central, se desarrollaron dos familias de grietas inclinadas y casi ortogonales (fig. 6). Las de una de las familias estaban claramente abiertas. Cuando las grietas de la otra familia estaban abiertas, se había hecho una reparación y se había pintado. Puesto que esas grietas tienden a cerrarse como consecuencia de los movimientos alternativos estacionales, la capa de pintura padece y se despega.

Finalmente, un pequeño muro de contención próximo al edificio había sufrido claramente un movimiento

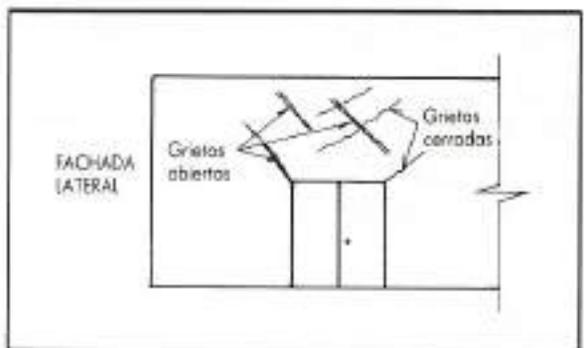


FIGURA 6. Grietas abiertas y cerradas perpendiculares.

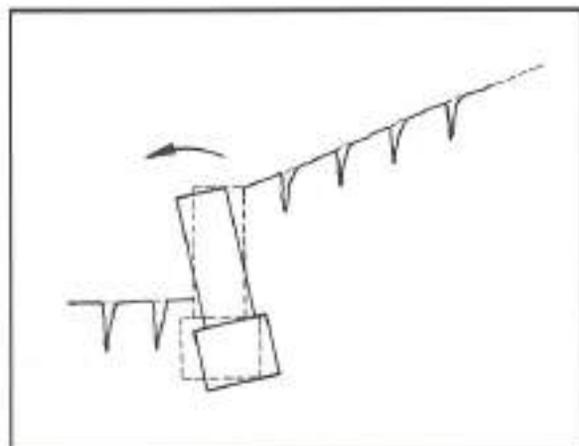


FIGURA 7. Rotación de un pequeño muro de contención.

de rotación en la forma representada en la fig. 7, debido a la desecación (y la consiguiente disminución de volumen) del suelo en las inmediaciones del pie del muro.

3.1. PROPIEDADES DEL SUELO

Se tomaron catorce muestras del suelo del fondo y de las paredes de las calicatas de reconocimiento. Todas ellas consistían en arcillas margosas gris verdosas, rígidas, que presentaban una estructura de fisuras oscuras poco espaciadas.

Lamentablemente, los trabajos de prospección hubieron de hacerse durante un período lluvioso. Aunque se adoptaron algunas medidas de protección mientras se excavaban las catas, éstas hubieron de abrirse con medios manuales, lo que prolongó los trabajos por más de veinte días. En estas circunstancias, la estructura fisurada del suelo y la relajación de tensiones en las calicatas condujeron inevitablemente a un aumento desconocido del contenido de humedad.

Seguidamente, se resumen las principales características de las arcillas margosas:

Límite de retracción:	2,4 - 4,0
Límite plástico:	21,0 - 23,3
Límite líquido:	64,0 - 67,0
Índice de plasticidad:	40,7 - 44,2
Contenido de humedad:	18 - 20 %
Densidad aparente:	20,2 - 21,3 kN/m ³
Densidad seca:	15,7 - 17,5 kN/m ³
Resistencia a compresión simple:	1,18 - 3,08 MPa
Presión de hinchamiento:	355 - 875 kPa
Hinchamiento libre:	4,52 - 12,16 %
Índice de desecación, ID = wnat/IP:	0,68 - 1,10
Análisis mineralógico:	
— Esmeclita:	50 %
— Clorita:	10 %
— Illita-Mica:	40 %

La figura 8 muestra los resultados de una serie de ensayos de hinchamiento-presión llevados a cabo en una

célula edométrica, partiendo de la presión de hinchamiento nulo y disminuyendo la tensión normal en escalones hasta las condiciones de hinchamiento libre, en el caso de las muestras 1, 2 y 3, y al contrario en el caso de las muestras 4, 5 y 6 (téngase en cuenta el cierre de las fisuras).

El conjunto de resultados pone claramente de relieve el potencial de hinchamiento de los suelos involucrados.

4. ANALISIS DE LAS CAUSAS DEL FALLO DE CIMENTACION

Según algunos testigos que habían observado el continuo proceso de deterioro del colegio y fueron afectados por él, los primeros daños aparecieron muy poco después de terminado el edificio. Los daños se localizaron primeramente en la planta baja bajo los viejos servicios que están actualmente cerrados.

Lo más probable es que los movimientos estacionales produjeran la fisuración del sistema de saneamiento, a base de tubos rígidos de hormigón. A medida que el agua se filtrara de los tubos al suelo, los daños crecieron, dando lugar a periódicos trabajos de reparación.

Los cambios de humedad estacionales afectaron al edificio básicamente porque el terreno de alrededor no estaba adecuadamente protegido de la infiltración o evaporación de agua. Las aceras tenían una anchura de tan sólo 0,5 m y las bajantes del tejado vertían directamente sobre ellas. En estas circunstancias, puede decirse que se permitía a todo el agua de lluvia recogido por

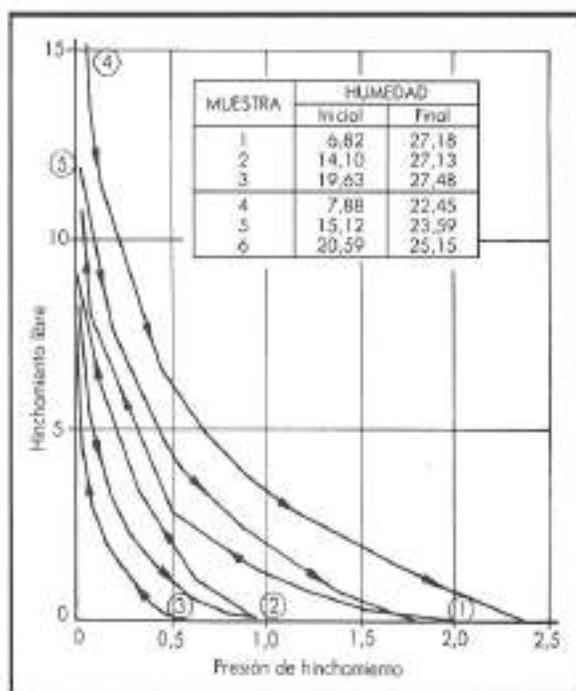


FIGURA 8. Resultados de los ensayos presión de hinchamiento-hinchamiento.

los canales filtrar hacia la zona más peligrosa; es decir, bajo las fachadas. Sin embargo, sólo una sección del colegio sufrió los movimientos del suelo. Esto significa que la profundidad de la cimentación era adecuada.

Además de la continua infiltración de agua desde los tubos rotos del saneamiento de los antiguos servicios, que duró muchos años, se plantó una fila de árboles de hoja caduca a una distancia de 2,5 a 4 m de las fachadas principal y lateral (ver fig. 1). La distancia entre árboles (acacias) variaba entre 3,5 y 5 m y su altura era del orden de 7 m (lo que significa que una distancia razonablemente segura habría sido 10 m o más).

Indudablemente, las raíces de las acacias habían penetrado bajo el edificio al buscar agua. Hay que tener en cuenta que, aparte del usualmente más alto contenido de humedad en el terreno bajo edificios, hubo en este caso, durante largo tiempo, una aportación de agua más o menos continua debida a la rotura del sistema de saneamiento. Como consecuencia de ello, se encontró gran cantidad de raíces en todas las calicatas de investigación, a cualquier profundidad, incluso en las del interior del edificio. Esto significa que las raíces se extendieron bajo el colegio hasta profundidades de al menos 5 m.

Finalmente, para complicar más la situación, los servicios de la planta baja fueron subsecuentemente clausurados (no más pérdidas de agua) y siguió un período extraordinariamente seco que duró varios años. En estas circunstancias, las raíces de los árboles desecaron profundamente el suelo bajo el edificio y se desarrollaron extraordinariamente en profundidad y extensión. La desecación del suelo por debajo de las cimentaciones, en principio bien diseñadas, provocó los insostenibles asentamientos observados.

5. TRABAJOS DE REMEDIO

Aparte de los factores antes mencionados, era muy importante tener en cuenta dos nuevos hechos. De un lado, la fila de árboles hubo de ser talada. De otra parte, el prolongado período seco ya había terminado.

Era, por tanto, completamente obvio que, en los meses o años siguientes, el subsuelo aumentaría continuamente su contenido de humedad tendiendo a alcanzar un nuevo equilibrio. Esto produciría hinchamiento del suelo y daría lugar a más daños en el edificio.

Considerando todas las variables involucradas, se diseñó un sistema de recalce basado, esencialmente, en la concentración de cargas sobre pozos rellenos de hormigón (ver figs. 9 y 10). La nueva base de cimentación se construye a, al menos, 5 m de profundidad, bajo los suelos más desecados, y transmitirán presiones al suelo entre 800 y 1.200 kN/m². Estas presiones contrarrestarán cualquier posible presión de hinchamiento que pudiera desarrollarse bajo las nuevas cimentaciones.

A fin de conectar las cabezas de los pozos de hormigón bajo las fachadas, se diseñó una viga de hormigón armado. Esta viga recibe la carga de la estructura a lo largo de los muros del edificio y transmite esta carga a los pozos de hormigón.

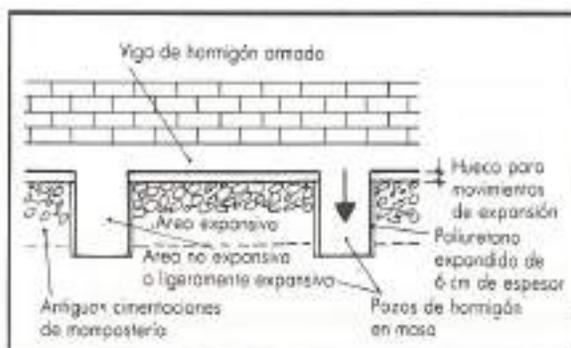


FIGURA 9. Recalce de las fachadas.

La cimentación original es parcialmente demolida para construir los pozos y la viga. A fin de evitar el contacto entre lo que queda de la antigua cimentación de mampostería y la nueva de hormigón, se crea un hueco de 30 cm por debajo de la viga de hormigón armado, de manera que el futuro hinchamiento no la afecte. También, a fin de evitar o minimizar los empujes laterales sobre los pozos debidos a la expansión del suelo, las paredes de los pozos excavados se cubren con una plancha de poliuretano expandido, de 6 cm de espesor, antes de verter el hormigón, reduciendo así posibles presiones horizontales futuras generadas por los cambios de volumen del suelo.

Con relación a los pilares exteriores e interiores, se diseñó un sistema similar de profundización de la base de la cimentación. En este caso, es necesario un sistema metálico de apeo para proporcionar apoyo provisional mientras se llevan a cabo los trabajos. Las cargas calculadas de la estructura sobre los nuevos pozos son pequeñas; por tanto, a fin de lograr las presiones de trabajo sobre el suelo ya mencionadas, se requiere una reducción del área de la base (fig. 10).

Finalmente, se consideraron necesarios algunos trabajos adicionales:

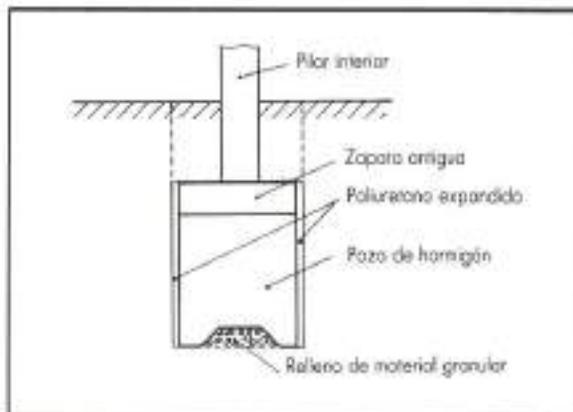


FIGURA 10. Recalce de los pilares interiores.

- Sustitución del sistema de saneamiento usando tubos de PVC, juntas elásticas, etc.
- Construcción de nuevas aceras anchas.
- Adecuado control de las aguas pluviales para evitar su infiltración.

6. CONCLUSIONES

A pesar del adecuado sistema de cimentación adoptado para el colegio, con el nivel de cimentación a una profundidad de 2,5 m (la capa activa, más o menos), tuvieron lugar grandes asentamientos como resultado de la retracción del terreno, debida a una profunda desecación causada por las raíces de una fila de acacias. Esto afectó solamente a una parte del colegio, separada del resto por una junta estructural, donde hubo, a lo largo de varios años, pérdidas del sistema de saneamiento. Durante este periodo, las raíces penetraron bajo el colegio buscando agua. Los servicios de la planta baja a que pertenecían los tubos de saneamiento rotos fueron clau-

surados. Esto, junto con el comienzo de un largo periodo seco, dio lugar a la desecación del suelo. Los árboles fueron talados y el periodo seco ha concluido, de modo que se espera un continuo incremento del contenido de humedad y la consecuente expansión del suelo.

Las medidas de remedio adoptadas consisten en la profundización de la cimentación por medio de pozos de hormigón, que concentran las cargas y contrarrestan las presiones de hinchamiento. Las cimentaciones antiguas se separan de las nuevas. En los lados de los pozos de hormigón, una plancha de 6 cm de espesor de poliuretano expandido impide los empujes laterales.

NOTA DE LA S.E.M.S.: El Comité Ejecutivo de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, reunido con fecha 18 de noviembre de 1988, acordó transmitir su más cordial enhorabuena a D. Luis Ortuño Abad, autor de este artículo, por haberle sido concedido el premio «Soil Mechanics Ltd» al mejor alumno en el curso 1987-88 del Master en Mecánica del Suelo del Imperial College de Londres.