

Análisis numérico de la interacción con uso de las líneas características en un túnel de gran diámetro

Gianfranco Perri⁽¹⁾

RESUMEN

Se presentan los análisis numéricos de esfuerzos y deformaciones elaborados en fase de diseño para el proyecto de un túnel de doble vía a ser construido en la Cola de Maniobras de la Línea 3 del Metro de Caracas, para cuya construcción se prevee el uso de una preconsolidación con elementos "jet grouting" pseudo horizontales de 0.60 m de diámetro y 12 m de largo, contiguos en todo lo ancho del arco de bóveda y hastiales del túnel de aproximadamente 10 m de diámetro. Se calculan numericamente las líneas características de la excavación y se estiman las cargas sobre el sostenimiento.

INTRODUCCION

Entre las progresivas 1 + 100 y 1 + 400 de la Línea 3 del Metro de Caracas, se desarrollará la Cola de Maniobras prevista a ser construída en parte en túneles gemelos estandarizados de aproximadamente 6 m de diámetro y en parte en trinchera cubierta de doble vía, de algo mas que 10 m de ancho, debido a la necesaria presencia de un cambiavías.

Ahora bien la profundidad del tope del riel en el tramo previsto en trinchera está comprendida entre 25 y 30 metros obligando su construcción a la apertura de una excavación a cielo abierto de hasta casi 35 m de profundidad en un subsuelo constituido por terrenos coluvio-aluviales en lentes y estratos erráticamente distribuidos de arenas arcillo-gravosas y arcillas arenosas, en presencia de un nivel freático a aproximadamente 10 m de profundidad.

(1) Profesor de Mecánica de Rocas y Diseño Geotécnico de Túneles en la Universidad Central de Venezuela

Tal excavación ha sido originalmente diseñada para ser sostenida temporalmente con muros colados de 1 m de espesor, apuntalados en los niveles superiores y anclados en los niveles inferiores.

Tal obra así como prevista, conlleva una serie de problemas técnicos que, unidos a sus correspondientes costos elevados, ha inducido a estudiar la factibilidad de metodologías alternas de construcción y, entre otras, la que prevee construir un túnel de doble vía, de aproximadamente 10 m de diámetro en forma de herradura, excavado en secciones parciales y sostenido con un revestimiento en concreto armado vaciado en sitio.

Para garantizar la estabilidad temporal de la excavación en fase constructiva se prevee el uso de una consolidación que, previamente a cada nuevo tramo de excavación, se ejecuta desde el subterráneo mediante el empleo de la tecnología "jet grouting" con la cual se conforma, a todo lo ancho del arco del túnel, un sostenimiento temporal mediante columnas de suelo cemento pseudo horizontales y entre sí compenetradas: se trata de una especie de "marciavanti" moderno que ha encontrado en los últimos años una amplia utilización en túneles de gran diámetro construidos en Italia en terrenos especialmente difíciles.

Las mencionadas columnas "jet grouting" son de aproximadamente 0.6 m de diámetro y 12 m de longitud cada una, reforzadas con tubos metálicos distribuidos en el techo del túnel según una metodología y un esquema geométrico que ya se pueden considerar clásicos.

El sostenimiento temporal del túnel se complementa luego, durante las etapas de excavación, con la puesta en obra de adecuadas costillas metálicas según el esquema de la figura 1 que ilustra el conjunto geométrico de la intervención para el sostenimiento.

Los detalles constructivos relativos al dimensionado y espaciado de las costillas metálicas, así como a las etapas y velocidades del proceso de excavación, aunque estimados a nivel de proyecto requerirán evidentemente de la observación experimental durante la construcción para, en base a ello, ajustar los parámetros del diseño al comportamiento y exigencias reales de la obra.

En este orden de ideas, y con el objeto de predimensionar la construcción, se llevó a cabo un análisis geonumérico para la obtención de las líneas características del túnel con lo cual estimar las deformaciones a esperar en el sistema y las posibles cargas sobre el sostenimiento.

ANALISIS GEONUMERICO

En la figura 2 se indica el modelo plano de elementos finitos utilizado para llevar a cabo el análisis numérico de esfuerzos y deformaciones del sistema, considerando un comportamiento elastoplástico para el terreno según el criterio de Mohr-Coulomb

y simulando las distintas fases constructivas de la excavación del túnel: calota banco y solera, según los dos esquemas geométricos intermedios reportados para el modelo de cálculo en la figura 3.

Los parámetros geotécnicos utilizados para representar en el cálculo el terreno adyacente a la excavación, se detallan a continuación:

peso unitario $\gamma=2.20 \text{ t/m}^3$; módulo elástico longitudinal $E=3000.00 \text{ t/m}^2$; módulo elástico transversal $\nu=0.40$; cohesión $c=2.00 \text{ t/m}^2$; ángulo de fricción $\phi = 30^\circ$.

El proceso de simulación geonumérica se llevó a cabo según los lineamientos siguientes, para cada una de las tres etapas constructivas simuladas:

a) Calibración del sistema mediante la eliminación de los elementos de la porción excavada y aplicación, sobre el contorno de tal excavación, de las presiones equivalentes a las naturales preexistentes y obtenidas con un cálculo previamente ejecutado sobre el modelo del semiespacio natural. El resultado numérico de tal fase de calibración debe arrojar esfuerzos y deformaciones iguales a las del estado natural del semiespacio no excavado.

b) Cálculo de las deformaciones aplicando sobre el contorno presiones equivalentes a un porcentaje (90%) de las naturales,

c) Nuevos cálculos con presiones de 80%-70%-60...y 15% de las naturales (ver en la figura 4 ejemplos gráficos de los resultados obtenidos, en la fase constructiva 3, para las tensiones y los desplazamientos con el 25% de las presiones naturales).

d) Construcción de las líneas características de la excavación para cada una de las tres etapas constructivas simuladas, mediante la graficación de las presiones internas versus los desplazamientos correspondientes a tres puntos representativos del contorno de las excavaciones: calota, solera y hastiales (ver la figura 5 correspondiente a la tercera etapa constructiva).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Del análisis detenido de los resultados numéricos obtenidos de los cálculos de simulación llevados a cabo, pueden apreciarse, además que los desplazamientos del contorno de las excavaciones, los niveles de esfuerzos y deformaciones a esperar en el terreno como consecuencia de las excavaciones previstas así como la extensión de los sectores que alcanzarán el estado plástico en las adyacencias del túnel; el todo en función del nivel de descompresión que el proceso constructivo induzca en el terreno adyacente al contorno de las excavaciones.

A tal propósito, tomando en cuenta la contribución del arco de "jet grouting", se espera que la inmediata colocación y puesta en

carga de las costillas metálicas mediante el uso de celdas de presión como elemento de apoyo al pie, pueda evitar una descompresión excesiva del terreno y así cumplir con el objetivo de limitar las deformaciones del arco y sus eventuales e indeseadas repercusiones en la superficie o subsuperficie del terreno sede ambas, de numerosos e importantes servicios públicos.

En efecto en base al análisis gráfico de la interacción terreno-costillas metálicas del sostenimiento temporal, se obtendrían asentamientos máximos en la clave del túnel del orden de los 8 cm, si se logra un valor de desplazamientos iniciales previos a la puesta en carga de las costillas no superior a los 5 cm así como es asumido en los gráficos reportados en la figura 5.

Bajo tales circunstancias, las cargas finalmente actuantes sobre el sostenimiento primario, se ubicarían en el orden de máximo el 70% y mínimo 55% de las presiones naturales inicialmente preexistentes sobre el contorno de la excavación. Y tales niveles de cargas resultan evidentemente compatibles con el predimensionado previsto para las costillas: un par de ellas (2HEA200) cada metro.

FIGURA 1. Esquema típico del sostenimiento de la excavación

FIGURA 2. Modelos final e inicial de elementos finitos

FIGURA 3. Modelos intermedios de elementos finitos

FIGURA 4. Esfuerzos y deformaciones con presión de 25%

FIGURA 5. Interacción terreno-costillas de sostenimiento

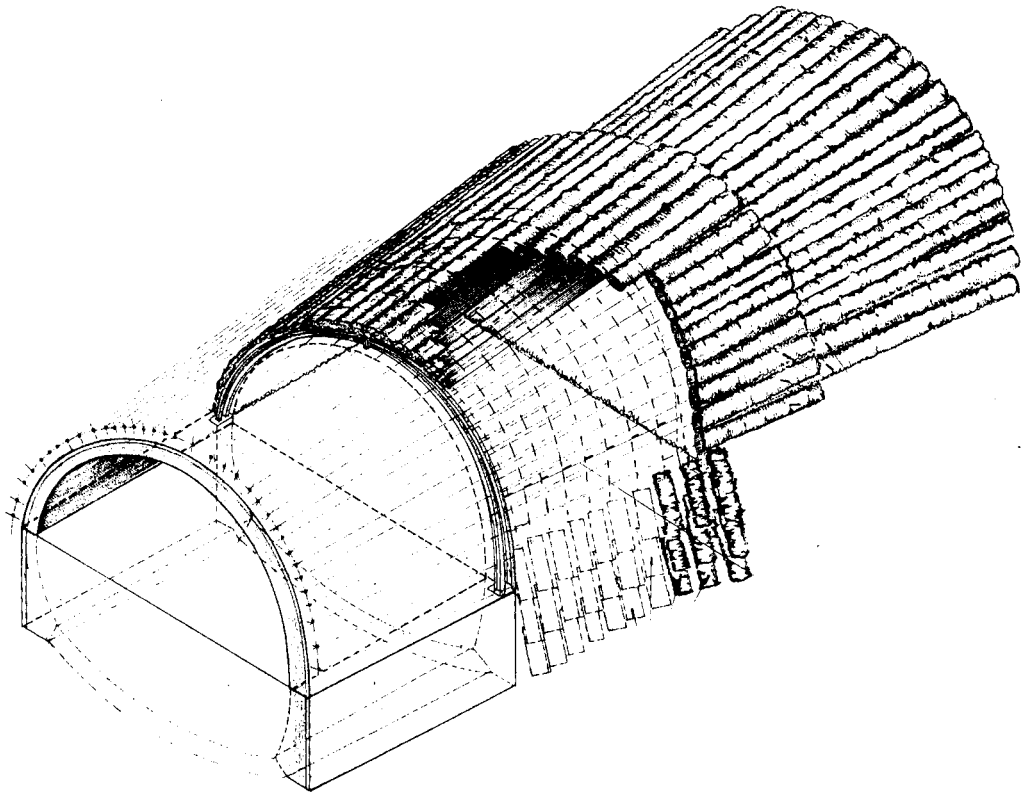
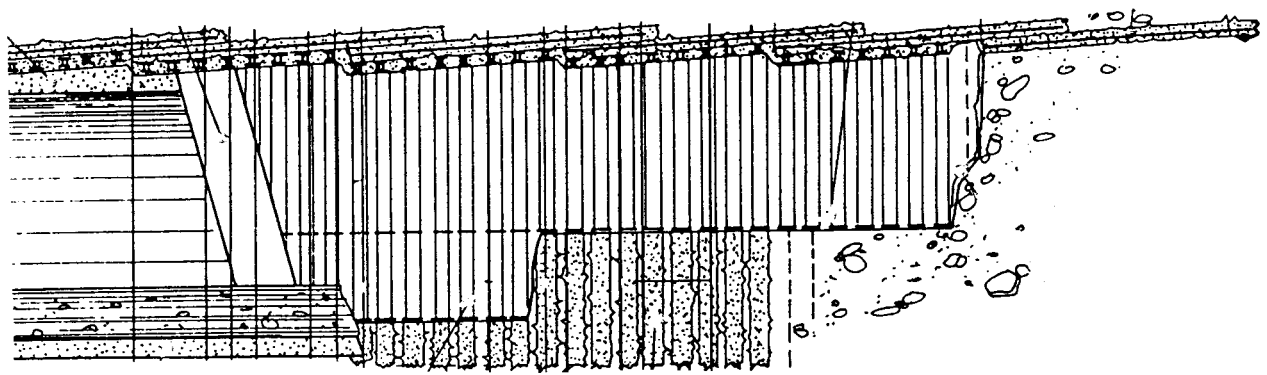


FIGURA 1. Esquema tipico del sostenimiento de la excavación



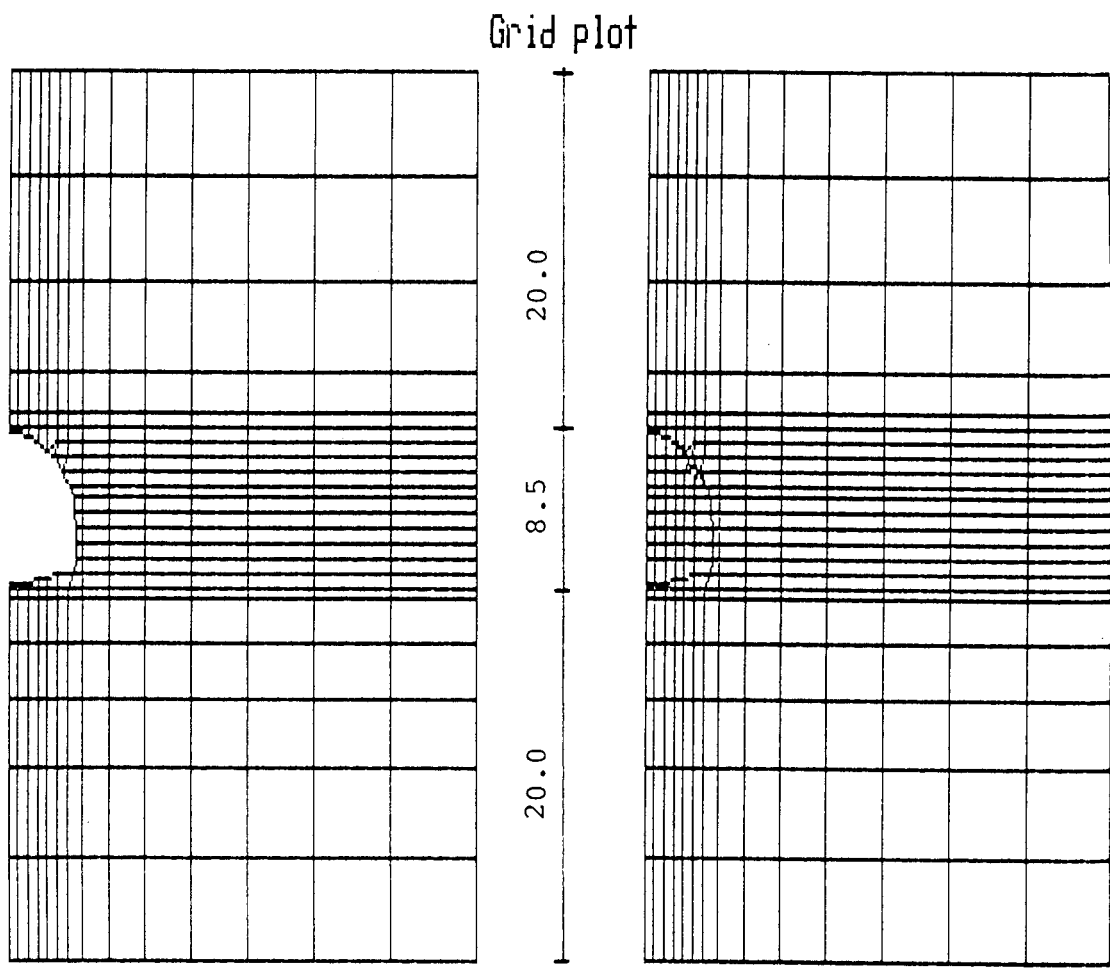


FIGURA 2. Modelos final e inicial de elementos finitos

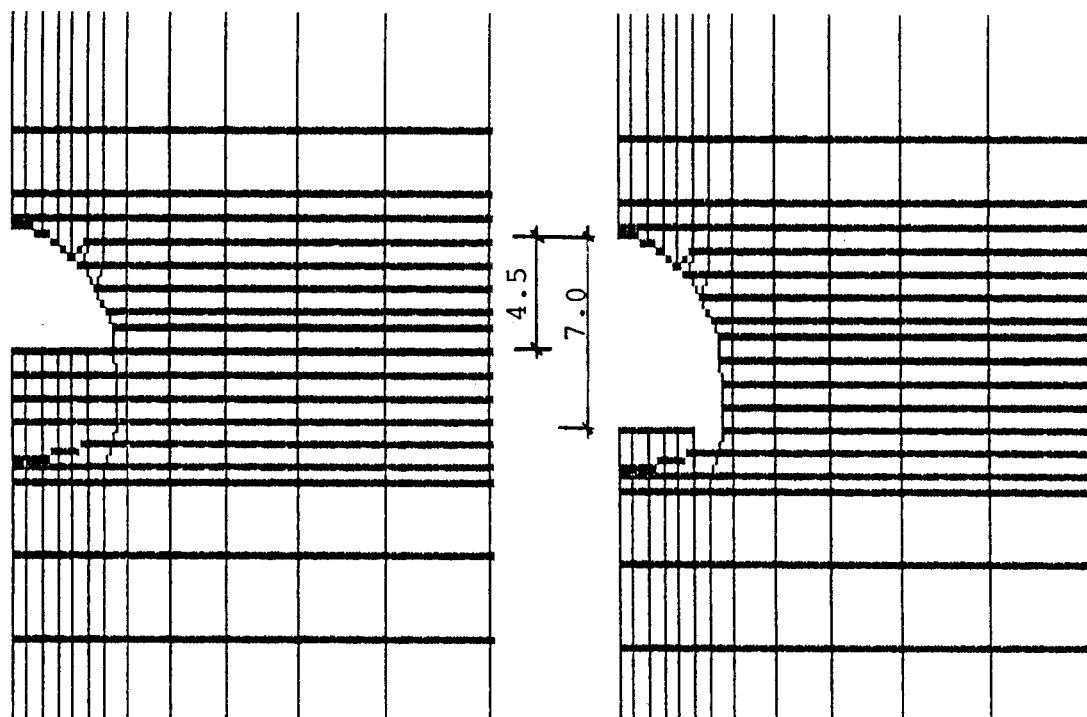
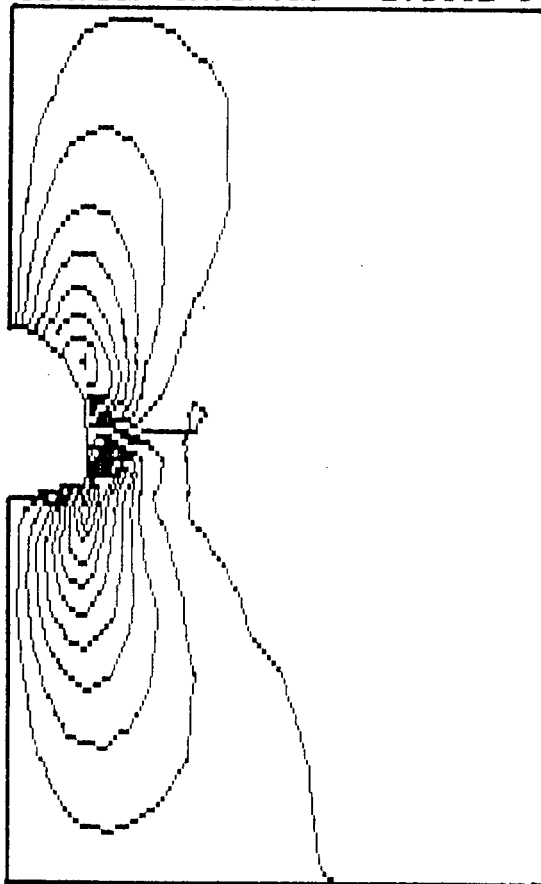


FIGURA 3. Modelos intermedios de elementos finitos

XY-stress contours
Contour interval= 2.500E+04



Displacement vectors
Vector Length= 1.592E-01

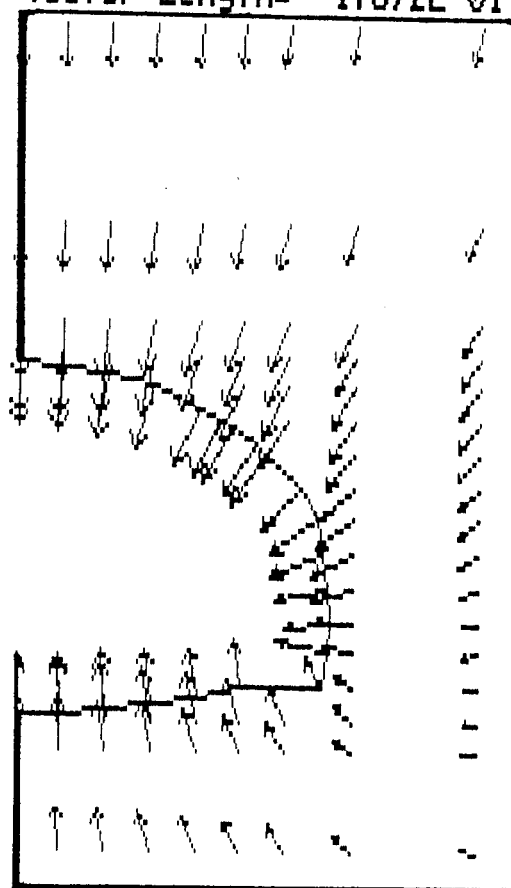


FIGURA 4. Esfuerzos y deformaciones con presión de 25%

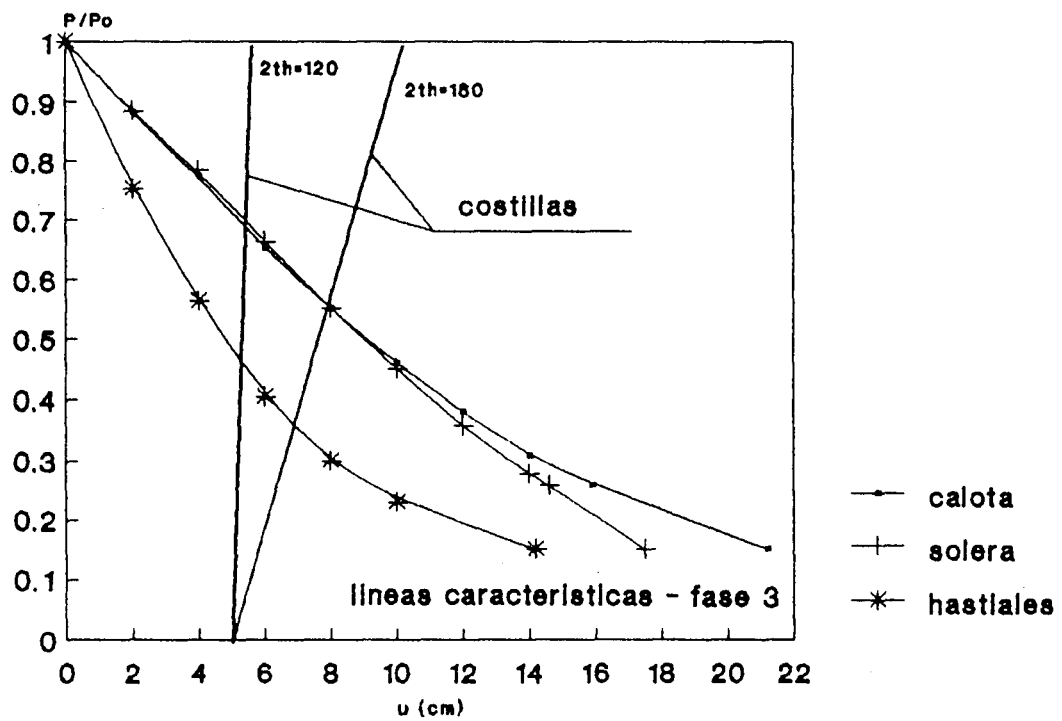


FIGURA 5. Interacción terreno-costillas de sostenimiento