

Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas



ÁREA: A
MÓDULO: MECÁNICA DEL SUELO

PROBLEMAS EN TÚNELES EXCAVADOS EN ARENAS

Ponente: Carlos Oteo
Dr. Ing. Caminos, C.P.
Catedrático Ing. del Terreno.
UC

Día: 09/02/07
Hora: 18:15 a 20:15

**I MASTER UNIVERSITARIO EN TÚNELES Y OBRAS
SUBTERRÁNEAS – 2006
AETOS – U.P.M. – C.I.C.C.P.**

**“PROBLEMAS EN TÚNELES EXCAVADOS EN
ARENAS”**

**Carlos Oteo Mazo
Dr. Ing. de C. C. y P.
Catedrático de Ing. del Terreno
Universidade da Coruña**

1. INTRODUCCIÓN.

En estas páginas vamos a tratar de los problemas que se presentan en suelos arenosos al excavar túneles. Como túneles arenosos consideramos:

- Los que contienen menos del 15% de finos, en cualquier caso. En Madrid se consideran "arenas de miga" hasta con un 25% de finos, pero ya se vienen distinguiendo, dentro de ellas las fracciones con menos del 15% y los que tienen entre 15 y 30%, en un claro intento de separar materiales con un comportamiento desigual (Tesis Doctoral de M. Arnáiz).
- Los que no tienen cohesión efectiva y muy pequeña a corto plazo (menos de $0,5 \text{ T/m}^2$).
- Las que pueden tener tamaños máximos entre centímetro y decímetros, con granulometrías prácticamente continuas.

En la Figura adjunta (nº 1) puede verse que, al abrir una excavación subterránea, en clave del túnel (punto A) se produce una disminución de la tensión vertical, que puede llegar a ser nula, en cuyo caso el círculo de Mohr se mueve hacia la izquierda, sobrepasando la línea de resistencia intrínseca. En el punto B (hastial) se produce un aumento de tensión vertical y una disminución de tensión horizontal, lo que hace crecer el círculo, pudiendo también sobrepasar la citada línea de resistencia. Así puede producirse una plastificación del terreno circundante al túnel (ver ^{por los efectos} Figura 2) ^{hacia los} que crea las "orejas" clásicas en un túnel y el posible descenso de la masa que está sobre la clave, al no haber cohesión que ayude al rozamiento a evitar la inestabilidad del bloque suprayacente, con la generación de un posible socavón superficial (Fig. 2).

Es decir, podemos tener (Fig. 3):

- Inestabilidad, local y general, en bóveda.
- Empujes importantes en bóveda, debidos a la decompresión del terreno que suele originar una disminución de la poca cohesión del terreno.
- Empujes importantes en hastiales y posibilidad de arrastre si hay agua, lo que puede general convergencias del orden del 0,5-1%.

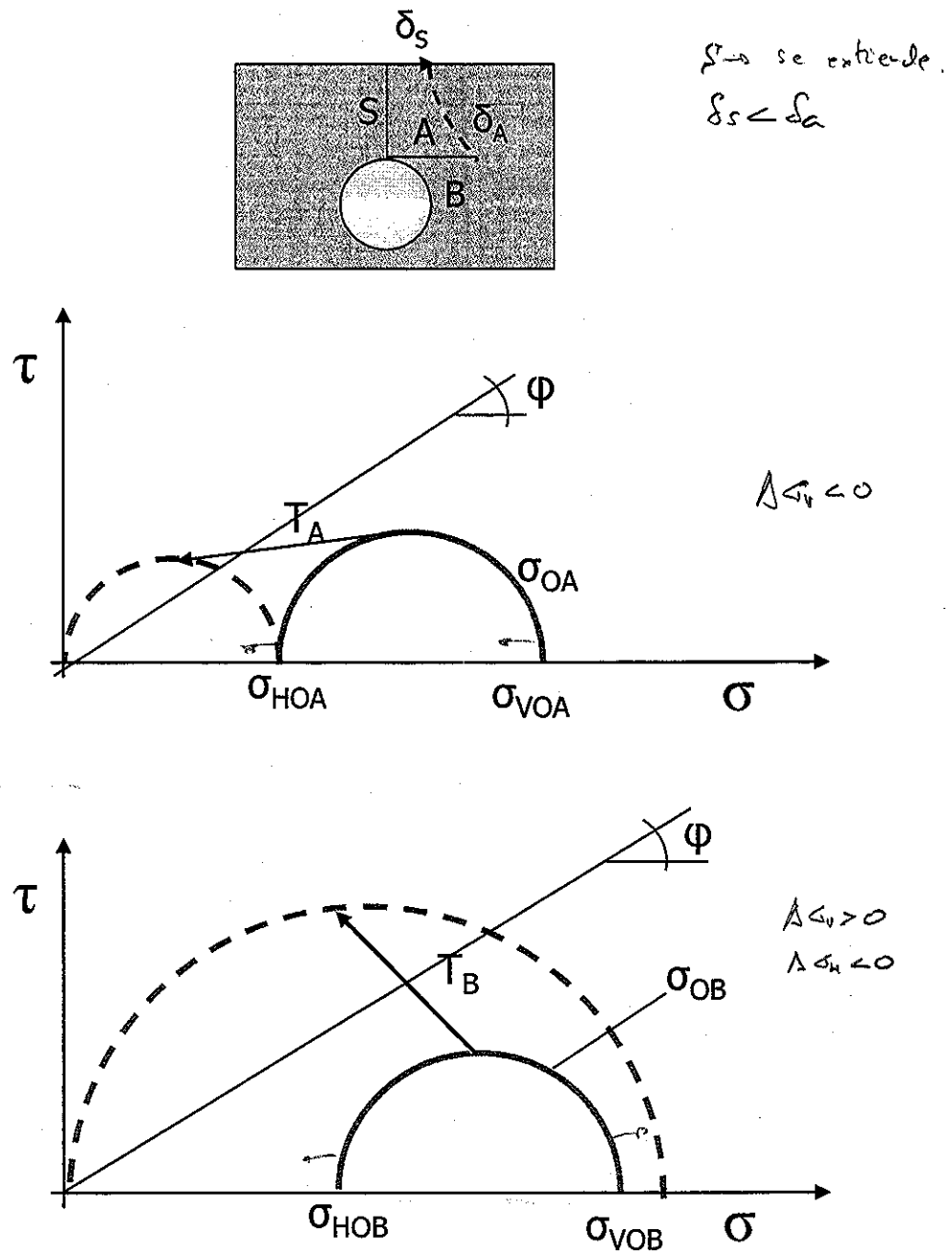


Figura 1

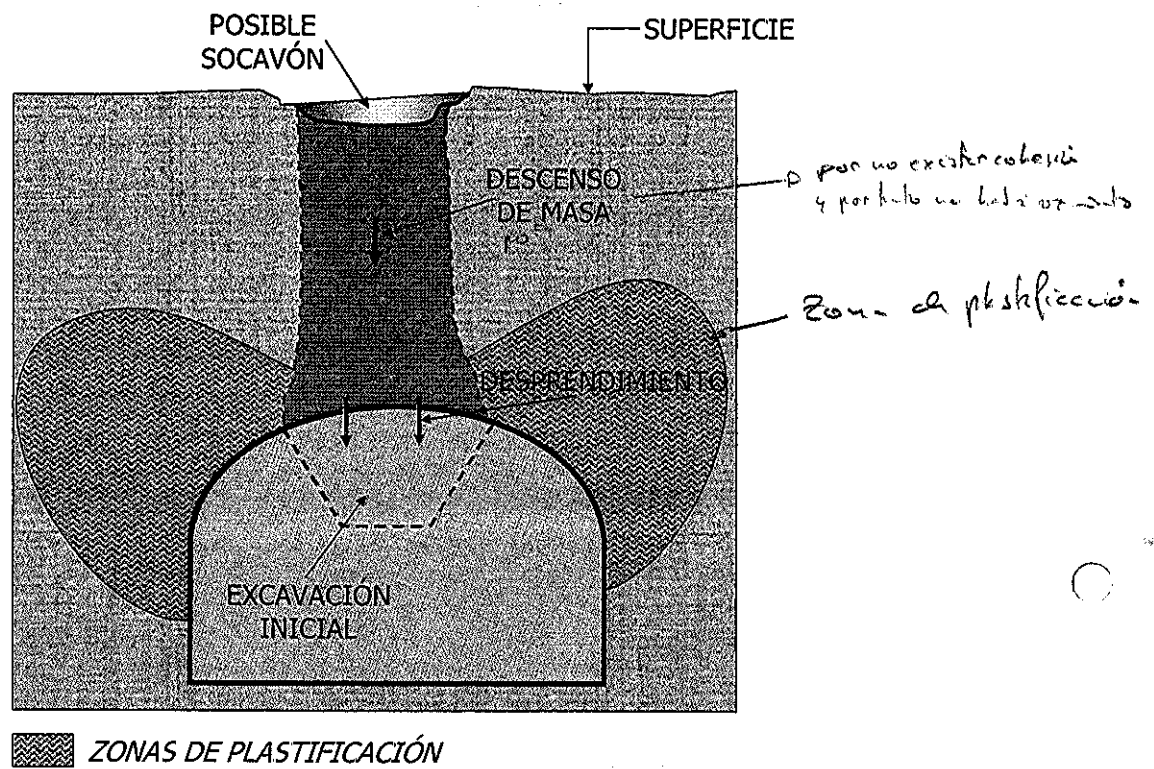


Figura 2

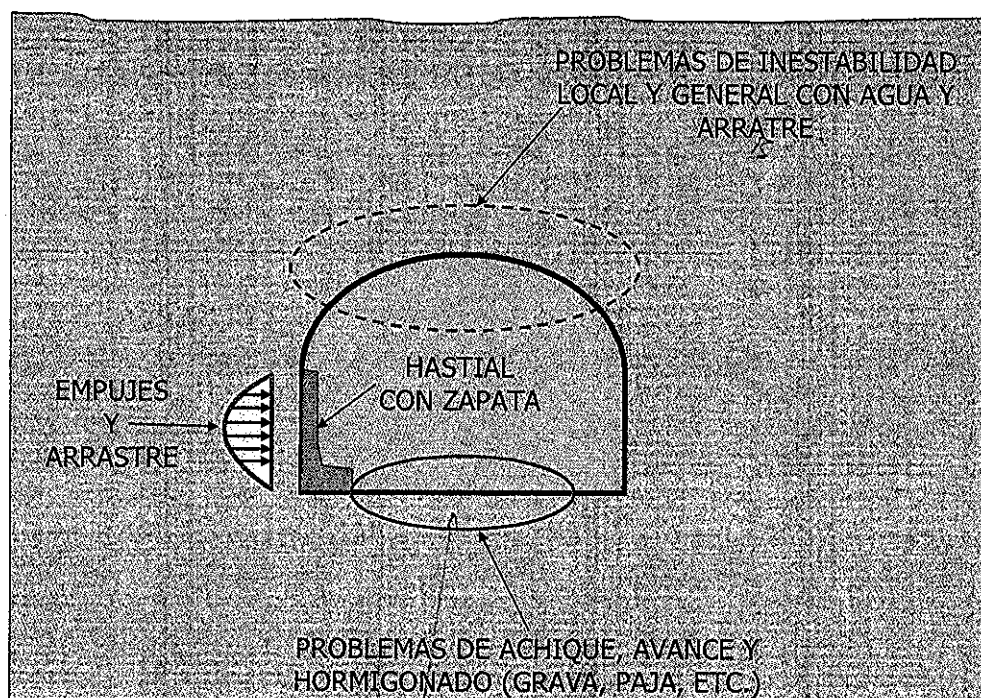


Figura 3

Decomposición

- Problemas de solera, si hay agua, que impiden el avance, paso, hormigonado, etc.
- Poca efectividad de posibles bulonados, por la gran deformabilidad que necesitan para entrar en carga (varios centímetros).

Esos empujes vienen a ser función del recubrimiento y del contenido de finos, como indica la Fig. 4.

Agua

En el caso de existir flujos de agua en bóveda, pueden utilizarse paraguas de silicatos ennegrecidos (de varias coronas y tapón de fondo) para evitar el arrastre del terreno, tal como lo hicimos en la Línea 10, en su bajada a Metrosur (bajo la Casa de Campo), Fig. 5. Si el agua se presenta en hastiales pueden usarse inyecciones armadas o jet-grouting y en solera pueden utilizarse pozos de bombeo con inyecciones auxiliares, grava y/o paja, junto con un rápido hormigonado (Fig. 6)

A veces, en bóveda, aunque no haya agua, es necesario acudir a enfilajes (bulones y/o micropilotes) para sujetar materiales gruesos mientras se excava (Fig. 7).

El agua puede producir roturas de frente, si viene a través de capas permeables, como en el Túnel de Casimiro Saenz (Centro de Santander), en el que aparecían capas semiverticales de areniscas alteradas con capas de agua (con una presión del orden de 30 T/m². En la Fig. 8 se esquematiza la solución empleada en este caso.

Al problema de inestabilidad frontal (Fig. 9 a y 9 b), típica de avances con métodos de sección partida (Belga, N.A.T.M., etc) puede añadirse el riesgo de inestabilidad general que llegue hasta superficie, formando socavón, por falta de cohesión. Pero si se avanza con tuneladora, si el suelo es muy arenoso, con pocos finos, puede producirse una sobreexcavación en una capa arenosa situada en bóveda. Se originan, así, un hueco, sobre la clave, cuya dimensión longitudinal va aumentando al avanzar la máquina (Fig. 10). Se crea, así una inestabilidad "dorsal" que, al alcanzar una dimensión del orden de 1,7 veces el diámetro de excavación, puede alcanzar la superficie y originan un socavón. Contra este problema puede lucharse rellenando de forma continua (desde superficie) el hueco con mortero (Fig. 11) o con tratamientos como el de "tienda de campaña" de la Fig. 12).

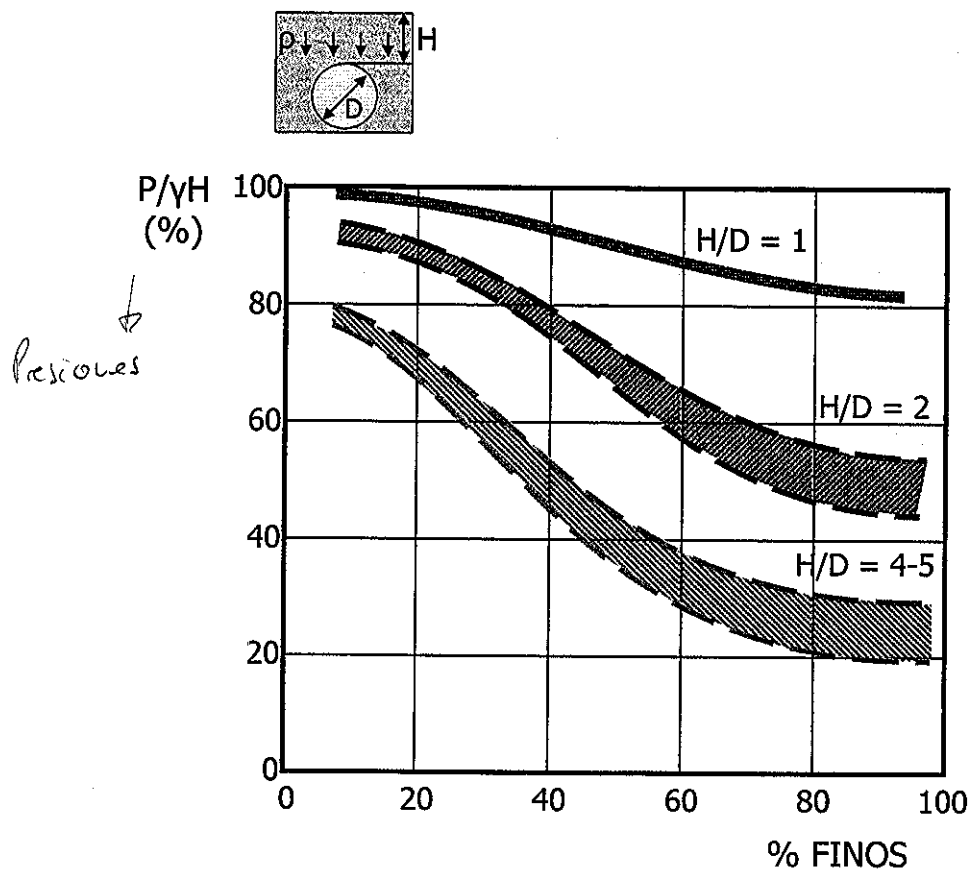


Figura 4

► EN BÓVEDA: "PARAGUAS" DE INYECCIONES CON SILICATOS.

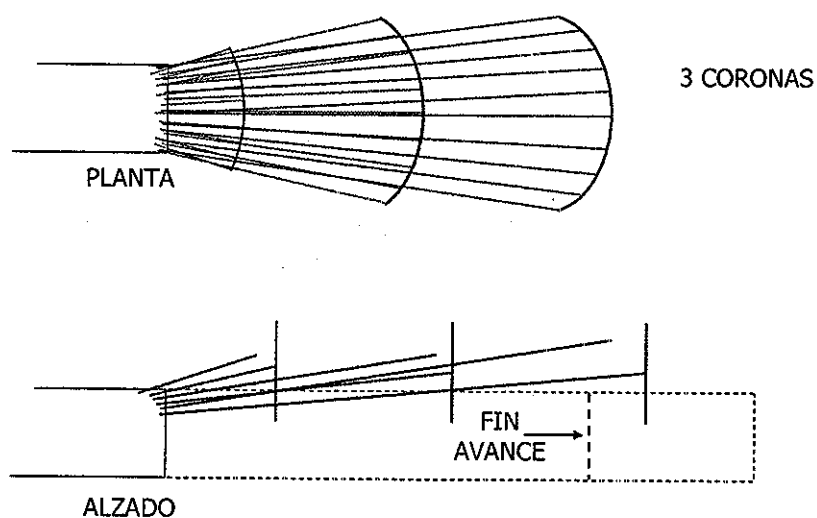
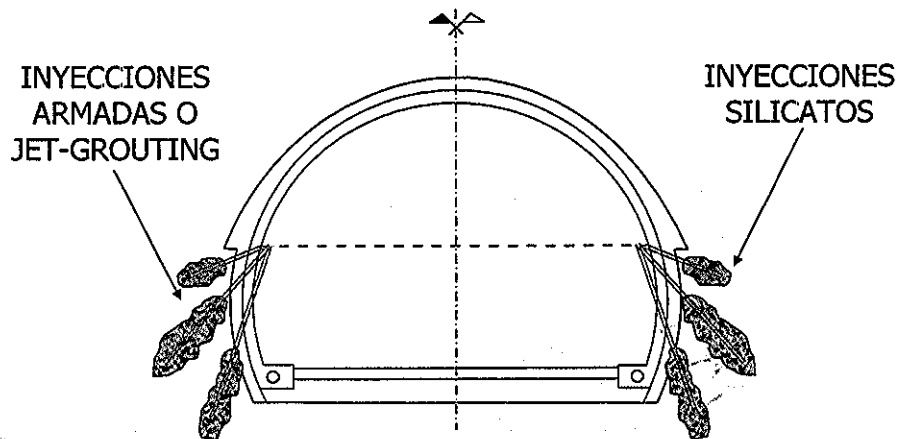


Figura 5.- Soluciones contra flujos de agua.

► EN HASTIALES:



► EN SOLERA: POZOS + INYECCIONES GRAVA Y PAJA HORMIGONADO RÁPIDO

Figura 6 Soleras con flejos de arena o L. distintos por el nivel

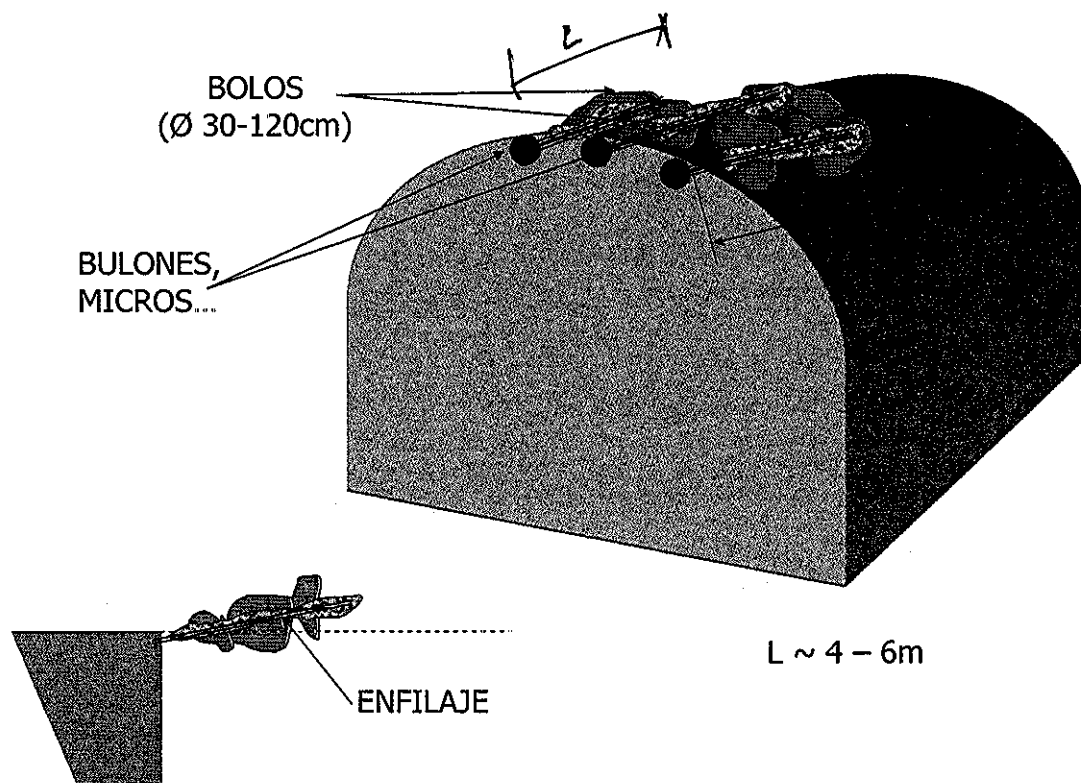


Figura 7.- Sujeción del terreno en bóveda.

con flejos

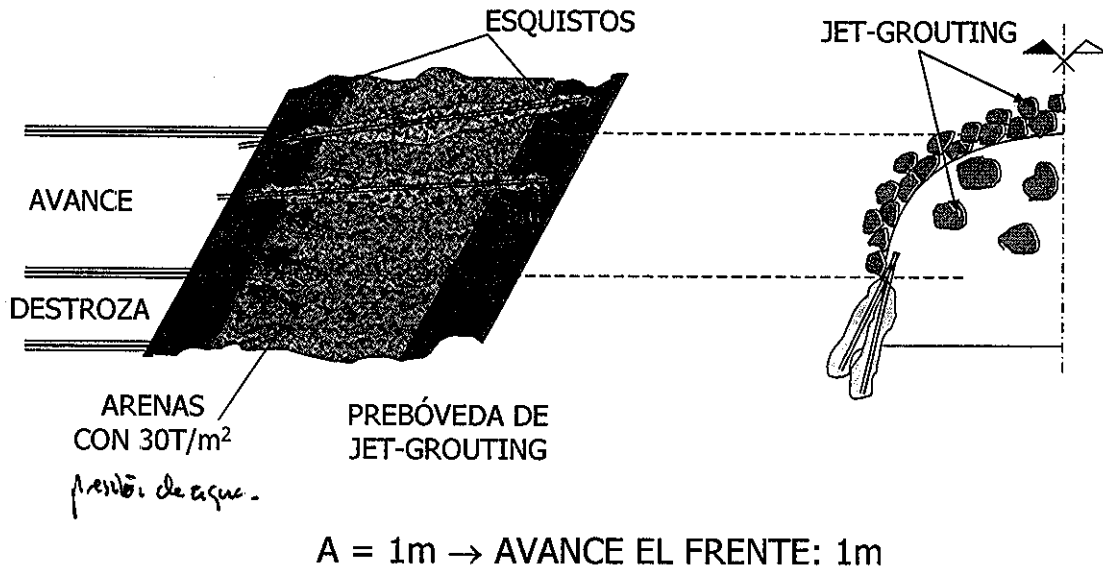


Figura 8.- Solución.

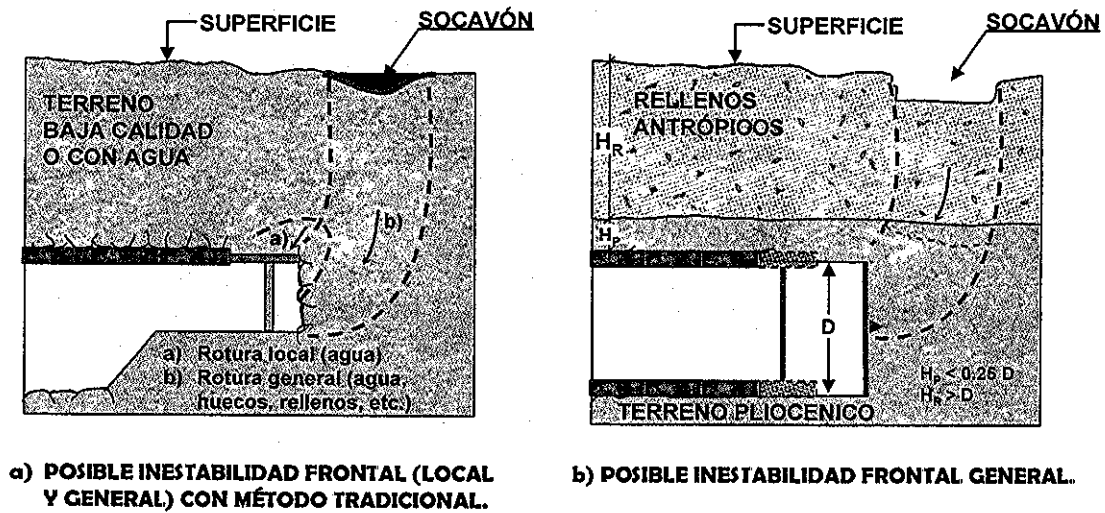
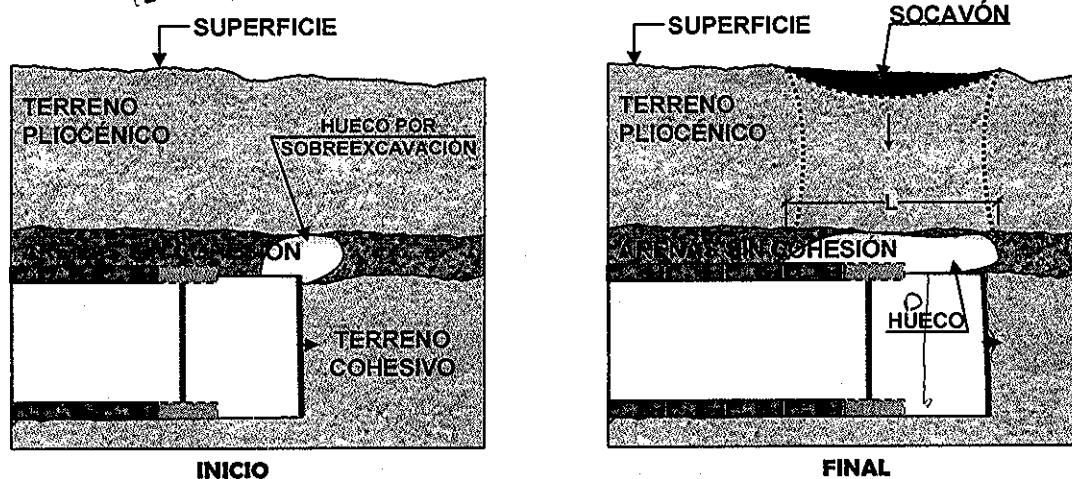


Figura 9

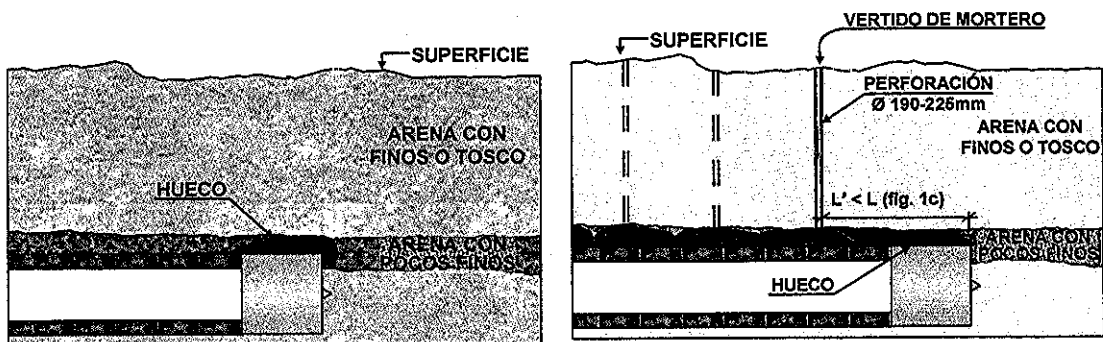
La causa de el hueco por sobreexcavación sobre el restituido local
 q- se crea y se crea un socavón
 la inestabilidad se produce cuando $L \geq 1/7D$



c) POSIBLE INESTABILIDAD DORSAL en traveses con

pueldones

Figura 10



a) FORMACIÓN DE HUECO SOBRE CLAVE.

b) RELLENO DE HUECOS CON MORTERO ANTES DE QUE SE FORME LA CHIMENEA.

Figura 11

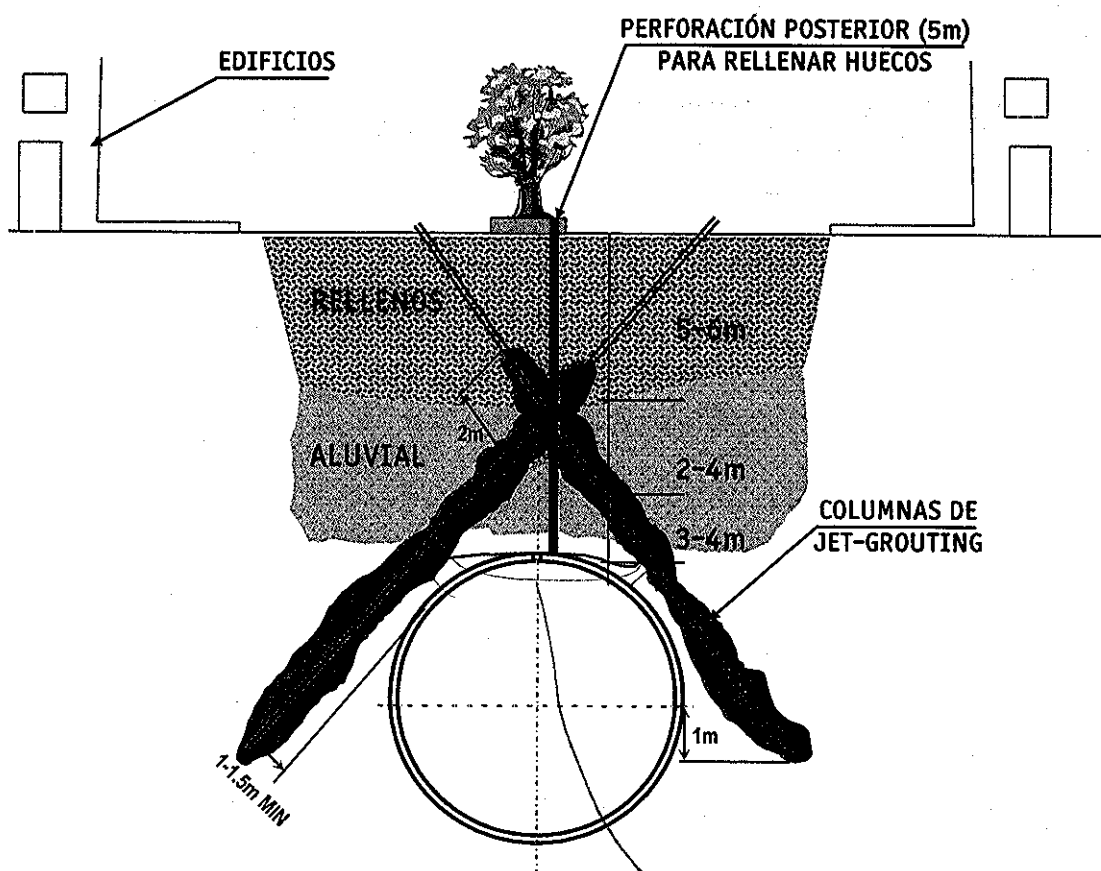
**Figura 12**

Figura 12 ~~La~~ Posible acción del cloro
rerelleno a posteriori

En la Fig. 13 puede verse, para los suelos de Madrid, los volúmenes de asientos que puede originar el avance de un túnel en materiales pliocénicos, indicándose las zonas con inestabilidad dorsal (volúmenes de asiento del 4-5% de la sección excava). Y la Fig. 14 muestra el criterio que puede utilizarse en Madrid para estimar el riesgo de rotura de éste tipo.

Como ejemplo de grandes túneles ejecutados en arenas pliocénicas (con contenido de finos del 7 al 20%) pueden citarse los de la M-40 bajo El Pardo; se trata de dos túneles paralelos, de casi 20 m de diámetro, y que se ejecutaron por el método alemán (Fig. 15 a 17). 1º) Excavación y ejecución de hatiales, sostenidos con gunita y cuya parte inferior (2 m de altura) se excavaba los sábados en retirada y se llenaban de hormigón, para construir el apoyo de los hastiales, lo cuales se hormigonaban después. 2º) Ejecución de la bóveda superior mediante el método de preserrado, ejecutando una prebóveda de gunita de 14 m de anchura, 4,5 m de avance (con 10 m de solape), con un espesor teórico de 30 cm (que podía llegar a 70 cm, al ir cayendo la arena de la ranura). 3º) Se destruía parte del sostenimiento de galerías laterales y se excavaba la destroza. 4º) Se hormigonaba la solera.

En el Túnel de El Guincho (Tenerife), cuya construcción se está acabando actualmente, la presencia de escoria fina granular (semejante a una arena fina) ha provocado la creación de inestabilidades en bóveda y chimeneas hasta la superficie, cerca de casas (Fig. 18). Para evitar estos problemas se diseñó una solución de prebóveda doble de inyecciones armadas con tubo autoperforante, con válvulas (Fig. 19). La inyección, a veces, se iba por capas inclinadas (Fig. 20) y no tenía toda la efectividad deseada, por lo que se llegó a sustituir la corona inferior por columnas de jet-grouting, a fin de "cerrar" la posibilidad de "escape de finos" (Fig. 21). Las casas se protegieron con columnas adicionales de jet-grouting (Fig. 22).

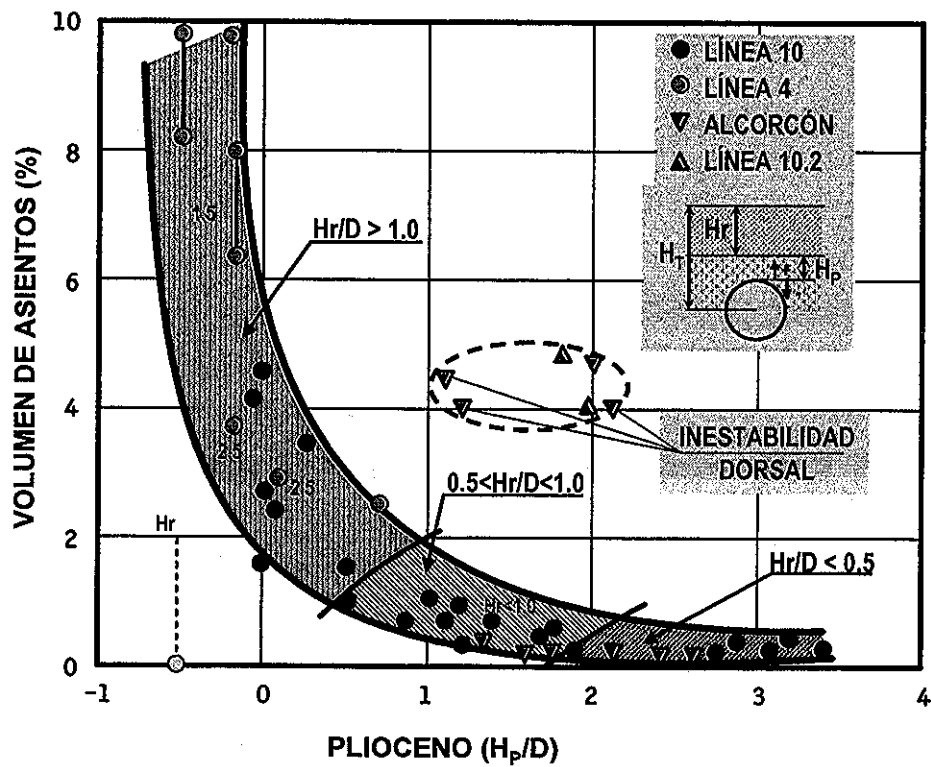


Figura 13

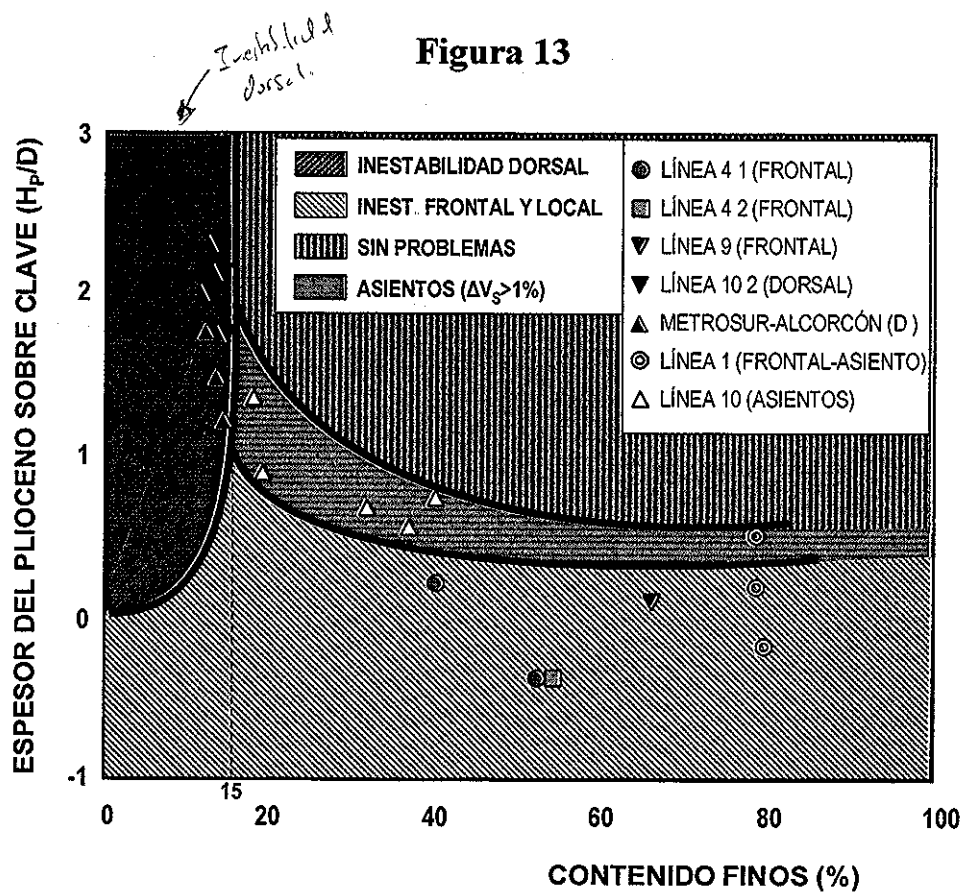


Figura 14

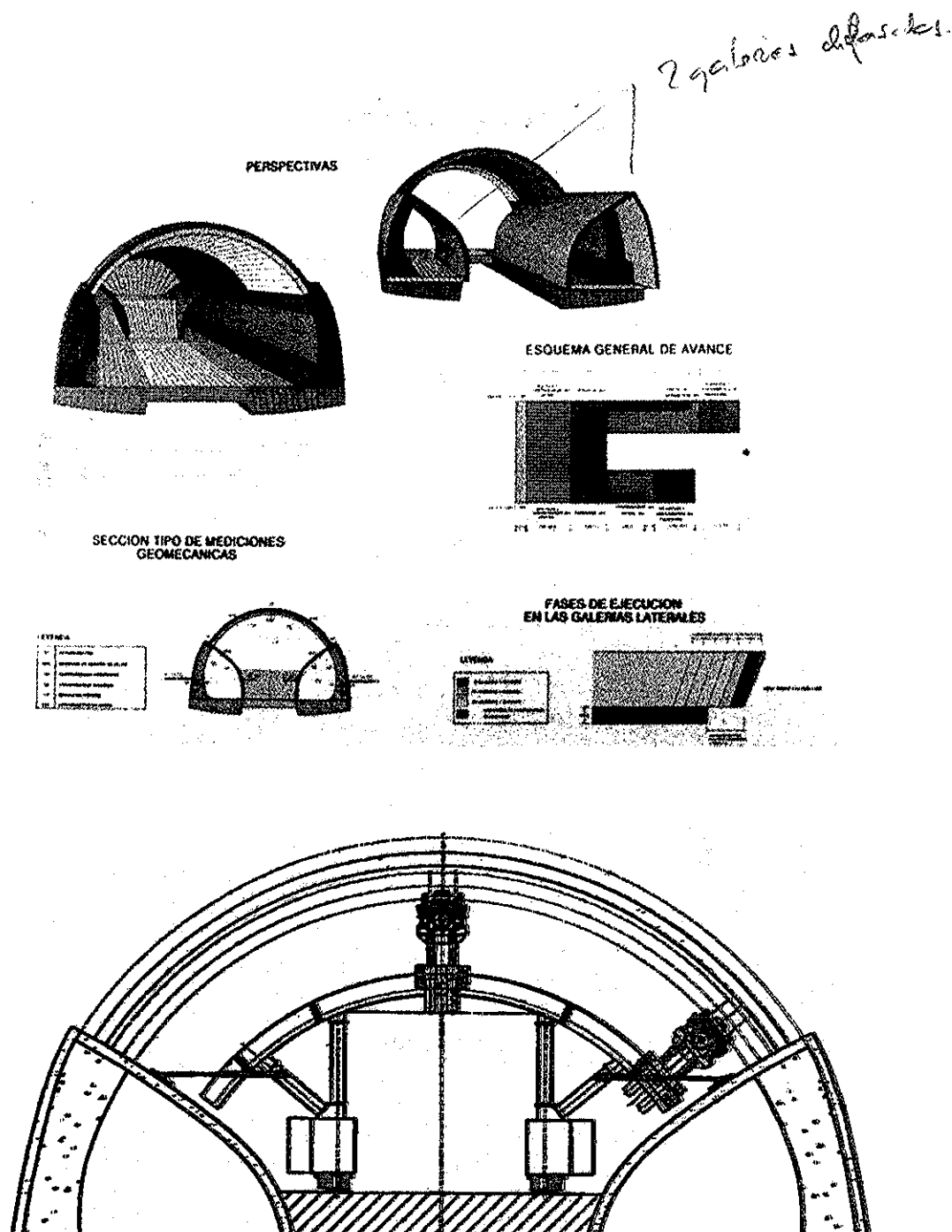


Figura 15

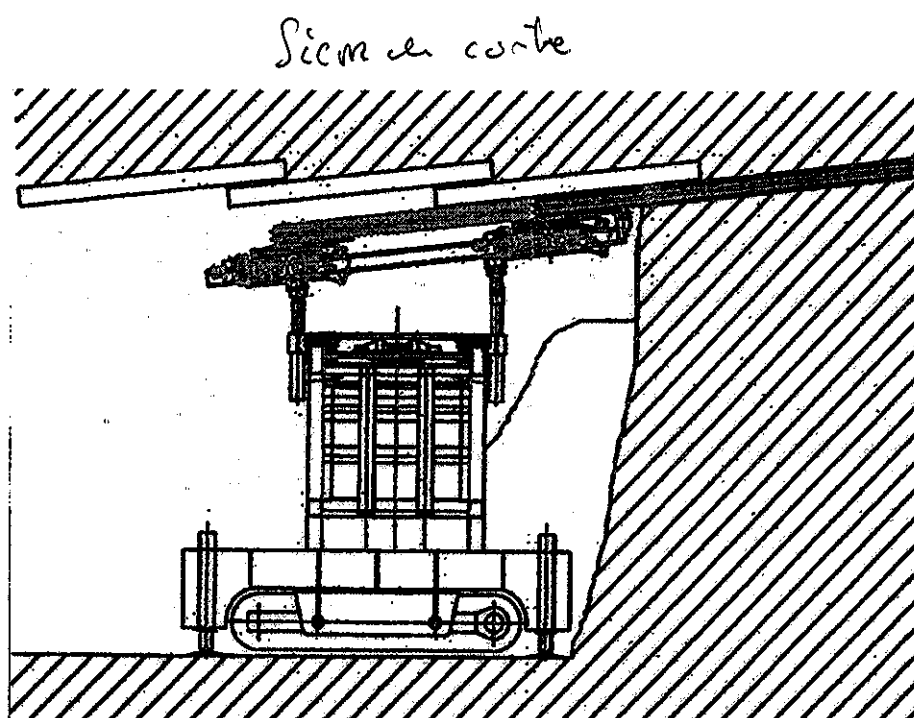


Figura 16

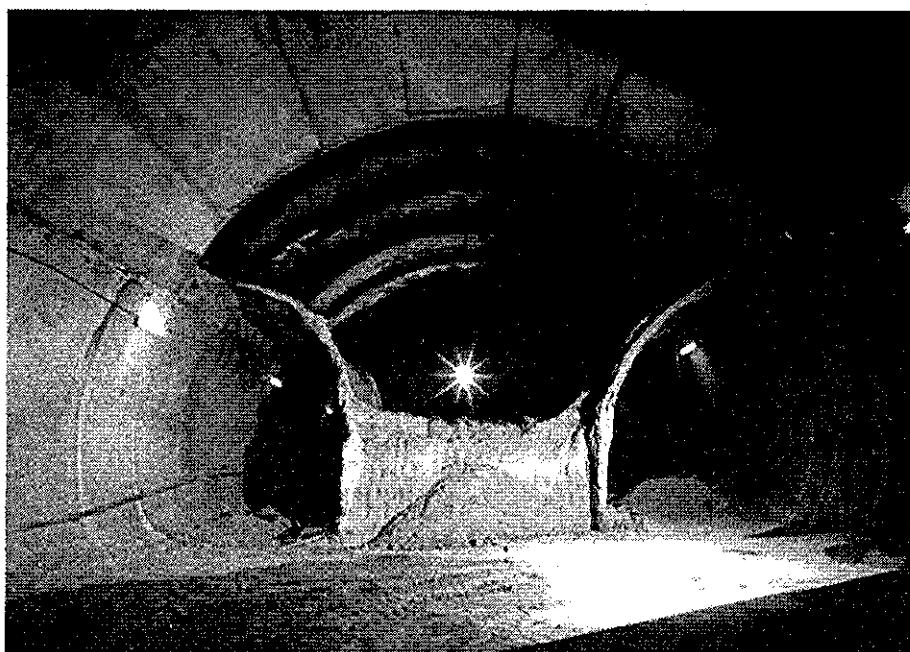


Figura 17

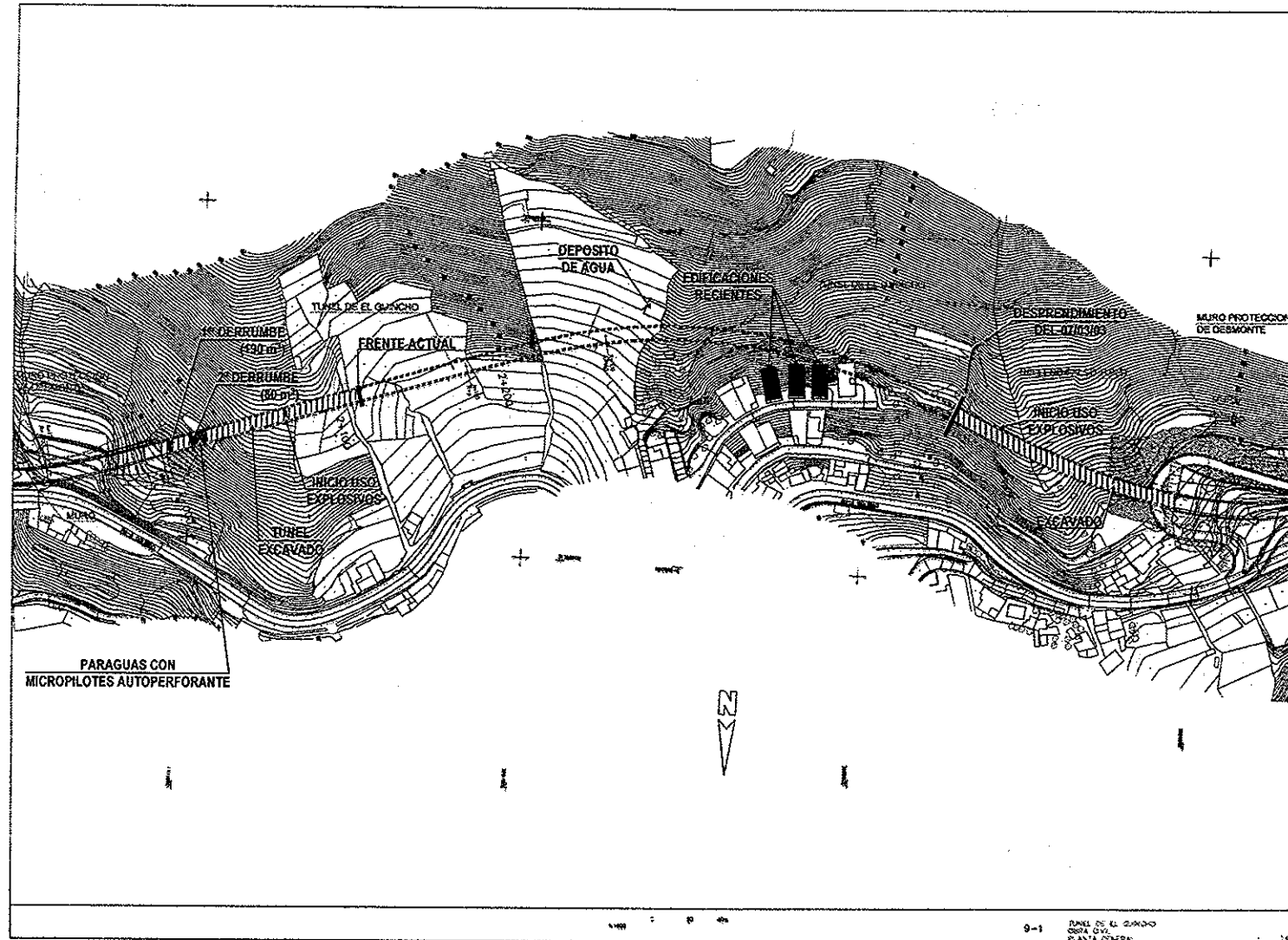


Figura 18

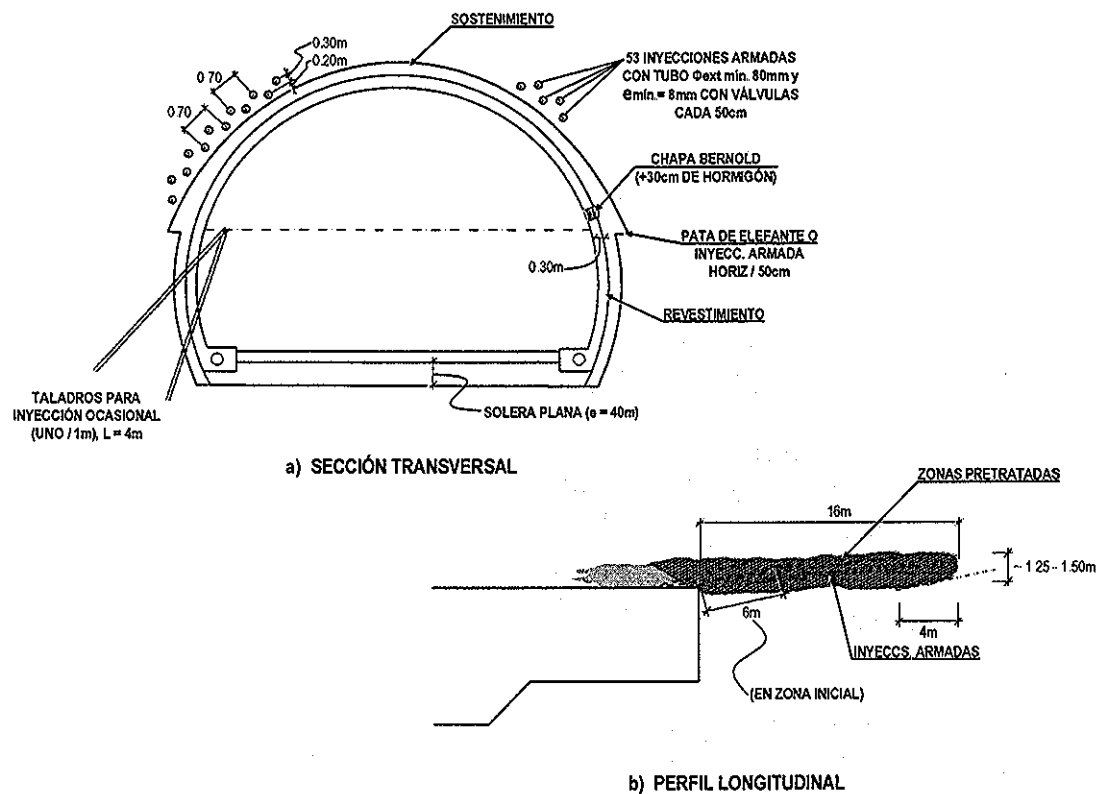


Figura 19

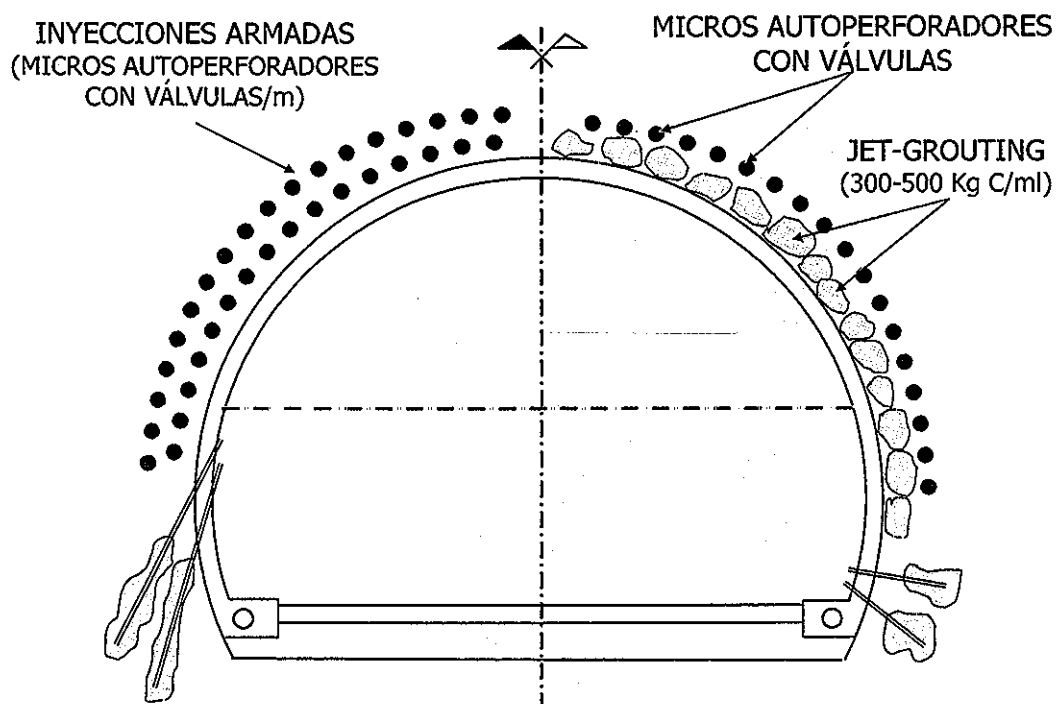


Figura 20.- Solución.

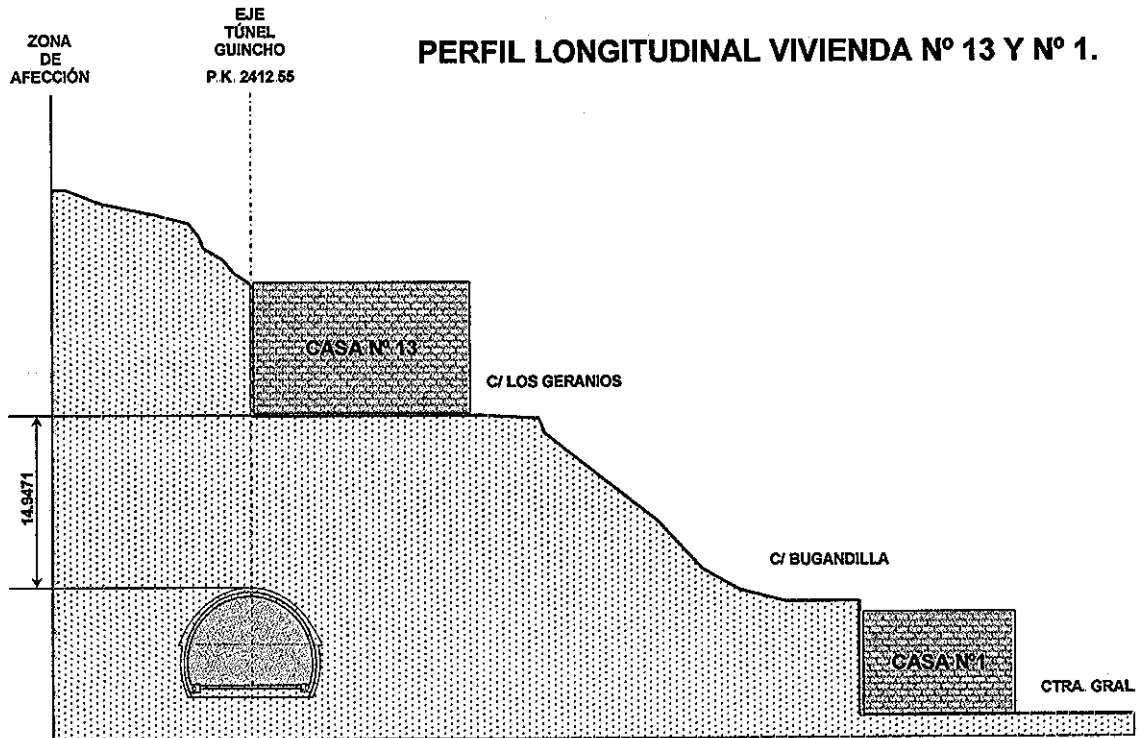


Figura 21.-

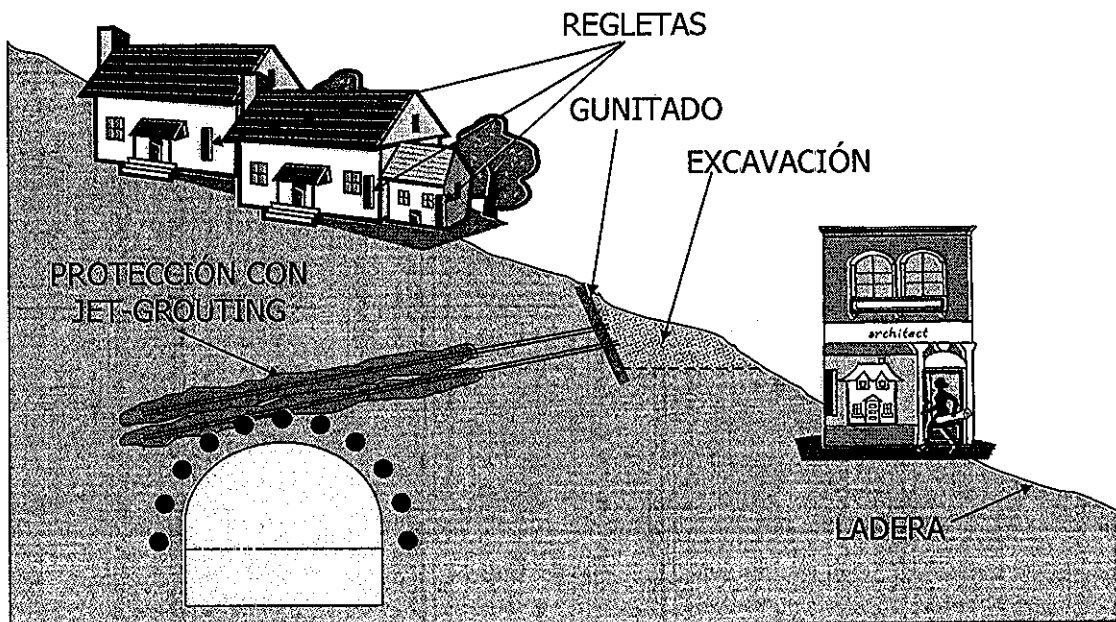


Figura 22.- Solución zona casas.

Resumiendo:

- Es necesario analizar la bóveda para aportar "cohesión" al terreno y que no pierda la poca que pueda tener.
- En hastiales hay que cuidar el apoyo.
- Si hay agua es necesario:
 - a) Drenar (si es posible).
 - b) Tratar con cemento y silicatos, si es problema de permeabilidad.
 - c) Tratar con inyecciones armadas y/o jet-grouting (prebóveda).
Esta solución puede ser adecuada en arenas sin finos y sin agua.