

ASIENTOS DE UN EDIFICIO CIMENTADO SOBRE MICROPILOTES (1)

ENRIQUE DAPENA (*)
JOSE MARIA DIAZ-ORTIZ (**)
ANTONIO SORIANO (***)
CESAR GONZALEZ (**)

RESUMEN. En el norte de España se ha construido una Estación Depuradora de Aguas Residuales en una zona de depósitos aluviales precargados con una importante capa de escorias de alto horno. El proyecto se realizó rebajando los rellenos actuales de tal manera que la carga neta transmitida por los edificios no incrementara la situación de carga anterior del terreno. Esta condición se cumplió prácticamente en todas las construcciones salvo en el denominado Edificio de Explotación y Control cuya ubicación correspondía la mitad sobre suelos precargados, y la otra mitad en una zona sin consolidar. El edificio se cimentó sobre micropilotes pero después se efectuó un relleno de unos 2 m de altura en la zona de suelos sin precarga que provocaron la consolidación del terreno, desarrollando un importante rozamiento negativo en los micropilotes y un movimiento del edificio cuyos datos se recogen en esta comunicación.

ABSTRACT. A waste water treatment plant was constructed in the North of Spain in an area of preloaded alluvial deposits containing a considerable layer of steel furnace slag. The project was carried out lowering the existing fills so that the net load conveyed by the buildings would not aggravate the previous load situation of the soil involved. This condition was met in practice in all the constructions except for the building named Operation and Control Building located half over preloaded soil and half over an unconsolidated area. Micropiles were used as the foundation of the building but then a 2-m high fill was applied in the area not previously loaded which caused the ground to consolidate and a considerable negative friction to develop in the micropiles setting off movement in the building which is described in detail in this paper.

1. INTRODUCCION

En el norte de España se ha construido una estación depuradora de aguas residuales en una explanada situada sobre depósitos aluviales recientes con una potencia que varía entre 10 y 25 m.

En esta explanada se fueron depositando, desde hace 40 años, escorias de alto horno, constituyendo en el momento de proyectar la estación depuradora una capa de 7 a 10 m de espesor, en la zona donde se iba a ubicar ésta, que consolidó el terreno situado bajo ella.

El proyecto de la estación depuradora se realizó teniendo la precaución de no incrementar las cargas que

estaban actuando sobre la capa de depósitos aluviales, retirando un peso de escorias igual o superior a la carga que iban a transmitir los edificios que se iban a construir, para lo cual se retiró con carácter general una capa de un espesor superior a los 2 m por lo que las deformaciones del terreno se situaron sobre la curva de recarga.

Una de las pocas excepciones en las que el subsuelo iba a recibir carga neta por encima de la que había tenido, correspondía a la zona este del edificio de explotación y control, figura 1, situado en la zona donde el relleno de escorias bajaba desde la cota +10 hasta la cota +4.

En agosto de 1987 la superficie del relleno estaba a la cota +6 y el edificio estaba construido y cimentado sobre micropilotes que apoyaban en la capa de arcillas firmes que cubrían el macizo de roca.

En este artículo se recogen los movimientos sufridos por el edificio al pasar el relleno de la cota +6 a la cota +8.

El edificio de explotación y control tiene forma de L, pero existe una junta que hace independiente los cuer-

(1) Artículo presentado en el X Congreso Europeo de la S.I.M.S celebrado en Florencia, 1991.

(*) Laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

(**) Confederación Hidrográfica del Norte (Ministerio de Obras Públicas y Transportes).

(***) Universidad Politécnica de Madrid.

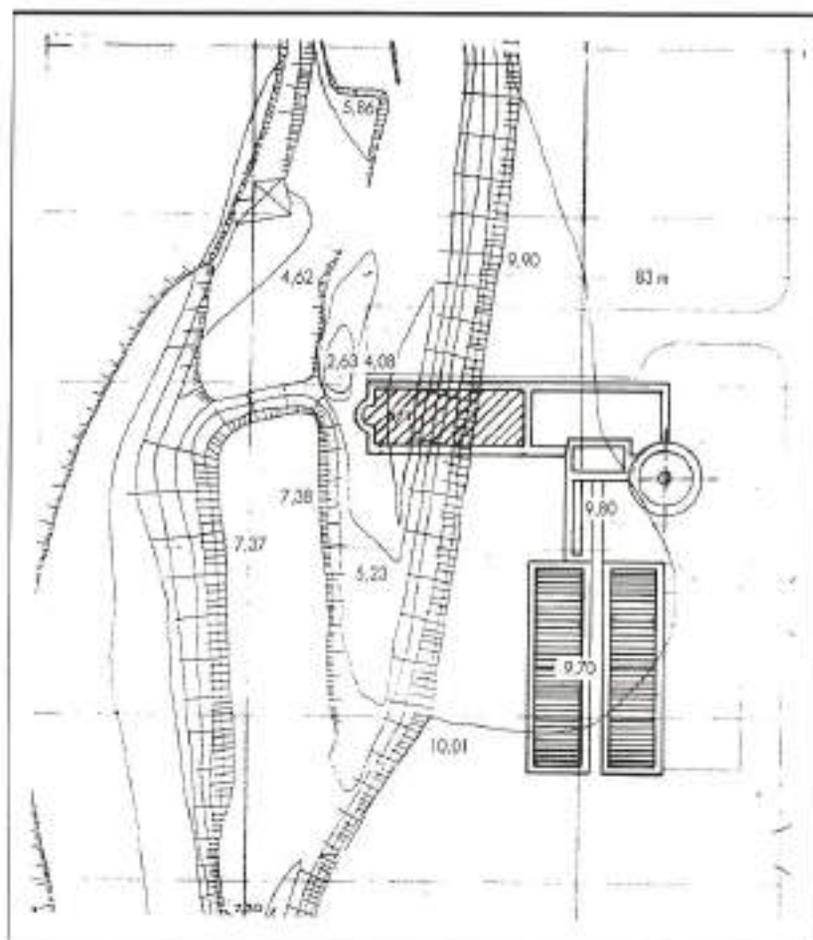


FIGURA 1.
Emplazamiento del edificio de explotación y control de la depuradora y líneas de nivel del terreno original del emplazamiento.

pos del edificio a efectos de movimientos, según se recoge en la figura 2, que se llamarán desde ahora edificio 1 y edificio 2. Todos los movimientos registrados corresponden al edificio 1.

El edificio 1 está levantado sobre una losa nervada, lo que le confiere una gran rigidez, obligando a que los movimientos causados por el terreno se traduzcan en el edificio en desplazamientos que se mantienen en un mismo plano, salvo que se produzca fisuración o rotura en la losa.

2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO BAJO EL EDIFICIO

La columna estratigráfica del terreno en la mitad este del edificio 1 es la recogida en la figura 3. Existe una capa de limos de color gris oscuro que son los depósitos aluviales de la zona, situados entre la cota -1 y -13 m, es decir, con un espesor medio de unos 12 m. Por debajo de estos limos se encuentra una capa de arcillas firmes, que se considera el suelo residual del macizo de margas calcáreas. Por encima existe una capa de escorias vertidas, de la misma época que la del

conjunto del relleno del emplazamiento cuya cota superior variaba, según se dijo, entre +4 y +10, sobre la que se colocó el relleno de escorias compactadas.

La capa de escorias se puede considerar con una densidad de 2 Ton/m³ y un módulo de Young para cargas entre 0-1 kg/cm² de E = 200 kg/cm².

Las características de la capa de limos se definen en el estudio geotécnico para el proyecto de la siguiente forma: límites de Atterberg: LL = 36-65; LP = 20-38 y IP = 8-34. El contenido en finos, que pasan por el tamiz ASTM 200, es en general superior al 80 %. El porcentaje medio de materia orgánica es del orden del 3 %. La consistencia, según los valores del ensayo SPT, podría definirse como un N₃₀ = 4-8 golpes para las capas de fango no consolidadas y N₃₀ = 12-18 golpes para el nivel de fangos consolidados.

La deformabilidad de la capa de limos en las zonas no consolidadas se puede definir con un índice de compresión C_c = 0,6 y un índice de poros e₀ = 1,4.

El coeficiente de consolidación C_v en los niveles de fango en zonas no consolidadas puede tomarse del orden de 2 a 5 × 10⁻⁴ cm²/seg.

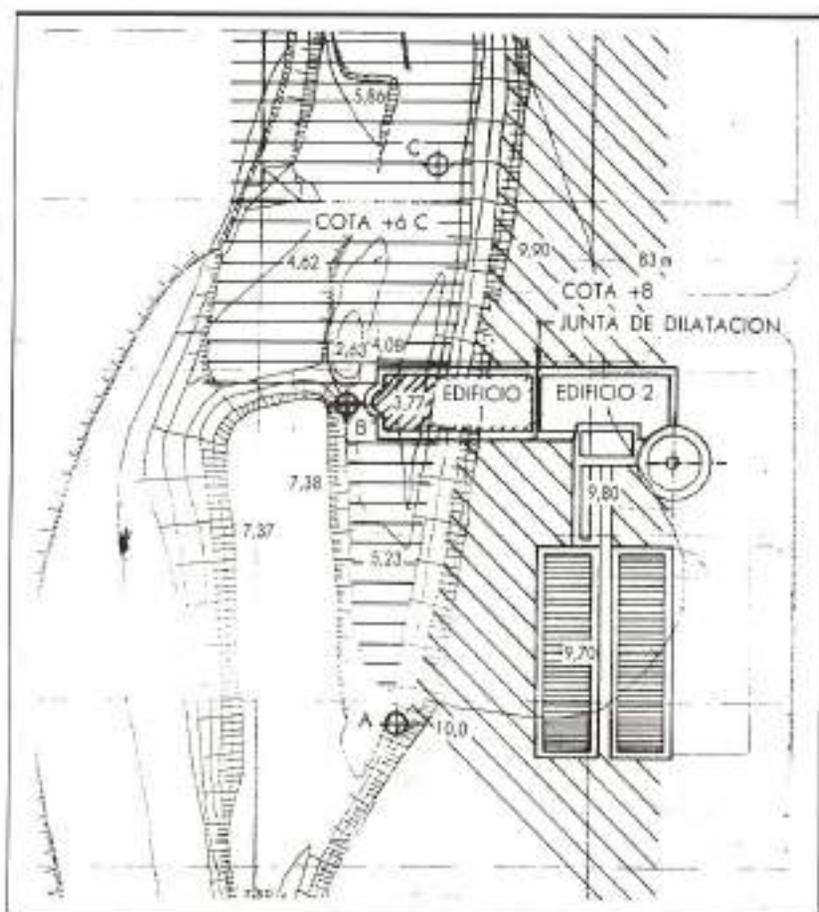


FIGURA 2. Situación de la junta de separación entre bloques y zona de relleno hasta la cota +6, con carga neta sobre terreno, situada junto al emplazamiento del edificio. Emplazamiento de bases de medida A, B y C.

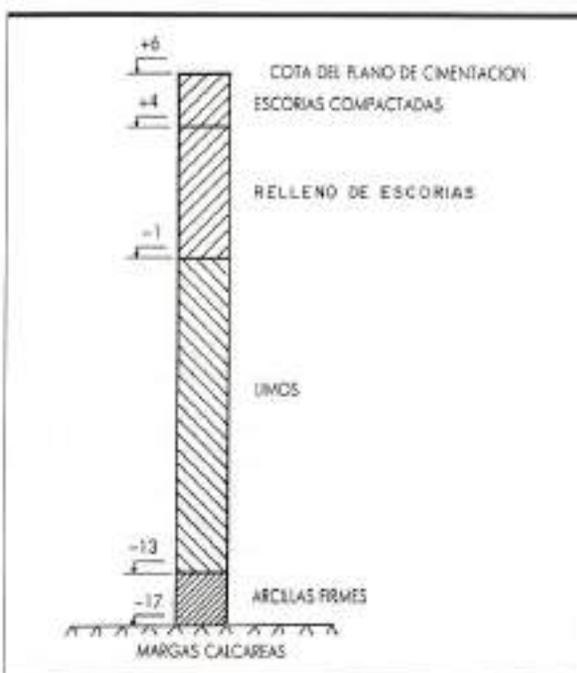


FIGURA 3. Columna estratigráfica del terreno en la zona del edificio 1.

3. ETAPAS DE CONSTRUCCION

En el terreno del emplazamiento del edificio 1, fig. 1, se pueden distinguir dos zonas, una en la que existió inicialmente una capa de relleno de escorias hasta una cota entre 9,70 y 10 m, que por tanto actuó como una precarga, y otra, situada en la zona más próxima al río, en la que la cota de terreno bajaba a 4 m dentro de la propia ubicación del edificio 1, fig. 1.

El edificio estaba apoyado en las dos zonas, estando algo menos de la mitad, fig. 1, en la zona en la que el relleno había alcanzado los 9-10 m de altura. Según se dijo, el proyecto contemplaba rebajar la altura de relleno a la cota +8, lo que evitaba un aumento de carga neta sobre la capa de limos en la mitad oeste del edificio 1.

Por el contrario, en la zona más próxima al río, donde el terreno inicialmente bajaba hasta la cota +4, el relleno que allí se colocara provocaría la consolidación de la capa de limos subyacente, lo mismo que la carga que transmitiera la cimentación del edificio.

Antes de la construcción del edificio se había realizado el relleno hasta la cota +6, lo que implicaba un incremento máximo de carga neta en la mitad este del edificio de $0,4 \text{ kg/cm}^2$.

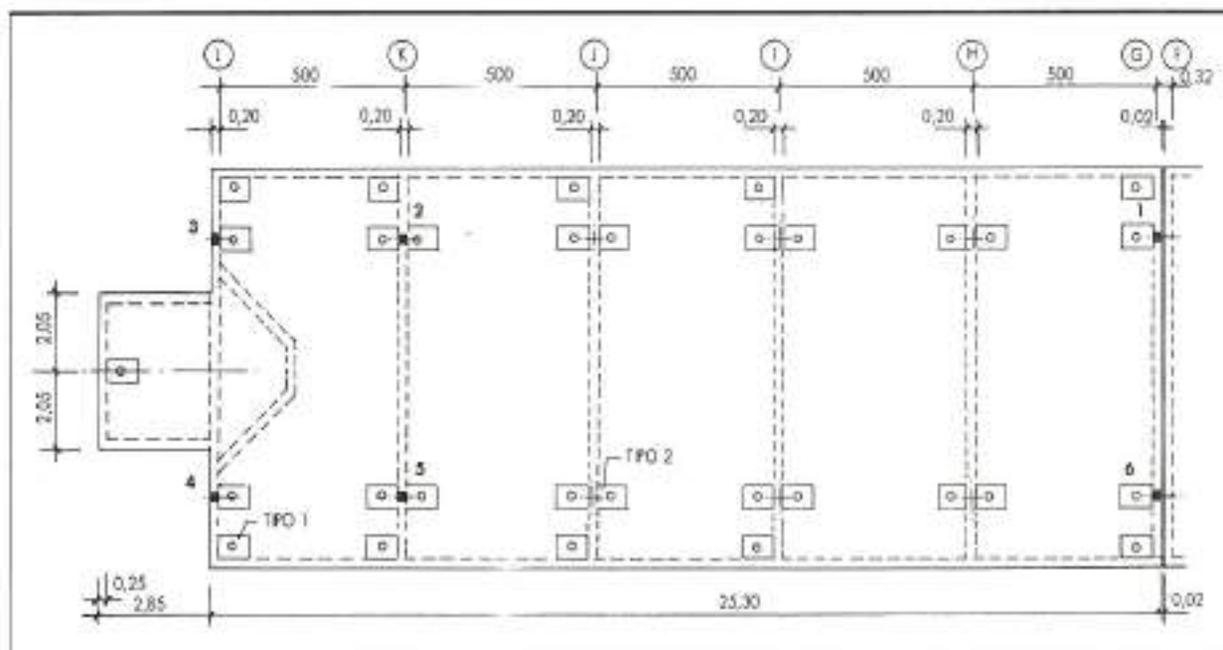


FIGURA 4. Distribución de los micropilotes de cimentación y situación de los puntos de observación en el edificio.

En agosto de 1987 el edificio estaba construido y cimentado sobre micropilotes que apoyaban en la capa de arcillas firmes.

Los micropilotes sobre los que estaba cimentado el edificio estaban formados por un tubo de acero de 140 mm de diámetro exterior y 6 mm de espesor y cuyo interior estaba relleno con un mortero de resistencia característica $f_{ch} = 200 \text{ kg/cm}^2$. La distribución de los micropilotes en el edificio se recoge en la fig. 4.

Durante el mes de septiembre de 1987 se incrementó el relleno en el entorno del edificio hasta alcanzar la cota +8. Lo que suponía un nuevo aumento de carga neta en la parte frontal del edificio de hasta 2 m de altura de relleno de escorias, aproximadamente $0,40 \text{ kg/cm}^2$.

Los movimientos apreciados en la junta de separación entre los edificios 1 y 2 a finales del mes de septiembre, indicaban un cabeceo ostensible del edificio, por lo que se comenzó el control exhaustivo de estos movimientos.

4. MEDIDAS DE ASIENTOS

En el edificio 1 se dispusieron seis puntos de observación, situados en otros tantos pilares, fig. 4. Los puntos 1 y 6 se colocaron prácticamente sobre la junta de separación entre los edificios 1 y 2. En el extremo E del edificio los puntos 3 y 4, y próximos a ellos los puntos 2 y 5, en la fila de pilares inmediata a los anteriores, fig. 4, aproximadamente a 5 m de los puntos 3 y 4.

La auscultación del terreno se realizó, hasta que se

ejecutó el movimiento de tierras a finales de marzo de 1988, mediante tres bases A, B y C cuya situación se recoge en la fig. 2. La base A está situada en terrenos que inicialmente tenían una cota entre 7 y 8 m. La base B, situada frente al edificio, está sobre terrenos cuya cota antes de comenzar la construcción se situaba en torno a los 4 m, si bien estaba rodeada de terrenos con una cota superior a los 7 m, fig. 2. El emplazamiento de la base C era en una zona que inicialmente estaba en la cota +4.

En el mes de agosto de 1987 el edificio se cimentó sobre micropilotes apoyados en las arcillas firmes. Se dispone de una nivelación de los puntos de observación del edificio y de las bases sobre el terreno correspondiente al día 20 de agosto. La siguiente medida de movimientos en el terreno y en el edificio 1 corresponde al 30 de septiembre, cuando ya se había terminado la ejecución del relleno desde la cota +6 a la cota +8.

El movimiento registrado en los puntos 2 y 3 del edificio 1, desde el 20 de agosto de 1987, se recoge en la fig. 5. A finales de septiembre el asiento registrado en estos puntos era de 12 mm. En el mes de octubre, ya con todo el relleno a la cota +8, el asiento registrado en el punto 3 fue de 15,6 mm. Los asientos mensuales sucesivos fueron disminuyendo hasta el mes de marzo que se llegó a 2,6 mm (Tabla I). A finales de marzo se retiró el relleno colocado hasta dejar el terreno a la cota +5, disminuyendo también los asientos mensuales producidos hasta alcanzar los 0,2 mm/mes en el mes de junio.

El punto 2, alineado con el 3 y el 1 dentro del edificio, sigue los movimientos del punto 3 pero con una

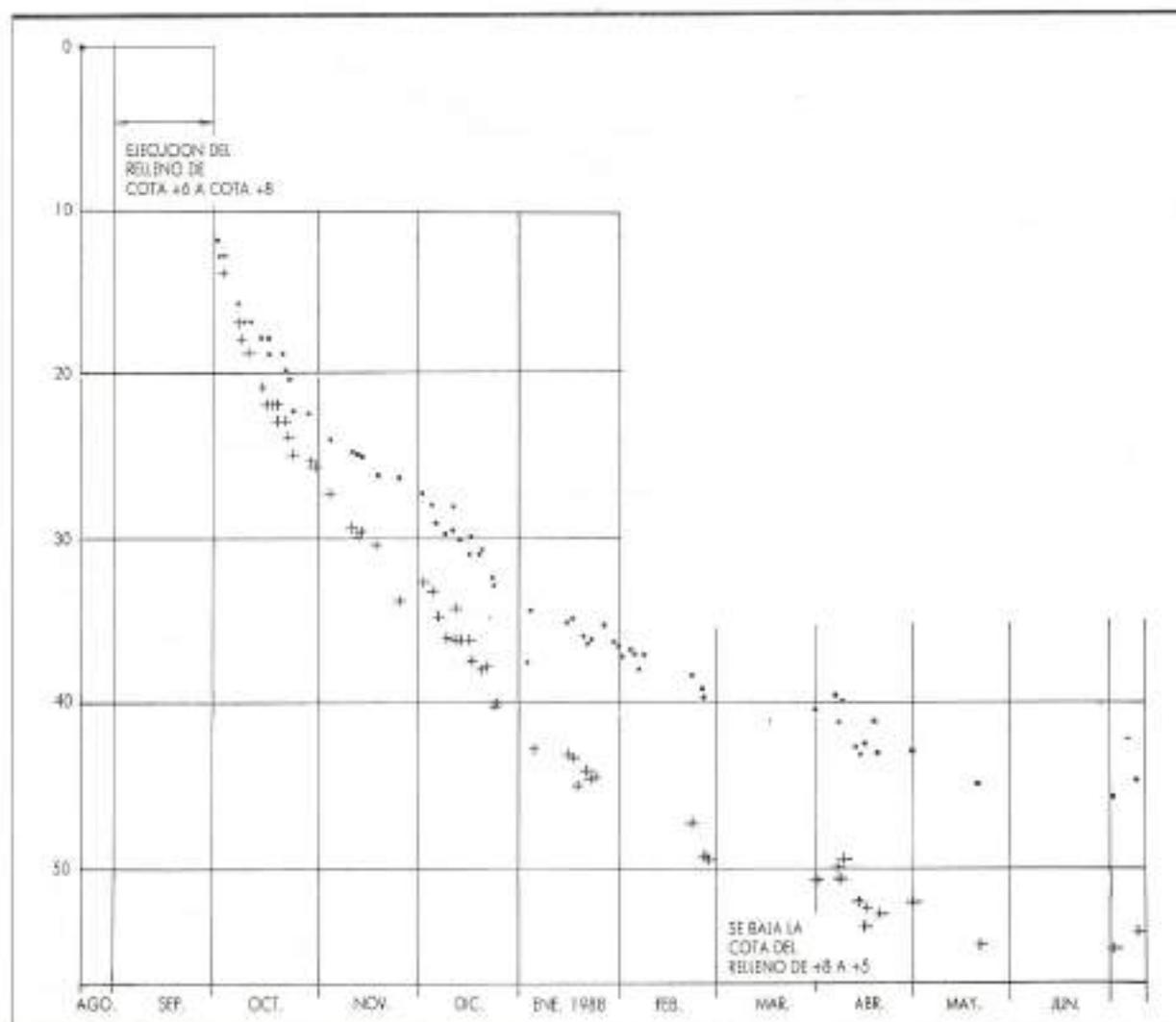


FIGURA 5. Asientos registrados en los puntos 2 y 3 del edificio.

magnitud menor, fig. 5, como corresponde a un giro con el eje próximo a la junta entre edificios.

Los movimientos de los puntos 4, 5 y 6 son similares a los de los puntos 1, 2 y 3.

Este giro queda patente si se dibujan los movimientos de los tres puntos de auscultación separados una distancia proporcional a la que tienen en la realidad, tal como se hizo en la fig. 6. El eje de giro, casi paralelo a la junta de acuerdo con los asentamientos de los puntos 4, 5 y 6, modifica su situación de acuerdo con los movimientos registrados, variando su posición en una banda de 4 m, según se recoge en la fig. 6.

En cualquier caso, los movimientos registrados en los puntos 1 y 6 son de levantamiento.

El movimiento de las bases situadas sobre el relleno fue muy dispar como correspondía a los distintos emplazamientos de cada una de ellas.

La base A, que como se ha mencionado estaba situa-

da sobre terrenos que inicialmente estaban entre las cotas +7 y +8, no registró movimientos apreciables.

La base B, situada junto al edificio, registró unos movimientos superiores a los del punto 3 de éste, fig. 7. A finales de septiembre, finalizada la ejecución del relleno, cuando en el punto 3 del edificio se habían producido 12 mm de asiento, la base B ya había descendido 31 mm. En enero podría cifrarse en 28 mm la diferencia de asiento entre la base B y el punto 3 del edificio 1.

Los asentamientos de la base C son superiores a las medidas en la base B, fig. 7. El 30 de septiembre en B se habían registrado 31 mm de asiento y en C 41 mm. El 20 de enero en B había 77 mm de asiento y en C 104 mm.

5. ANALISIS DE LOS MOVIMIENTOS

La causa principal desencadenante de todos los movimientos fue la elevación de la altura del relleno desde la

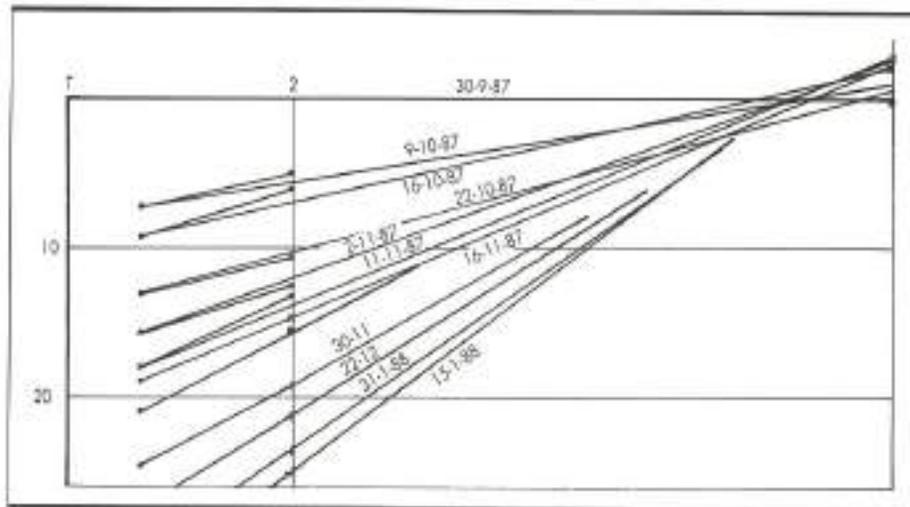


FIGURA 6. Giro del edificio I, según el eje formado por los puntos 1, 2 y 3.

cota +6 a la cota +8. Este incremento, que supone un aumento de carga de aproximadamente $0,4 \text{ kg/cm}^2$, provocó la consolidación de la capa de limos y el desenso del relleno de escorias superior.

La consolidación de los limos produce rozamiento negativo sobre los micropilotes, pero todavía tiene mayor influencia el rozamiento negativo que induce el descenso de la capa de escorias sobre los micropilotes.

Se admite que a partir de los 2 cm de descenso de terreno actúa todo el rozamiento negativo que puede inducir éste sobre un pilote, y este descenso se alcanzó ya durante el mes de septiembre, fig. 7, es decir, antes incluso de haber terminado la ejecución del relleno.

La carga media que transmite el edificio a cada uno de los micropilotes se había calculado que era en torno a

las 38 Ton, mientras que por efecto del rozamiento negativo se calculó que se podían inducir en cada uno de los micropilotes una carga de 76 Ton, con lo que el micropilote habría multiplicado por tres su carga, produciendo el hincado del mismo en la capa de arcillas situada en su punta con un movimiento en escalones según se aprecia en la fig. 5. De esta forma, el terreno resistiría hasta que se alcanzara la carga de hundimiento, momento en el cual se produciría el asiento y la descarga parcial del micropilote de la carga inducida por el rozamiento negativo, hasta que la continuación de los movimientos del terreno hacen volver a subir la carga hasta la de hundimiento, produciendo otra vez un descenso del pilote. Este registro de movimientos, en escalones, se ha mantenido durante el período de observa-

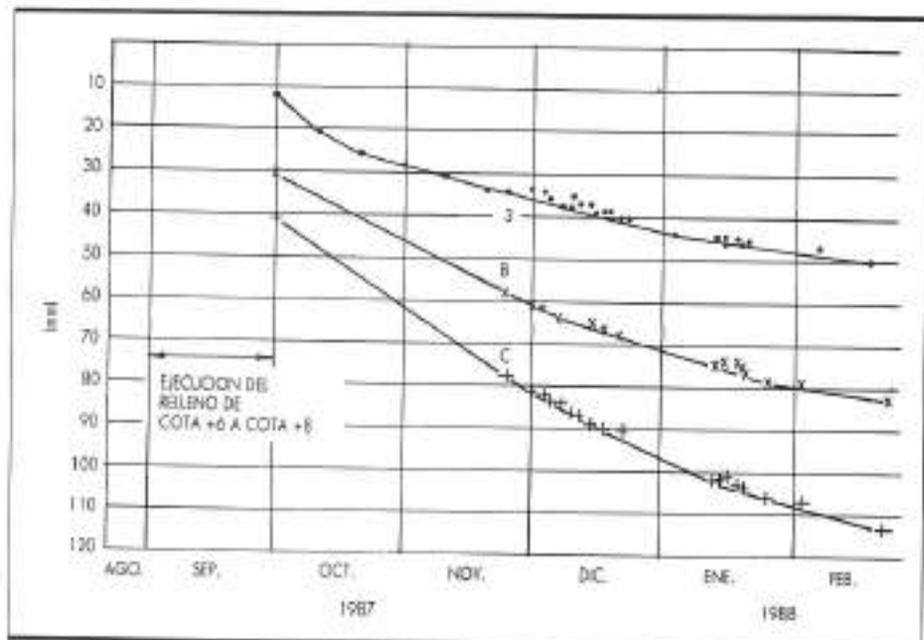


FIGURA 7. Asentamientos del punto 3 del edificio I y de las bases B y C situados sobre el relleno. La base B está junto al edificio.

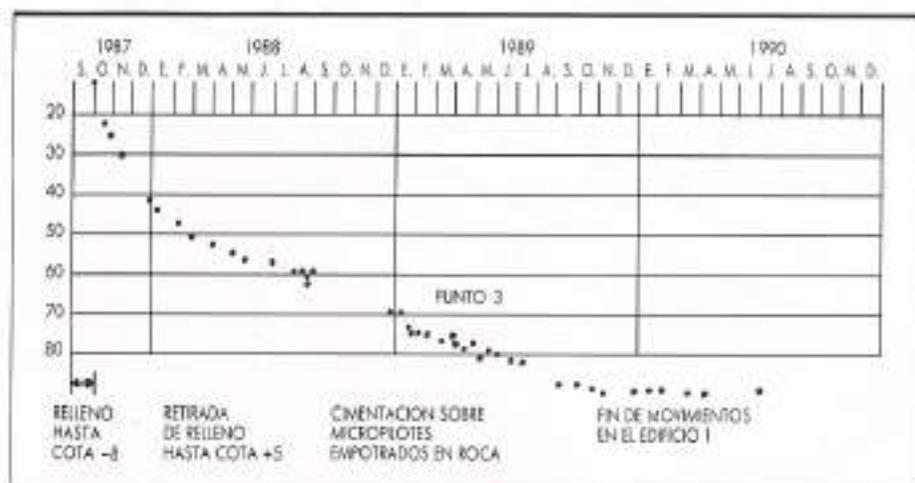


FIGURA 8. Movimientos del punto 3 del edificio una vez construidos los micropilotes y modificaciones en el estado de tensiones del terreno de cimentación.

ción, manifestándose en las medidas de asientos de los puntos 2, 3, 4 y 5 (figura 5).

Para estabilizar el edificio se decidió (Soriano, 1988) descargar el terreno hasta una situación próxima al estado inicial, rebajando el terreno en la zona rellena hasta la cota +5 (inicialmente estaba aproximadamente a la cota +4 pero no hay que olvidar la precarga sufrida) y construyendo nuevos micropilotes empotrados en roca, que no tendrían la carga por rozamiento negativo que tenían ya los antiguos y que al contener el edificio liberaría al terreno del peso de éste.

El edificio se cimentó sobre los nuevos micropilotes a finales de diciembre de 1988. Se había calculado que el peso del edificio provocaría un acortamiento de los micropilotes comprendido entre 17 y 20 mm. Este asentamiento se consiguió 11 meses después, fig. 8, momento a partir del cual dejaron de producirse movimientos apreciables.

6. CONCLUSIONES

Se recogen en este trabajo los movimientos sufridos por un edificio cimentado sobre micropilotes apoyados en arcillas firmes, al incrementar la altura del relleno del entorno desde la cota +6 a la cota +8.

El terreno de cimentación que atravesaban los micropilotes está constituido por 5 m de escorias de alto horno, 12 m de limos, y aproximadamente 4 m de arcillas firmes situadas sobre un macizo de cargas calcáreas.

La carga que transmite el edificio a los micropilotes es de $q_L = 38$ Ton/pilote, mientras que la carga por rozamiento negativo podía alcanzar un valor de $q_m = 76$ Ton/pilote. Este incremento de carga provocó el clavado de los pilotes sobre la capa de arcillas firmes en la que estaban apoyadas y, por el distinto estado inicial del terreno de cimentación según el eje del edificio, un giro de ésta hacia la zona que se estaba consolidando (figura 6).

En los cinco primeros meses después de haber alcanzado el relleno la cota +8, el asiento del extremo del edificio de mayor movimiento fue de 46 mm, mientras que el terreno más próximo sufrió un asiento de 77 mm.

Los asientos máximos registrados en el extremo del edificio durante los siete meses que se mantuvo el relleno a la cota +8 fueron 69 mm, según la ley que se recoge en la fig. 8.

La estabilización del conjunto se proyectó descargando el terreno hasta dejarlo con una carga neta máxima de aproximadamente $q = 0,2$ kg/cm², lo que se consideraba suficiente debido a la precarga a la que se había sometido a la capa de limos. Para ello se rebajó el relleno hasta la cota +5 y se sostuvo el peso del edificio con nuevos micropilotes empotrados en roca.

REFERENCIAS

SORIANO, A. (1988). «Realeje del Edificio de Control». Documento no publicado.

FLYGT

ALQUILADA



¡Alquile una bomba sumergible Flygt!

Economía:

Comprar una bomba para un trabajo eventual o transitorio puede ser una inversión poco rentable. Simplemente alquilela, y pague sólo el tiempo que la utilice.

Disponibilidad:

Usted puede conseguir, **cerca y con toda rapidez**, el equipo de bombeo que necesite.

Servicio:

Detrás del equipo de bombeo que Ud. alquila, está la Organización Técnica TFB, que atiende más de 25.000 instalaciones en España y que le asegura su permanente funcionamiento.

Garantía:

FLYGT tiene la gama de bombas sumergibles más extensa del mundo, y la Red de Servicio TFB es la más completa y eficaz en todo el territorio nacional.

FLYGT es en España:

TFB

TECNICAS DE FILTRACION Y BOMBEO, S.A.

MADRID. Tel. (91) 533 35 08* - **BARCELONA.** Tel. (93) 232 47 61 - **BILBAO.** Tel. (94) 453 01 94.

VALENCIA. Tel. (96) 152 32 40 - **Sevilla.** Tel. (95) 467 30 00

ALMERIA (951) 26 15 11 - **BURGOS** (947) 22 22 22 - **CIUDAD REAL** (926) 22 25 23 - **GRANADA** (958) 20 77 27 - **LA CORUÑA** (981) 23 66 80 - **HUELVA** (955) 24 20 18 - **HUESCA** (974) 22 59 16 - **LEON** (987) 25 23 75 - **MALAGA** (952) 36 19 19 - **MERIDA** (924) 30 17 57 - **OVIEDO** (985) 24 39 43 - **PALMA DE MALLORCA** (971) 20 22 01 - **LAS PALMAS DE GRAN CANARIA** (928) 31 36 17 - **SALAMANCA** (923) 50 00 97 - **SAN SEBASTIAN** (945) 37 07 86 - **SANTANDER** (942) 34 76 49 - **VALLADOLID** (983) 39 66 77 - **VIGO** (966) 27 15 07 - **ZARAGOZA** (976) 44 28 78

VENTA • ALQUILER • SERVICIO