

## Análisis numérico de los movimientos del suelo generados por la construcción de túneles en arcillas muy blandas

Numerical analysis of ground movements caused by tunneling in very soft clay

**Juan M. Mayoral V.**, Investigador del Instituto de Ingeniería UNAM  
**Francisco A. Flores L.**, Asistente de Investigador, Instituto de Ingeniería UNAM

**RESUMEN:** La construcción de túneles en zonas urbanas genera asentamientos que pueden provocar desplazamientos diferenciales en estructuras cercanas. En este trabajo se presenta un estudio numérico del comportamiento estático de un túnel construido en arcilla muy blanda. Los datos empleados en este estudio fueron obtenidos a partir de la instrumentación de un túnel de drenaje de 4 metros de diámetro. Los movimientos del suelo inducidos por el paso del escudo fueron monitoreados con bancos de nivel e inclinómetros. Para caracterizar el sitio en estudio se llevó a cabo una prueba de penetración de cono obteniéndose la distribución de resistencia al cortante no drenada con la profundidad. Adicionalmente se establecieron las propiedades mecánicas del suelo mediante pruebas típicas de compresión y extensión triaxiales y de consolidación. Se realizó un estudio paramétrico utilizando varias leyes constitutivas evaluándose la capacidad predictiva de cada una de ellas. Se desarrollaron modelos de diferencias finitas bi y tridimensionales del túnel. Finalmente se calcularon los desplazamientos debidos a la excavación del túnel y se compararon con los datos obtenidos de la instrumentación, observándose una buena congruencia entre ambos.

**ABSTRACT:** Construction of tunnels in urban zones induces ground settlements that can cause differential displacements on nearby structures. In this paper, a numerical study of the static performance of a tunnel built in very soft clay is presented. The data gathered from the instrumentation of a 4 m diameter sewer tunnel was used in this study. Ground movements induced by the shield tunneling throughout the soft clay was monitored by a number of bench marks and inclinometers. A cone penetration test was conducted at the site to obtain a distribution of the undrained shear strength with depth. In addition, the soil properties were also established from typical triaxial compression, triaxial extension and consolidation tests. A parametric study was conducted using several constitutive laws to assess their prediction capabilities. 2D and 3D finite difference models of the tunnel were developed. Displacements due to tunneling were computed and compared with the data obtained from instrumentation. The computed soil movements were in good agreement with the measured responses.

### 1 INTRODUCCIÓN

La evaluación de los asentamientos provocados por la excavación de túneles en suelos nos permite prevenir daños en estructuras cercanas, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas, como la ciudad de México. Es bien sabido que la magnitud de estos movimientos se ve afectada directamente por el procedimiento constructivo (Abel y Lee, 1973; Romo, 1984; Medina, 2000; Melis *et al.*, 2002), que es lo que origina los cambios en el estado de esfuerzos que ocurren en el frente y las paredes del túnel, antes y después de la colocación del revestimiento primario. Así pues, la predicción correcta de las deformaciones del suelo y sus correspondientes movimientos dependerán de la selección adecuada de las características esfuerzo-deformación-resistencia del suelo cercano al túnel (*i.e.* ley constitutiva) y de la distribución de los esfuerzos tridimensionales que se desarrollen en una sección determinada del túnel mientras la excavación se aproxime. Para modelar apropiadamente estas etapas de carga y recarga se deben realizar ensayos en muestras consolidadas anisotrópicamente, siguiendo una trayectoria de esfuerzos

que se asemeje a las condiciones de campo durante las diferentes etapas constructivas, y poder determinar los parámetros del suelo. Usualmente, en una prueba triaxial se modelan 4 trayectorias de esfuerzos para cubrir todas las etapas: a) compresión por incremento del esfuerzo axial con confinamiento lateral constante; b) compresión por decremento del esfuerzo lateral con esfuerzo axial constante; c) extensión por incremento del esfuerzo lateral con esfuerzo axial constante, y d) extensión por decremento del esfuerzo axial con esfuerzo confinante constante.

En este trabajo se presenta un estudio numérico del comportamiento de un túnel construido en arcilla muy blanda, de alta compresibilidad y baja resistencia al esfuerzo cortante. Se utilizaron los datos recopilados de la instrumentación de un túnel de drenaje de 4 m de diámetro. Este colector es parte del sistema de alcantarillado que da servicio a la región sur de la ciudad de México (Fig. 1) y se construyó hace 27 años utilizando la técnica de escudo presurizado, en la llamada zona de Lago. Se desarrollaron modelos del túnel de diferencias finitas bi y tridimensionales. Con los análisis llevados a cabo se evaluó la capacidad predictiva de algunas de las