

# EL PROYECTO DE ENLACE FIJO EUROPA-AFRICA A TRAVÉS DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR<sup>(\*)</sup>

MANUEL ESTERAS MARTIN  
Centro de Estudios Hidrográficos (CEDEX)

## 1. HISTORIA DEL PROYECTO

Cuando uno se sitúa en una de las orillas del Estrecho de Gibraltar se comprende fácilmente que la idea de construir un enlace fijo que comunique los dos continentes, haya sido acariciada desde hace tiempo. Los primeros diseños y estudios contemplaban soluciones de tipo túnel excavado, como los Ibáñez de Ibero (1908), Rubio Belvé (1918) y Jevenois (1927) o en tubo sumergido, Mendoza (1919) y Gallego Herrera (1928). La solución de puente colgante, en tramos de 1.000 m, sólo llega a plantearse por Peña Boeuf en 1956. A todas estas ideas hay que añadir, en las dos últimas décadas, otras como, las del túnel apoyado en el fondo, presa con aprovechamiento energético de mareas, puente flotante, puente con sólo 2 vanos y soluciones mixtas túnel-puente.

Aparte de estas propuestas llevadas a cabo por iniciativa personal, el interés del Estado Español en el Proyecto queda patente ya desde 1928, en que por disposición del Ministerio de Fomento se creó una Comisión para el estudio de la viabilidad de la construcción de un túnel bajo el Estrecho, que funcionó hasta Junio de 1931, período en el que se realizaron las primeras investigaciones específicas con la perforación de 500 m en dos sondeos situados en Punta Ferdiua y en Torre de la Peña. El 8 de Diciembre de 1931 se nombra por decreto otra comisión, dependiente del Ministerio de Comunicaciones, para continuar



FIGURA 1. El Yebel Moussa —una de la columnas de Hércules—, visto desde la costa española en la zona más angosta del Estrecho.

las investigaciones del túnel ferroviario, que prosiguieron hasta el comienzo de la guerra civil.

En 1972 el Ministerio de Obras Públicas constituyó una Comisión para elaborar una síntesis de los conocimientos que a dicha fecha se tenían sobre el medio físico, la construcción, la viabilidad económica y los aspectos jurídicos, así como para elaborar las condiciones y el programa futuro a que deberían ajustarse los estudios para el establecimiento de una instalación permanente de transporte entre España y Marruecos. Esta Comisión emitió los correspondientes informes preliminares en el mismo año 1972 y en ellos intervinieron técnicos del C.E.H.

A partir del encuentro de Fez, el 16 de Junio de 1979, de los Reyes de España y Marruecos, el proyecto de la unión fija va a tomar un nuevo

(\*) A causa de los defectos de montaje de este artículo en el número anterior de nuestra revista, repetimos su publicación con las correcciones precisas.

rumbo, ya que por primera vez van a ser los dos estados los interesados en el tema. En la declaración hispano-marroquí, que siguió a este encuentro, se acordó estudiar conjuntamente la viabilidad de una comunicación permanente en el Estrecho de Gibraltar y la creación de una sociedad mixta de estudios. Al acuerdo científico y técnico firmado por los dos países en 1979, sigue otro complementario, del 5 de Noviembre de 1980, en donde se definen los medios para llevar a cabo el proyecto, creando un Comité Mixto Hispano-Marroquí y dos sociedades de estudios de capital estatal: la SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ESTUDIOS PARA LA COMUNICACION FLIA A TRAVES DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR (S.E.C.E.G.), y la SOCIÉTÉ NATIONALE D'ETUDES DU DETROIT (S.N.E.D.).

La finalidad de estas empresas, es la realización de estudios sobre el tráfico, la economía, el medio físico, los aspectos jurídicos y la factibilidad técnica de las diferentes soluciones del enlace fijo, así como la promoción del proyecto en el ámbito nacional e internacional.

Como resultado de la colaboración que el C.E.H. tuvo con SECEG desde su creación, se firmó en 1983 un Convenio entre esta sociedad de estudios y el CEDEX para la realización de estudios geológicos en la zona del Estrecho de Gibraltar y determinar la eventual viabilidad geológica de una obra —en cualquiera de sus modalidades— que asegurase la comunicación permanente entre Europa y Africa. Entre las actividades contempladas en el Convenio figuran las de cartografía geológica, estudio de muestras, programación de sondeos mecánicos y, el proyecto de campañas oceanográficas (geofísica, toma de muestras del fondo, sonar de barrido lateral etc.) y el análisis de sus resultados.

## 2. MARCO FISICO DEL PROYECTO

En la zona del Estrecho de Gibraltar, la batimetría condiciona el trazado de todas las soluciones de obras perforadas o apoyadas en el fondo hacia su parte más occidental, ya en dominio atlántico, puesto que las profundidades en la zona más angosta, unos 14 km, alcanzan los 900 m. La perforación de un túnel en esta zona no tendría ninguna ventaja pues, si bien la longitud del tramo submarino sería la mínima, la longitud del túnel en los tramos continentales se alargaría considerablemente; por otro lado, la cimentación de las pilas de un puente resulta, actualmente, inviable a estas profundidades. Así pues, los dos únicos trazados posibles, con la tecnología actual, son los que siguen los denominados umbral "S", (entre Punta Altares y Punta Paloma) y umbral Espartel

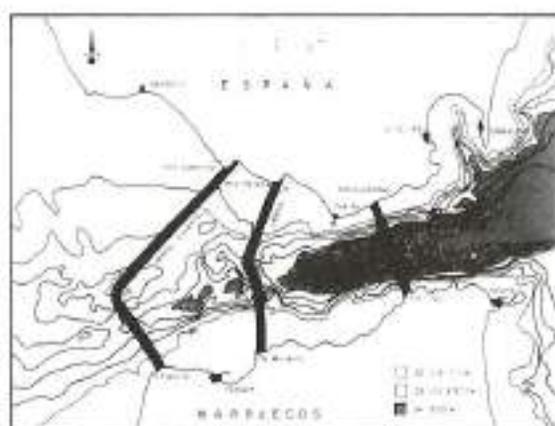


FIGURA 2. Posibles trazados de la obra del enlace fijo.

(entre el cabo Espartel y Punta Camarinal). El primero de ellos, tiene una longitud marina de unos 28 km y, el segundo, del orden de 41 km; en el caso de un túnel, las longitudes totales de la excavación, considerando una pendiente del  $15^\circ/100$ , sería respectivamente de 57 y 70 km. Las ventajas del trazado por el umbral "S" son claramente evidentes y por ello —además de consideraciones geológicas que hacen inviables los trazados en túnel por el umbral Espartel y por la zona más angosta del Estrecho—, se comprenderá que las actuales investigaciones de detalle (toma de muestras, sísmica de alta resolución) se centren, básicamente, en este umbral oriental.

El régimen de corrientes en el Estrecho es de una gran complejidad y viene condicionado por diversos factores entre los que destacan: la diferencia de carreras de mareas atlántica y mediterránea, régimen de vientos, presión atmosférica, morfología submarina y el déficit de volumen de agua que presenta el Mediterráneo en el balance aportes- evaporación. Se estima que el flujo de agua atlántica que entra al Mediterráneo por corrientes superficiales es de 38 billones de  $m^3/año$  mientras que el saliente, por corrientes de fondo, es de unos 36 billones de  $m^3/año$ .

Estas importantes corrientes permiten la renovación de las aguas mediterráneas, más cálidas, saladas y contaminadas que las atlánticas. La renovación teórica de todo el volumen del Mediterráneo se efectúa en un período medio de 100 años. De aquí, la incidencia que tendría la ejecución de una obra "tipo presa", como solución del enlace fijo.

En detalle, el estudio de las corrientes es muy complejo ya que en una vertical existen corrientes en varios sentidos y, a lo largo del día, en un mismo punto puede invertirse el sentido del flujo. Las velocidades máximas que se han medido son del orden de los 6 nudos.

La configuración morfológica del Estrecho, a modo de un gran embudo, hace que el régimen de vientos tenga dos direcciones claramente privilegiadas, E y O, son los conocidos vientos de levante y poniente que en velocidades punta se han llegado a medir hasta 224 km/h, y cuyo estudio tiene gran importancia para la estabilidad del tablero en las soluciones tipo puente.

### 3. GEOLOGIA

Los primeros trabajos geológicos llevados a cabo a principios de siglo en la zona del Estrecho, salvo las premoniciones alocionistas de Gentil (1918), consideraban que los flyschs del Campo de Gibraltar, constituídos por materiales terciarios, descansaban en forma normal sobre terrenos más antiguos. Entre estos trabajos merece desta-



FIGURA 3. Mapa geológico del Estrecho de Gibraltar.

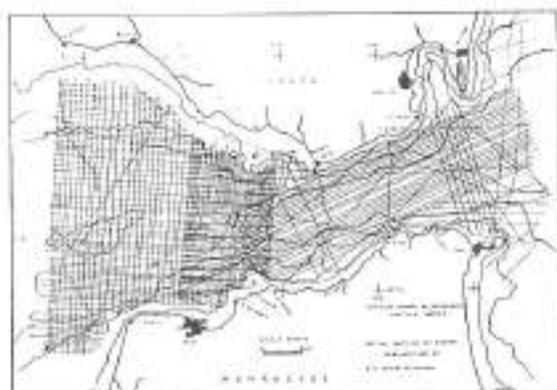


FIGURA 4. Perfiles geofísicos realizados durante las Campañas HERCULES del I.E.O., entre 1980-1983.

car la meritoria cartografía de la provincia de Cádiz de J. Gavala (1924) y del mapa realizado en el Norte de Marruecos por E. Dupuy de Lome (1923).

La gran complejidad de la geología del arco de Gibraltar sólo comenzó a conocerse a finales de la década de los 60, cuando los estudios llevados a cabo en las dos orillas por la escuela del Prof. M. DURAND-DELGA demostraron la aloctonia de todos los terrenos flyschs, al mismo tiempo que su homología en las cadenas bético-rifeñas.

A grandes rasgos el arco de Gibraltar puede decirse que está constituido por (1) unas zonas internas de materiales esencialmente paleozóicos que afloran en el litoral mediterráneo (Ceuta, Estepora), (2) un dominio intermedio constituido por las denominadas "unidades de flyschs" y (3) unas zonas externas que son diferentes en las cordilleras béticas y rifeñas, razón por lo que forzosamente tienen que enfrentarse en profundidad.

El proyecto de enlace fijo está ubicado en todos sus trazados posibles, dentro de las "unidades intermedias" que atraviesan el estrecho con homología litológica y estructural, prolongándose hasta Sicilia. Estas unidades flyschs, cuya paleogeografía es todavía discutida, constituyen un apilamiento de mantos de corrimiento de génesis gravitacional, cuyo edificio sobrepasa los 4 km de espesor tal como se ha comprobado en sondeos petrolíferos.

La unidad de Almarchal y su homóloga de Tánger están constituidas por terrenos margosos del Cretácico superior y son consideradas como el substrato paraautoctono de las demás unidades y paleogeográficamente pertenecientes a las zonas externas rifeñas. Sobre ellas, yacen tectó-

nicamente los mantos de Tala-Lakrah y Beni-Ider en Marruecos, y sus homólogos españoles Bolonia-Algeciras, cuyas series estratigráficas van del Cretácico inferior al Mioceno. La montera tectónica del edificio de unidades está representada por el manto numidiense (Aljibe en la denominación española) constituido por materiales de edades comprendidas entre el Cretácico superior al Mioceno inferior. Otra unidad cuya posición tectónica y paleogeográfica, así como su estratigrafía, resultan discutidas es la de Facinas (= Melloussa en Marruecos).



FIGURA 5. Campaña TARIK del I.E.O. (1985). Mosaico de perfiles de side scan sonar en el que puede apreciarse la atormentada estructura arqueada de TALA LAKRAH frente a la costa marroquí.

Entre los estudios geológicos que han realizado, las dos sociedades de estudios, SECEG y SNED, en colaboración con diferentes entidades, caben destacar los siguientes:

- Cartografía geológica a escala 1/25.000 que cubre un área de unos 1.500 km<sup>2</sup> en las dos orillas.
- Varias campañas de toma de muestras submarinas en las que se extrajeron más de 600 testigos de rocas.
- Programa HERCULES del Instituto Español de Oceanografía, que durante cuatro campañas ha realizado más de 6.000 km de líneas sísmicas, cubriendo toda el área del estrecho desde el paralelo de Ceuta al de Cabo de Trafalgar.
- Dos campañas de sísmica con técnicas petrolíferas en la zona del umbral "S".
- Perforación de 15 sondeos en tierra.
- Programa TARIK del I.E.O. para el estudio de las plataformas continentales, basado fundamentalmente en reconocimientos con side-scan sonar.
- Instalación de una red sísmica para el estudio de la microsismicidad.
- Red Geodésica de observaciones geodinámicas para la detección de los movimientos relativos de las placas europea y africana.

La cartografía de detalle, a escala 1/25,000, cuya finalidad ha sido de índole aplicada, ha demostrado la enorme complejidad geológica de la zona. Así, a la ya complicada tectónica de mantos gravitacionales, se superpone una tectónica de escamación y posteriormente otra etapa, en la que grandes fallas en dirección afectan al conjunto de unidades, produciendo estructuras arqueadas. Esta fuerte tectónica polifásica, hace que el edificio original sea prácticamente irreconocible y que los terrenos presenten, en la actualidad, un estado caótico, que algunos autores (Bourgeois, en España y Vidal en Marruecos) pretenden justificar como de génesis sedimentaria, al pensar que las distintas unidades son bloques plurikilométricos (megalistolitos) sedimentados durante el Burdigaliense y embalados en una matriz cuya litología y edad no han sido incuestionablemente demostradas.

Cualquiera que sea la hipótesis que se acepte, el resultado que se produce, desde el punto de vista de la geología aplicada, es la práctica imposibilidad de determinar un corte geológico suficientemente fiable que permita predecir los terrenos que atravesaría un túnel bajo el Estrecho.

La sísmica de reflexión, que es el método óptimo para la investigación submarina del subsuelo, no ha permitido desvelar la estructura interna de los flyschs, ya que éstos se comportan como un substrato acústico homogéneo, en el que no se desvelan reflectores internos. La sísmica, a pesar de haber utilizado las técnicas más modernas y sofisticadas, únicamente ha servido para separar de los flyschs los sedimentos cuaternarios, porosos, no consolidados y muy potentes, hecho que ha sido de gran utilidad, pues ha permitido determinar la inviabilidad técnica de un túnel por el denominado umbral Espartel, donde tendría que atravesar dos cuencas tectónicas con estos sedimentos.

Por todo lo anterior, parecería que el proyecto de un túnel bajo el Estrecho roza los límites de la factibilidad pero, si bien es cierto que será imposible determinar por métodos indirectos el perfil litológico del túnel, los trabajos geológicos, geofísicos, sondeos, toma de muestras submarinas, etc., que se han realizado tanto a escala regional, como de detalle, permiten asegurar su viabilidad técnica, ya que se han podido alcanzar las siguientes conclusiones:

- La obra en túnel se perforaría en su totalidad en formaciones de flysch cuya litología es bien conocida en las dos orillas.
- Geotécnicamente las rocas a atravesar (que van desde arcillas a areniscas bien cementadas)

tienen un comportamiento diferente, pero presentan en común dos características fundamentales para la perforación de un túnel: tienen un sostenimiento aceptable o bueno y, especialmente, una alta impermeabilidad de masa.

— Los numerosos accidentes tectónicos (base de mantos, fallas en dirección y cabalgamientos) que, con seguridad, afectan a la zona no son inconvenientes insalvables para la perforación, ya que, si bien localmente pueden representar problemas de sostenimiento, la naturaleza globalmente arcillosa de todas las unidades de flysch, hace que zonas miloníticas sean impermeables, lo que resulta imprescindible para una obra submarina.

— La existencia de la llamada "falla transformante de Azores-Gibraltar" —entendida como límite de las placas europea y africana—, con la que tanto se ha especulado, no tiene confirmación geológica, sísmológica o geofísica en la zona del estrecho y su trazado habrá que buscarlo en zonas continentales más septentrionales o meridionales.

Todas estas conclusiones hacen pensar que la obra, en túnel o puente apoyado en el fondo, es geológicamente viable, pero que su estudio geológico de detalle será un proceso mucho más lento, difícil y costoso que el de otras obras comparables, como el túnel de Seikan, ya en servicio, o el del Canal de la Mancha, donde se presentan las condiciones geológicas teóricamente más favorables para una obra submarina.

#### 4. FUTURO DEL PROYECTO

De todas las soluciones contempladas para el enlace fijo entre España y Marruecos, con la tecnología actual sólo sería factible la construcción del túnel excavado y su trazado, —por motivos geológicos y batimétricos— tendría que ser en el Umbral "S".

Las soluciones de tubo semisumergido anclado al fondo y puente flotante, suponen una barrera para la navegación de superficie y submarina, que la comunidad internacional, con cuyo acuerdo habría que contar, no estaría dispuesta a aceptar. Con mayores motivos la idea de construir un dique para franquear el Estrecho resulta jurídica y ecológicamente inviable.

En el reciente Seminario jurídico del enlace fijo a través del Estrecho de Gibraltar se concluyó que la solución de puente colgante con las luces actualmente construibles (el record mundial construido está en 1.410 m, y en proyecto aprobado, en 1.990 m), exigiría reducir la anchura de

las actuales vías de navegación del Estrecho, lo que también sería difícilmente aceptable para la O.M.I.

No obstante, los avances tecnológicos futuros y, en especial, el desarrollo de nuevos materiales de construcción permitirán, con toda seguridad, alcanzar luces mayores que soslayan esta dificultad.

La solución teóricamente idónea sería la del puente colgante situado en la parte más angosta del Estrecho, con una pila central cimentada a 460 m de profundidad y unas luces de 5 km, pero este proyecto únicamente podría desarrollarse con materiales ligeros y resistentes, como el C.F.R.P. (plástico de fibra de carbono reforzado), actualmente en vías de experimentación.

El puente presenta frente al túnel excavado —que por motivos de ventilación tendría que ser únicamente ferroviario—, la ventaja de no suponer una ruptura de carga en el transporte por carretera, y todo parece indicar, que es la solución futura más interesante para la unión de los dos continentes.

Los estudios emprendidos en esta nueva etapa por SECEG y SNED deberán profundizarse y ampliarse, para disponer de la suficiente información y elementos de juicio que permitan adoptar, llegado el momento, la decisión más idónea. De momento, las investigaciones realizadas han servido para el mejor conocimiento físico del área del Estrecho y para impulsar la cooperación científica y técnica entre España y Marruecos.