

La solución túnel

Por JOSE MANUEL SERRANO HERRERO

Entre las diversas alternativas que existen para el cruce del Estrecho de Gibraltar, el túnel subterráneo excavado representa la solución más clásica, propuesta por primera vez hace ya varios años y que recogería, sin duda, la amplia experiencia adquirida en este campo por la ingeniería a través de diversas obras realizadas en los últimos años.

1. DEFINICION

Esta solución consiste en uno o varios túneles a una profundidad mínima de 100 m. bajo el fondo del mar y con una lámina de agua que llega a alcanzar los 320 m. Los estudios preliminares realizados hasta la fecha contemplan diversas soluciones con túneles de sección circular y variando en cuanto a su funcionalidad (túnel ferroviario y/o carretero), configuración transversal (uno o dos túneles de vía sencilla o un túnel de doble vía), trazado, dimensionamiento y tipología estructural.

2. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El primer esquema que conocemos de solución en túnel para el cruce del Estrecho corresponde a Laurent de Villedeuille, quién en 1869 presentó su idea al Consejo de Obras Públicas del entonces Ministerio de Fomento.

El siguiente proyecto del que tenemos noticia es obra de don Carlos Ibáñez de Ibero, Marqués de Mulhacén, quien presenta en 1908 un primer proyecto completado con posteriores estudios en los años 1912, 1919, 1925 y publicando finalmente los trabajos, de forma exhaustiva, en el año 1958. Ibáñez de Ibero realiza un planteamiento global del proyecto de enlace, con un detallado estudio socioeconómico sobre las consecuencias de su establecimiento. Bajo el punto de vista técnico, propone dos proyectos sucesivamente: un túnel exclusivamente ferroviario, formado por dos galerías de 6 m. de diámetro, con otra de servicio de 3 m. y un segundo proyecto para circulación mixta carretera-ferrocarril (hoy considerado poco viable),

con una única galería de 20 m. de diámetro, además de la de servicio, también de 3 m. Con muy buen criterio, selecciona trazados que parten de zonas próximas a Punta Paloma en España y terminan en Marruecos en puntos que van desde Punta Al Boassa a Tánger, discurriendo por las alineaciones de mínimas profundidades del Estrecho. Con pequeñas correcciones, sus ideas respecto al túnel ferroviario son muy próximas a las que pueden considerarse hoy en día (fig. 1).

Entre 1908 y 1927 se presentan diversas soluciones, todas en túnel que corresponden a varios autores: Rico Bellvé, García Faria, Jevenois, generales Comerma y Alvarez de Sotomayor y Berlier, Strauss y Bressler entre otros.

En 1927, don Pedro Jevenois, propone de nuevo la idea del túnel subterráneo. Este proyecto, que fue muy seriamente considerado por una comisión gubernativa antes de la guerra civil, de 1936, es sensiblemente análogo al ya comentado de Ibáñez de Ibero, y puede asimilarse a los propuestos más moderadamente para el paso del Estrecho (fig. 2).

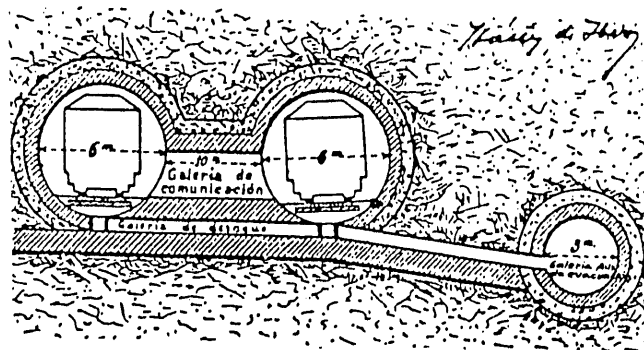


Fig. 1.—Anteproyecto de túnel de Ibáñez de Ibero (1908).

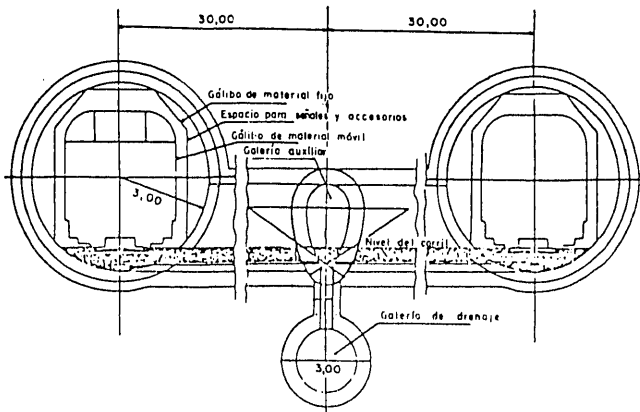


Fig. 2.—Sección transversal del túnel (según Jevenois, 1927).

3. TUNEL FERROVIARIO O CARRETERO

El dilema de túnel ferroviario-túnel carretero se decantaría en nuestro caso, a favor del primero de ellos, por razones que luego comentaremos y aunque no se debe rechazar esta variante de túnel carretero como posible solución para el Enlace, los condicionantes inherentes a esta alternativa, nos inducen a relegar su estudio a un segundo plano en esta primera etapa de los estudios.

Los condicionantes a que nos referimos son:

a) la ventilación y b) los efectos psicológicos en el conductor.

La ventilación de un túnel de 33 km. plantea serios problemas técnicos que, aunque seguramente resolubles, elevarían considerablemente los costes de construcción y explotación de la obra. Los avances tecnológicos en el campo de la combustión en vehículos motorizados y en el de la depuración de humos y gases tóxicos hacen suponer que las necesidades de aire fresco para mantener una adecuada ventilación en cualquier lugar del túnel se reducirán considerablemente en los próximos años.

No obstante, el mayor condicionante que tiene en nuestra opinión la solución del túnel carretero es el derivado de los perjuicios ocasionados al conductor, obligado a permanecer treinta minutos en el interior del túnel. Los efectos psicológicos derivados de tal situación, reducirían sensiblemente los mínimos de seguridad que deben existir siempre en un túnel.

En consecuencia y a partir de ahora, nos referiremos siempre a la variante del túnel subterráneo ferroviario.

4. COMENTARIO PREVIO

Los estudios realizados hasta el momento, y que constituyen la base del presente artículo, se han apoyado en la información disponible en 1984 y deben, por tanto, considerarse provisionales en tanto no se vayan confirmando en el tiempo —a través del actual proceso de adquisición y evaluación de datos— las hipótesis que han servido de partida para su redacción. En particular nos referimos a los aspectos relacionados con el conocimiento del terreno, principalmente en las zonas sumergidas, en donde los métodos prospectivos aplicados hasta la fecha han dado una información muy precaria sobre las características de los terrenos situados 100 metros por debajo del fondo del mar.

No obstante lo dicho anteriormente, las experiencias próximas del túnel de Seikan, incorporadas en sus aspectos fundamentales a nuestros estudios, nos han sido de gran ayuda a la hora de intentar adelantar una serie de comentarios relacionados con nuestro proyecto.

Con una longitud de 53,8 km., de los que más de 22,3 km. discurren bajo el mar, el túnel de Seikan será el túnel viario más largo del mundo una vez finalizado (fecha prevista, 1985).

Su trazado discurre por un terreno volcánico compuesto de rocas de diversas características y atravesado por diversas fallas en una región de fuerte actividad sísmica (fig. 3).

La configuración transversal la componen un túnel para circulación ferroviaria con doble vía y dos galerías, una de servicio paralela al túnel principal, y otra segunda que tiene como función el reconocimiento geológico previo del terreno y el drenaje por gravedad del conjunto de galerías, tanto en su fase de construcción como en la de explotación (fig. 4).

Así mismo, el proyecto de un túnel bajo el Canal de la Mancha, (54 km. de longitud total con un tramo subacuático de 30 km.), en avanzado estado de elaboración ha sido también de

LA SOLUCION TUNEL

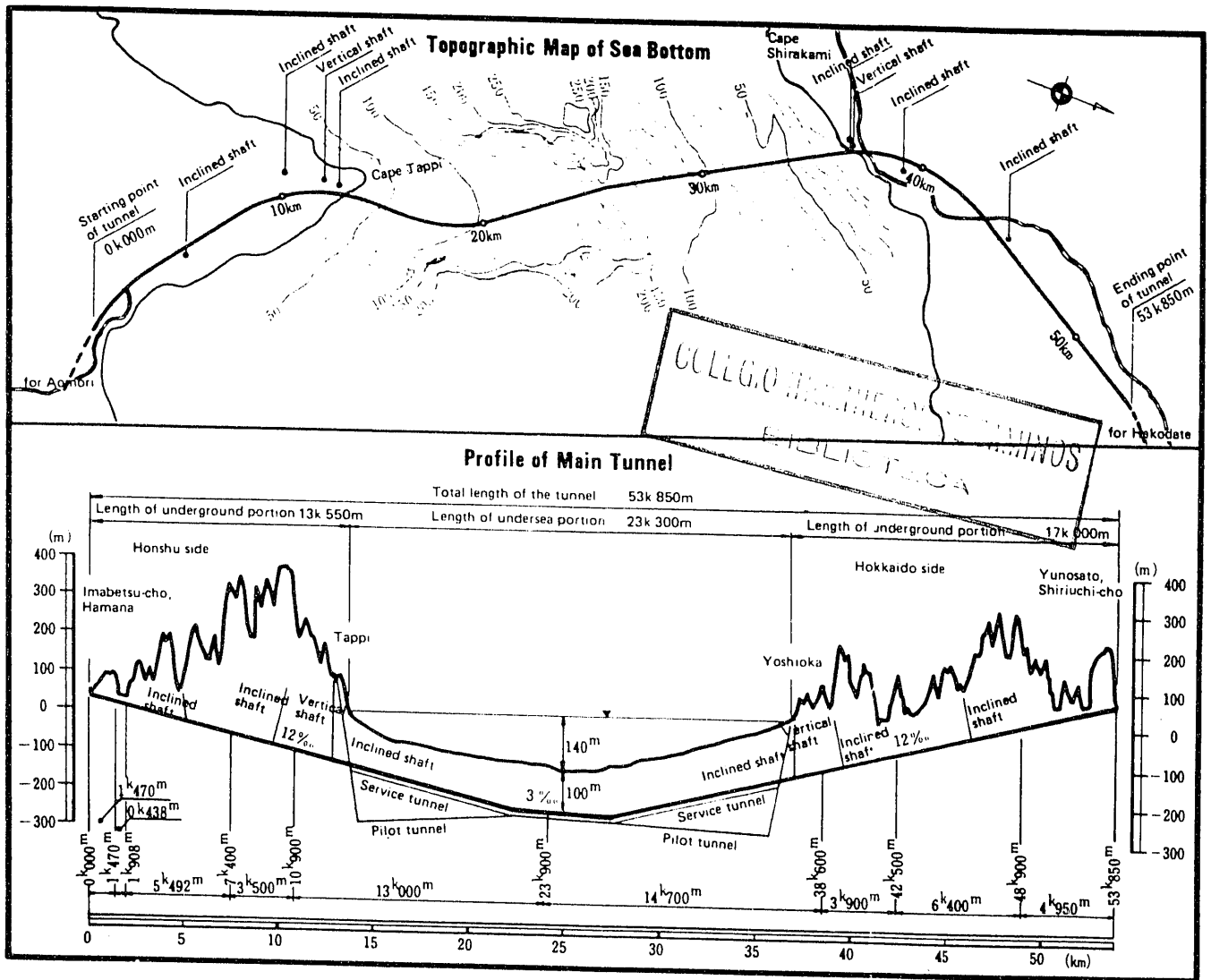


Fig. 3.—Planta y perfil longitudinal del túnel de Seikan.

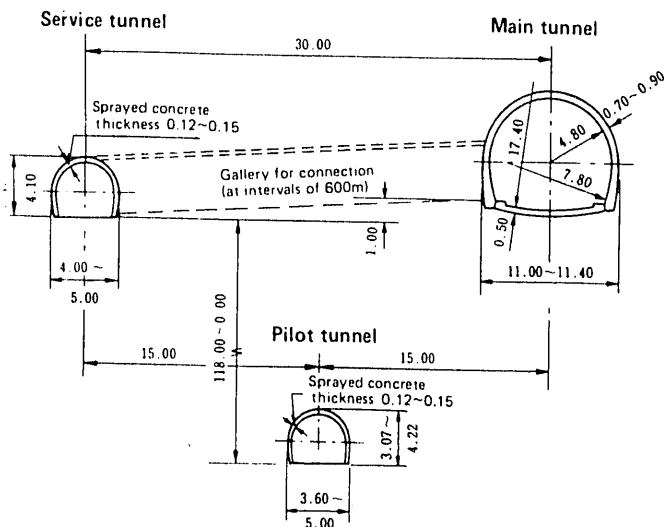


Fig. 4.—Sección transversal. Túnel de Seikan.

gran ayuda para nuestros estudios preliminares (fig. 5 y 6).

5. FUNCIONALIDAD

La función principal de esta solución en túnel excavado es el transporte por ferrocarril y en las mejores condiciones posibles de servicio y seguridad de los tráficos que genera la obra en sus tres modalidades:

- Pasajeros.
- Mercancías.
- Vehículos sobre plataforma.

Otras posibilidades que se plantean y que pueden aportar a la obra una rentabilidad muy

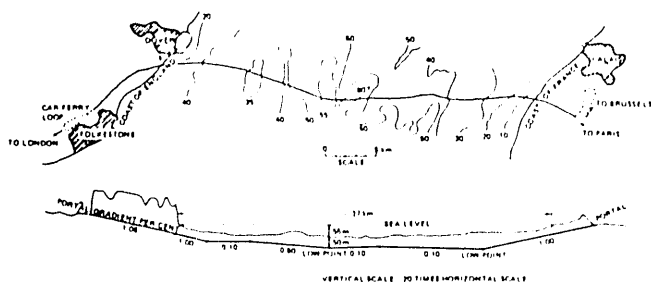


Fig. 5.—Túnel de la Mancha. Planta y perfil longitudinal.

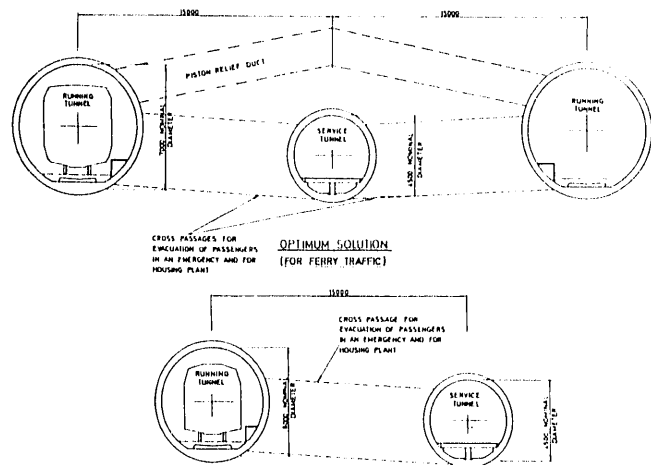


Fig. 6.—Túnel de la Mancha. Secciones transversales.

apreciable, son las relativas a un posible transporte de gas que proveniente de Africa atraviese el Estrecho para abastecer determinados países europeos.

La capacidad de un túnel de vía sencilla, del orden de 10 millones de toneladas de mercancías y 10 millones de pasajeros al año, cubre holgadamente los tráficos previstos en principio para el año 2000 con este tipo de solución. Evidentemente, la capacidad de un túnel de doble vía o dos túneles de vía sencilla, claramente superior (tres o cuatro veces), daría una mayor flexibilidad y elasticidad al modo y en definitiva sería una oferta de transporte mucho más atractiva, pero de cara al factor capacidad parece claro que cualquier solución cubre en principio las necesidades previstas en el año 2000.

En definitiva, el túnel de vía sencilla puede ser una solución viable que presenta aspectos tan atractivos como el de su menor coste y la posibilidad de ejecutar la obra en etapas que vendrán ejecutadas en función de la demanda de tráfico que se vaya generando.

La galería de servicio contemplada en todos los estudios, aparece claramente como un elemento funcional absolutamente necesario.

Con una sección de unos 15 m², discurriría paralela a los túneles principales y las principales funciones que tendría asignada serían la de ventilación, drenaje y mantenimiento del túnel principal.

6. DISEÑO

La función a que se destina el túnel y los condicionantes anejos a ésta, como son los aspectos de seguridad, mantenimiento, etc., determinan una primera configuración transversal y longitudinal del túnel, que podría llamarse esquema funcional de base. Este esquema nos indicará el número de galerías principales y de servicio, su disposición relativa, los gálibos de servicio y los parámetros que van a limitar los posibles trazados en planta y perfil.

El siguiente paso será el estudio del medio físico donde se va a implantar el túnel: tipo y características del terreno, tensiones naturales, carga de agua, condiciones de permeabilidad, dinámica del macizo matriz, etc. Este estudio nos determinará la tipología estructural macizo-revestimiento más idónea para circunscribir la sección funcional previamente fijada y que eventualmente nos puede obligar a variar las hipótesis tradicionales de partida.

Estamos, por tanto, inmersos en un proceso iterativo continuo con objeto de adecuar las variables y los condicionantes prefijados en su justa medida. El posterior análisis de los plazos y costes de cada una de las posibles soluciones, así como los sistemas constructivos más adecuados en cada caso nos puede llevar de nuevo a considerar los estudios anteriores introduciendo en ellos las variaciones impuestas por estos condicionantes.

Aunque evidentemente no se ha realizado aún este estudio, se pueden adelantar algunas ideas generales a las diversas partes que componen el diseño del túnel.

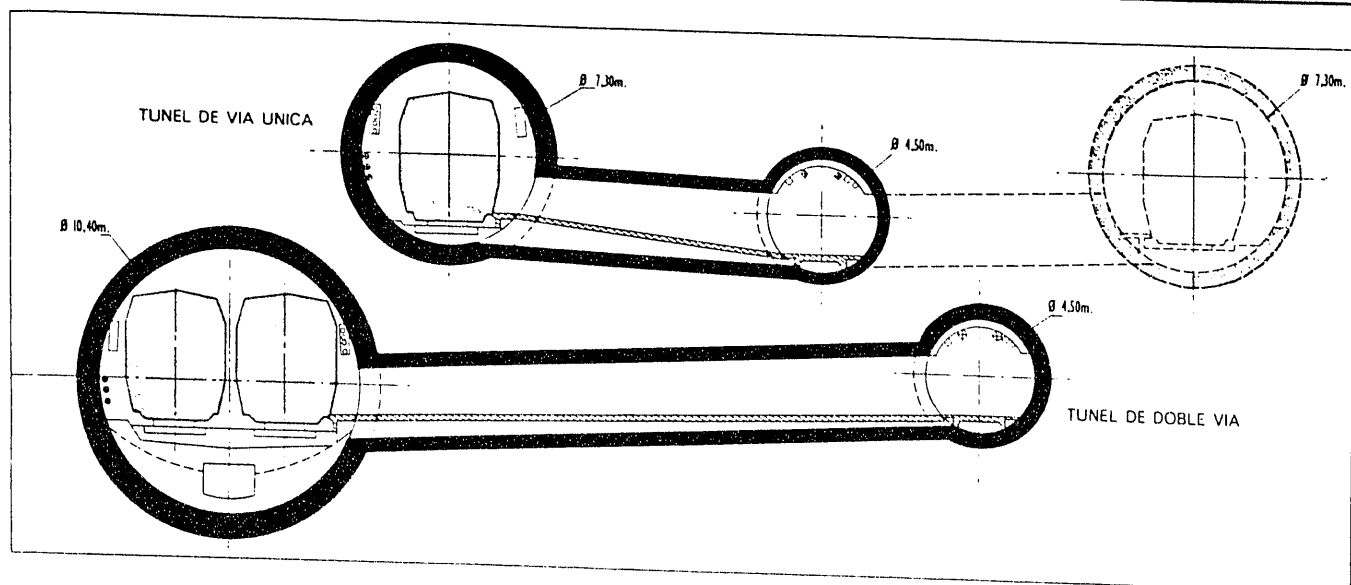


Fig. 7.—Túnel de Gibraltar. Secciones transversales.

Configuración transversal

Hemos retenido en principio las tres configuraciones transversales correspondientes a las tres variantes (fig. 7):

- Túnel de doble vía con galería de servicio.
- Dos túneles de vía sencilla con galería de servicio.
- Túnel de vía sencilla con galería de servicio.

No se considera necesaria en principio, la inclusión de una segunda galería para reconocimiento y drenaje (solución Seikan), ya que la excesiva separación entre esta y la traza del túnel no nos daría una información geológica de suficiente garantía, habida cuenta de la heterogeneidad de los terrenos que constituyen la base del Estrecho.

Por otro lado, las previsiones hidrogeológicas deducidas de los trabajos de investigación en curso inducen a pensar que las aportaciones de agua al túnel durante su construcción y explotación no serán de mucha entidad y podrán ser evacuadas en principio a través de la galería de servicio. No obstante, la posible inclusión en el proyecto de esta segunda galería será un tema a debatir en un futuro próximo analizando en profundidad los pros y los contras que implicaría su realización.

Trazado en planta

El trazado viene condicionado, entre otras causas, por la batimetría y por la distancia entre ambas márgenes. El más corto, de unos 14 km. de longitud, uniría los dos continentes entre Punta Cires (Marruecos) y Punta Guadalmeés (España), pero la lámina de agua superará los 900 m.

El corredor más adecuado y que mejor conjuga los parámetros a) distancia y b) profundidad, está situado sobre el denominado umbral S, que

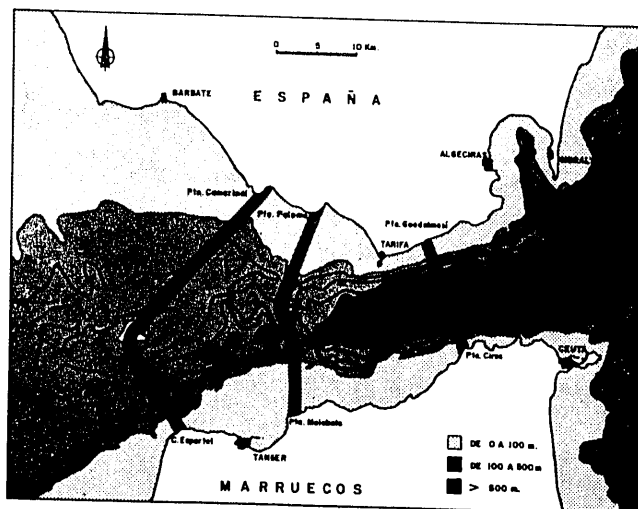


Fig. 8.—Carta batimétrica del Estrecho. Distancia mínima y umbrales.

LA SOLUCION TUNEL

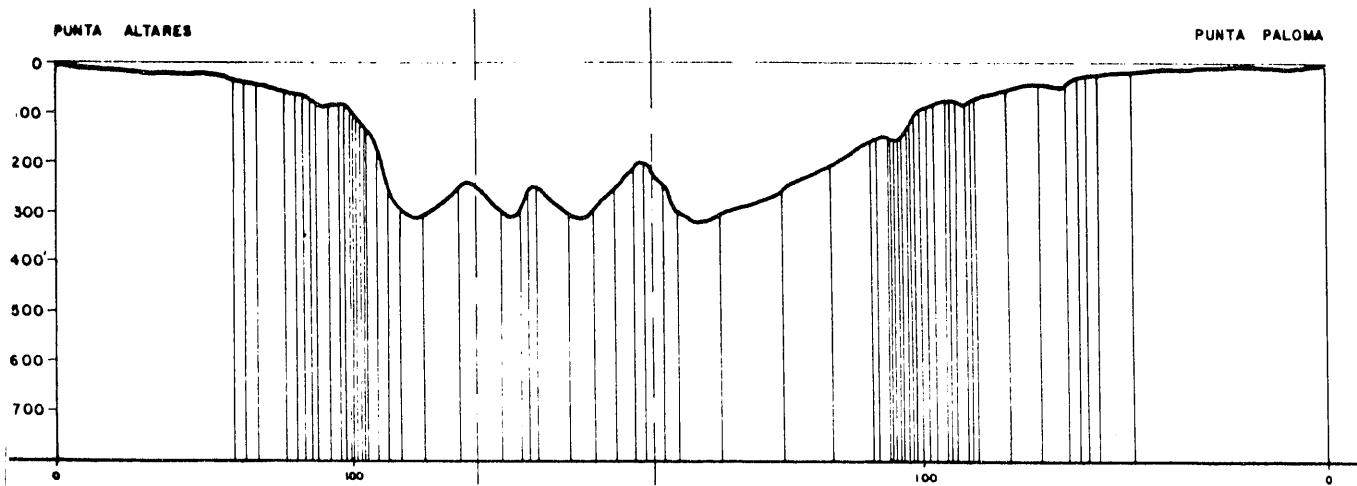


Fig. 9.—Corte topográfico Punta Altares (Cabo Malabata, Marruecos)-Punta Paloma (España). Perfil longitudinal en la zona del «umbral S» del Estrecho de Gibraltar.

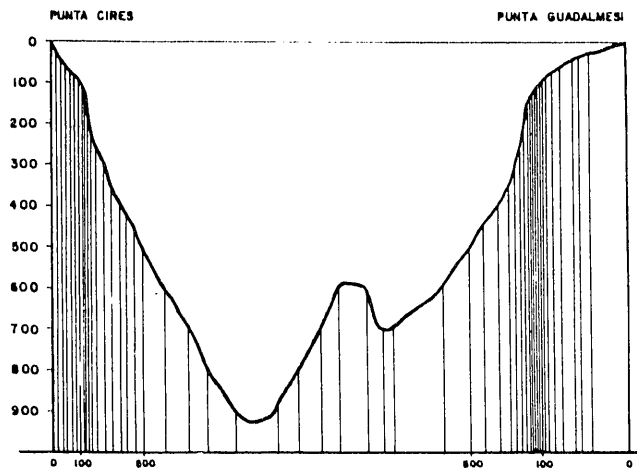


Fig. 10.—Corte topográfico Punta Cires (Marruecos)-Punta Guadalmes (España). Perfil longitudinal en la zona más angosta del Estrecho de Gibraltar.

une Cabo Malabata (Marruecos) con Punta Paloma (España), y la longitud aproximada sería de unos 27 km. (figs. 8, 9 y 10).

El trazado del túnel discurriría por tanto bajo el umbral S, enlazando con Cádiz y/o Algeciras en la orilla Norte y con Tánger en la orilla Sur. Su longitud total oscilaría entre 48,700 km. (pendiente 20 ‰) y 63,000 km. (pendiente 12 ‰). Para la pendiente más plausible del 18 ‰, la longitud total del túnel sería de unos 53 km., de los que 27 discurrirían bajo el mar (fig. 11).

El trazado debería contemplar todas las alternativas posibles teniendo en cuenta los destinos, la red de comunicaciones existente y la necesidad de disponer de ambos extremos del enlace, de una superficie suficiente para situar las terminales.

Perfil longitudinal

En cuanto al perfil longitudinal se han estudiado diversas soluciones que abarcan pendien-

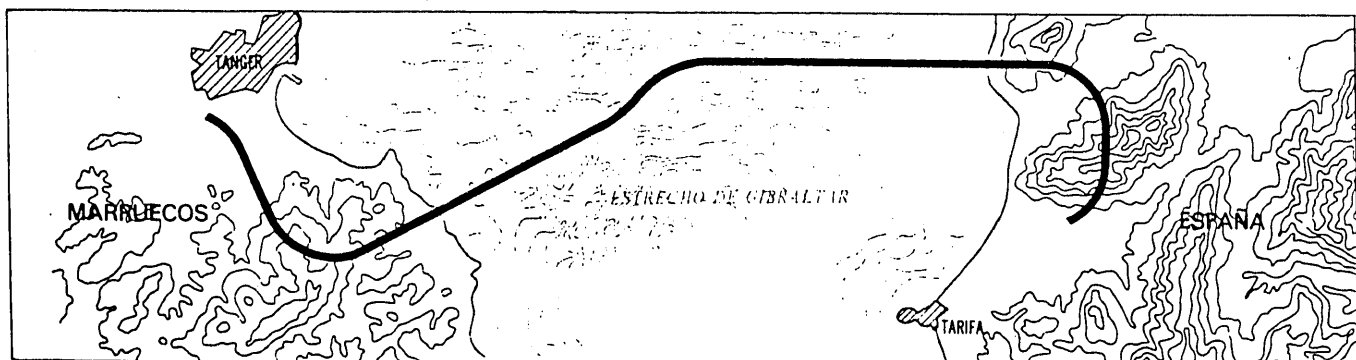


Fig. 11.—Túnel de Gibraltar. Planta.

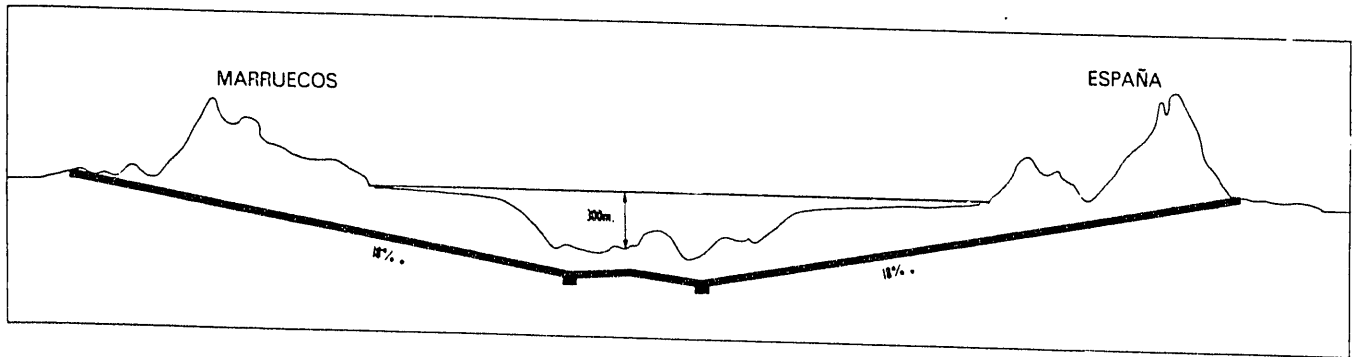


Fig. 12.—Túnel de Gibraltar. Perfil longitudinal.

tes entre el 12 y el 20 por 1.000. La elección de la pendiente de proyecto vendrá determinada a través de un estudio de optimización en el que intervendrán todos aquellos parámetros que inciden en este problema. El espesor mínimo de cobertura de roca que define el punto de máxima profundidad del trazado se ha fijado en principio en 100 m., atendiendo a razones de orden principalmente geológico, aunque este dato tendrá que ser confirmado en el futuro a la luz de la información que vayamos obteniendo. La necesidad de conseguir un drenaje eficaz aconseja la adopción de un perfil en W para disponer de dos puntos bajos para recogida de agua (figura 12).

Sección tipo

Para definir la sección tipo ideal desde un punto de vista tipológico, hay que resolver una serie de actuales incógnitas que, entre otras, son:

- Estabilidad del frente de excavación.
- Posibilidad de realizar drenes eficaces.
- Posibilidad de inyectar los terrenos.
- Determinación de parámetros geotécnicos y de permeabilidad.
- Determinación de las leyes de hinchamiento, dilatancia y variación de volumen en general.

No obstante, se puede adelantar que la sección circular prevista en los estudios preliminares se adapta perfectamente a las presumiblemente fuertes solicitaciones que se ejercerán sobre el revestimiento y se acopla bien a los condicionantes derivados de los aspectos funcionales y constructivos.

El agua y su circulación

Los aspectos relacionados con el agua y su circulación son fundamentales a la hora de plantear la construcción de un túnel. Las variaciones de la presión en el tiempo y espacio originan unas fuerzas de masa que pueden ser muy importantes y que influyen poderosamente en el estado tensional del macizo rocoso.

A estos efectos cabe preguntarse si se quiere un túnel resistente a la presión hidrostática (estanco) o por el contrario un túnel drenado. Es prematuro decidir hoy cual de las dos soluciones es la óptima y posiblemente las investigaciones que se realicen en el futuro tanto *in situ* como en gabinete, nos lleven a soluciones mixtas o eclécticas (inyecciones en trasdós), o incluso a optar por distintos tipos de solución en función de determinados parámetros del entorno (características del macizo, cobertura de tierra, gradiente hidráulico, etc.).

Instalaciones

Las instalaciones auxiliares en las orillas del Estrecho consistirán en pozos y planos inclinados que accedan al túnel desde tierra. Habrá que considerar la posibilidad de construir pozos a cierta distancia de la costa que permitan mejorar sensiblemente los dispositivos de ventilación y reducir de forma muy apreciable el plazo de la obra.

En cuanto a las terminales, no existe problema de ubicación ya que existen en ambas costas superficies suficientemente extensas y llanas para permitir su construcción.

Enlace con las redes actuales

El enlace del túnel con las redes de transporte actualmente en servicio obligará a la construcción de nuevos tramos de vía en territorio español para unir la salida del túnel con Cádiz y/o Algeciras, según la alternativa que se considere. Estos nuevos tramos tendrán una longitud de 58 km. en el enlace con Cádiz y de unos 25 kilómetros en su conexión con Algeciras.

En la costa marroquí bastará simplemente con elegir un trazado que interfiera lo menos posible con la actual infraestructura viaria y urbanística de la ciudad de Tánger.

El enlace del túnel con las redes de carreteras de ambos países no crea problemas especiales, ya que las bocas del túnel se ubicarán siempre en las proximidades de carreteras nacionales en servicio.

7. MEDIO FISICO

Está demostrada la continuidad geológica entre ambos márgenes del Estrecho, por lo que los terrenos situados bajo el mar presentarán seguramente las mismas características geológico-geotécnicas que las de los terrenos presentes en las áreas costeras.

La discontinuidad originada por la formación del Estrecho no altera en ningún supuesto el tipo de constitución de los terrenos afectados, que con toda seguridad se verán cruzados por diversas fallas de distinta entidad. Estas fallas no deberán dar origen necesariamente a accidentes de gravedad en el momento de ser atravesadas durante la construcción del túnel y podrán ser salvadas con los medios que dispone hoy en día la tecnología de túneles para resolver problemas similares. Por otro lado, la compresión Norte-Sur proveniente del movimiento de placas hace que los terrenos tiendan a recomprimirse es, en principio, un factor favorable de cara a la perforación del túnel. En cuanto a la gran falla de Gibraltar, parece haber un acuerdo general sobre su inexistencia.

Las primeras campañas de geofísica marina realizadas hasta la fecha (sísmica, reflexión, sonar de barrido lateral, magnetometría, etc.) han dado resultados poco alentadores de cara al



Fig. 13.—Vista aérea, flysch areniscoso. Margen septentrional del Estrecho de Gibraltar.

conocimiento de los suelos que constituyen el fondo del Estrecho. El tipo de terreno, constituido por «flyschs» alóctonos con alternancia de capas margoarcillosas y calcáreas o areniscosas y la quebrada orografía del fondo del mar no son los factores más idóneos para conseguir buenas respuestas a través de los medios utilizados (fig. 13).

No obstante, y antes de aplicar otros medios prospectivos, más caros, habrá que profundizar



Fig. 14.—Toma de muestras. B. O. García del Cid (1983).

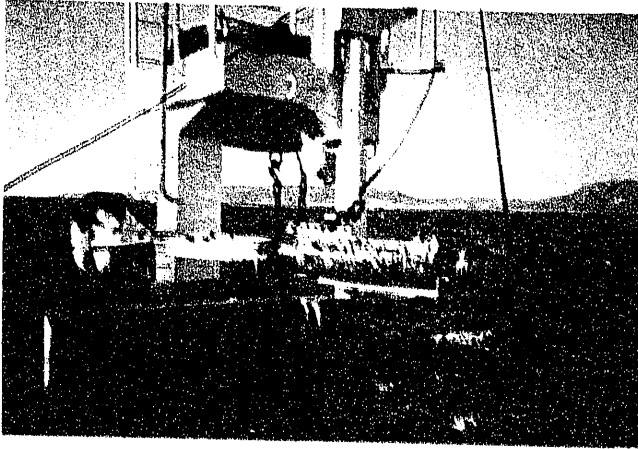


Fig. 15.—Aparato tomamuestras.

en el estudio de las campañas ya realizadas y en los sistemas aún no utilizados que proporciona el mercado mundial (figs. 14, 15 y 16).

La sismicidad en el área del proyecto, es baja. Los estudios previos realizados ponen de manifiesto el hecho de que una eventual sollicitación sísmica sobre el revestimiento del túnel no resultaría en absoluto peligroso.

En cuanto a las características geotécnicas de los terrenos, se puede adelantar que:

- Los terrenos son en general impermeables (los sondeos realizados en tierra y que han alcanzado en algún caso la cota 400 bajo el nivel del mar, no detectan la presencia de agua).
- Las margas y arcillas presentan características de hinchamiento y deformabilidad.
- La estabilidad del frente, a corto plazo, parece asegurada.
- Las presiones iniciales sobre el revestimiento, de acuerdo con unos primeros cálculos efectuados en modelo elasto-plástico no resultan excesivamente elevadas si se comparan con los valores de carga hidrostática y peso de la columna de tierras.

Por otro lado, se ha detectado la presencia de pequeñas bolsadas de gas en alguno de los sondeos de reconocimiento realizados.

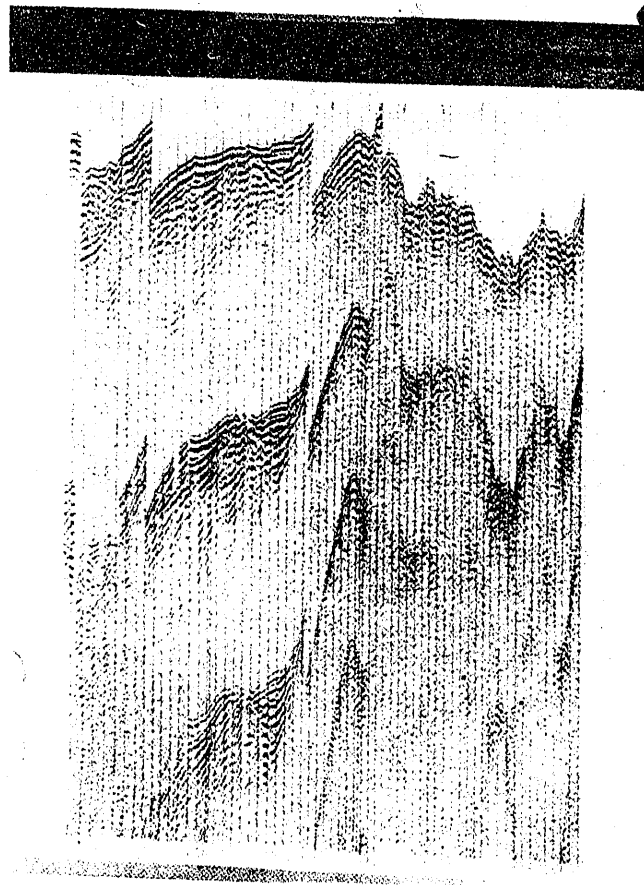


Fig. 16.—Registro bruto de sísmica de reflexión.

8. ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La indeterminación geológica, unida al riesgo que representaría la aparición de accidentes geológicos importantes, no previstos en el momento de perforar el túnel, ponen en evidencia la necesidad de disponer de un sistema de prospección eficaz por delante del frente que nos vaya suministrando toda la información necesaria para el normal desarrollo de los trabajos (tipos de terreno, caudales de agua, presencia de gas, etc.).

Este sistema de prospección, puesto a punto por los japoneses en el túnel de Seikan, consiste en la ejecución sistemática de sondeos horizontales de gran longitud, realizados a partir de nichos adyacentes al túnel, preparados al efecto (figs. 17 y 18).

Con este sistema se han conseguido realizar sondeos de hasta 2.100 m., con buena recuperación de testigo y excelentes rendimientos.

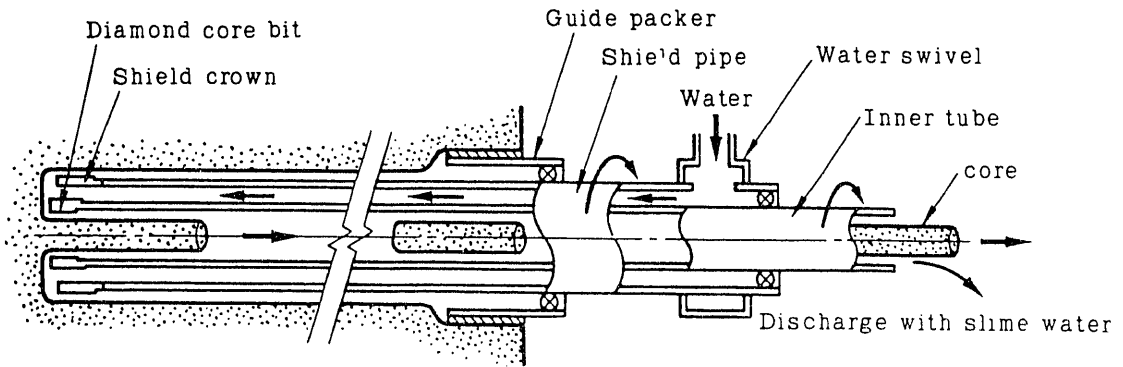


Fig. 17.—Sistema de perforación horizontal utilizado en el túnel de Seikan (circulación inversa con doble tubo).

Las especiales características de los terrenos en la zona del proyecto, aconsejan iniciar una campaña de investigación para adecuar convenientemente los tipos y sistemas de perforación a nuestro caso y poder disponer de esta manera, del equipo y medios más adecuados en el momento de iniciar los trabajos en galería.

Otro sistema constructivo, utilizado profusamente en Seikan con buenos resultados, ha sido el de la inyección a altas presiones (80 kg/cm.²) con objeto sobre todo de evitar avenidas de agua. Se pudo comprobar que para disminuir los caudales infiltrados bastaba con inyectar por

debajo de la presión crítica, pero que sí se pretendía además aumentar la resistencia del macizo era preciso sobrepasar tal presión. En las zonas de falla concretamente, se pudo constatar que la única forma eficaz de conseguir una reducción de los caudales infiltrados era a través de inyecciones a alta presión, que evitaban el lavado del producto de inyección como consecuencia de los fuertes gradientes que imperan delante del frente de excavación (figs. 19 y 20).

La puesta a punto de un sistema eficaz de inyección debe ser también en nuestro caso un

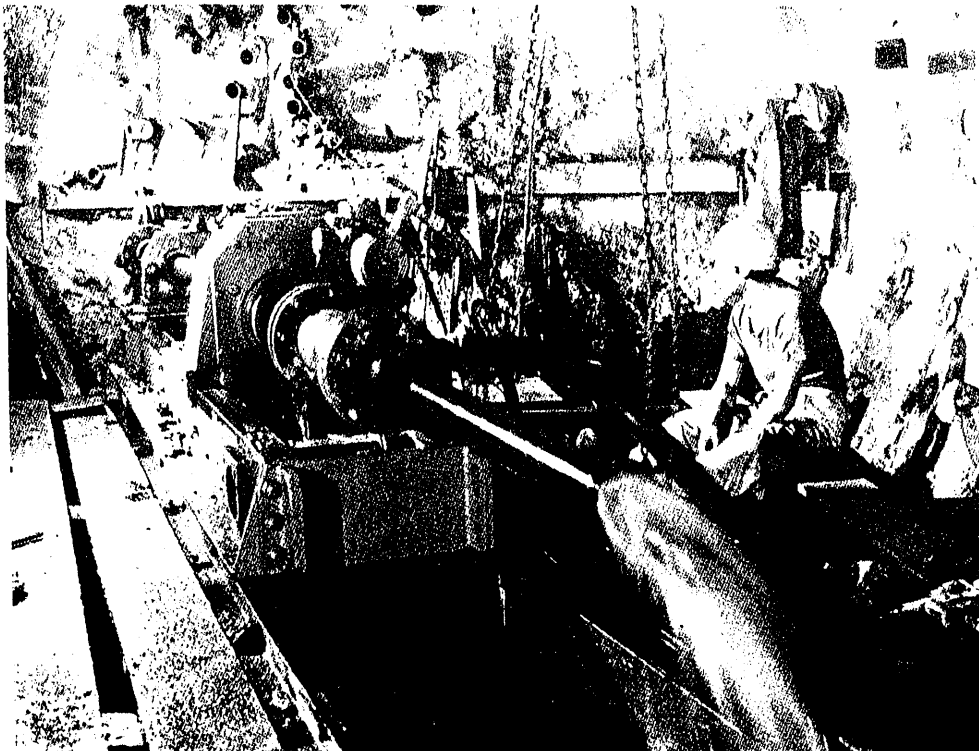


Fig. 18.—Máquina de sondeo horizontal trabajando en el interior del túnel.

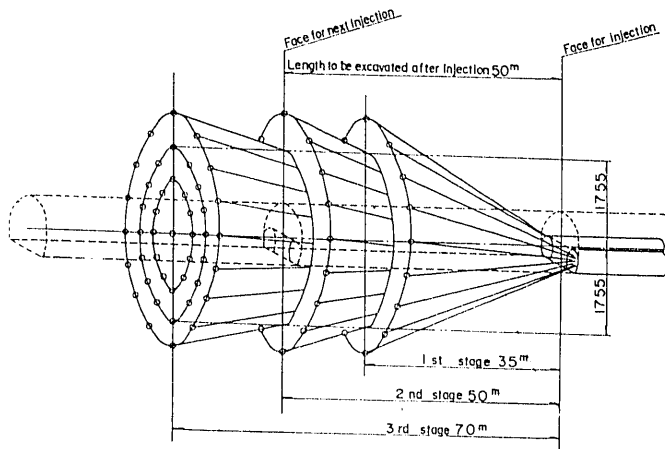


Fig. 19.—Esquema de inyección (Seikan). Perspectiva.

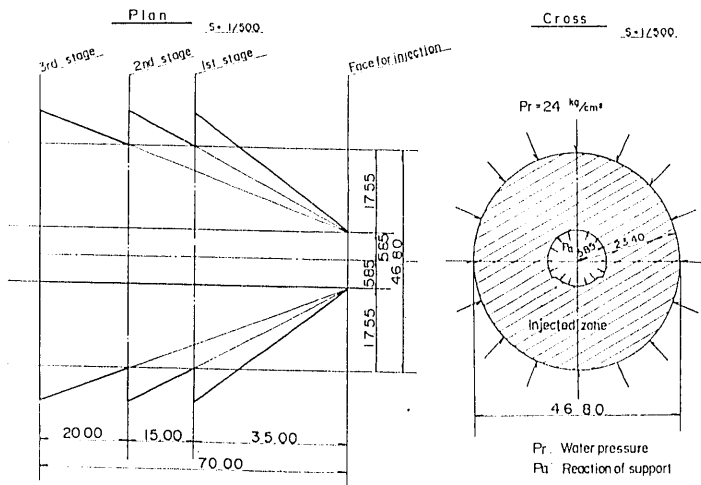


Fig. 20.—Esquema de inyección (Seikan). Planta y alzado.

objetivo prioritario, que habría que acometer lo antes posible.

Parece prematuro hablar del sistema de construcción más apropiado, aunque si se puede adelantar que, debido a la previsible heterogeneidad de los terrenos y a la probable existencia de agua en algún tramo del túnel, los métodos convencionales de construcción, debido a su flexibilidad, pueden tener ciertas ventajas sobre los sistemas fuertemente mecanizados. No obstante, será necesario confirmar estos extremos con investigaciones precisas a realizar, preferentemente *in situ*, antes de determinar el método más adecuado.

9. EXPLOTACION

Un aspecto importante a considerar es el diferente ancho de vía existente en ambos países (1,668 m. en España y 1,435 en Marruecos).

Desde el punto de vista de la explotación, este hecho no debe acarrear problemas especiales, ya que se puede asegurar que en la actualidad existen soluciones eficaces para el servicio de tráfico de viajeros (España-Francia, concretamente) y que las investigaciones, actualmente en curso, permiten suponer que el tráfico de mercancías tendrá pronta solución en los próximos años.

La instalación de un tipo u otro de vía en el túnel dependerá del tipo y volumen de tráfico que se genere entre ambos países y deberá ser objeto de estudio en el futuro.

Los aspectos de ventilación y refrigeración se han estudiado en esta fase preliminar de forma somera, y aunque no parece que sean factores condicionantes de la viabilidad funcional del túnel, será preciso acometer en el futuro estudios de detalle para garantizar este primer supuesto. Lo mismo puede decirse del efecto pistón y de los derivados por posible incendio o accidente dentro del túnel.

10. PLAZO

El plazo de una obra de este tipo, con la precaria información geológica que disponemos en la actualidad, no es tarea fácil y únicamente podremos admitir como válido un amplio abanico de posibilidades que recojan las hipótesis más extremas relacionadas con el tipo y calidad de los terrenos que pueden aparecer durante la construcción del túnel. De acuerdo con estas hipótesis podemos adelantar plazos que van desde los diez-doce años, hasta los quince o dieciseis. Retendremos en principio la cifra de trece-catorce años como plazo plausible para su realización, a falta de mayor información.

El plazo de construcción del túnel viene condicionado esencialmente por su tramo central submarino (27 km.), al que, para su ejecución, sólo se podrá acceder desde pozos o planos

situados en las orillas del Estrecho. No obstante, existen dos posibilidades para flexibilizar y reducir este plazo.

- Pozos intermedios construidos a cierta distancia de la costa (pozos «offshore»).
- Utilización de la galería de servicio —supuestamente realizada o muy adelantada en relación al frente de ataque del túnel— como acceso a la formación de varios frentes de excavación.

11. COSTE

Es prematuro valorar una obra de estas características en el momento actual, dada la serie de incógnitas que todavía pesan sobre el tipo y características de los terrenos en que se ubicará el túnel, pero los estudios preliminares realizados y las referencias de obras similares construidas recientemente, nos invitan a adelantar la cifra de 3.000 millones de dólares (450.000 millones de pesetas) para la alternativa consistente en dos túneles de vía sencilla y una galería de servicio.

El coste de la solución en túnel doble puede

ser sensiblemente del mismo orden de magnitud y su mayor o menor coste dependerá esencialmente de la calidad del terreno. En cuanto al coste de un túnel de vía sencilla con galería de servicio podemos cifrarlo en 500 millones de dólares menos, es decir, en 2.500 millones de dólares (370.000 millones de pesetas), aunque estas cifras deben considerarse más como elementos relativos de comparación que como cantidades o cifras absolutas.

12. ESTUDIOS EN MARCHA

Se acaba de cerrar una primera etapa de estudios que hemos denominado de prefactibilidad. Dentro de ella se han abordado diversos trabajos, entre los que cabría destacar:

- Levantamiento geológico a escala 1: 25.000.
- Campaña de sondeos en tierra (1.500 m.).
- Campañas oceanográficas varias (sísmicas reflexión, batimetría, magnetometría, etcétera).
- Estudios preliminares de factibilidad sobre la solución túnel ferroviario.

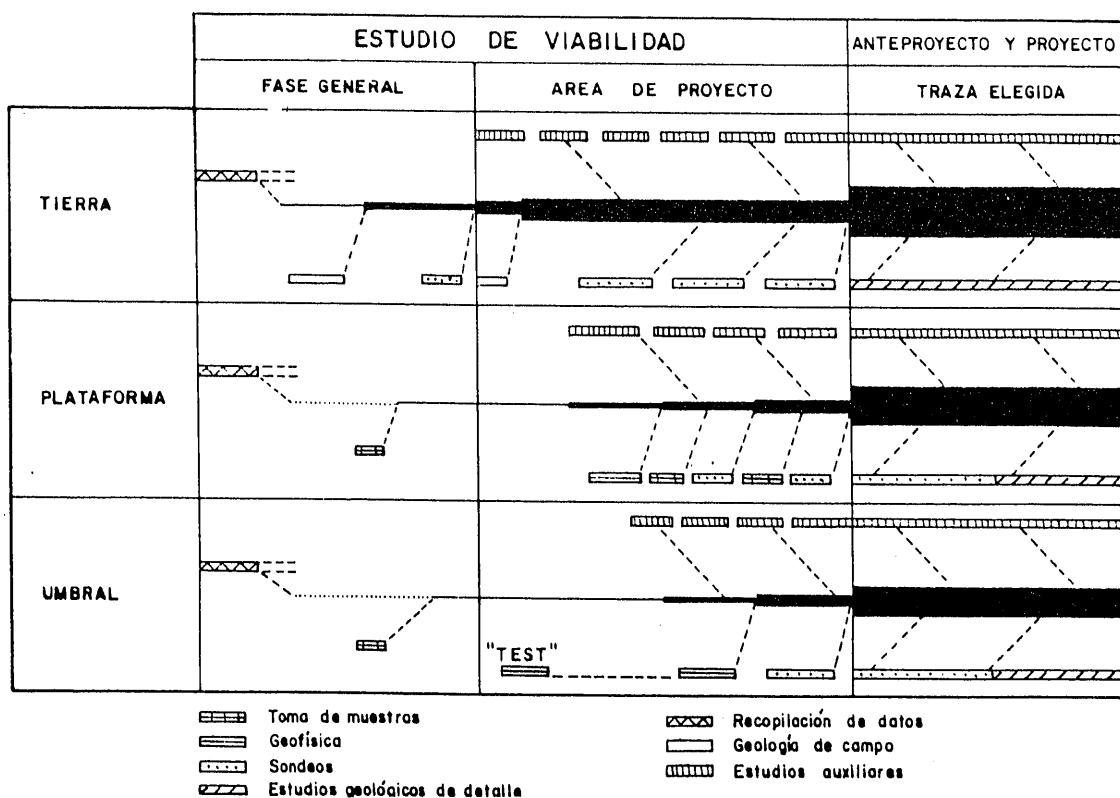


Fig. 21.—Esquema básico de investigación geológico-geotécnica (túnel de Gibraltar).

Esta etapa se rematará con un estudio diagnóstico de evaluación, que abre las puertas a la siguiente fase de los estudios denominada de factibilidad.

13. ESTUDIOS FUTUROS

En el caso de la solución túnel, los estudios futuros deberán centrarse principalmente en obtener la máxima información posible sobre las características geológicas y geotécnicas de los terrenos donde se va a asentar el túnel.

A estos efectos y teniendo en cuenta las difíciles y especiales circunstancias que rodean nuestro proyecto, las campañas de investigación geológico-geotécnicas se han planteado en base a criterios de rentabilidad económica que nos permite acceder al conocimiento de las zonas de mayor dificultad (y donde, por tanto, la investigación es más cara), a través de dos procesos envolventes y finalmente convergentes: tierra-mar y área general-traza del túnel.

El circuito tierra-mar, diferenciado en tres fases: a) tierra, b) plataforma y c) umbral, viene condicionado por las diferentes técnicas de prospección que requiere cada una de estas zonas y por el diferente grado de información que estas nos proporcionarán. Esta convergencia tierra-mar, permitirá extrapolar con mayor rigor científico la información obtenida en cada área a la inmediatamente contigua, en un proceso lógico de rentabilidad económica, habida

cuenta del elevado coste de las prospecciones submarinas en aguas profundas.

El segundo circuito área general, zona de proyecto (bandas posibles de trazados) y traza del túnel, es el habitual para cualquier obra de este tipo.

Estos criterios se han plasmado en la figura 21, en forma de esquema, donde se aprecian claramente cada una de las fases en que hemos dividido el programa de investigaciones y el nivel de información presumible al final de cada etapa.

14. GALERIA DE RECONOCIMIENTO

Hemos visto las dificultades que entraña, en nuestro caso, la investigación geológico-geotécnica de la zona sumergida y aunque en los próximos años se van a desarrollar diversas campañas de geofísica marina agotando los recursos que dispone hoy en día esta tecnología y se va a realizar así mismo alguna campaña de sondeos profundos en el mar, el grado de información que dispondremos al final de viabilidad, serán necesariamente precario y seguramente insuficiente para acotar el riesgo de la obra en términos económicos razonables y aceptables.

Se plantea, por tanto, la necesidad de completar la información por medio de algún otro sistema que cubra las lagunas dejadas por los sistemas que podríamos denominar clásicos: nos estamos refiriendo concretamente a la posible construcción de una galería de reconocimiento previa a la ejecución del túnel principal y que, evidentemente, nos suministrará una información integral del medio en el que va a estar implantado el túnel.

En relación a esta galería se pueden hacer las siguientes consideraciones.

1. La galería de reconocimiento formará en todo caso parte de la obra principal al integrarse a esta como galería de servicio, con lo que parte de su coste quedaría automáticamente amortizado.
2. Esta galería tendría diversas funciones aparte de la de reconocimiento del terreno (fig. 23):

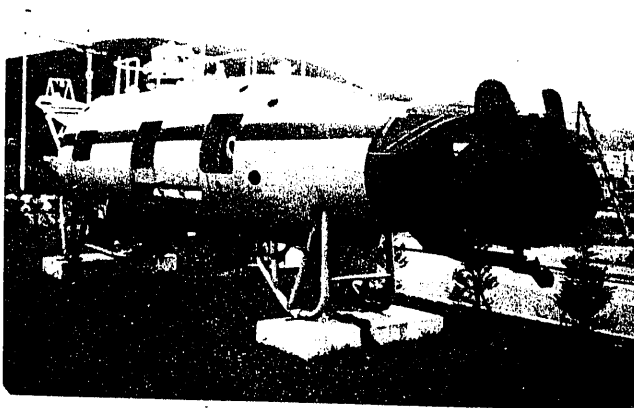


Fig. 22.—Submarino utilizado para prospecciones submarinas en el túnel de Seikan.

LA SOLUCION TUNEL

GALERIAS DE TUNELES

	TUNEL		GALERIA						
	NOMBRE	SITUACION	N°	LONGITUD	FUNCION			EJECUCION RELAT. AL TUN.	OBSERVACIONES
					PROYECT.	CONSTRUC.	EXPLOTAC.		
EXTRANJERO	SEIKAN.	C	2		○	X	X	SOLAPADA	1º GALERIA: Piloto y drenaje 2º GALERIA: Servicio
	C. MANCHA	P	1	100%	○	○	X	SOLAPADA	GALERIA circular Ø 4,52 36,7 km, bajo el mar.
	GRAN SASSO	E	1	25%	○	X	○	SOLAPADA	10,150 km función galería: drenaje
	S. GOTARDO	E	1	100%	○	○	X	SOLAPADA	Se utilizará galería para el 2º túnel.
	FREJUS	E	NO						
	KAN- EFSU	E	1	100%	○	○	X	SOLAPADA	Función galería ventilación
ESPAÑA	T. RUBIRA	C	1	100%	X	—	—	ADELANTADA	Galería inscrita en el túnel principal.
	CADI	C	1	30%	X	X	X	ADELANTADA	
	TALAVE	E	NO						
	PAJARES (F.F.C.C.)	P	1	100%	○	X	X	SOLAPADA	
	GUADARRAMA	E	NO						

X FUNCION PRINCIPAL
○ FUNCION SECUNDARIA

P : EN PROYECTO
C : EN CONSTRUCCION
E : EN EXPLOTACION

Fig. 23.—Ejemplos de galerías de servicio en túneles.

- Servicio del túnel principal, en explotación.
 - Auxiliar, durante la construcción del túnel principal.
 - Ventilación (fases de construcción y explotación).
 - Drenaje (fases de construcción y explotación).
 - Seguridad (fases de construcción y explotación).
 - Ensayos geotécnicos, de inyección, etcétera.
 - Ensayo de maquinaria, medios auxiliares y sistemas de construcción.
 - Entrenamiento del personal técnico y operario.
3. La galería puede construirse simultáneamente con el túnel principal (Seikan) o con total independencia de éste (suficientemente adelantada en el tiempo para permitir incorporar al proyecto toda

- la información que suministre su construcción).
4. En este último supuesto hay que analizar en profundidad su posible viabilidad técnica, teniendo muy especialmente en cuenta los aspectos relativos a la ventilación, drenaje y seguridad.
5. En cualquier caso y si razones de índole económica o técnica desaconsejaran la ejecución de la galería en su totalidad, la ejecución de una parte de ella puede tener suficiente interés para decidir la conveniencia de su construcción. Un 50 % de esta galería (6,5 km. por cada orilla) representa disponer de una información global del túnel a lo largo de un 75 % de su recorrido.

Ante las claras ventajas que representaría disponer de esta galería (o parte de ella) a la hora de redactar el proyecto de la obra principal,

existen una serie de dificultades, bajo el supuesto de su eventual viabilidad, que conviene no minimizar, y valorar adecuadamente antes de decidir su construcción. Estas dificultades parten esencialmente de un conocimiento previo del terreno un tanto precario y se reflejarían principalmente en redimimientos bajos y en un elevado coste de excavación.

CONCLUSIONES PREVIAS

- a) A la luz de la información disponible en la actualidad y apoyándonos en experiencias similares, se puede afirmar que la excavación de un túnel ferroviario a través del Estrecho de Gibraltar es viable técnicamente, aunque evidentemente esta viabilidad deberá venir confirmada por medio de un amplio programa de estudios e investigaciones referidas, sobre todo, a un mejor y mayor conocimiento de los terrenos que atravesará el túnel en su recorrido.
- b) Las especiales condiciones que rodean el proyecto (complejidad intrínseca de la geología de la zona y dificultad en encontrar unos medios de prospección geofísicos adecuados) inducen a pensar que la información geológica que dispondremos antes de la construcción del túnel será menor que en otras obras similares. Aunque esto es un hecho cierto, en absoluto pone en entredicho la viabilidad del túnel (existen muchos ejemplos de túneles que por diversas razones se han ejecutado sin disponer de la suficiente información geológica previa), pero sí nos invita a considerar seriamente la posibilidad de construir una galería de reconocimiento (parcial o total, adelantada o no con la construc-

ción del túnel) que nos suministre toda aquella información que nos han negado las técnicas de prospección habituales (a estos efectos conviene recordar que un kilómetro de galería de 15 m.² equivale en coste a seis sondeos en el mar, aproximadamente).

- c) Los precedentes que existen de obras similares: túnel de Seikan, en Japón, prácticamente terminado, y túnel del Canal de la Mancha, con proyecto de construcción, suponen un gran estímulo para continuar los estudios y representan una importante base de apoyo para su desarrollo.

José Manuel Serrano Herrero



Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, promoción 1959. Es director técnico de SECEG (Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar).

Ha dedicado gran parte de su actividad profesional a las obras subterráneas: Jefe de obra de los túneles de Bao (Orense), con Dragados y Construcciones, y del quinto tramo del abastecimiento de agua a Barcelona (12 km.), con Termac, S. A.

Desde 1974 hasta 1977, como director técnico de Tabasa (Túneles y Autopistas de Barcelona, S. A.), proyecta y dirige los túneles del Turó, de la Rubira y de Vallvidrera.

Ha intervenido como asesor permanente en el proyecto y construcción del túnel del Cadí (cinco kilómetros), próximo a inaugurar, y que enlazará las comarcas del Bergadá y La Cerdaña, en Cataluña.

Actualmente, como director técnico de SECEG, tiene a su cargo los estudios de viabilidad de un enlace fijo Europa-Africa a través del Estrecho de Gibraltar.
