

MOVIMIENTOS INDUCIDOS POR LA EXCAVACION DE UNA ESTACION DEL METRO DE SEVILLA (*)

CARLOS S. OTEO

Laboratorio de Geotecnia (CEDEX)

JOSE A. REIN

Dirección General de Infraestructura
(Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones)

PEDRO R. SOLA

Geotecnia y Cimientos

1. INTRODUCCION

Para resolver los problemas de transporte urbano de la ciudad de Sevilla (España), se comenzó la construcción de una línea de ferrocarril metropolitano subterráneo en 1974, a fin de atravesar de Este a Norte la ciudad, pasando por su centro.

Dada la naturaleza de los suelos existentes en Sevilla y la presencia de un importante acuífero influido por el río Guadalquivir, el proyecto del Metro contempla dos sistemas constructivos:

- A. Excavaciones a cielo abierto, protegidas por pantallas continuas de hormigón armado. Estas pantallas alcanzaban una capa de terreno impermeable (Método del Metro de Milán).
- B. Excavación subterránea de dos túneles paralelos entre estaciones, también subterráneas, de doble bóveda, en el mismo terreno impermeable.

En esta comunicación se analizan los movimientos originados por la excavación y construcción de la Estación de Plaza Nueva. Esta Estación, construida subterráneamente, tiene dos bóvedas de 25,60 m de anchura total y 9,35 m de altura máxima. Los hastiales laterales tienen 2,75 m de anchura y el central 2,50 m.

La construcción de esta Estación se hizo según la siguiente secuencia:

- FASE 1: Excavación manual de galerías en la zona a ocupar por la mitad inferior de hastiales, hormigonando en retirada.

- FASE 2: Excavación manual de la mitad superior de hastiales.
- FASE 3: Excavación de una galería en la zona de clave de las bóvedas.
- FASE 4: Excavación de la zona de bóveda, por anillos, desde la galería de clave y desde hastiales. Hormigonado de los anillos.
- FASE 5: Hormigonado de la mitad superior de hastiales.
- FASE 6: Excavación del terreno del interior de la Estación y hormigonado de solera.

Más detalles han sido descritos por Rein y Oteo (1984), así como las medidas de entibación provisional de las galerías excavadas.

2. ESTRATIGRAFIA DE SEVILLA

En la Fig. 1 se ha representado un esquema del perfil estratigráfico de la zona de la Estación de Plaza Nueva. Este perfil es representativo del centro de Sevilla, aunque con alguna variación en los espesores de cada capa de terreno. Dicho perfil muestra los siguientes tipos de materiales:

- A. RELLENOS, de 2-3 m de espesor, realizados por el hombre, para proteger la ciudad de inundaciones.
- B. LIMOS ARCILLOSOS CUATERNARIOS, con capas intercaladas de limos arenosos. De consistencia media a floja. Espesor: 12-13 m.
- C. GRAVAS CUATERNARIAS, con unos 10 cm de tamaño máximo, con capas de arena intercaladas ocasionalmente. Espesor: 10-11 m.

(*) Comunicación presentada al Simposio Internacional "Interacción Suelo-Estructura", París, 1987.



FIGURA 1. Perfil del suelo.

D. ARCILLAS RIGIDAS MIOCENAS, denominadas localmente "margas azules del Guadalquivir". Se trata de un material fisurado, pero impermeable, con más de 50 m de espesor. En las fisuras horizontales contienen pequeñas capas de limo y son bastante uniformes. Su resistencia a compresión simple es del orden de 400-1.200 Kpa (Fig. 2).

La granulometría de los terrenos naturales puede verse también en la Fig. 2, según datos ya publicados (Uriel y Oteo, 1977; Oteo y otros, 1986, etc.).

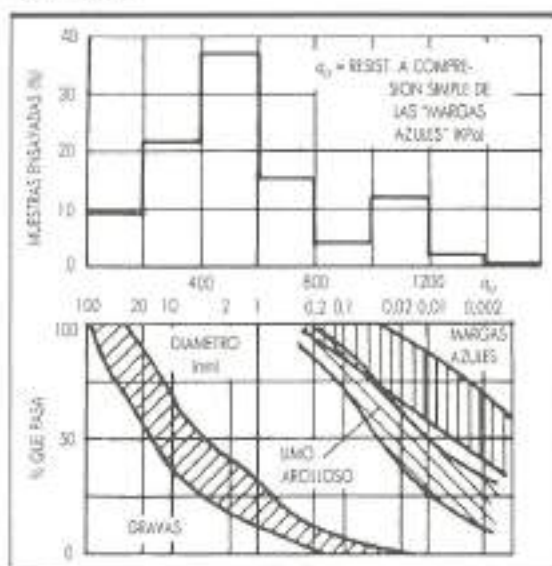


FIGURA 2. Algunos datos de los suelos de la zona.

La Estación de Plaza Nueva se sitúa por debajo de los 32 m de profundidad, por lo que su excavación se realizó totalmente en las "margas azules", sin que se presentaran problemas debidos a la presencia de agua.

3. CONTROL DE MOVIMIENTOS

Durante el año 1982 se inició la construcción del lado Sur de la Estación de Plaza Nueva (Fig. 3), sin control de los movimientos que pudieran originar las excavaciones.

Los asientos inducidos por la excavación de otras Estaciones y su posible influencia sobre edificios próximos hizo que se elaborara un plan de control de movimientos. Este plan se puso en marcha en enero-febrero de 1983. A partir de este momento se colocaron diversas referencias para control de asentamientos en edificios próximos (Fig. 3), en la valla que rodeaba el pozo de acceso a la Estación (pozo de $\varnothing$ 25 m, construido con pantallas continuas) y en el terreno. Estas últimas referencias consistían en extensómetros de varilla anclados a diferentes profundidades (5, 9, 14 y 30 m). Además se controlaron movimientos horizontales y profundos, mediante cinta de convergencia e inclinómetro, respectivamente (Fig. 3).

El control del movimiento de estas referencias se comenzó a principios de marzo de 1983 y prosiguió de forma continua hasta julio de 1984, tres meses después de terminar la construcción de la Estación de Plaza Nueva. Posteriormente se han vuelto a controlar en mayo de 1986.

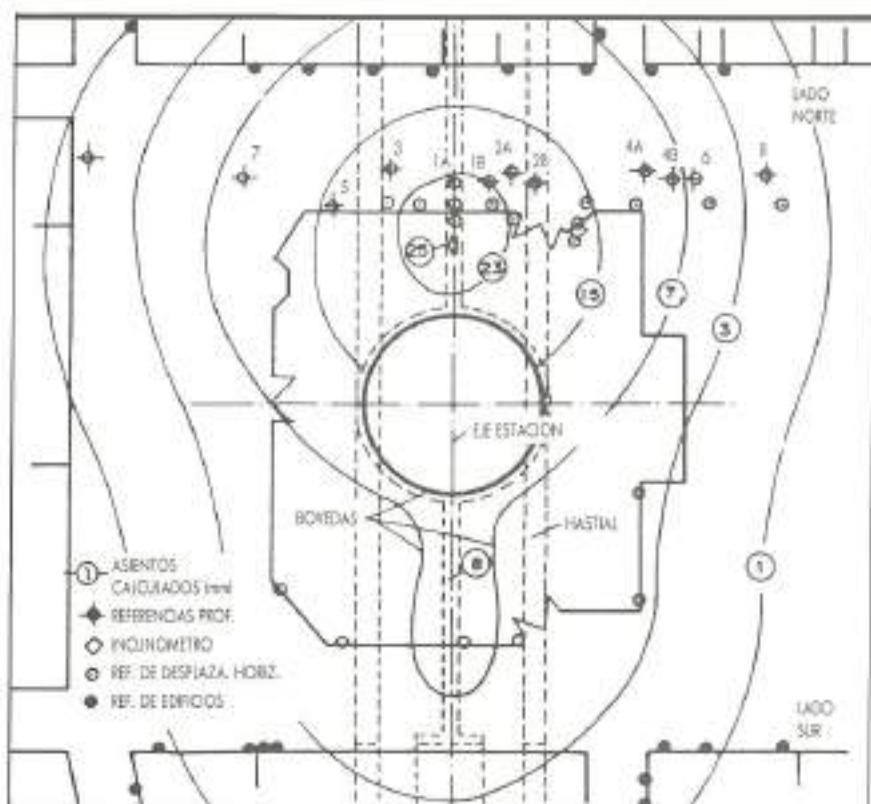
Se prestó atención especial al control de asientos. La base de referencia se situó sobre una varilla anclada a las "margas azules" lejos de la Estación. Para las medidas se utilizó un nivel de alta precisión y una mira de invar, con lo que la precisión de medida conseguida fue de unos 0,3 mm.

4. ESTIMACION DE ASIENTOS

En el momento de iniciarse el control de movimientos faltaban por realizar las siguientes fases de obra:

- LADO SUR: Fase 6 (Excavación del terreno bajo bóvedas ya construidas y hormigonado de solera).
- LADO NORTE: Fases 2 a 6. De la Fase 1 sólo estaba construida la galería correspondiente al hastial central. Dicha galería tenía una sección semicircular, con unos 5 m de anchura en su parte inferior.

El procedimiento constructivo se modificó antes de seguir las excavaciones, a fin de acortar



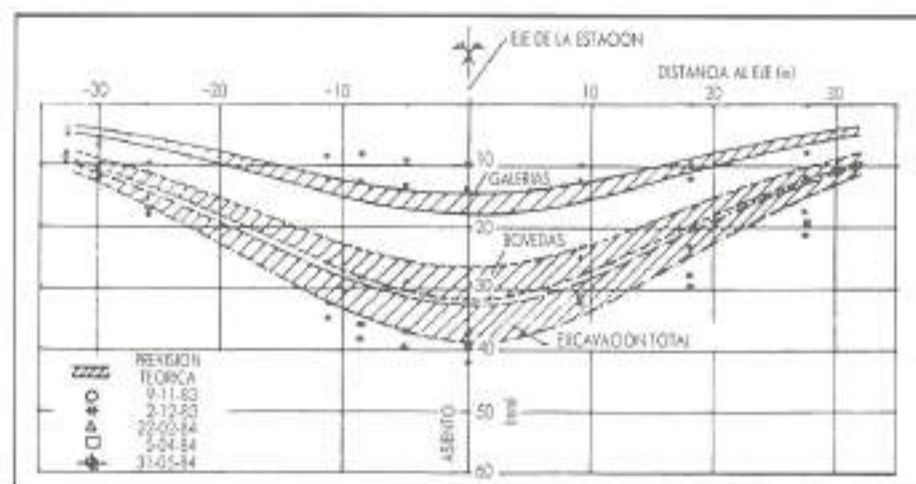


FIGURA 4. Asientos superficiales en la sección instrumentada.

tructivo terreno; ν = módulo de Poisson; ψ = coeficiente empírico, función del terreno y proceso de excavación = 0,4 - 1,0; η = factor de fluctuación = 0,7 - 1,3).

Los asientos superficiales así previstos —para finalizar las obras— se han representado en la Fig. 3.

En la Fig. 4 pueden verse los asientos superficiales totales estimados en una sección transversal, incluidos los que se supone indujo la parte excavada. Las "galerías" representan las Fases 1 y 2. La "bóveda" las Fases 1 y 2 más la 3 a 5 y "excavación final" la construcción total de la Estación.

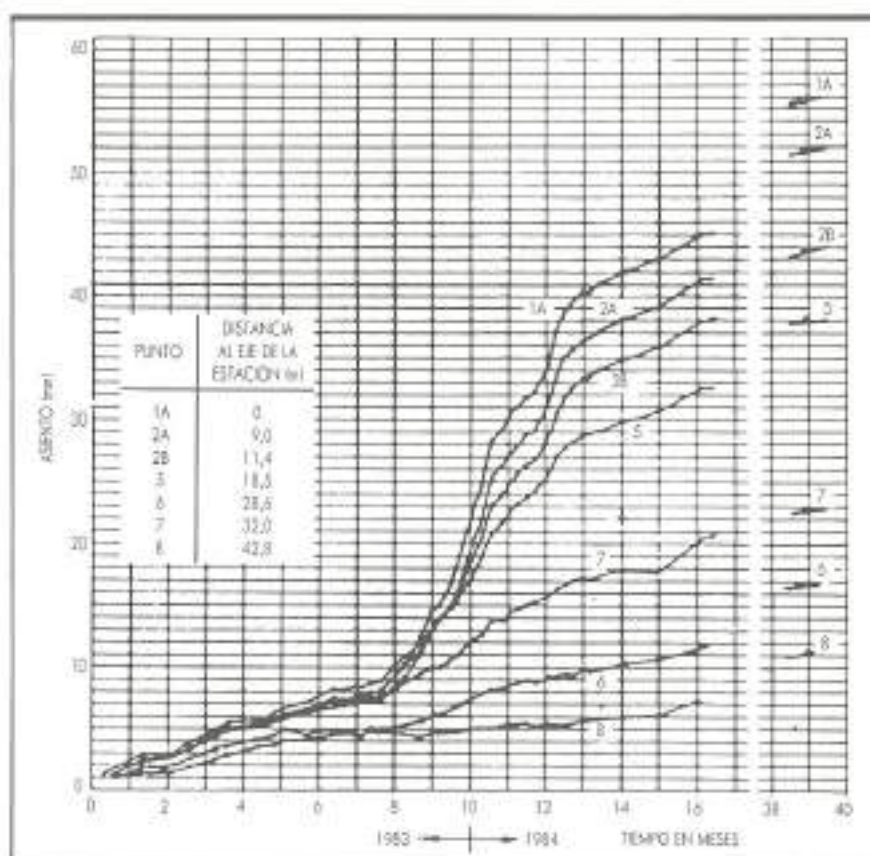


FIGURA 5. Asientos medidos en algunos puntos.

5. ASIENTOS MEDIDOS

En la Fig. 5 puede verse la evolución con el tiempo del asiento medido en algunos puntos controlados (definidos en la Fig. 3): Los primeros meses corresponden a la preparación del refuerzo de la obra. Hacia octubre de 1983 se continuaron realmente las obras, con la realización de las Fases 1 y 2. En diciembre de 1983 se inició la Fase 3, continuando con las 4 y 5 sin paradas. Finalmente se inició la Fase 6 en marzo de 1984. El asiento máximo fue de unos 40 mm, del orden de la mitad del obtenido en otras Estaciones (Rein y Oteo, 1984), en las que no se adoptó un refuerzo del sostenimiento provisional.

Puede verse en la Fig. 5 cómo, a pesar de las medidas adoptadas, inyecciones de huecos en trazados de bóvedas, etc., han continuado los movimientos a lo largo del tiempo.

Los asientos previstos pueden compararse con los medidos: En la Fig. 4 se han comparado los asientos superficiales —por fases— transversales a la Estación (sumando a las medidas las que se prevé produjo la parte ya excavada al comenzar

los controles). En la Fig. 6 se han comparado los asientos del interior del terreno y en la Fig. 7 la variación de asientos con la profundidad en la vertical del eje de la Estación.

En todos estos casos la comparación se ha hecho con las medidas obtenidas tres meses después de acabar la Estación, por corresponder a ese período las previsiones realizadas. Con esa condición puede verse que las diferencias entre la previsión y la medida son pequeñas: 5-10 % en la zona de movimientos máximos, sobre el túnel. Los errores relativos son mayores lejos de la Estación, pues los asientos reales se amortiguaron con la distancia al eje algo más de lo previsto.

Sin embargo, cabe decir que los movimientos del terreno han continuado con posterioridad, a lo largo de dos años, por continuar la relajación del terreno. Consideramos que, principalmente, son debidos a la importante decompresión de las "margas azules", relajación, apertura de las fisuras naturales, etc. También se han producido movimientos anómalos superficiales después de dos años (Fig. 7), pero creemos que se deben a cambios eli-

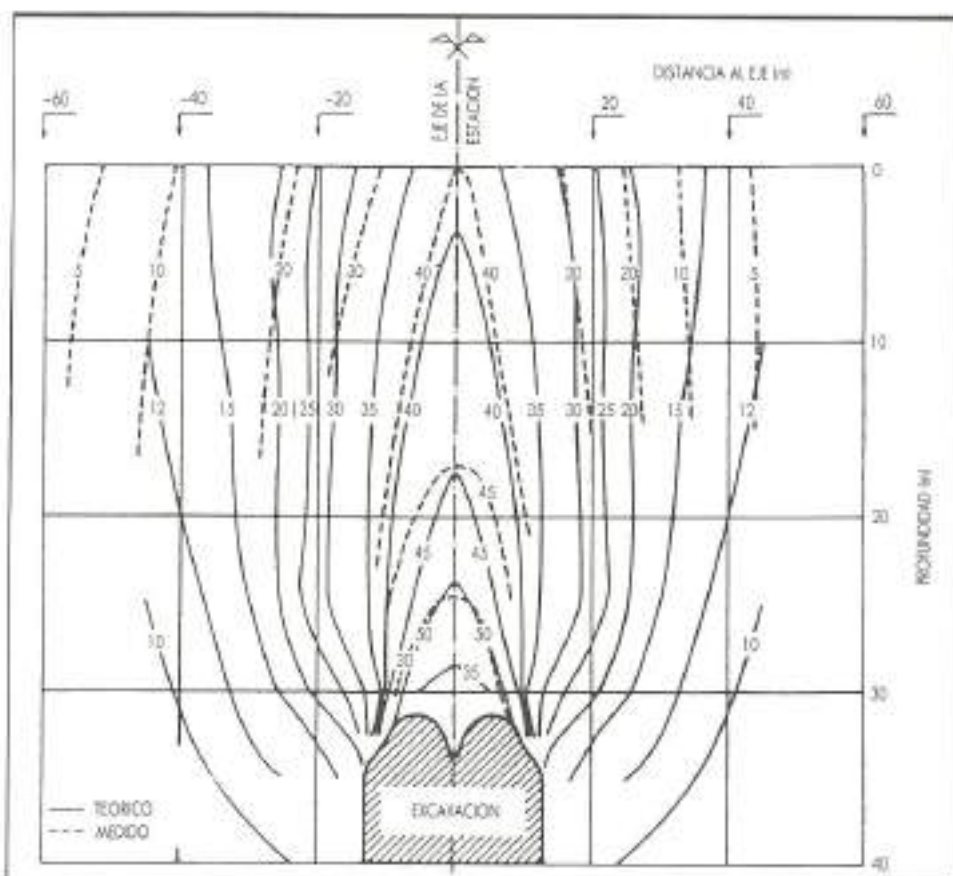


FIGURA 6. Líneas de asiento en el terreno (en mm).

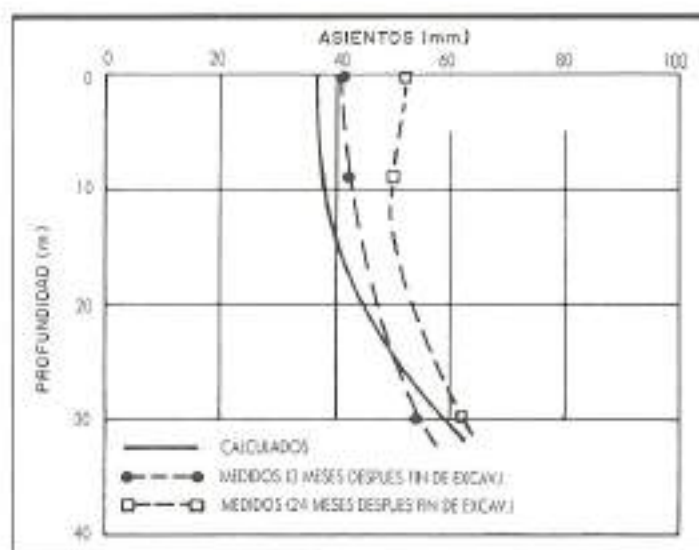


FIGURA 7. Asientos sobre el eje de la estación.

máticos, fuertes lluvias después de una sequía de varios años, etc. que habrán afectado a los rellenos superficiales.

6. CONCLUSIONES

- Los asentamientos máximos inducidos por la excavación de una obra subterránea de gran magnitud pueden ser muy importantes. En este caso han sido de 4 cm a pesar de haberse excavado rápida y manualmente y con frentes pequeños.
- Es muy importante reforzar el sostenimiento provisional de estos terrenos arcillosos, rígidos y fisurados, por los grandes movimientos que se pueden producir (decompresión, apertura de fisuras, etc.). En el caso de no reforzar el sostenimiento los asentamientos son del orden del doble.
- El sistema de previsión de asentamientos utilizado (TSSM) ha dado buenos resultados, como en otras obras anteriores, con diferencias menores del 10 % en los asentamientos máximos, para 3 meses después de acabar las obras, que era el período fijado para la previsión.
- A largo plazo se han seguido produciendo movimientos: Unos superficiales, debidos a cambios climáticos, lluvias, etc.; otros, profundos (10 % de los ya producidos), debido a la continuada relajación del terreno, gracias a los huecos que pueden quedar entre el terreno y el hormigón, movimientos de la estructura, etc.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su profunda gratitud a la Dirección General de Infraestructura del Transporte por la financiación de estos estudios y el permiso para publicar estos comentarios. También agradecen la cooperación de A. Sánchez (MTT y C), E. Benítez y J. A. del Río (Dragados y Construcciones, S.A.), y J. F. Moya, J. Perelli, A. López y J. Plaza (CEDEX).

8. REFERENCIAS

- OTEO, C. S. y SAGASETA, C. (1982). "Prediction of settlements due to underground openings". Proc. Int. Symp. on Numerical Methods in Geomechanics, Zürich, pp. 653-658.
- OTEO, C. S.; SANTACRUZ, M. y MOYA, J. F. (1986). "Behaviour of the cast-in-situ walls in the Sevilla Metro". Proc. Int. Congress on Large Underground Openings, Firenze, Vol. 1, pp. 837-844.
- REIN, J. A. y OTEO, C. S. (1984). "La construcción de Estaciones Subterráneas en el Metro de Sevilla (España)". Proc. I Congreso Latinoamericano de Trabajos Subterráneos de Metros, Caracas.
- SAGASETA, C. y OTEO, C. S. (1974). "Análisis teórico de la subsidencia originada por la excavación de túneles". 1.^{er} Simposio Nacional de Túneles. Madrid, Vol. 1, p. 10.
- URIEL, S. y OTEO, C. S. (1977). "Stress and strain besides a circular trench wall". Proc. IX Int. Conf. on Soil Mech. and F. E., Tokyo, Vol. 1.
- URIEL, S. y OTEO, C. S. (1979). "Measurements in a Experimental Tunnel Bored in the Sevilla Blue Marls and Recommendations for the Subway Design". Proc. 4th Int. Congress on Rock Mech., Montreux, Vol. 1.