

# Máster Universitario en Túneles y Obras Subterráneas



**ÁREA: C3**  
**MÓDULO: CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES**

## **POZOS DE ATAQUE Y AUXILIARES**

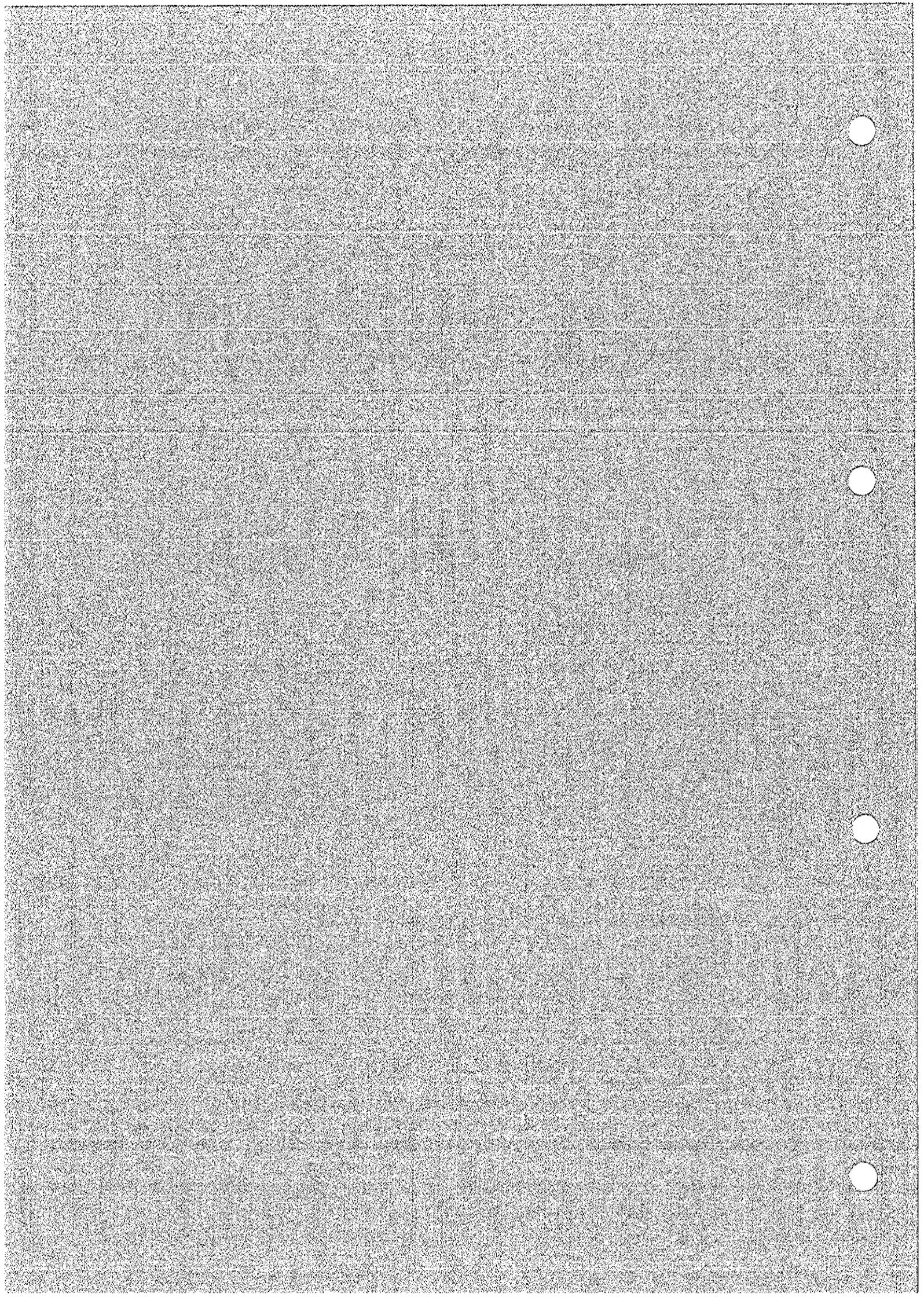
**PONENTES: Carlos Oteo**

Dr. I.C.C.P.

Catedrático de la Universidad  
de A Coruña

**Día:** 24/05/07

**Hora:** 16:00 a 18:00



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

**POZOS DE ATAQUE Y AUXILIARES**

**Carlos Oteo Mazo  
Catedrático de Ing. del Terreno  
Dpto. de Tecnología de la Construcción  
Universidade da Coruña**

## 1. INTRODUCCIÓN.

En las obras subterráneas urbanas es necesario construir diversos pozos:

- De acceso al inicio del túnel, es decir, para conseguir su emboquille en caso de métodos poco mecanizados y sirvan también para extracción de escombros.
- De ventilación.
- De bombeo.
- De salida de emergencia (que, a veces, se mezclan con los anteriores).
- De ataque, en el caso de utilizar tuneladoras, que sirven de emboquille, depósito intermedio para la extracción del escombros y para montaje de la propia tuneladora. Necesitan dimensiones importantes.
- De extracción del escudo de tuneladoras, para lo que el volumen necesario es mucho menor que en los pozos de ataque.

En cuanto a su forma pueden considerarse como:

- Circulares.
- Cuadrados.
- Rectangulares.
- Irregulares.

Las dos primeras formas son muy apropiadas para pozos de ataque de túneles poco mecanizados, los auxiliares (ventilación, salida de emergencia, etc) y los de extracción de TBM, con tamaños variables entre 6 y 10 m de lado en los cuadrados y un diámetro de 15 hasta 25 m en los circulares (como los antiguos pozos de acceso de las Estaciones de Metro de Sevilla o los pozos de ventilación de túneles del By-pass sur de la M-30, actualmente en construcción). Los circulares tienen la ventaja de su forma, para que trabajen principalmente a compresión y los cuadrados son válidos cuando no necesitan puntales intermedios.

Sin embargo, los rectangulares pueden ser más útiles si se necesita una anchura importante; en ese caso, en ese lado es necesario introducir puntales (metálicos o de hormigón) para evitar flexiones excesivas.

En la Fig. 1 se reproducen formas cuadradas y circulares y la necesidad de espacio próximo, en superficie, para situar camiones: Para extraer el escombros, con ayuda de un puente grúa y para situar los camiones de excavación, o para situar una grúa móvil para extraer el escudo de una tuneladora o introducir equipos de ventilación.

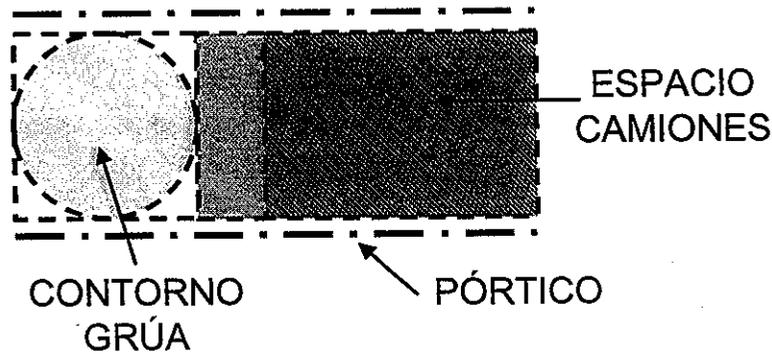


Fig. 1.-

## 2. TIPOLOGÍA DE POZOS AUXILIARES.

Los pozos circulares, los más antiguos, se excavaban tradicionalmente con métodos simples (retroexcavadora, pala, etc), revistiendo lo excavado por anillos (Fig. 2). Las juntas de estos anillos (de hormigón armado, generalmente) se pueden situar en diámetros opuestos en anillos sucesivos, para conseguir un trabajo de conjunto procurando dejar armadura pasante entre el anillo superior y el inferior.

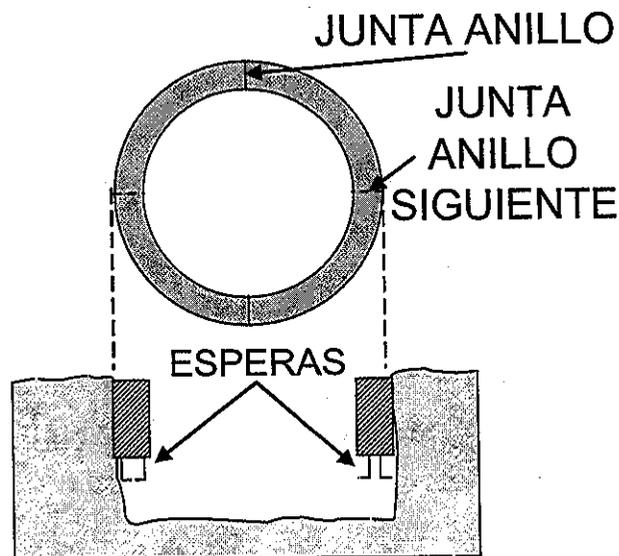


Fig. 2.-

Con esta técnica el espesor de los anillos puede ser variable, al ir descendiendo, para adaptarse a una mayor magnitud de los empujes y, por lo tanto, de los esfuerzos de compresión del pozo. También es conveniente inyectar las juntas entre anillos, sobre todo donde haya muchas filtraciones o, por el contrario, taladrar drenes que alivien la presión del agua.

Este sistema tiene dos grandes inconvenientes:

- La excavación vertical se hace sin entibación de protección, lo que exige una cierta cohesión del terreno a corto plazo. Este riesgo puede disminuirse gunitando las paredes de la excavación según se va excavando la pared de cada anillo.
- El peligro de sifonamiento o de levantamiento del fondo puede ser enorme, si existen capas con agua a presión, ya que este riesgo no se detecta (salvo que se conozca a partir de los reconocimientos previos) hasta que se llega a las capas peligrosas, como son las arenas con agua en Madrid.

Además del sistema más convencional de excavación no protegida, pueden utilizarse las pantallas continuas clásicas para conformar el pozo. Con ellas pueden conseguirse:

- Las formas circulares, si el radio del pozo es suficientemente grande (a partir de unos 6-7 m de radio). Siempre existe algún problema para que las juntas queden bien (realmente lo que se construye es una directriz poligonal).
- Las formas rectangulares sin problemas, salvo en pozos pequeños.

Estos pozos pueden necesitar un forro interior de hormigón armado, que se va construyendo por anillos al ir bajando la excavación, tanto en el caso de formas circulares como en las rectangulares (aunque sólo suele hacerse ayudándolas con vigas de atado (en cabeza y otros niveles inferiores) y arriostramientos (de hormigón armado o metálicos). En la Fig. 3 y 4 pueden verse, en alzado y planta, los refuerzos interiores que suelen emplearse tanto en pozos circulares como en rectangulares.

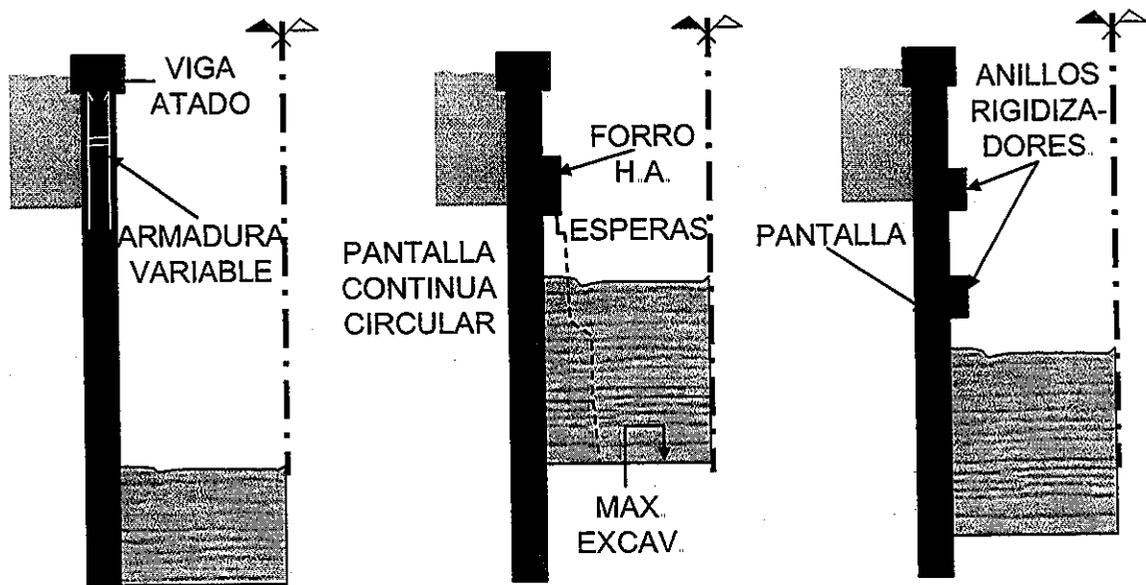


Fig. 3.- Pozos circulares.

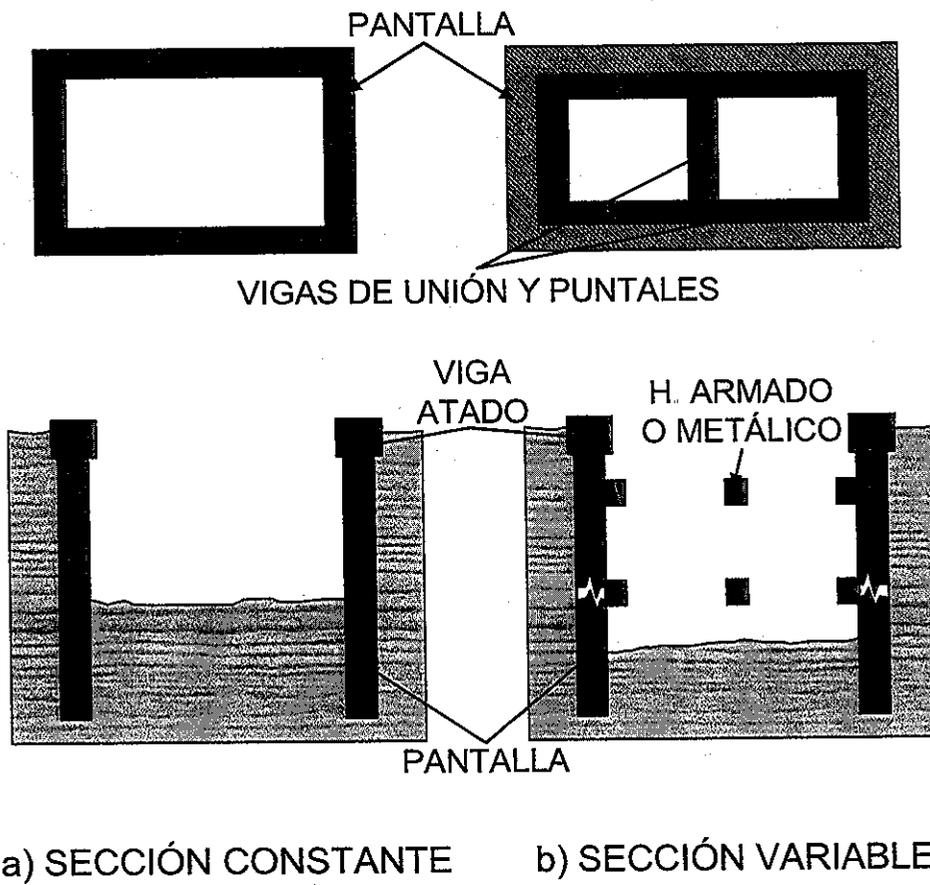


Fig. 4.- Pozos rectangulares.

También pueden ejecutarse pozos con pantallas de pilotes, con formas circulares rectangulares e irregulares. Los pilotes pueden ser (Fig. 5):

- Próximos, que vulgarmente suelen llamarse “tangentes”, aunque no lo sean. Es habitual que sus generatrices más próximas estén separadas unos 20 cm, aunque cuando los pilotes son largos (45-50 m) puede ser necesario separarlos unos 50 cm, para evitar que los desvíos hagan que los pilotes choquen entre sí.
- Lejanos, separados entre ejes del orden de 3 diámetros, lo que puede ocurrir en terrenos buenos y en que los pilotes hacen el papel de los elementos verticales resistentes de un “muro berlín”. En ese caso la entibación del terreno se hace con hormigón proyectado sobre malla metálica anclada a los pilotes. A veces se anclan en cabeza, como hicimos en el pozo de ataque de la Línea 9 del Metro de Madrid en Vicálvaro (excavado en “peñuela”).
- Pilotes secantes en que primero se hacen pilotes alternos de mortero, sin armadura, para hacer después los intermedios cortando realmente a los primeros y armándoles.

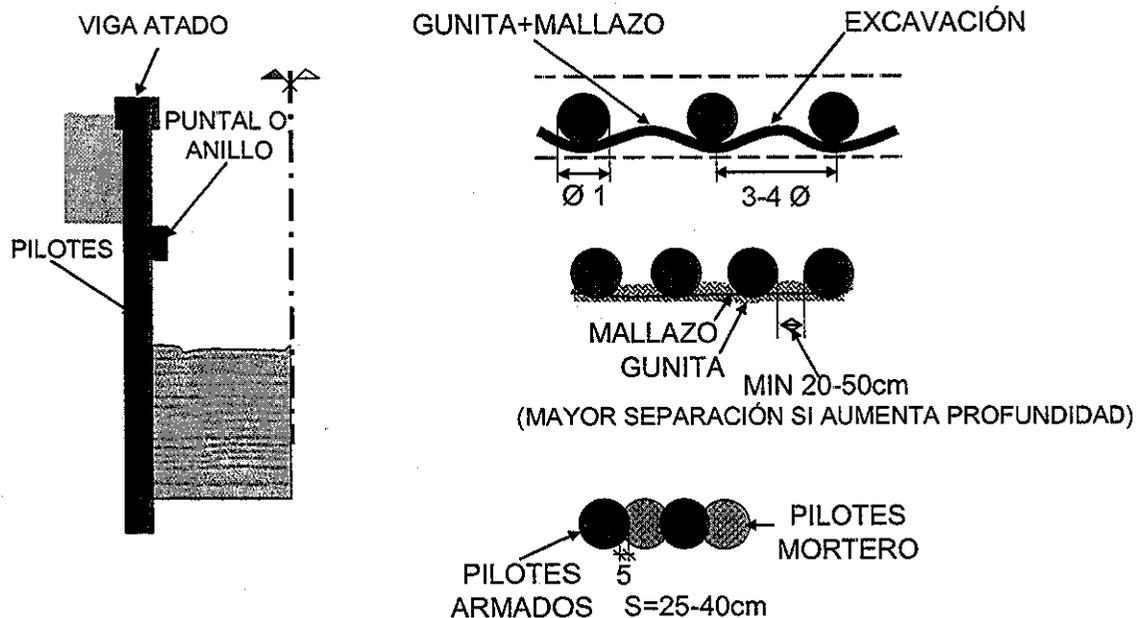


Fig. 5.-

Estos pozos con pilotes pueden necesitar un forro interior de hormigón armado, para evitar filtraciones, para permitir mejor la ventilación de túneles. También pueden instalarse – ancladas a los de pilotes – vigas de reparto y arriostramiento (hormigón armado o metálico); o la gunita y el mallazo antes citados.

Si no llevan forro tienen un mayor riesgo de filtraciones laterales (salvo los secantes) y también un cierto riesgo de sifonamiento inferior en capas con mucho agua (como nos ha sucedido en pozos auxiliares de Metro sur de Madrid, en Alcorcón y Leganés).

### 3. POZOS DE ATAQUE PARA SISTEMAS POCO MECANIZADOS.

Estos pozos tienen como misión permitir un acceso vertical al inicio de los trabajos de construcción del túnel y, al mismo tiempo, servir para extraer el escombros resultante de la excavación, por lo que sus dimensiones no son grandes (10 x 10, 12 x 12, 15 x 19, etc).

Generalmente necesitan dimensiones adecuadas para construir el "paraguas" de micropilotes habitual en el emboquille del túnel, para la colocación del pórtico grúa exterior para la extracción del escombros (si se hace por container) y para facilitar la bajada de cerchas, longarinas, maderas de entibación, hormigón, etc. A veces se sustituye por otro sistema de ascenso y descenso, con una grúa móvil, como un sistema de cangilones, skiper, etc. También se necesita, alrededor del pozo, un espacio para almacenamiento de material o algo de escombros, casetas, etc.

El emboquille puede hacerse como aparece en las Figs. 6 y 7:

- Las pantallas o pilotes deben de atarse con una viga en coronación.
- La parte baja de la pantalla no se arma, aunque los pilotes o módulos de pantalla deben llegar (al menos 2-3 m) por debajo del nivel de la solera del túnel.
- Los elementos de la pantalla deben quedar unidos por una viga de atado algo por encima de la bóveda del túnel.
- La pantalla debe quedar apoyada en elementos extremos que no sean cortados por la sección del túnel y que deben de tener la longitud adecuada. El resto quedan colgados de la viga de atado superior, que, a su vez, queda apoyada en esos elementos extremos (armados) más largos.
- El primer anillo del túnel debe de abrazar y recoger los elementos cortados de la pantalla.
- A veces es necesario disponer arriostramientos entre la pantalla portal o de emboquille y las laterales (Fig. 7).

El cálculo de las pantallas de estos pozos rectangulares puede hacerse de dos formas:

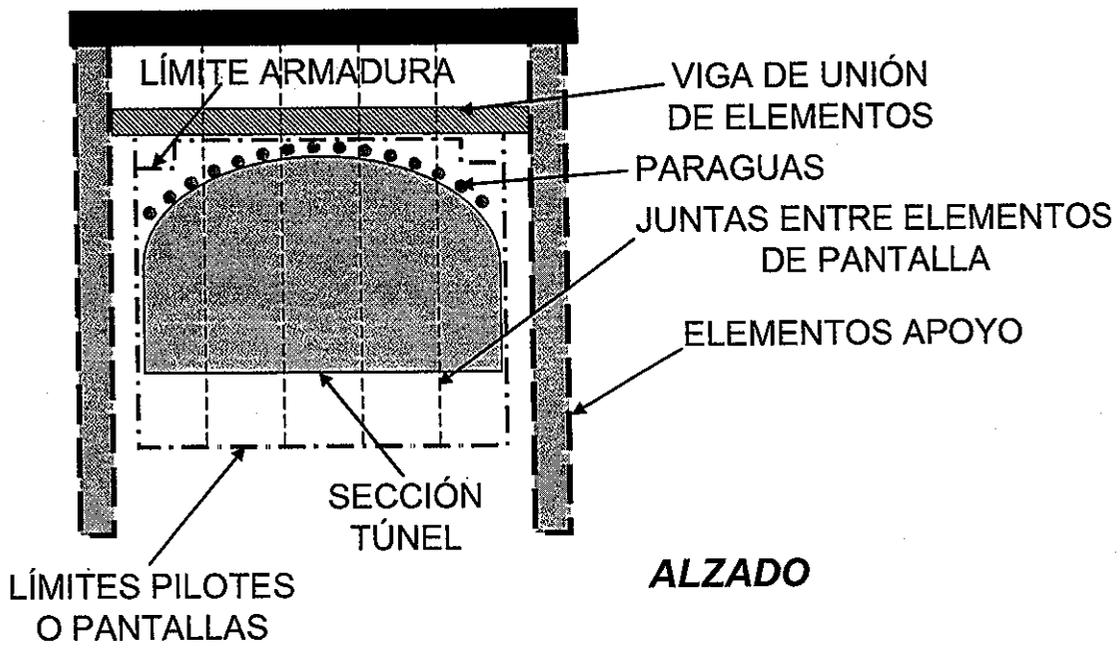


Fig. 6.- Zona emboquille túnel.

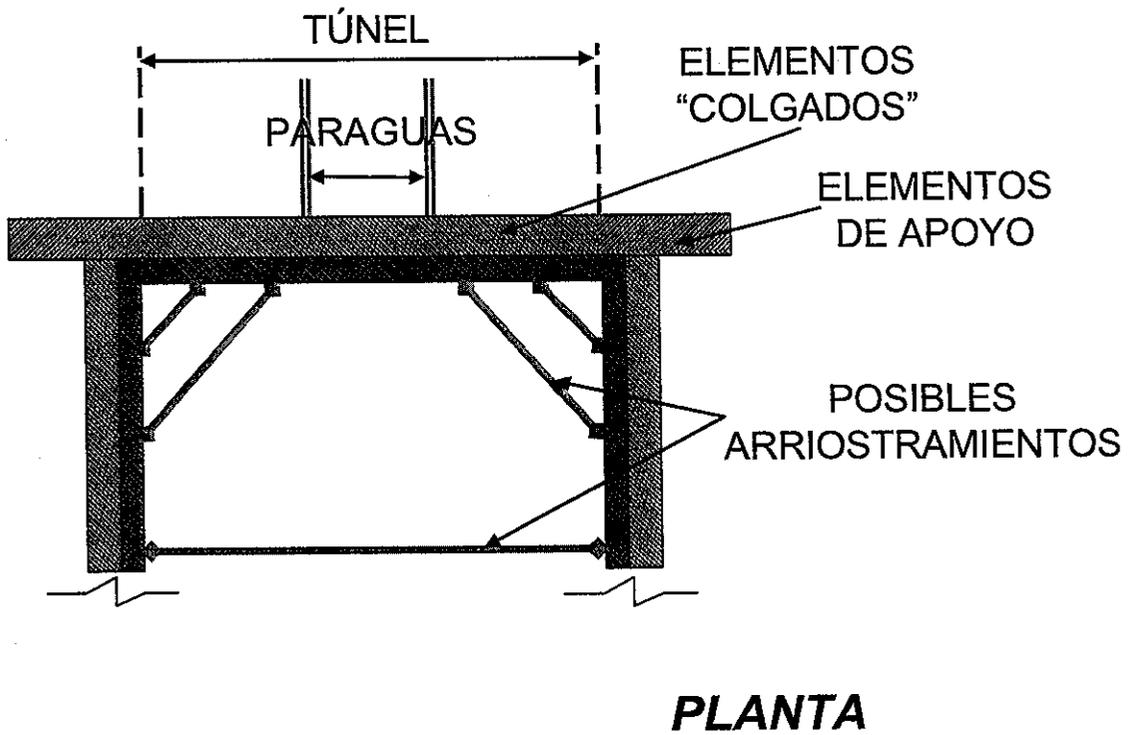


Fig. 7.-

- Una conservadora (Fig. 8.A), que se supone que los empujes son los mismos que en una pantalla continua indefinida, utilizando métodos clásicos de cálculo, códigos como el RIDO, etc.
- Definiendo una ley como la de la Fig. 8. B en que los empujes son menores gracias al efecto silo que se produce en el entorno del pozo y a la influencia, en cada pantalla, de las dos perpendiculares a ella y que no suelen considerarse.

Personalmente, hemos propuesto una alternativa sencilla que queda entre la cota superior de los empujes que supone la Fig. 8.A y la cota inferior que supone la 8.B:

- Se trata de utilizar el esquema de empujes clásicos (y, por ejemplo el código numérico RIDO y otro similar), pero reduciendo los empujes a un 70% de los correspondientes a una pantalla indefinida (Fig. 9.c).

En el caso de pozos circulares pueden tomarse los empujes conservadores (Fig. 8.A) y considerar que es válida la fórmula de los tubos:  $p.R. = s.e$ , en que  $p$  es la presión a la profundidad  $z$  ( $p = \gamma z K_B$ );  $R$  es el radio del pozo;  $s$  la tensión de trabajo del hormigón (5-6 MPa),  $e$  el espesor de la pantalla y  $K_B$  el coeficiente de empuje del terreno (valor medio entre el activo y el de reposo).

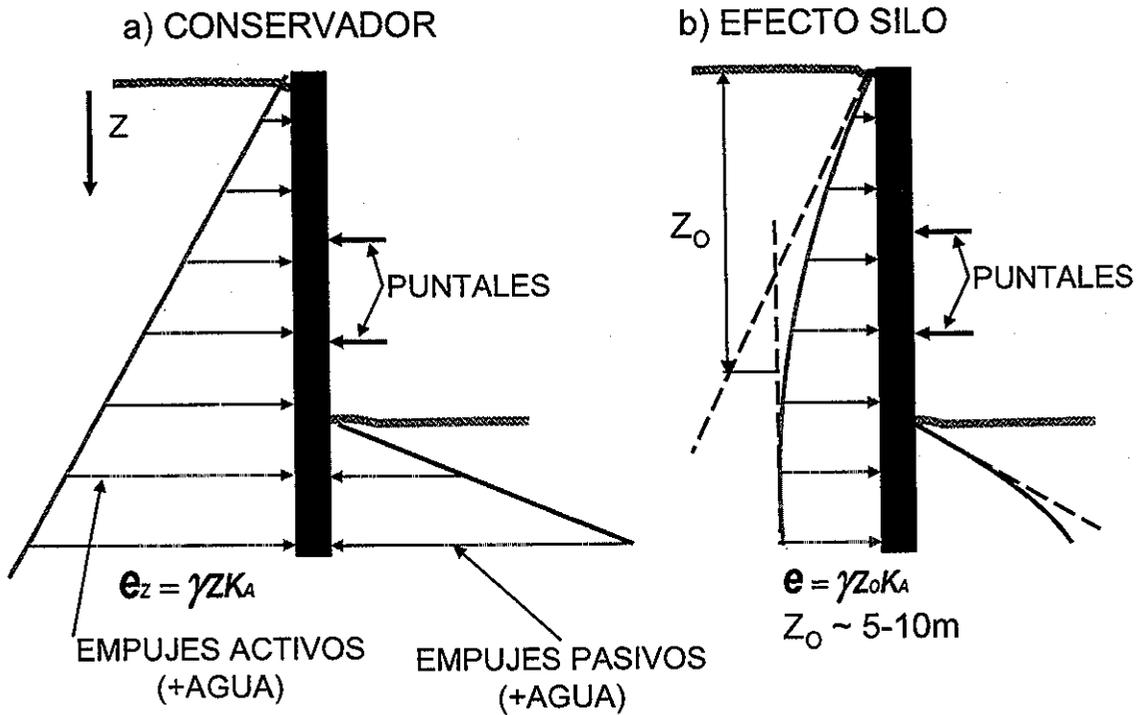


Fig. 8.- Cálculo en pozos rectangulares.

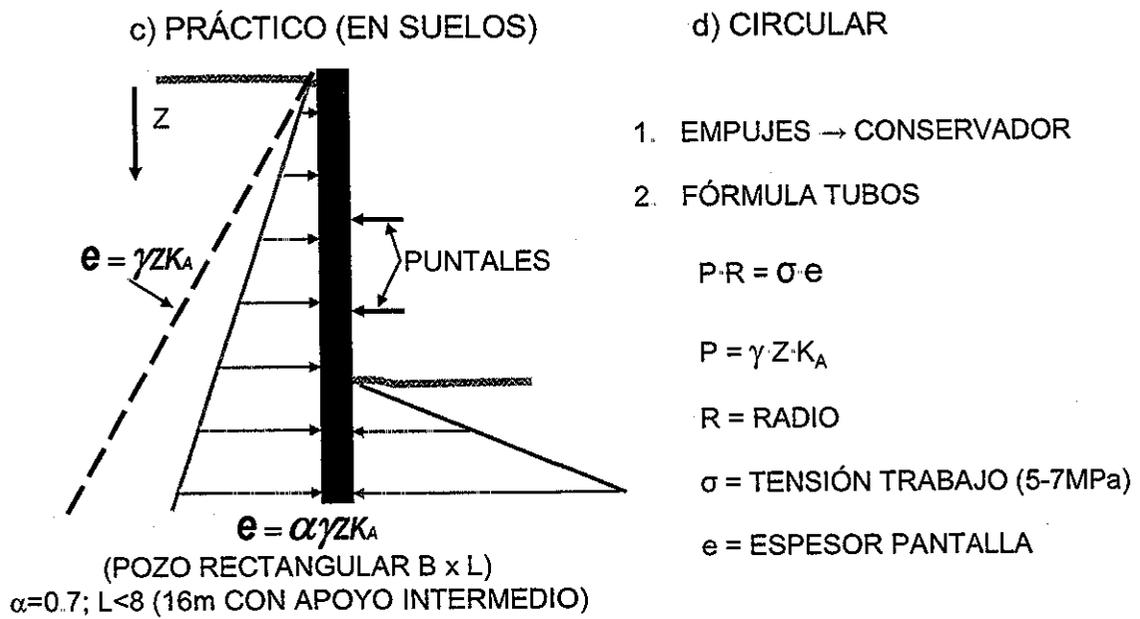


Fig. 9.- Cálculo en pozos rectangulares.

#### 4. POZOS DE ATAQUE DE TUNELADORAS.

En la Fig. 10 se ha esquematizado un posible pozo de ataque para un túnel excavado con T.B.M., en cuanto a los servicios y necesidades que entraña:

- Se necesita una longitud importante para montaje de la tuneladora. Esta longitud puede variar entre 120 y 180 m, generalmente, si se quiere montar todo el back-up de una vez; en algún caso sólo se ha instalado un tercio del mismo y se ha reducido claramente esta magnitud a unos 40 m (con el posterior inconveniente de ir parando y montando todo el sistema).
- Debe de haber espacio para instalar la estructura de reacción contra la que se apoyan los primeros anillos (que se montan en el pozo), sobre los que, a su vez, se apoyan los gatos hidráulicos del escudo: Este elemento de reacción consta de un anillos de reparto que se apoya en un marco metálico con dos puntales de reacción; la cimentación de estos puntos puede ser la propia solera del pozo (curva y plana) o un conjunto de pilotes.
- El pozo de almacenamiento intermedio del escombros. A veces se arriestra en cabeza para evitar excesivos esfuerzos en las pantallas próximas.
- Rampas de acceso y extracción del escombros mediante camiones, con rampas máximas del 18% (con firme de hormigón y mantenimiento constante).
- Deben de resolverse los problemas de arriostamiento de las pantallas, bien con losas, puntales de hormigón y vigas de reparto, etc.

A veces es necesario utilizar anclajes provisionales para disminuir los esfuerzos sobre la pantalla y/o para dejar espacio libre dentro del pozo, si es que los puntales molestan. En la Fig. 11 puede verse el esquema utilizado en varios pozos de ataque (y pozos de ataque-estación) del Metro de Madrid. En la 11.a se trata de una pantalla de pilotes, con altura de 21 y 23 m, con una fila de anclajes sólo en cabeza, en la viga de atado superior, esta solución no optimiza los esfuerzos en la pantalla, pero si supone un importante ahorro del plazo; entre los pilotes se colocó malla y gunita. En la Fig. 11.b puede verse otro caso (Pozo de Ataque y Estación de Colonia Jardín en la Línea 10) con dos filas de anclajes, solución que también hemos utilizado en Metronorte. En estos casos la fila superior es de unos 140-160 T y la inferior de hasta 180 T. Dada la excepción de este tonelaje, se hicieron ensayos de arrancamiento de bulbos en arenas tosquiza, para diseñar el bulbo definitivo y tener la seguridad adecuada.

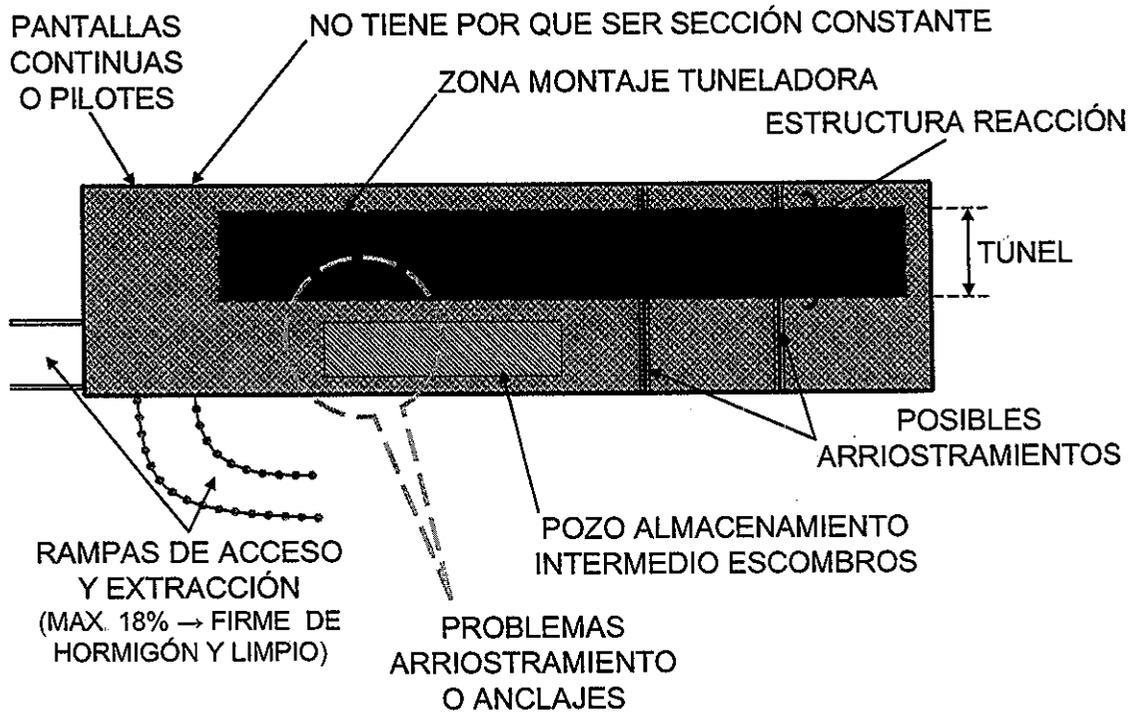


Fig. 10.- Pozos de ataque en tuneladoras.

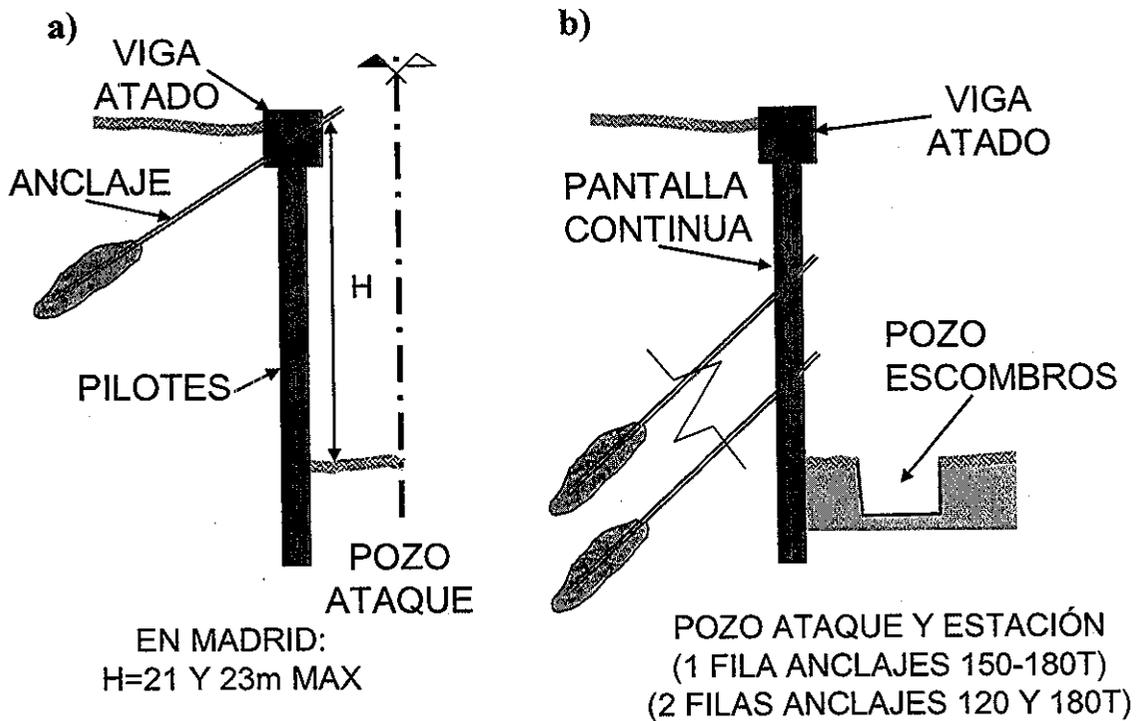


Fig. 11.-

La Fig. 12 muestra otros tipos de arriostramientos posibles, con puntales y losas, utilizados tanto en pozos de ataque como en Estaciones de Metro.

Las Figs. 13 y 14 muestran en planta y alzado las soluciones que suelen emplearse en la zona de salida de la tuneladora. En alzado (Fig. 14) los elementos extremos de la pantalla suelen ser más largos y se unen por una viga de atado, de la que cuelgan los otros elementos a cortar por el túnel. Estos elementos quedan atados, además, por otra viga de unión, algo por encima de la clave. La cuna y solera deben de anclarse a las pantallas laterales.

Es muy importante acertar con el diseño de la zona de salida, exterior al pozo, tal como muestra la Fig. 15. Dado que los elementos de la zona de afección del túnel no se pueden armar y pueden tener mucha luz (15,5 m en los túneles del By-pass Sur de la M-30 de Madrid), es necesario reducir los esfuerzos en la pantalla, ya que el hormigón en masa no podría resistir las flexiones que darían dichos empujes.

Por eso se "arma" el terreno con pilotes de mortero, columnas de jet-grouting o módulos de pantalla de mortero (Fig. 15). Se consigue, así, que la cuña de empujes activos, que pasa por la zona no armada, tenga una "cohesión aparente", con lo que los empujes originales quedan "claramente" reducidos (Fig. 16).

Lo peor es cuando existe agua en el trasdós de la pantalla extrema del pozo de ataque. En ese caso es necesario realizar un "corralito" o recinto impermeable por fuera del pozo de ataque, con pantallas continuas, dejando dentro los elementos de armado del terreno (pilotes o módulos de pantalla de mortero), más unos pozos para eliminar el agua del recinto (Fig. 17).

Si hay un nivel freático muy claro y con mucha presión de agua, además del recinto hay que hacer un tratamiento de juntas antes de cortar el "corralito", para que no entre agua a la zona del pozo de ataque; para eso, el "corralito" debe de tener una longitud tal que sea la del escudo más 3-4 m, para que el tratamiento se haga sobre anillos de dovelas ya colocados. (Fig. 18 y Fig. 19, en que se ve el "corralito" en planta y alzado).

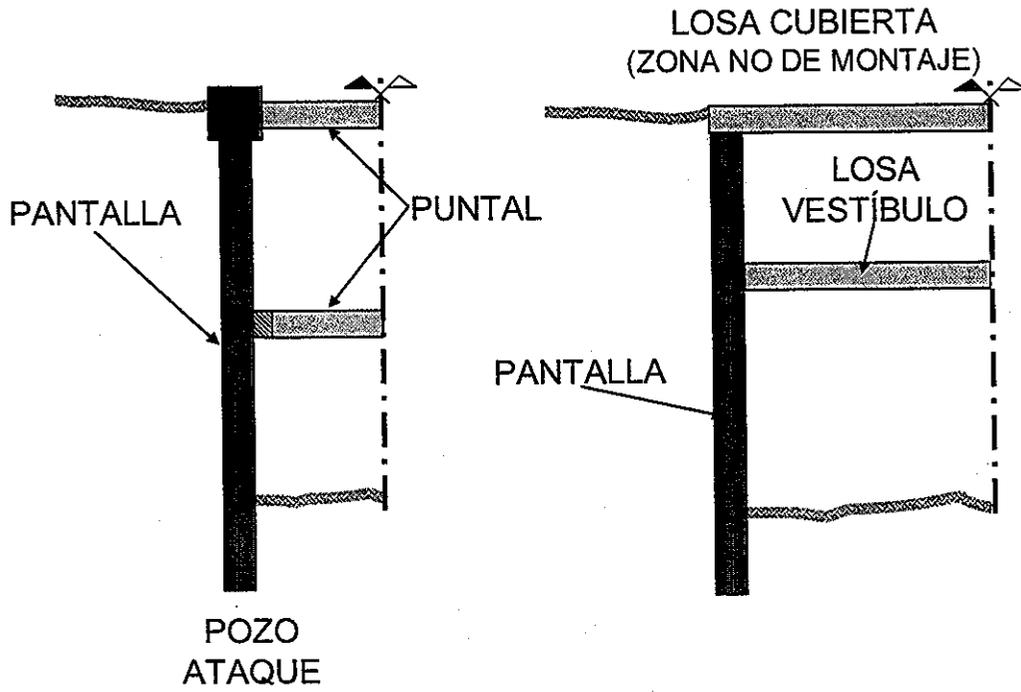
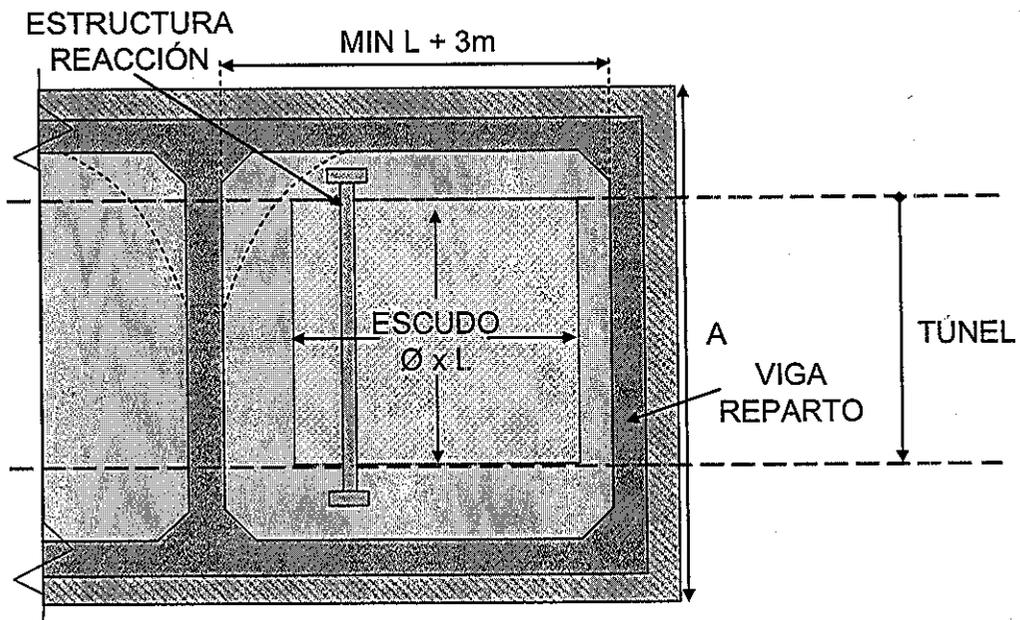


Fig. 12.-



MÍNIMO A =  $\text{Ø} + 6 \text{ m}$  (APROX)

**PLANTA**

Fig. 13.- Salida tuneladora.

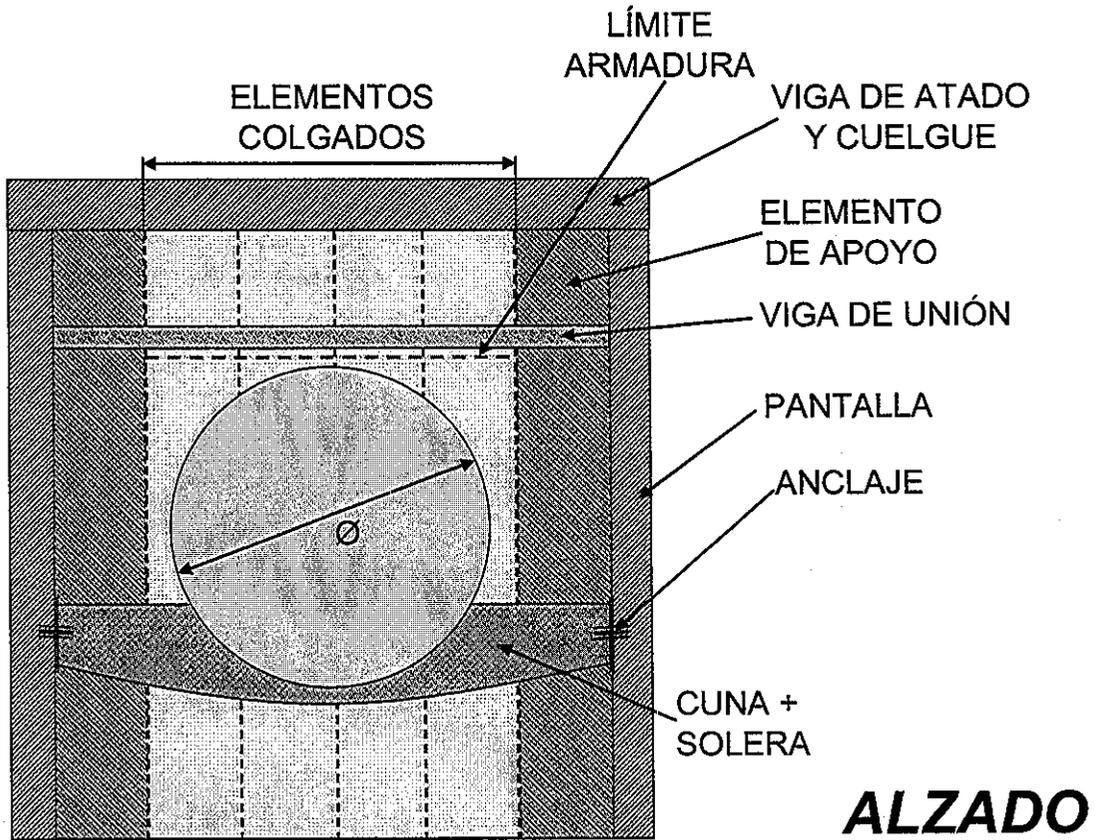
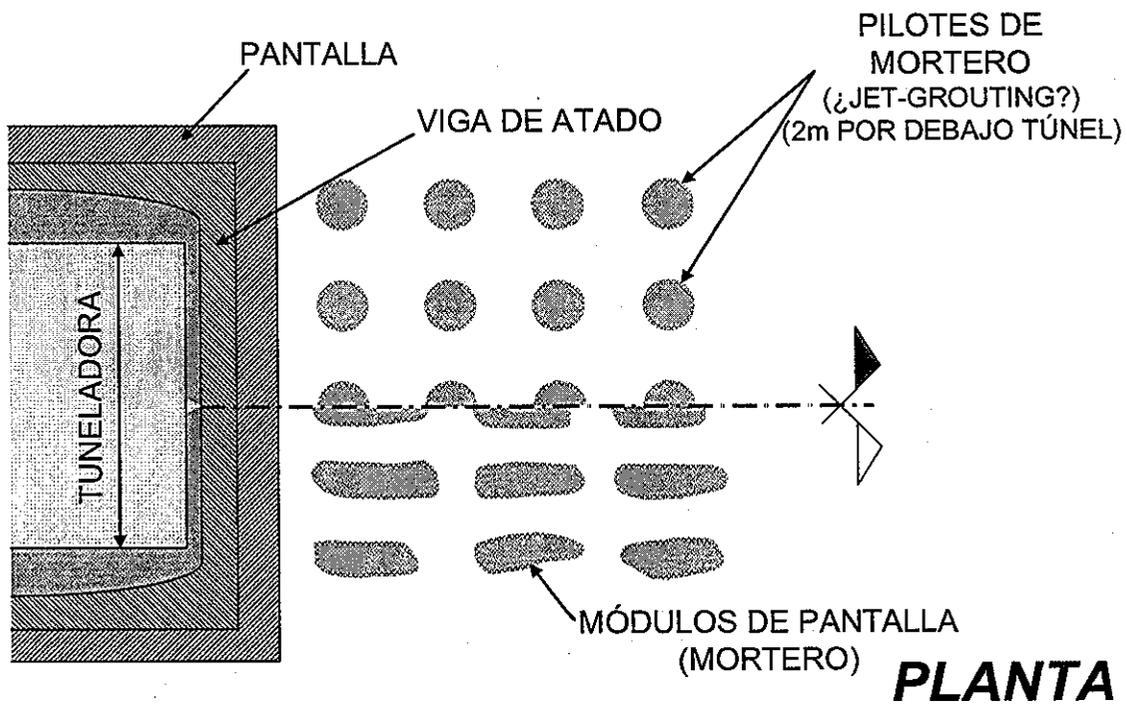


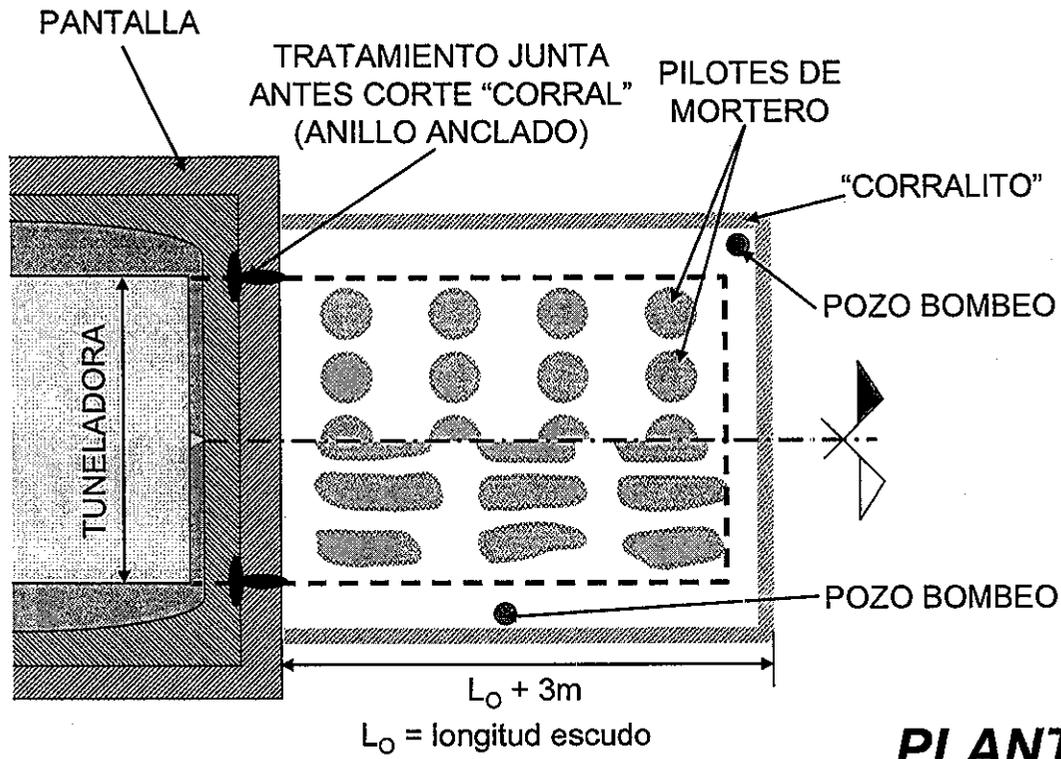
Fig. 14.- Salidas tuneladora.



A) SIN AGUA

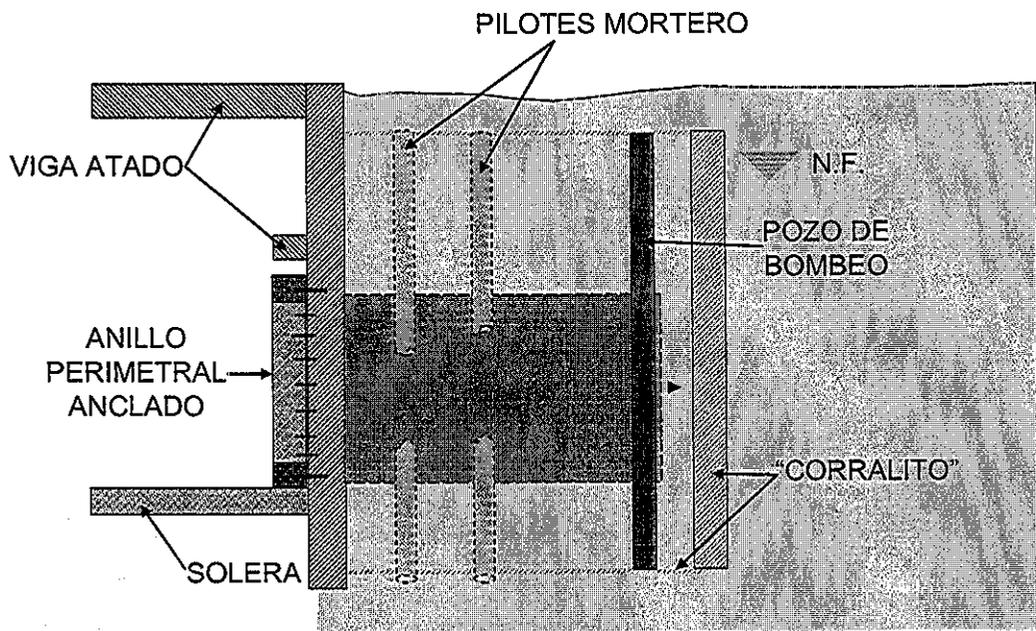
Fig. 15.- Salida tuneladora.





C) CON MUCHO AGUA Y PRESIÓN

Fig. 18



C) CON MUCHO AGUA Y PRESIÓN **ALZADO**

Fig. 19

## 5. OTROS PROBLEMAS.

Los pozos auxiliares pueden tener diferentes usos: ventilación, drenaje, evacuación de personal, tratamientos del terreno, revisión de la cabeza de tuneladoras, etc.

A parte de algunos problemas de gálibo e impermeabilización propios de cada tipo de función, existen otros problemas comunes a todos estos pozos.

Uno de ellos es el de la proximidad a edificios. Por eso, a veces, cuando se van a hacer los pozos por el sistema normal, puede hacerse una protección parcial del pozo con pilotes (Fig. 20 ferrocarril Atocha-Nuevos Ministerios) o con arriostramietnos lineales muy rígidos (Túnel de María de Molina, Fig. 21).

Un problema adicional es el ya citado de posible levantamiento de fondo (arcillas) o sifonamiento (arenas), esquematizado en la Fig. 22. Ese problema es mayor en el caso de pantallas construidas por anillos horizontales, menor en las pantallas continuas (salvo en la parte más baja) e intermedio en los pozos con pilotes. Puede ser necesario interrumpir la excavación e inyectar la capa problemática con cemento y/o silicatos.

Otro problema, a veces muy difícil de resolver, es el de comunicación entre pozos y túnel próximos (Fig. 23). La galería de conexión se hace por métodos no mecanizados, aunque el túnel se haya hecho con tuneladora. Aquí se presentan dos problemas. El de excavar el túnel, si existe arena y agua, y el de conexión misma entre los dos túneles, lo que suele hacerse con realce de la clave del túnel y un anillo armado de conexión entre túneles (Fig. 24).

Para resolver el problema de arena y agua en el túnel de conexión pueden hacerse tratamientos diferentes del terreno:

- Inyecciones desde superficie.
- Pilotes de mortero desde superficie.
- Inyecciones desde el pozo, bien de silicatos enriquecidos, con una primera pasada de lechada de cemento (con relación cemento/agua de 1,5-2,0/1,0 y con admisiones de 70-80 l/ml) y después una 2ª y/o tercera pasada de silicatos (50-60 l/ml en cada una).
- También a veces el problema se resuelve con taladros de drenaje, si la capa con agua no está conectada con un acuífero lejano.

Para revisión de tuneladoras se pueden emplear las soluciones esquematizadas en la Figs. 25 (sin agua apreciable) y 26 (con agua a presión). En el primer caso, se puede hacer un pozo con pilotes, pantallas o jet-grouting o un túnel que afecte a la parte superior de la tuneladora. En el segundo es necesario realizar un doble o triple pozo para poder tener una zona central estanca y que pueda excavarse si es necesario.

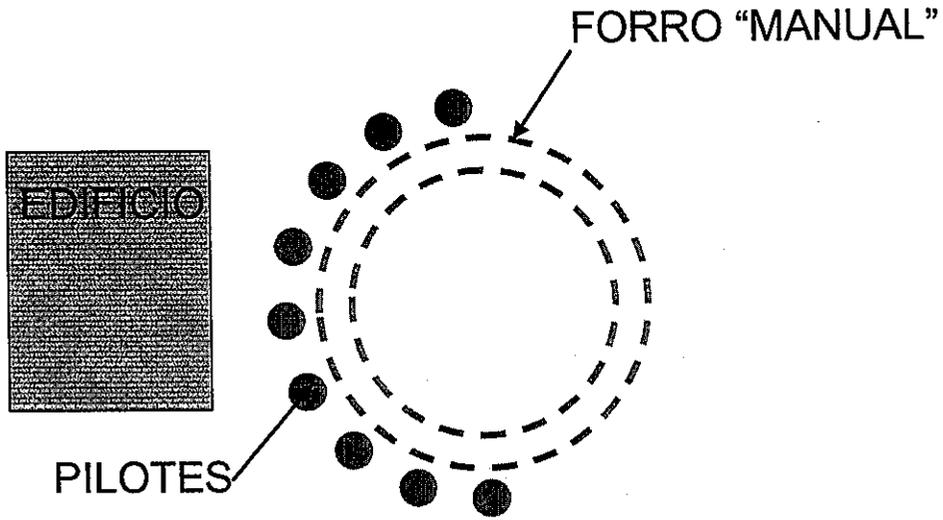


Fig. 20.- Protección parte superior con pantallas o pilotes.

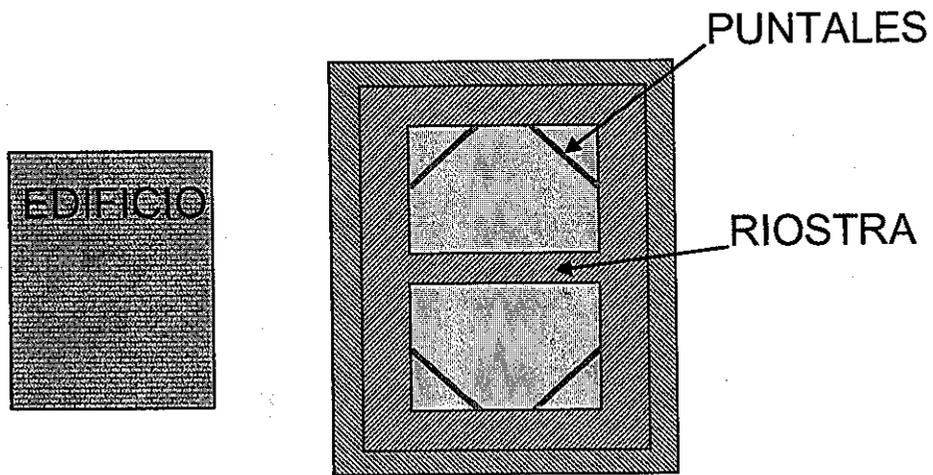


Fig. 21.- Arriostramiento.

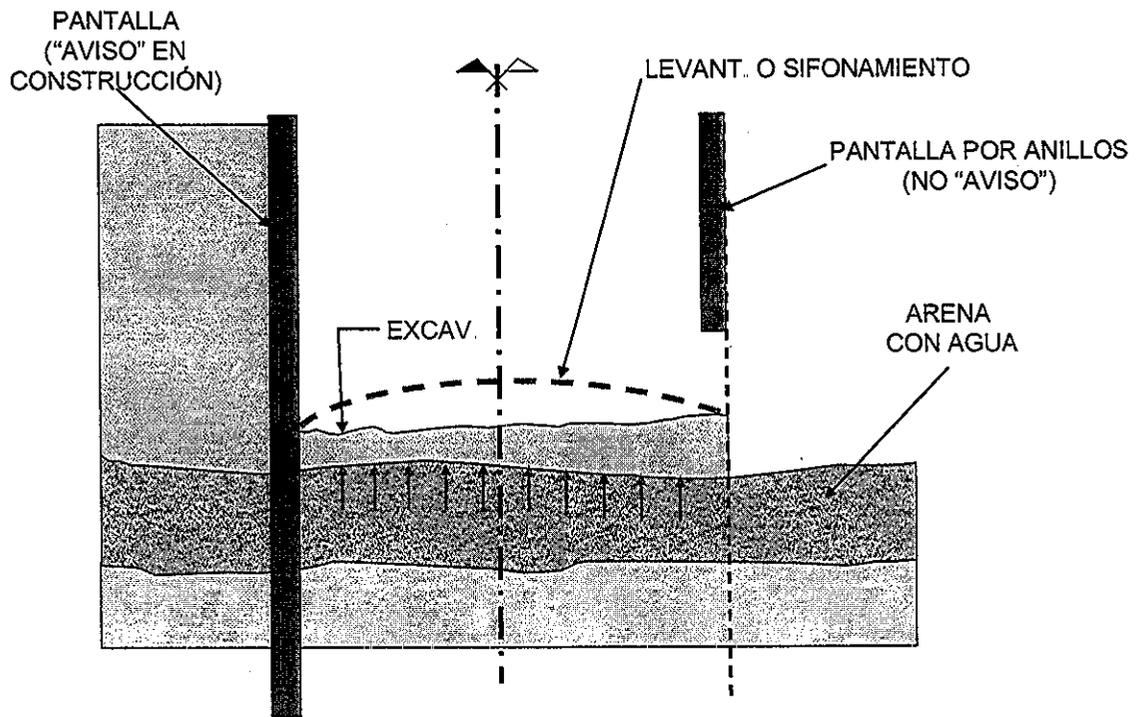


Fig. 22.- Levantamiento de fondo.

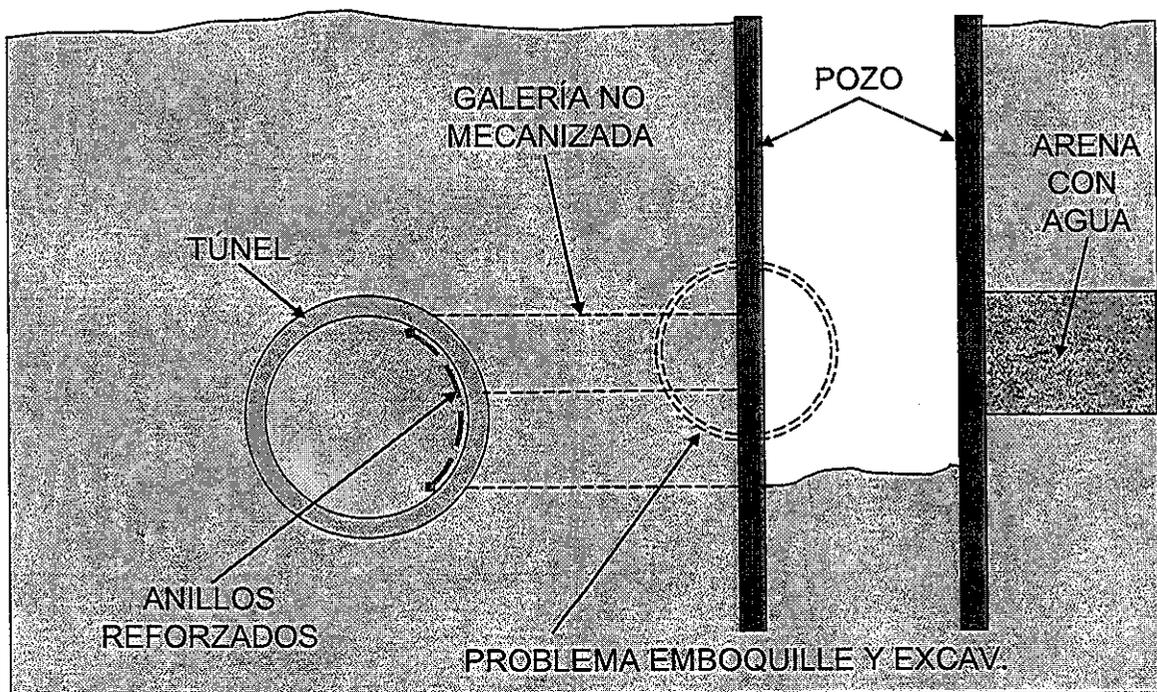


Fig. 23.- Comunicación entre pozo y túnel.

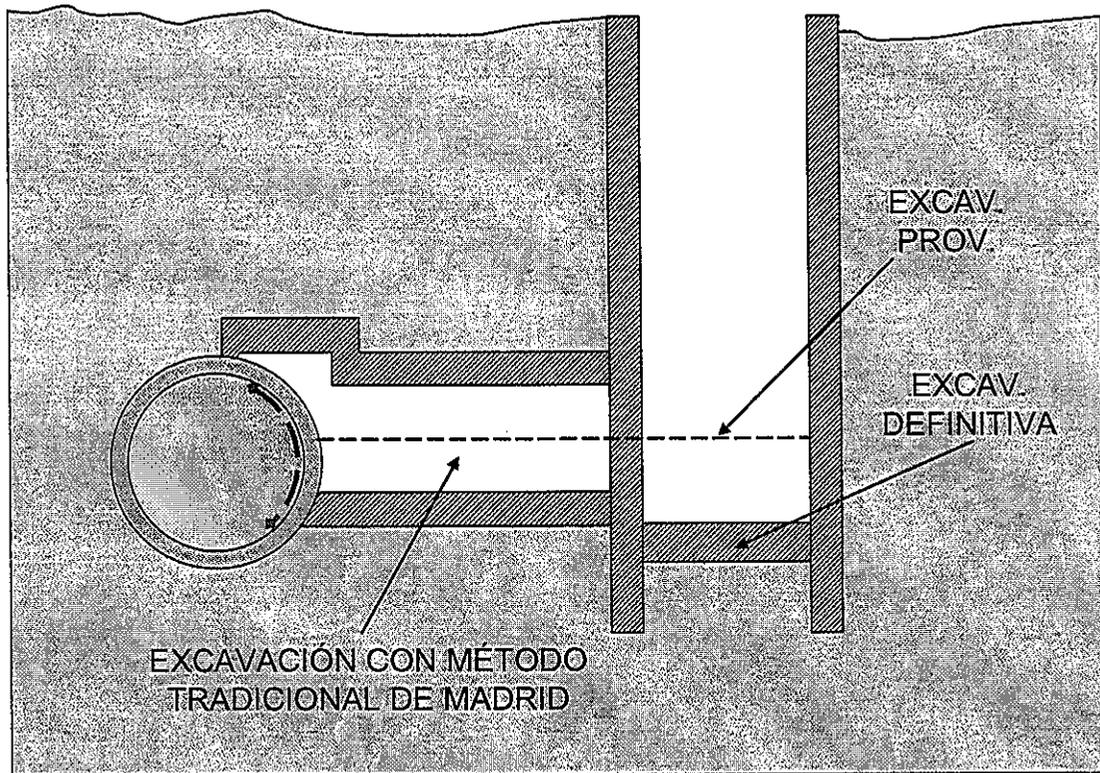
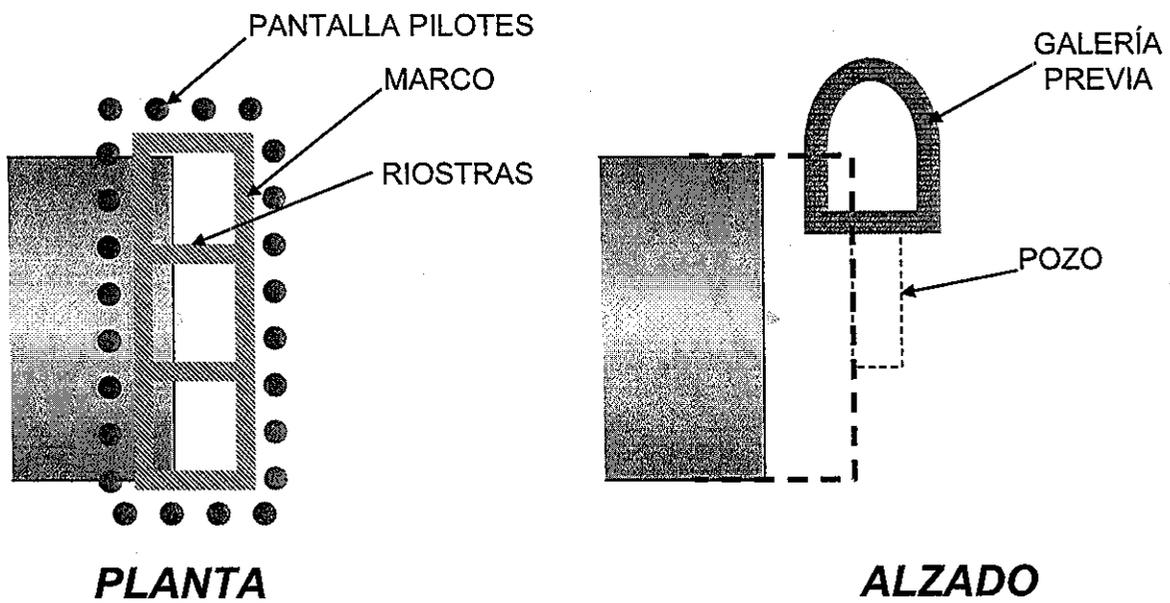


Fig. 24



## SIN AGUA

Fig. 25.- Pozos revisión tuneladora.

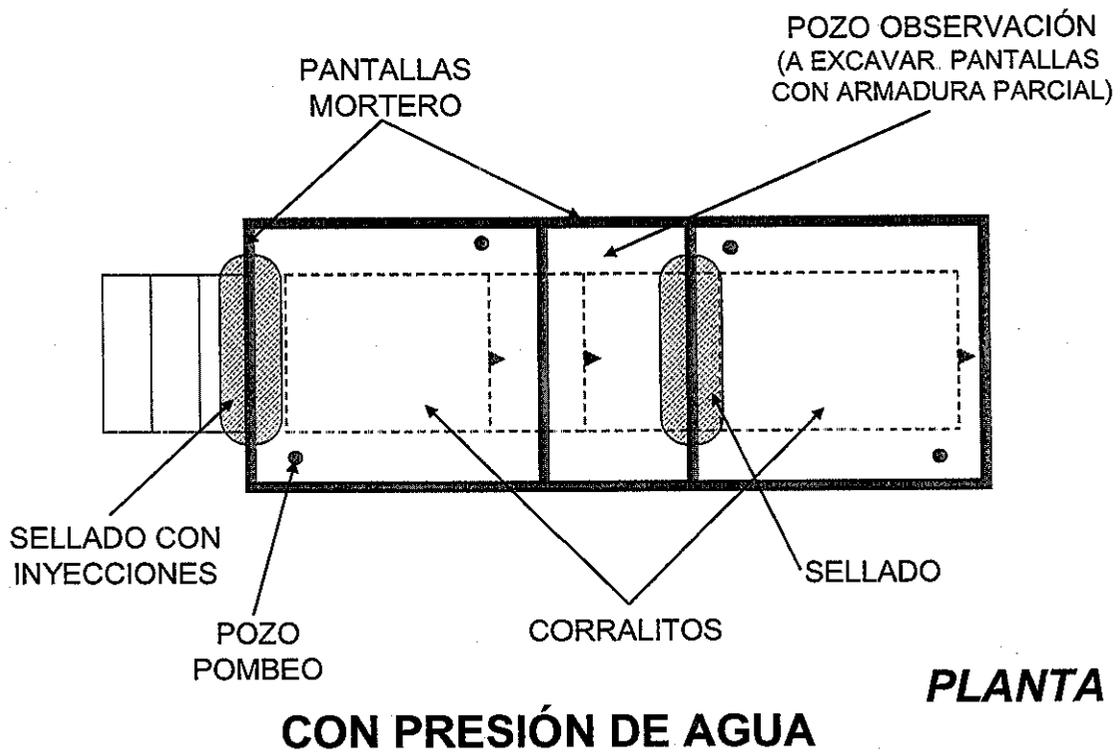


Fig. 26.- Pozos revisión tuneladoras.