

Geología del Estrecho de Gibraltar

Por MANUEL ESTERAS MARTIN

El conocimiento de la compleja geología de la zona del Estrecho de Gibraltar es fundamental para cualquier tipo de solución a adoptar sobre la zona de proyecto. En este artículo se presenta un resumen muy completo de la geología y tectónica de aquélla, considerándose en particular la zona sumergida y los aspectos constructivos del proyecto.

INTRODUCCION

El estrecho de Gibraltar se sitúa en la zona de máxima curvatura del denominado arco de Gibraltar, punto de unión entre las cadenas béticas y el conjunto Magróbide constituido por el Rif, las Kabilias argelinas, el Tell y parte de Sicilia y Calabria (fig. 1).

Si bien numerosos autores se habían ocupado con anterioridad de la geología de ambas cadenas, es sólo a partir de la década de 1960, cuando se emprende su estudio sistemático con levantamientos cartográficos de detalle, apoyados en las modernas técnicas petrográficas y dataciones micropaleontológicas. Por lo que respecta al estrecho de Gibraltar resulta de especial interés y trascendencia la publicación de J. Didon, M. Durand-Delga y J. Kornprobst (1973) en la que se establece la homología (aunque no identidad) de las cadenas bético-rifeñas: las mismas zonas paleogeográficas y estructurales se encuentran a ambos lados del estrecho, razón por la que el arco de Gibraltar presenta un valor geotectónico fundamental. En

consecuencia, se deduce que resulta imposible que en la actual zona del estrecho pueda localizarse el importante desgarre que impone la tectónica movi lista para la separación de las placas europea y africana.

2. CADENAS BETICO-RIFEÑAS

Ambas cadenas presentan dos dominios homólogos y bien diferenciados: las zonas internas y las zonas externas. Hay que añadir otro dominio de posición geográfica intermedia, que son las unidades alóctonas de materiales flyschs. La vergencia tectónica en una misma transversal es opuesta en ambas cadenas.

2.1. Zonas internas

Bordean las costas mediterráneas y su continuidad a ambas orillas del mar de Alborán está unánimemente admitida, hasta el punto que puede considerarse que, a este nivel, las dos cordilleras son una sólo.

En las proximidades del arco de Gibraltar el

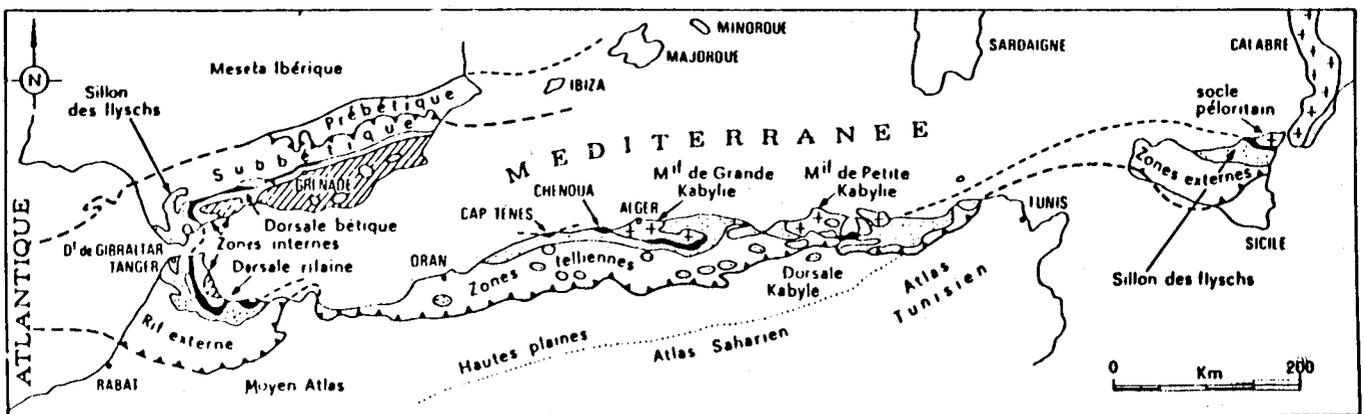


Fig. 1.—Esquema estructural de las cadenas Béticas y Magróbides, según Durand-Delga (1969).

edificio de unidades tectónicas internas, desde el interior del arco hacia el exterior y desde la unidad inferior a la superior está formada:

- a) *Alpujárrides* (béticas) y *Séptides* (Rif) constituidas por una serie de rocas metamórficas antiguas (Paleozóico a Permo-Trías) a las que se asocia una potente masa de peridotitas, que en España aflora ampliamente, mientras que en el Rif sólo lo hace en Ceuta y Beni Bousera.
- b) *Maláguides* (Andalucía) y *Gomárides* (Marrocos). Están constituidas fundamentalmente por materiales paleozóicos, poco o nada metamorfizados a los que siguen, en discordancia angular, series incompletas y poco potentes del Jurásico, Cretácico y, esporádicamente, del Eoceno. Su cobertura está constituida por una serie detrítica post-mantos del Mioceno inferior.
- c) *Dorsales bética y rifeña*. El conjunto carbonatado de las dorsales flanquea, por el exterior el arco, a las unidades anteriores, según un contacto anormal que no representa una discontinuidad de primer orden. En detalle, la Dorsal está dividida en escamas imbricadas cuyo conjunto cabalga o es cabalgado, según los casos, a las Gomárides. Las series estratigráficas de la Dorsal van del Trías al Eoceno medio.

2.2. Zonas externas

Al contrario que en las zonas internas, las cordilleras bética y rifeña presentan en sus dominios externos notables diferencias, tanto tectónicas como paleogeográficas (especialmente en el Cretácico), lo que imposibilita su unión y demuestra que han seguido historias geológicas diferentes. Las zonas externas béticas están ligadas a la meseta ibérica (s.l.), mientras que las rifeñas lo están a la evolución del Atlas.

Puede decirse que a este nivel el denominado arco de Gibraltar no existe. En consecuencia, se expondrán de manera separada en ambas cadenas.

Las *zonas externas béticas* se dividen en dos

grandes conjuntos bien diferenciados tectónicamente y algo menos desde el punto de vista estratigráfico y paleogeográfico, que comenzando desde el interior son:

- a) **Subbético**: Está estructurado en mantos de corrimiento y sus afloramientos se extienden desde Cádiz hasta el Sur de Alicante. El Penibético, cuyos afloramientos más meridionales se encuentran al Sur de Ronda y que fue atravesado en los sondeos de Cerro Gordo, debajo de los flischs del Campo de Gibraltar, representa las partes más internas del Subbético.
- b) **Prebético**: Se diferencia del anterior por ser paraautóctono y con estructuras tectónicas relativamente sencillas. Únicamente aflora en la parte oriental de las béticas donde se encuentra más o menos cabalgado por el Subbético. Su prolongación, en profundidad, al Oeste de la transversal de Jaén es probable pero no está comprobada.

Las *zonas externas del Rif* se dividen en tres grandes conjuntos que desde el interior de la cadena son:

- a) **Zona intra-rifeña**: Comienza en Tánger, constituye los relieves del Rif central y se prolonga hasta el Oued Nekor. Tiene dos unidades fundamentales: la de Ketama constituida principalmente por un flyschs negro albo-aptiense de varios kilómetros de espesor y la unidad de Tánger, que, en lo esencial, está constituida por margas y arcillas del Senoniense. Cabe la posibilidad de que la unidad de Tánger sea la cobertura primitiva de la unidad de Ketama pero existen indicios estratigráficos en contra, por lo que no puede descartarse que ésta última pudiera aparecer, en profundidad, en la región de Tánger.
- b) **Zona meso-rifeña**: Está constituida por un conjunto de macizos mesozoicos, coronados por un Mioceno inferior calizo, que aflora en la cuenca media del río Ouerrha, prolongándose hacia el Noroeste hasta la ventana de Izarene donde se hunde bajo la unidad de Tánger.

- c) **Zona pre-rifeña:** Constituye una antefosa que funcionó en el Mioceno inferior y medio y contiene numerosos olistolitos mesozóicos y paleógenos. La zona pre-rifeña, muy plástica y con Trías yesífero, se desplazó hacia el exterior del surco cabalgando al antepaís del Atlas.

2.3. **Zona «mediana»
o de los flyschs alóctonos**

Se encuentra en la actualidad entre los dominios internos y externos y está estructurada según un edificio de mantos de corrimiento de génesis gravitacional. Los flyschs afloran con ligeras variaciones de facies, desde el Norte del Campo de Gibraltar, se prolongan por el Rif, Argelia, Túnez y alcanzan Sicilia y Calabria, materializando así un surco de más de 2.500 km. de longitud (fig. 1). La situación de la cuenca primitiva de los flyschs ha sido largamente discutida; en un principio se pensó que estaría sobre las zonas internas bético-rifeñas (hipótesis «ultra») (Durand-Delga y Mattauer, 1960; Didon, 1960-62), pero actualmente numerosos argumentos —en especial el origen del cuarzo numídico— hacen que se admita unánimemente su posición paleográfica externa (hipótesis «infra») (Didon, Durand-Delga y Kornprobst, 1973; Bourgois, 1978).

La zona de proyecto se localiza en su totalidad dentro de estas formaciones de flyschs (además de la unidad externa de Tánger-Almarchal), razón por la que posteriormente se hará una descripción más detallada de las mismas. Por lo tanto, únicamente enumeraremos las unidades clásicas en que se ha dividido esta zona y expondremos su problemática.

- a) **Unidades predorsales:** Afloran en una estrecha franja situada entre la dorsal y los flyschs y plantean importantes problemas de interpretación. Están constituidas fundamentalmente por un flyschs margo-areniscoso en el que se intercalan hacia techo niveles de areniscas semejantes a las numidienses pero con un cemento algo calizo, presencia de micas blancas, glauconita dispersa y cierta grano-calcificación. Hacia abajo, las series continúan con un flyschs del

Oligoceno superior al que se asocian, en láminas y paquetes dispersos, elementos variados del Jurásico al Eoceno, lo que ha hecho que sean interpretados como olistolitos. Sus materiales tienen semejanzas con la Dorsal externa (Lías-Malm, Eoceno, Oligoceno) y con los flyschs (Cretácico), por lo que representaría (Durand-Delga, 1972) una zona de transición entre ambos dominios. Para Bourgois (1978) el conjunto de unidades predorsales, denominado «Neonumidiense», sería una formación arcillosa de edad burdigaliense (no datada inequívocamente) que englobaría klip-pes sedimentarios kilométricos, tanto de las zonas externas como de los flyschs; este «Neonumidiense» sería para el mencionado autor una variación lateral de facies de las «arcillas con bloques», formación burdigaliense que incluiría, como bloques plurikilométricos, la totalidad de las unidades de flyschs que afloran en el Campo de Gibraltar.

Una reciente tesis (Olivier, 1984), al datar la serie pelítico-areniscosa de las unidades predorsales, como del Aquitaniense-Burdigaliense basal y resultar, por tanto, sincrónica de las areniscas numídicas concluye que: 1. El término «Neonumidiense» debe ser abandonado. 2. Que las series predorsales se habrían depositado en un área próxima a las zonas internas. 3. Que durante del Aquitaniense, en los dominios predorsales la sedimentación areniscosa, semejante a la numídica pero menos importante, estaría contaminada por elementos de las zonas internas.

- b) **Las Tarquídes:** En esta denominación (Durand-Delga, 1972) se incluyen los macizos de Yebel Moussa, el Peñón de Gibraltar y las canteras de Los Pastores. Tienen series estratigráficas particulares, que van desde el Triásico al Paleoceno, por lo que Durand-Delga y Villeumey (1963) supusieron que habrían constituido una cordillera que separaría los surcos de los flyschs masilienses y mauritanos. También se han expuesto

las teorías de que pudiera pertenecer a la Dorsal, a la zona predorsal, ser elementos penibéticos «marroquinizados» o bien olistolitos en una matriz no precisada.

- c) **Flyschs mauritanos:** Constituyen la diverticulación de una columna estratigráfica única, en dos mantos: el de Jebel Tisirene (del Dogger al Cretácico medio) y el de Beni Ider (Cretácico superior al Oligoceno superior y ¿Aquitaniense?). En la orilla Norte del Estrecho reciben, respectivamente, el nombre de Los Nogales y Algeciras. Afloran, en general, en posición interna y únicamente la tectónica post-manto los ha conducido hacia posiciones externas (Punta Paloma). Los términos de la columna estratigráfica más representativos, y a la vez más potentes, son las areniscas del Cretácico inferior (Tisirene-Nogales) y el flyschs areniscoso-micáceo de Beni Ider y Algeciras, de edad oligocena, si bien es probable que alcance también el Aquitaniense.
- d) **Flyschs masilienses:** Igual que los anteriores fueron definidos en Argelia. Fundamentalmente están constituidos por un flyschs arcilloso con bancos centimétricos de cuarcitas de edad albioaptiense, que hacia techo contiene ftanitas datadas del Cenomanense. En Marruecos están representados por los mantos de Melloussa (Albense-Cenomanense) en la región de Tánger y de Chouamat (que localmente presenta términos basales del Dogger y en el techo del Cretácico superior y Paleoceno) al Norte de Ketama. En España las arcillas de Facinas son el homólogo del flyschs albioaptiense de Melloussa.

Hasta el presente, no han sido definidos en el manto de Melloussa, términos más modernos que el Cenomanense, pero esta cuestión será posteriormente discutida.

- e) **El manto Numidiense:** Se presenta con unas características excepcionalmente constantes por lo que respecta al tér-

mino que lo define: las areniscas aquitanienses, que en Andalucía reciben el nombre de «Areniscas de Aljibe». En Marruecos la columna estratigráfica comienza con arcillas rojas y verdes con *Tubotomaculum* del Oligoceno, a las que siguen más de 1.000 m. de areniscas y pelitas coronadas por una serie arcillo-margosa datada como Burdigaliense inferior y medio superior (zona N-5 a N-6 de Blow). En el Campo de Gibraltar la serie numídica es más completa, con términos del Cretácico superior, Paleoceno y del Eoceno.

- f) **Merínides:** Las series merínides (Didon y Hoyez, 1978) son intermedias entre el manto numidiense y el de Beni Ider-Algeciras. Se caracterizan por presentar intercalaciones de areniscas con facies numidienses en el flyschs margo areniscoso-micáceo que, en este caso, tiene una edad Aquitaniense. Son las unidades de Tala Lakrah en Marruecos y Bolonia en España.

En conclusión, puede decirse que el arco de Gibraltar es un hecho incuestionable a nivel de las zonas internas, donde idénticas formaciones se encuentran a uno y otro lado del Estrecho. Por lo que respecta a los dominios externos es evidente que el «arco» no existe: el Penibético andaluz es, desde todos los puntos de vista completamente diferente de las unidades externas rifeñas (Tánger-Almarchal) que han seguido una evolución paleogeográfica diferente; por esta razón, las unidades externas béticas y las rifeñas tienen que enfrentarse en profundidad según un contacto mayor. Las zonas medianas o de los flyschs alóctonos están representadas con las mismas unidades a ambos lados del Estrecho; el mecanismo por el cual se encuentran en Andalucía es controvertido: 1. Pudieron depositarse en un surco geosinclinal, localmente con corteza oceánica, instalado entre las zonas internas y el antepaís africano. 2. «Hispanización» en el sentido de Bourgois: resedimentación de las distintas unidades rifeñas en una matriz arcillosa burdigaliense. 3. Depositados sobre las zonas internas (actual mar de Alborán) y extruidos hacia las zonas externas. Los datos que se poseen actualmente

se encuentran en favor de la primera hipótesis según la cual el arco de Gibraltar tendría un valor parcialmente paleogeográfico, y la actual curvatura, subrayada por la zona de los flyschs, se habría adquirido por efecto del deslizamiento hacia el Suroeste del macizo bético-rifeño (subplaca de Alborán) a favor de la falla de Nekor; de esta forma las zonas internas cabalgarían sobre los flyschs (cuyo afloramiento en planta sería de una cuña arqueada), y este conjunto a su vez cabalgaría en el Campo de Gibraltar a las zonas externas béticas. En resumen los deslizamientos importantes que han ocurrido entre los bloques europeo y africano y que vienen impuestos por la aplicación de la dinámica de placas no han podido ocurrir sobre el actual estrecho de Gibraltar, al menos con posterioridad al ciclo alpino y habría que buscarlos en otras áreas más meridionales o septentrionales del macizo bético-rifeño.

3. GEOLOGIA DE LA ZONA DEL PROYECTO

Anteriormente se han expuesto algunos aspectos generales del arco de Gibraltar y su enorme complejidad, por lo que a su evolución sedimentaria y tectónica se refiere; ahora nos ocuparemos únicamente de aquellas unidades que se verían afectadas por el Proyecto: las de los flyschs, las externas de Tánger-Almarchal y los terrenos sedimentarios posteriores a la estructuración en mantos de la zona.

3.1. Unidades de Tánger-Almarchal

Son unidades externas rifeñas consideradas como el substrato paraautóctono de los flyschs pero existen datos para suponer que están implicadas en la tectónica de mantos y que forman parte del mismo edificio tectónico de los flyschs.

Ambas formaciones son fundamentalmente arcillosas o margosas y sus afloramientos presentan una morfología muy suave, razones por las que se instalan en ellas campos de labor y sólo excepcionalmente (canteras, desmontes) pueden observarse buenos cortes, aunque siempre de fragmentos pequeños de su serie estratigráfica. Por ello, las observaciones de superficie tienen un valor parcial, tanto por lo que respecta

a la litología como a su estructura interna y a las relaciones tectónicas con otras unidades. Por todo ello, es muy posible que en los materiales que tradicionalmente se han definido y cartografiado como pertenecientes a las unidades de Tánger-Almarchal se hayan reunido facies heterópicas pertenecientes a diversas unidades, ya que alguno de sus materiales parecen provenir de zonas paleogeográficas muy diferentes (plataforma, abisal, turbiditas).

— La unidad de Tánger presenta dos tipos de facies relativamente bien diferenciados según sea en los afloramientos occidentales o en los orientales. Las facies orientales afloran, en pequeña extensión, en las proximidades de la dorsal con: 1. Pelitas gris-verdosas probablemente del Albiense. 2. 10-30 m. de margas con ftanitas del Cenomanense. 3. Pelitas semejantes a 1, pero con calizas blancas silicificadas y bancos de sílex. 4. Margas con microbrechas calcáreas del Senoniense superior. Los dos últimos términos tienen una potencia de varios cientos de metros. En la zona de proyecto sólo aflora el nivel dos en tres escamas situadas al Este de la aduana de El Borj, en la carretera de Melloussa.

Las facies occidentales afloran extensamente ocupando toda la región de Tánger y prolongándose más de 150 km. hacia el Sur. Su columna estratigráfica obtenida por adición de varios cortes consta de: 1. Unos 100 m. de arcillas grises azuladas del Senoniense, con concreciones de carbonatos que presentan una estructura fibro-radial y una morfología peculiar con un pedúnculo en la base y un hueco en el ápex (comúnmente denominadas «bouses»); este nivel, que en la zona de Tánger aflora generalmente en las zonas deprimidas, contiene excepcionalmente en la ventana de Melloussa abundantes y grandes *Tubotomaculum*. 2. En contacto probablemente tectónico, margas grises con nódulos calcáreos (las famosas «bolas» amarillentas del Tell) del Senoniense superior, coronadas por microbrechas calcáreas en plaquetas idénticas a las del Tánger-Oriental. 3. Margas blancas muy calcáreas, conteniendo localmente nódulos de sílex negro y fauna pelá-

gica del Eoceno pero sin nummulites; se presentan en pequeñas colinas que reposan sobre el Senoniense, probablemente en contacto anormal. 4. Margas y arcillas muy plásticas. 5. Una serie flyschoides del Oligoceno-Mioceno inferior constituida por arcillas y areniscas de cuarzo fino que presentan secuencias de hasta 4 m.; en el techo, más arcilloso se ha datado el Aquitaniense y el Burdigaliense basal. Hay que hacer constar que la continuidad de todos estos niveles no puede asegurarse (y por tanto la adscripción a la misma unidad), ya que todos los contactos parecen estar mecanizados y no es posible realizar observaciones de campo en buenas condiciones.

— **La unidad de Almarchal** (Didon, 1967) se considera como la homóloga de la de Tánger en sus facies orientales, ya que los niveles más característicos del Tánger occidental (los de «bolas» y «bouses») no se presentan en España. Aflora ampliamente en la zona del Proyecto ocupando las depresiones del Santuario de la Luz, la Cortijada de Almarchal y la Laguna de La Janda, el interior del arco de Bolonia y pequeñas zonas en los alrededores de Algeciras.

Los buenos afloramientos son muy escasos y generalmente no sobrepasan una veintena de metros de serie y resulta imposible poder levantar o reconstruir una columna estratigráfica de la unidad, ya que todos los niveles datados son Senonienses (fundamentalmente límite Campaniense-Maestrichtiense). En general, los únicos niveles que afloran son los que tienen una componente carbonatada (bien sean margas, o bien que presenten intercalaciones calcareníticas), pero las arcillas puras deben representar un alto porcentaje dentro de la columna estratigráfica según han puesto de manifiesto los sondeos mecánicos. Los afloramientos de esta unidad están constituidos por margas esquistosas gris-amarillentas en superficie y gris muy oscuro en profundidad, con plaquetas calizas que contienen abundantes prismas dilacerados de *Inoceramus* y esporádicamente niveles cuajados de pequeños ostreidos. A veces existen bancos de hasta 1 m. de espesor de cal-

carentas muy finas, con estratificación cruzada o laminadas y convolutadas, con una facies semejante a las del Paleógeno de otras unidades. Son frecuentes las intercalaciones de calizas micríticas arcillosas con diaclasas rellenas de calcita (calizas «arlequín») que constituyen lechos de 0,50 a 2 m. de espesor; localmente pueden estar silicificadas (Santuario de La Luz) y contener abundantes niveles de sílex de varios decímetros de espesor (Cortijada de Almarchal). Todos los niveles calcáreos son muy ricos en microfauna pelágica y nannoplanton; los prismas dilacerados de *Inoceramus* son muy frecuentes e incluso, se encuentran conchas completas. Estos niveles del Senoniense de Almarchal presentan una facies típica de plataforma externa.

Al Suroeste de la Cortijada de Almarchal (Cerro de la Tahona) y en los alrededores de la laguna de La Janda existen unos reducidos afloramientos de un Eoceno margoso con pequeños bancos de calcarenita ricos en *Nummulites*, que fueron atribuidos, con ciertas reservas (Didon, 1969), a esta unidad. La reciente apertura de unas canteras permite observar que la polaridad de estos estratos eocenos es inversa a la del Senoniense de Almarchal infrayacente y al no poder demostrar la continuidad estratigráfica, preferimos incluir estos afloramientos eocenos en la unidad del Aljibe donde existen facies similares.

El substrato de la unidad de Almarchal es desconocido; el sondeo petrolífero Almarchal que, con 3.462 m., comenzó en esta formación, atravesó formaciones de flyschs de varias edades pertenecientes a distintas unidades, incluso la del Aljibe (Didon et al., 1972).

En conclusión, el Almarchal, en sus afloramientos típicos, presenta una mayor semejanza con las facies del Tánger oriental y ello a pesar de que geográficamente, en las orillas del Estrecho, se enfrenta con las facies de tipo occidental. Estas últimas, en el caso de que llegaran a cruzar el Estrecho deberían quedar en zonas más occidentales, cubiertas por las aguas del litoral atlán-

tico o por los sedimentos neógenos de la zona de Cádiz.

3.2. Unidades de Melloussa y de Facinas

La unidad de Melloussa, en Marruecos, es esencialmente arcillosa. Su término más típico es el flyschs albo-aptiense que está constituido por arcillas plásticas versicolores en las que se intercalan bancos delgados, generalmente de 5-20 cm. (excepcionalmente hay barras de 30 m. de potencia) de cuarcitas muy típicas con abundantes hieroglifos. Es característica también la presencia de abundantes niveles de óxidos de Fe y Mn, así como de «discos» (El Kherab) de hasta 30 cm. de diámetro constituidos por cuarzo muy fino con cemento ferromanganesífero. Es prácticamente azoico, pero algunos niveles han proporcionado huellas de ammonites (*Parahoplitiadae*) y orbitolinas, por lo que se le atribuye una edad albo-aptiense. En El Kherab este flysch albo-aptiense presenta un nivel detrítico con oolitos resedimentados y orbitolinas, así como abundantes fragmentos de lamelibranquios, briozoos y *Thaumatoporella* que permiten datarlo como Aptiense. En un solo punto, al Sur de Kachla, se ha identificado al Neocomiense (Durand-Delga) en niveles con idéntica facies que el flysch albo-aptiense.

El Cretácico superior de Melloussa está formado por un fondo arcilloso versicolor idéntico al del Albo-aptiense, pero se diferencia por la ausencia de los niveles de cuarcitas, si bien subsisten los lechos ferromanganesíferos y los «discos». En cambio, se presentan intercalaciones de calizas micríticas «arlequín» de color verde manzana, semejantes a las de la unidad de Almarchal, y dos niveles de ftanitas, a veces bituminosas, de edad Cenomanense. En el cruce de la carretera de Sania con la de Tánger a Ceuta, así como en unas canteras de arcillas situadas en su proximidad, aflora este Cretácico superior en el que, además de las intercalaciones descritas, pueden observarse: 1. Algunos bancos métricos de areniscas de cuarzo fino con litofacies semejantes al Cretácico inferior Tisirene, que pudieran ser escamas tectónicas de esta formación en las arcillas de Melloussa. 2. Un nivel con grandes flutes en la base, que es una falsa oosparita con abundantes oolitos rodados, calizas oolíticas jurásicas, *Rotalipora* y *Planomalina buxtorfi*

(Cenomanense inferior), alguna *Globotruncana* (Senoniense) y posibles *Truncorotalias* (Paleoceno). 3. Niveles discontinuos de calcarenitas blancas laminadas, que se separan en finas hojas (en idénticos niveles se ha datado en Jimena el Eoceno). 4. Microbrechas calcáreas con fauna del Cretácico superior.

En el flanco oriental del macizo numidiense de Kalaya aflora, sobre el flysch albo-aptiense, el Cretácico superior de Melloussa con arcillas fundamentalmente gris-azuladas o verdosas; en ellas, además de las intercalaciones descritas anteriormente, se presentan bancos de calcarenitas convolutadas de 0,60 m. de espesor y con facies idénticas a las del Cretácico superior Paleoceno de Talaa Lakraha y grandes «bouses» con formas algo diferentes a las del Senoniense de la unidad de Tánger, puesto que rara vez son pedunculadas.

La unidad de Melloussa ocupa una posición tectónica clara sobre el Senoniense de Tánger en el frente occidental de las escamas de flyschs que constituyen el macizo del Dehar Oullika. En la montaña de Tánger el manto de Melloussa está constituido por una lámina del Cretácico superior que separa el Senoniense con «bolas» de Tánger del Numidiense.

Las arcillas de Facinas (Didon, 1967) en España tienen niveles equivalentes a la unidad de Melloussa. El flysch albo-aptiense es idéntico a su homólogo marroquí, presentando las clásicas intercalaciones de cuarcitas, «discos» y lechos ferro-manganesíferos. Los afloramientos albo-aptienses son muy reducidos y se limitan al sinclinal del Cerro de la Alcachota y al del cruce de la carretera de Facinas, en donde se ha datado Barremiense-Aptiense mediante una abundante nanoflora en el sondeo S-4, a 80 m. de profundidad.

Hacia el techo de la serie, las arcillas versicolores (fundamentalmente gris-azuladas) se descargan en intercalaciones cuarcíticas pero continúan en ellas la presencia de «discos», niveles ferro-manganesíferos y aparecen las «bouses», rara vez pedunculadas, y grandes y típicos *Tubotomaculum*. Igualmente se encuentran entre las arcillas y en forma desordenada: 1. Bancos de calcarenitas laminadas y convolutadas (0,60 a 1 m. de espesor) con piritita en su

base e idéntica facies que los del Cretácico superior-Paleoceno de otras unidades (Aljibe, Bolonia, Algeciras). 2. Niveles discontinuos de calcarenitas blanquecinas poco cementadas, que contienen abundantes foraminíferos, pero no nummulites y en las que se ha datado el Eoceno. 3. Margas grises y microbrechas con *Globotruncana* e *Inoceramus*, de idéntica facies y edad que el Senoniense de Almarchal. 4. Ftanitas, en dos únicos afloramientos: en el embalse de Almodovar y en las Carehuelas (1 km. al Noreste del Santuario de La Luz), donde se ha datado el Albiense superior-Cenomanense. 5. Calizas con *Microcodium* del Paleoceno.

Esta parte superior de las arcillas de Facinas está intensamente tectonizada y los niveles competentes no presentan gran continuidad lateral dentro del fondo arcilloso, por lo que no puede asegurarse su interestratificación; posiblemente alguno de ellos representan cuñas tectónicas de otras formaciones, o tal vez, olistolitos. Debido a la mala calidad de los afloramientos es difícil realizar observaciones inequívocas que permitan dilucidar esta cuestión, pero hay que señalar: en contra de que sean olistolitos los siguientes hechos: 1. Nunca se ha comprobado un dilaceramiento de los niveles mencionados en el fondo arcilloso que los contiene. 2. No se presentan como bloques aislados, generalmente son estratiformes. 3. La edad más moderna datada es el Eoceno medio-superior, en unos niveles calcáreos cuya litofacies y asociaciones faunísticas son muy diferentes de los niveles de igual edad de otras unidades.

Reconocimientos geológicos puntuales efectuados fuera de la zona directamente afectada por el Proyecto nos han permitido reconocer que las arcillas de Jimena (*) (Didon, 1976) presentan idénticas facies que la parte superior de las arcillas de Facinas, ya que, como ellas, contienen «discos», *Tubotomaculum*, lechos ferromanganesíferos, calizas margosas blancas eocenas y calcarenitas convolutadas con pirita del Cretácico superior. Estas arcillas de Jimena fue-

(*) Se entiende por esta denominación únicamente la formación arcillosa que en el Corte de Jimena está comprendida entre el flysch areniscoso-micáceo de Algeciras (Oligoceno) y la formación calcárea de Benaiza (Eo-Oligoceno).

ron interpretadas por su autor como la base de la formación Benaiza (que a su vez lo es de las areniscas del Aljibe) ya que todas las dataciones efectuadas fueron del Cretácico superior, si bien señalaba, que hacia su techo se encontraron ya margas eocenas. Posteriormente, Didon (1977) extrajo las arcillas de Jimena de la columna estratigráfica del Aljibe para incluirlas dentro de una formación nueva, «arcillas escamosas», cuya edad sería Cretácico superior-Aquitaniense. Bourgois (1978) reinterpretó el corte de Jimena e incluyó las arcillas «cretácicas» en la formación de «arcillas con bloques», cuya edad sería Burdigaliense, pero sin aportar pruebas paleontológicas en este lugar.

3.3. Flysch mauritanos

Constituyen el material de los dos grandes mantos del Jebel Tirisene (Dogger a Cretácico medio) y de Beni Ider (Cretácico superior a Oligoceno superior-¿Aquitaniense?). En España las unidades equivalentes son Los Nogales y Algeciras respectivamente.

No existe duda de que ambos mantos son la diverticulación, a nivel del Cretácico medio, de una columna estratigráfica única.

El manto Tirisene está ampliamente representado en la zona marroquí del Proyecto donde ocupa las grandes alineaciones montañosas de dirección Nornoroeste del Dehar Oullika-Jebel Mekhaled y del Jebel El Khalladi-Jebel Tsetouira. En la zona española sólo está representado por el pequeño afloramiento del vértice Tambor que aflora como una escama tectónica en la zona costera central del Estrecho.

La serie de esta unidad comienza en la zona de Proyecto con un pre-flysch turbidítico constituido por una alternancia de bancos calizos decimétricos de calizas micríticas arcillosas (tipo «calizas arlequín»), pelitas calcáreas marrones, areniscas calcáreas con finas laminaciones onduladas y microbrechas con *Aptychus*. Su edad neocomiense está bien precisada por múltiples dataciones micropaleontológicas (nannoplanton, foraminíferos, palinología) y macropaleontológicas (*Aptychus*).

A continuación viene el término más característico del manto Tirisene; se trata de un flysch areniscoso-pelítico muy potente (700 m.

en el Jebel Tisirene) en el que las areniscas constituyen lo fundamental de la columna. Las areniscas, en bancos métricos a decamétricos, son de grano silíceo homométrico, relativamente fino (0,5 mm.) y poco granoseleccionado, contienen escasas micas y feldespatos y el cemento es silíceo; su coloración pardo-amarillenta es típica, así como la presencia de abundantes y espectaculares figuras de corriente en la base de bancos. Las intercalaciones pelíticas son de espesor reducido.

El Cretácico superior, con el que comienza la unidad de Beni Ider, está constituido por una alternancia de pequeños bancos calcareníticos (20 cm.), a veces con sílex y pelitas rojas. Aflora extensamente al Este de Tánger donde es intensamente explotado en canteras.

El Eoceno aflora generalmente entre contactos mecanizados y está constituido por pelitas rojas con biocalcarenititas y conglomerados poligénicos gruesos.

El Oligoceno está representado por el típico «flysch areniscoso micáceo», potente serie turbidítica en la que alternan bancos de 1 m., aproximadamente, de margas y pelitas marrones o grisáceas con areniscas algo calcáreas, que contienen feldespatos, mica y, eventualmente, clastos paleozoicos de las zonas internas.

En la parte oriental de la alineación de los Jebel El Khalladi y Sendouk aparecen, en malas condiciones de afloramiento, una serie de bloques poligénicos (flyschs areniscoso micáceo, arcillas con *Tubotomaculum*, fanitas de edad miocena) que han sido interpretados como olistólitos en una matriz arcillosa de edad Burdigaliense que coronaría el manto de Beni Ider. Dada la posición en que aflora (en un importante contacto anormal entre el flysch areniscoso-micáceo y las areniscas Tisirene) este complejo caótico podría interpretarse también como de génesis puramente tectónica.

La unidad de Algeciras, homóloga de la de Beni Ider, presenta una facies idéntica para el flysch areniscoso-micáceo del Oligoceno cuya potencia total sobrepasa los 1.000 m. en Punta Carnero. Los otros términos tienen facies diferentes: 1. El Cretácico superior-Paleoceno está constituido por arcillas versicolores con bancos

(1 m.) de calcarenitas con pirita y microbrechas con prismas de *Inoceramus* en la base. 2. El Eoceno presenta una litofacies semejante al Cretácico superior de la unidad de Beni Ider con alternancia de niveles de 1 dm. de calcarenitas con *Nummulites* y arcillas rojas, a veces aparecen igual que en Marruecos potentes niveles conglomeráticos. El complejo caótico que se supone corona a la unidad Beni Ider no ha sido reconocido en España.

En Marruecos la edad del flysch areniscoso-micáceo es oligocena y lo mismo ocurre en el litoral español del Estrecho donde los niveles más altos de la potente serie de Punta Carnero son del Oligoceno superior (zona NP-25); no obstante, Didon (1973) dató, en los alrededores de Los Barrios, el Aquitaniense inferior mediante una asociación de *Miogypsina* y *Miogypsinoides* en niveles calcáreos, supuestamente pertenecientes a la parte basal de la serie. En la zona de Proyecto las edades más modernas que se han datado con nannoplanton son el límite Oligoceno-Aquitaniense (zonas NP-25, NN-1) en unas pequeñas escamas situadas 1 km. al Sur de Algamasilla, sobre la pista militar de acceso al Cerro del Centinela. La edad Aquitaniense probaría que al menos parte del flysch areniscoso-micáceo de Algeciras (las turbiditas más distales y progradantes de los abanicos mauritanos) sería coetáneo de las areniscosas numidienses y del flysch de las unidades de Bolonia-Tala Lakrah.

3.4. Unidad numidiense

En Marruecos la serie numidiense está representada por: 1. Una serie denominada subnumidiense de hasta 150 m. de pelitas versicolores con *Tubotomaculum* y nivelillos ferromanganesíferos, de edad oligocena. 2. Unos 400 m. de areniscas holocarcíticas con cemento silíceo en bancos métricos, que alternan con pelitas rojizas y verdosas, azoicas. 3. Una serie supranumidiense constituida por arcillas y margas marrones con horizontes silíceos (silexitas) de edad Burdigaliense.

En la zona marroquí del Proyecto, el Numidiense está restringido a los afloramientos de la montaña de Tánger y los Jebel Zhirou y Zīnat donde sólo están representadas las areniscas y las arcillas subnumidienses.

En España afloran los mismos términos que los descritos anteriormente, pero completados por su base con: 1. Unas arcillas rojas y verdes con intercalaciones de calcarenitas muy convolutadas en bancos de hasta 80 cm. que presentan en su base de cristales de pirita y microbrechas poligénicas con prismas de *Inoceramus*; hacia la parte alta, los blancos calcáreos predominan sobre las arcillas y contienen *Microcodium*; su edad es Cretácico superior-Paleoceno. 2. Sobre unas pelitas grisáceas (60 m.) aparece un flysch calco-margoso blanquecino, con bancos de 0,4 m. en los que son frecuentes las figuras de corriente; y niveles con abundantes nódulos de sílex y grandes foraminíferos; la abundante fauna que contiene data el Eoceno. La formación Benaiza con características litológicas y estratigráficas similares alcanza el Oligoceno.

Las arcillas subnumidienses que le siguen presentan facies semejantes a las marroquíes, pero la presencia de *Tubotumaculum* es aquí mucho más rara; en varios puntos de las dos orillas del Estrecho se ha podido datar en estas arcillas el Oligoceno terminal-Aquitaniense (Didon, 1964; Didon et al., 1984).

Las areniscas del Aljibe afloran ampliamente en la orilla septentrional del Estrecho, constituyendo todas las sierras que desde Tarifa se prolongan hasta Ubrique. La potencia de este término es de unos 1.000 m.

Las margas y arcillas burdigalienses que las coronan afloran en el núcleo de la Sierra del Niño y en la base Noroeste de la Sierra de la Plata, no habiéndose reconocido en estos afloramientos las silexitas (Didon et al., 1984).

3.5. Unidades de Tala Lakrah y Bolonia

Estas unidades merínides están caracterizadas por poseer una serie mixta entre las areniscas numidienses y el flysch areniscoso micáceo de Beni Ider-Algeciras.

En ambas orillas del Estrecho el contenido litoestratigráfico de las dos unidades es idéntico, 1) el Cretácico superior-Paleoceno, está constituido por un fondo arcilloso, fundamentalmente rojizo, en el que, hacia la parte alta, se intercalan bancos calcareníticos con hieroglifos

en la base, cristales de pirita y brechas con prismas de *Inoceramus* dilacerados; los niveles altos contienen *Microcodium*. Este término presenta idéntica facies que los de igual edad de las unidades de Algeciras y del Aljibe; En España, hacia la parte inferior de este tramo aparecen, en un fondo arcilloso versicolor, unos niveles típicos de esta unidad constituidos por una micrita algo arcillosa (semejante a las calizas «arlequín» del Senoniense de Almarchal) en cuya base y sin que exista intervalo pelítico aparece una turbidita calcárea normal; 2) el Eoceno es muy similar al de la unidad del Aljibe pues está representando por un flysch calco-margoso blanco con *Nummulites*, pero sólo excepcionalmente contiene sílex; 3) las pelitas rojas que siguen no contienen *Tubotumaculum*, pero son semejantes a las sub-numidienses o las de Algeciras; 4) el flysch areniscoso-micáceo, que corona la formación, es muy semejante al de las unidades de Beni Ider-Algeciras, pero en su parte inferior contiene dos barras de areniscas con facies numidienses cuya potencia es del orden de 4 a 12 m., la edad del flysch areniscoso-micáceo, por debajo de las barras numidienses es oligocena mientras que por encima se ha datado el Aquitaniense; estas dataciones supondrían que los abanicos de sedimentación turbidítica areniscosa-micácea de las series mauritanas (Beni Ider-Algeciras) funcionaron durante el Oligoceno con aportes procedentes de las zonas internas bético-rifeñas y que, en su progradación, alcanzarían en el Aquitaniense la sedimentación de las areniscas numídicas (que proviene de dominios africanos) con las que se imbrican, formando estas series mixtas.

3.6. El problema de los olistostromas

Como ya se ha dicho con anterioridad, se admite unánimemente que los flyschs que afloran en el Suroeste de Andalucía fueron depositados en una cuenca situada entre las zonas internas bético-rifeñas y las zonas externas de las Mogrébides. El hecho es que en la actualidad estos flyschs se encuentran en posición bética, jalonando el contacto entre las zonas internas y las unidades subbéticas a las que se superponen.

La «hispanización» de las unidades de

flyschs podría haberse realizado según dos mecanismos.

- Para J. Didon (1967) habría sido por el cabalgamiento de distintos «mantos» de origen gravitacional que por el exterior y alrededor del arco de las zonas internas se habrían instalado entre las zonas internas y externas béticas.
- Para Bourgois (1968) se habría realizado mediante fenómenos tectónicos sedimentarios: grandes bloques (= olistolitos) insertos en una matriz arcillosa («arcillas con bloques») de edad burdigaliense que se desplazarían hacia el Norte en un gran surco que se situaría entre Tarifa y Antequera.

La solución de este problema es de gran importancia para el Proyecto, pues en el primer caso es evidente que las predicciones geológicas que pueden realizarse en una zona constituida por un apilamiento de mantos gravitacionales es muy problemática pero, en cierta medida posible, por cuanto presentan una estructuración, pero en el segundo caso, por su propia génesis caótica (olistostrómica), no es factible ni siquiera el intentarlas.

La tesis de Bourgois (1968) sobre las «arcillas con bloques» está basada en dos hechos: 1. La edad de la matriz arcillosa datada con escasísimos foraminíferos (*Globigerinoides trilobus*) en un número de localidades muy reducido. 2. En los bloques que, interpretados como olistolitos, contienen las arcillas (calizas de *Microcodium*, flysch areniscoso-micáceo, areniscas numidienses, etc.). Para este autor la formación de «arcillas con bloques» constituiría la totalidad de los afloramientos andaluces de flysch, que no serían más que olistolitos plurikilométricos de las unidades masilienses y mauritanas incluidos en una matriz de arcillas escamosas verdes y rojas. Según Bourgois esta formación pasaría lateralmente a la denominada «Neonumiense» que aflora en dos posiciones estructurales diferentes: sobre las zonas internas y, en la zona predorsal, cabalgada por ella; el «Neonumiense» contendría igualmente klippes sedimentarios y su edad sería también burdigaliense. Los afloramientos tipo de las «arcillas con bloques» se localizan en los sectores de la Sierra de Malaver, el corredor de Boyar, Sierra de

Cañete, Jimena y La Herradura; todos ellos se encuentran lejos de la zona directamente interesada por el Proyecto de Unión Fija, pero, para Bourgois, en esta zona también estaría representada la matriz de la formación de «arcillas con bloques» (ver su pl. 1 fuera de texto), cartografiando como tal gran parte de los afloramientos arcillosos pertenecientes a la serie de base del Aljibe y como olistolitos el resto de afloramientos flyschs. Didon (1977), en un esquema geológico reinterpreta su cartografía (1969) y atribuye, igualmente, gran parte de las arcillas sub-numidienses del Campo de Gibraltar, a la formación de «arcillas con bloques».

En la cartografía de detalle a escala 1: 25.000 que se ha realizado para el Proyecto en ambas orillas del Estrecho y que cubre unos 1.400 km.², no se ha encontrado ninguna formación arcillosa que contenga con seguridad olistolitos (y de ninguna manera bloques oligocenos o aquitanienses) y tampoco se ha datado ninguna matriz arcillosa como Burdigaliense. No obstante, hay que señalar que litofacies muy semejantes a las arcillas de Jimena (= «arcillas con bloques», para Bourgois) y a las «arcillas con bloques» de la sierra de Malaver (Montecorto) se han encontrado en la zona de proyecto, pero se han atribuido a la parte superior de las unidades masilienses de Melloussa-Facinas (ver 3.2.).

Como hipótesis de trabajo pensamos que la sedimentación en la cuenca masiliense, desde el Albiense hasta el Burdigaliense (lo que explicaría las dataciones de Bourgois), es de tipo abisal, realizándose por debajo del CCD (extrema pobreza de faunas), y estaría constituida por una serie arcillosa muy homogénea que sólo excepcionalmente incluiría algún aporte turbidítico (¿u olistolitos?) de calcarenitas, margas y microbrechas, de edades varias.

Esta hipótesis diferiría fundamentalmente de la expuesta por Bourgois en que, 1) las arcillas tendrían edades diversas pues serían el resultado de una sedimentación más o menos continua, desde el Cretácico inferior al Mioceno inferior, 2) se trataría de una formación más en el Campo de Gibraltar (¿diverticulación del manto masiliense?) que, aún admitiendo en su seno olistolitos, tendría un ordenamiento interno y, en cualquier caso, no sería la matriz que englo-

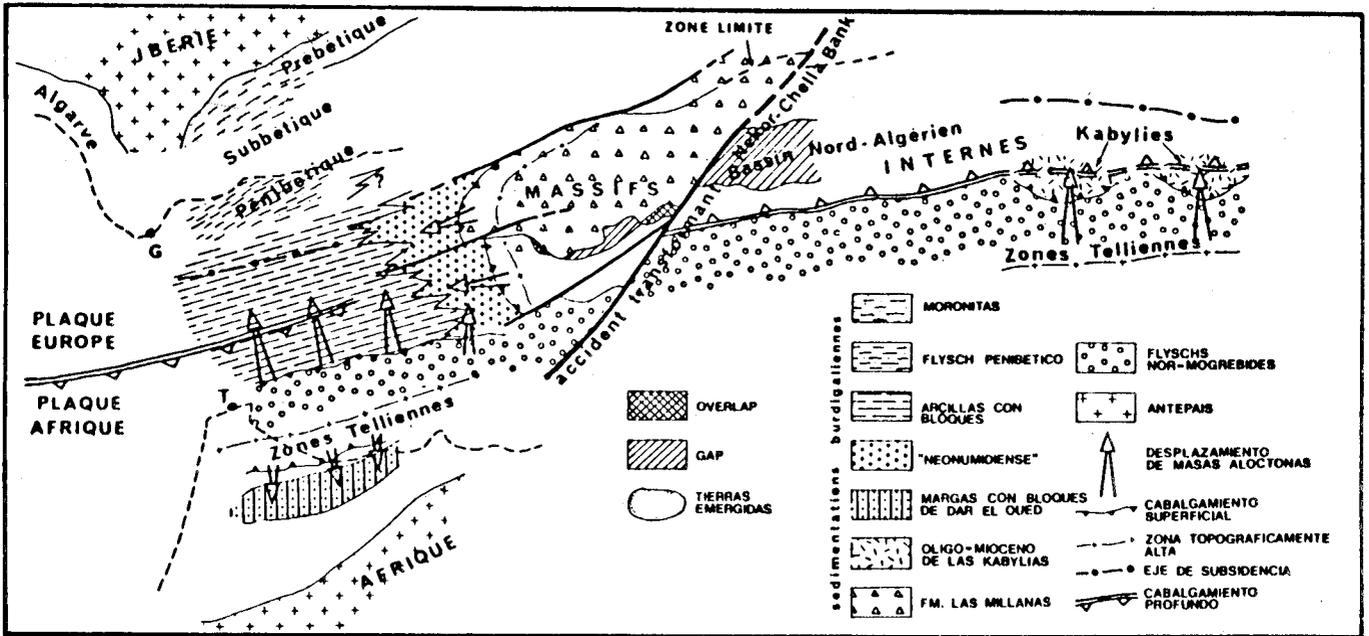


Fig. 2.— La hispanización de los flyschs rifeños en su marco paleogeográfico y paleogeométrico burdigaliense, según J. Bourgois (1978).

baría el conjunto de afloramientos plurikilométricos de los flyschs andaluces.

El problema fundamental que plantea esta hipótesis es la situación de la cuenca de sedimentación y sus relaciones con las unidades adyacentes a lo largo de su historia geológica. La inexistencia de estudios sedimentológicos modernos en estas unidades turbidíticas bético-rifeñas hace muy difícil cualquier reconstrucción paleogeográfica. Parece razonable suponer que la cuenca de sedimentación de estas arcillas, desde el Eoceno hasta el Burdigaliense, y desde la transversal de Tánger hacia el Norte, se encontraría entre los flyschs predorsales (= Neonumidienses de Bourgois) y el Numidiense, estando abierta hacia el Atlántico; no recibiría más que aportes turbidíticos excepcionales, algún olistolito, y en la parte más septentrional llegarían megabrechas (Malaver) provenientes de las zonas béticas. Esta cuenca tendría una posición semejante a la definida por Bourgois para la sedimentación de las «arcillas con bloques» en el Burdigaliense (fig. 2), pero habría funcionado en situación similar desde el Cretácico inferior. Hacia el Sur y el Este del arco, el surco masiliense cretácico habría sido cubierto por la sedimentación turbidítica de las series mauritanas con aportes del NS de las

zonas internas y por el Numidiense, con aportes contrarios desde el antepaís africano.

3.7. Sedimentos postorogénicos

Bajo esta denominación entendemos los sedimentos posteriores a la estructuración en mantos de corrimiento de las unidades flyschs que se realizó con anterioridad al Langhiense inferior más bajo (biozona de *G. sicanus*).

Del Mioceno medio no existen afloramientos en las proximidades del Estrecho de Gibraltar, los más cercanos, a unos 50 km. de sus orillas, son el Cerro de Los Pájaros en Alcalá de los Gazules y el de Beni Issef al Oeste de Xauen, ambos del Langhiense. La existencia de estos afloramientos prueba que, en el Mioceno medio, el mar había invadido la zona de los flyschs, ya estructurados, según una serie de corredores marinos conectados con el dominio atlántico y con sus avanzadas de la depresión del Guadalquivir y del Estrecho Sur-rifeño, por donde se realizaba la comunicación con el Mediterráneo, hasta el comienzo del Mioceno superior.

Los afloramientos del Mioceno superior más cercanos al área del Estrecho son por el lado atlántico los de Vejer, Medina Sidonia, Arcos de

la Frontera, Ronda y en Marruecos el de Charf el Akab (unos 15 km. al Suroeste de Tánger) donde se ha reconocido en sondeo el Tortoniense superior; en el Mediterráneo los afloramientos miocenos más próximos al Estrecho se encuentran en la región de Melilla y al Este de Motril, lo que ha hecho suponer que el área occidental del mar de Alborán no estuvo cubierta por las aguas miocenas más allá de la línea de unión de dichos afloramientos. El sondeo 121 del DSDP que sí cortó el Mioceno superior y la reciente cita de Carrasco et al. (1977), de la aparición en sondeo del Mioceno superior en el río Vélez, a unos 25 km. al Este de Málaga, indican que la línea de costa del mar de Alborán se situaría en el Mioceno superior en una posición más occidental pero no parece que alcanzase de ningún modo las inmediaciones del actual Estrecho, que en dicha época se encontraba emergido y unía físicamente el Rif y las Béticas.

A principios del Plioceno, o todo lo más en el Mioceno terminal, se produce la apertura del Estrecho de Gibraltar y los depósitos marinos (ya con facies de mar abierto, sin hipersalinidad) comienzan a rellenar antiguos valles y depresiones costeras, fosilizando los relieves miocenos. Así encontramos entre Marbella y Estepona una orla costera de margas arenosas, muy ricas en moluscos, y en las desembocaduras de los ríos Guadiaro y Guadarranque depósitos pliocenos que avanzan hasta Castellar de la Frontera. En Marruecos los antiguos valles de los ríos Smir, Martil, Laou y Thissasse se ven invadidos igualmente por el mar y en sus ríos se depositan margas del Plioceno inferior. Por el lado atlántico el Plioceno, ampliamente representado, yace discordante sobre el Mioceno del Golfo de Cádiz, Charf el Akab y Kenitra.

En la zona del Estrecho, y especialmente en la orilla española, existen también abundantes restos de sedimentos pliocenos entre los que cabe citar los de Punta Camarinal, Las Habas (a 14 km. de la costa actual), Punta Paloma, isla de Tarifa y Noroeste de Algeciras. Están representados fundamentalmente por calizas organógenas (biomicruditas) con abundante cuarzo muy rodado, entre las que esporádicamente se intercalan margas arenosas y arenas escasamente cementadas. El Plioceno (fundamentalmente las calizas organógenas que son extraordina-

mente porosas), encierra el único acuífero existente en la zona del Estrecho, por lo que es activamente explotado en las zonas de Vejer y Algeciras. Su espesor máximo es desconocido, pero se han reconocido en sondeos potencias de un centenar de metros.

En la zona sumergida del Estrecho la sísmica ha reconocido importantes cuencas pliocenas a ambos lados del umbral «S». Al Norte del banco Majuan aparece una importante semifosa tectónica rellena por sedimentos pliocenos ligeramente plegados que, dada su gran permeabilidad y escasa consolidación, hacen que cualquier trazado de obra en túnel sea geológicamente inviable según el umbral «Espartel». Al Este del umbral «S» y en toda la zona más angosta del Estrecho se han reconocido igualmente pequeñas cuencas pliocuaternarias que van agrandándose progresivamente hacia el Mediterráneo y ya en la bahía de Algeciras se encuentran espesores muy importantes.

El Cuaternario marino está representado por varios niveles de terrazas, mejor conservadas en la costa marroquí. Los depósitos cuaternarios continentales más importantes de la zona son los grandes mantos de solifluxión que se originan a partir de las areniscas y arcillas numidienses y se depositan al pie de las sierras del Aljibe, impidiendo la cartografía de los flyschs infrayacentes. En Marruecos son las areniscas Tisirene las que alimentan estos depósitos de ladera. Los suelos agrícolas ocupan todos los niveles arcillosos o margosos de las unidades del flyschs, y obligan, en muchos casos, a realizar la cartografía a partir de la observación de los cantos sueltos que se encuentran en los campos de labor y en los muros de cercado.

4. TECTONICA

Generalmente, se admite que el depósito de los flyschs se realizó sobre una franja de corteza continental adelgazada (con un substrato paraoceánico) y fracturada, situada entre una microplaca mediterránea (subplaca de Alborán) y la placa africana. Este área de debilidad funcionó, desde el Eoceno medio al Mioceno inferior, como una zona de subducción de Africa bajo la microplaca mediterránea con el resultado de la deglución del substrato y la desolarización de la cobertera de los flyschs en mantos

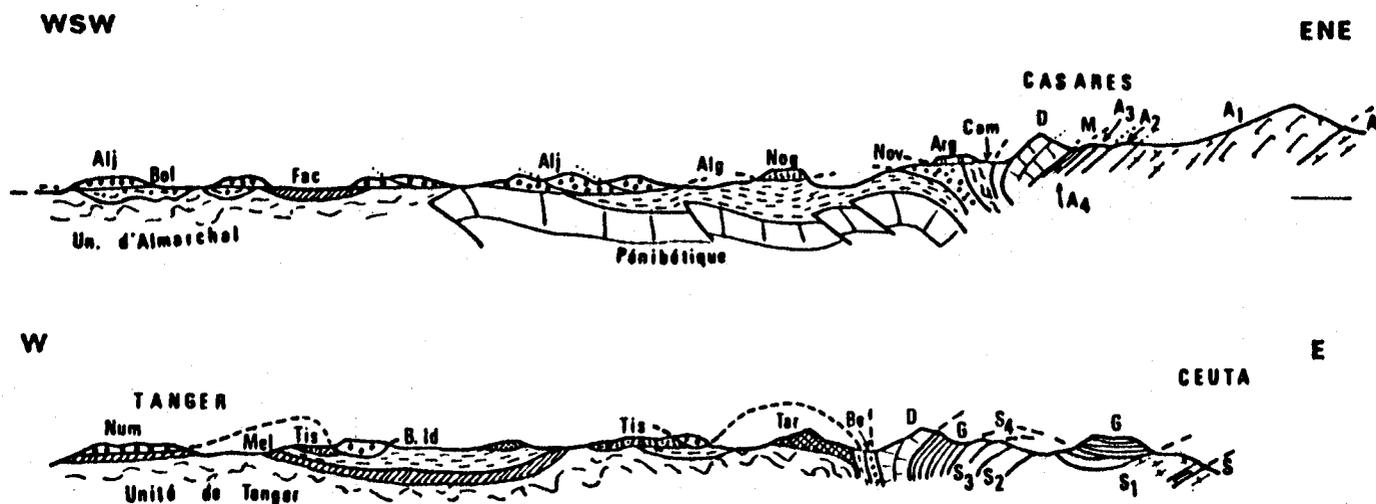


Fig. 3.—Cortes esquemáticos de ambas orillas del Estrecho de Gibraltar, según Didon, Durand-Delga y Kornprobst (1973). Arriba: desde el Norte de Tarifa a Casares (60 km.). Abajo: de Tánger a Ceuta (60 km.). Zonas internas. A) Alpujárrides. S) Séptides. M) Malaguides. G) Gomárides. D) Dorsal. Zona de los flyschs alóctonos. *Predorsales*: Cam) Camarote. Arg) Argüelles. Nov) De la Novia. Be) Beliounis. *Mauritanos*: Alg) Algeciras. Nog) Nogales. B) Id Beni Ider. Tis) Tisirene. *Numídicos*: Alj) Aljibe. Bol) Bolonia. Num) Numidiense. *Taríquides*: J) Moussa. *Masilienses*: Fac) Facinas. Mel) Melloussa.

peliculares que se desplazarían hacia las zonas externas y excepcionalmente sobre las zonas internas.

La estructuración en «mantos» de corrimiento de la zona de los flyschs tiene lugar entre el Burdigaliense medio (zona N4 a N6 de Blow) y el Langhiense inferior (zona de *Sicanus*), estando por tanto comprendida entre la tectónica paroximal de las zonas internas (anterior al Oligoceno superior) y la de las zonas externas que es intra-Tortonense.

Así, pues, la zona de los flyschs, estructurada en mantos de corrimiento, quedaría enraizada bajo la dorsal calcárea (fig. 3).

El edificio de mantos así constituidos parece aflorar en la transversal del Estrecho y desde el interior del arco hacia el exterior del siguiente modo: Dorsal calcárea, flyschs predorsales, unidades mauritanas y, en la parte más occidental, los flyschs masilienses reposando sobre las unidades de Tánger-Almarchal. El conjunto está coronado tectónicamente por el manto Numidiense.

Este dispositivo inicial está en la actualidad profundamente alterado y desdibujado por una tectónica «post-mantos» que es de gran importancia para la obra en proyecto por cuanto va a

añadir mayores discontinuidades y complicaciones en su interpretación.

Esta «neotectónica» es polifásica y, en general, parecen predominar los fenómenos compresivos sobre los distensivos. Particularmente, el apilamiento de las unidades de flyschs, que originariamente tendrían contactos de base de manto subhorizontales, se ve afectado por:

- a) *Téctonica en escamas*: Es particularmente clara, en el frente de los afloramientos de flyschs (Dehar Oullika y alineaciones montañosas más septentrionales) sobre la región de Tánger y en todos los macizos numidienses que se extienden desde Tarifa hasta Ubrique, pero muy especialmente en la zona situada al Noreste de Castellar donde numerosas escamas dispuestas con gran regularidad y vergentes al Oeste hacen aflorar en grandes tiras las areniscas del Aljibe, su serie de base, en incluso el Penibético (fig. 4).
- b) *Grandes fallas de zócalo*: En esta zona del arco de Gibraltar las estructuras tienen una dirección aproximada Norte-Sur, pero en el Campo de Gibraltar dicha orientación se ve muy alterada por tres grandes fallas de desgarre, dextras. La

GEOLOGIA DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

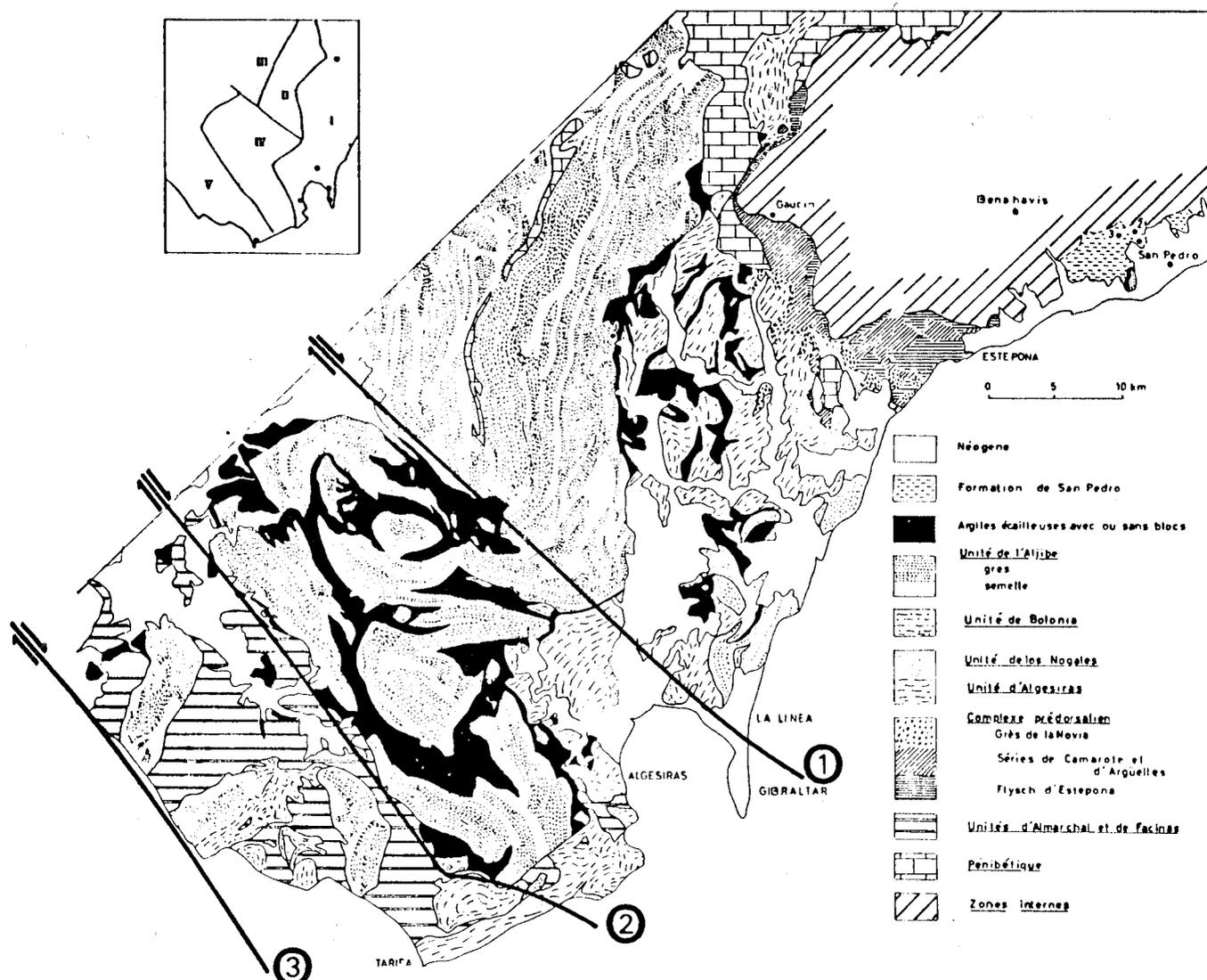


Fig. 4.—Esquema geológico del Campo de Gibraltar, según Didon (1977), con los grandes accidentes de zócalo: (1) Eje de la Cotilla. (2) Puerto del Rayo. (3) De Barbate. En recuadro, límites de las cinco regiones tectónicas de la unidad del Aljibe, según Didon (1966).

primera denominada por Didon (1969) «accidente de la Cotilla» tiene una dirección Noroeste-Sureste y es la responsable del cambio en la dirección de las escamas de la unidad del Aljibe que, al Noreste de la misma, son Norte-Sur, y al Sureste, son Noroeste-Sureste e intermedias. Didon interpreta este accidente profundo como la respuesta diferencial de los flyschs (al Noreste el Penibético rígido y al Sureste el Almarchal, plástico) a esfuerzos compresivos Norte-Sur. Una segunda falla paralela a la anterior, que denominamos del Puerto del Rayo, limitaría los macizos numidienses de la

zona IV y los de la II (fig. 4); tendría un carácter igualmente dextro y se localizaría al pie de las sierras de areniscas del Noreste de la laguna desecada de La Janda, continuando por el alto del Puerto del Rayo, por el Noreste del Santuario de La Luz, y pasando entre el elemento de la unidad de Bolonia del Bujo-Cabrito y los afloramientos numidienses de El Picacho y la Sierra del Cabrito, saldría finalmente al mar en la ensenada del Tolmo, entre el afloramiento de areniscas del Tambor y el flyschs de Algeciras. La existencia de esta falla viene justificada entre otros hechos por: 1. Las

distintas columnas estratigráficas atravesadas en los sondeos petrolíferos de Tarifa 1 (2.906 m.) y Tarifa 2 (1.171 m.) distantes únicamente 700 m. 2. Arqueamiento de las extremidades de las escamas numidienses de las sierras de Ojén (El Picacho se interpreta como la terminación meridional de esta sierra), el Cabrito y el Algarrobo. 3. Morfología submarina, al Sur de Punta Acebuche. 4. Bloques mesozóicos jalonando el contacto. 5. Dirección Noreste-Suroeste del elemento de Tarifa de la unidad de Algeciras. Esta falla podría justificar también el giro hacia el Este de las zonas internas rifeñas de las inmediaciones del Estrecho, si bien este hecho es más probable que sea debido a un accidente longitudinal al Estrecho.

Otra posible falla es la que se situaría muy próxima a la costa, en el tramo comprendido entre Punta Camarinal y Barbate, y se prolongaría por el SO del Bajo de los Cabezos, pasando posteriormente a la zona oriental del umbral. Esta falla, junto con la anterior, sería la responsable de la génesis de la estructura arqueada de la zona de Bolonia (sierras de La Plata, Salaviciosa y Enmedio), así como de la anómala dirección NNE-SSO de la sierra del Retén.

En el Norte de Marruecos, los flyschs estructurados en escamas tienen una dirección NNO-SSE conforme con la que le corresponde por su posición geográfica en el arco de Gibraltar. Al contrario que en España, solamente se encuentra una estructura arqueada: la de Tala Lakrah. Este elemento merínide está constituido por una serie de pliegues rotos en escamas y cuyo conjunto da un giro de 180° generando un sinforme complejo, abierto hacia la costa. El arqueamiento de esta estructura se interpreta que ha sido producido por una falla N-S, en este caso siniestra (fig. 5), que habría desplazado hacia el Norte el flanco oriental; la misma falla sería la responsable de que la unidad de Tánger aflorase, en ventana tectónica, entre el albaoptiense de Melloussa, al Sur de la estructura de Tala Lakrah, y que el macizo Dehar Oullika avanzase hacia el Sur.

Por lo que respecta a la zona sumergida, la existencia y situación de accidentes de des-

garre queda dentro del terreno especulativo, ya que no han encontrado comprobación en las campañas de sísmica por reflexión. Lo que es un hecho, es que las estructuras marroquíes, bien ordenadas en dirección NNO-SSE, se enfrentan con las de la orilla española que presentan direcciones arqueadas y anárquicas. Parece pues imprescindible la existencia de algún (o algunos) accidente dextro longitudinal al Estrecho, que justifique: 1. el mencionado choque de estructuras, 2. el avance hacia el Oeste de toda la costa marroquí, 3. que no aparezcan las zonas internas en el Campo de Gibraltar y 4. que la zona de contacto entre las unidades de flyschs mauritanas y el manto numidiense aparezca en posición mucho más occidental en Marruecos que en España. La cuantía del desplazamiento de esta falla es muy difícil de evaluar pues

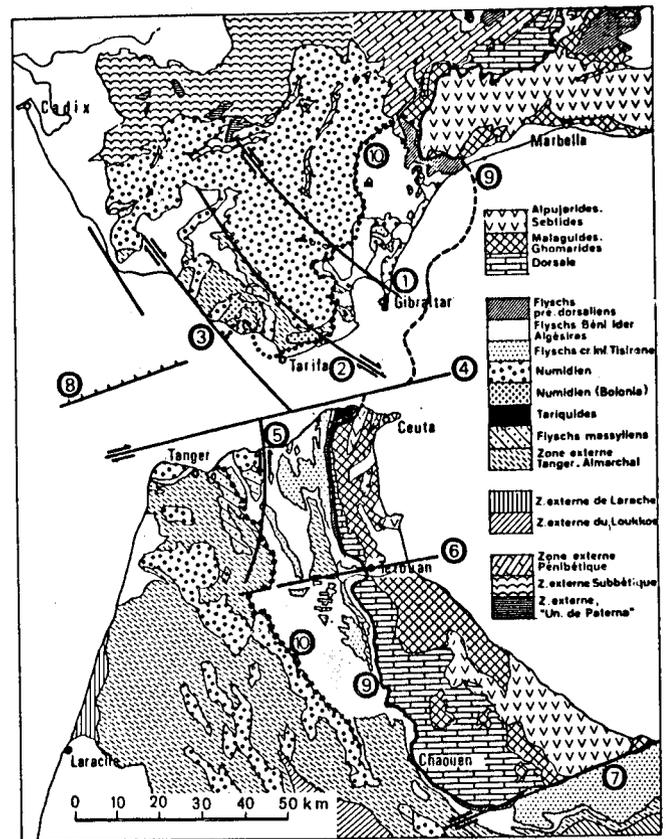


Fig. 5.—Grandes accidentes tectónicos en la zona del Estrecho de Gibraltar sobre un esquema estructural de J. Didon, M. Durand-Delga y J. Kornprobst (1973). 1) Eje de la Cotilla. 2) Puerto del Rayo. 3) Barbate. 4) Estrecho de Gibraltar. 5) Tala Lakrah. 6) Desfiladero de Tetuán. 7) Jebha-Chrafate. 8) Semi-horts del banco Majuán. 9) Contacto zonas internas-flyschs alóctonos. 10) Límite de los flyschs mauritanos.

GEOLOGIA DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

depende fundamentalmente de su ubicación precisa y de la localización de los puntos de cruce con las fallas conjugadas descritas en España y, por supuesto, de los elementos que se comparan a uno y otro labio de la falla.

En conjunto las tres fallas de zócalo descritas, en la orilla española producen un importante acortamiento del arco de Gibraltar, desplazando hacia el NO las unidades de flyschs, y generando grandes estructuras arqueadas que en algunos casos parecen presentar direcciones anárquicas. En la figura 4 puede verse como las sierras del Aljibe de la zona II estructuradas regularmente en escamas NS vergentes al Oeste, pasan a la zona IV donde se producen virgaciones y vergencias secundarias en varias direcciones y finalmente a la zona V donde las estructuras aparecen totalmente anárquicas.

Las campañas de sismica por reflexión realizadas en la zona occidental del Estrecho no han aportado información sobre estos grandes accidentes ya que su prolongación en mar se sitúa en la parte oriental del Estrecho que fue cubierta por la campaña sísmica "Hércules 83", todavía sin interpretar; el accidente longitudinal, al situarse próximo a la costa marroquí, tal vez

no haya sido cubierto por los perfiles sísmicos. Por otra parte, es muy posible que este tipo de fallas profundas no encuentre adecuada respuesta sísmica en la cobertera de los flyschs.

Los resultados de la campaña gravimétrica que SECEG realizó con la colaboración de la Universidad de Hamburgo, son elocuentes respecto a las fallas descritas anteriormente. En la figura 6 de anomalías de Bouguer se han superpuesto los accidentes deducidos en tierra y puede verse la perfecta concordancia entre ellos y las alineaciones de máximas anomalías negativas, caso especialmente manifiesto en las fallas de Barbate y en la longitudinal del Estrecho.

La edad de estas fallas es evidentemente posterior a la estructuración en escamas de los mantos de flyschs, pero su movimiento pudo iniciarse ya con anterioridad y continuar hasta épocas recientes, siendo el responsable de que los afloramientos pliocenos y las terrazas marinas se encuentren a diferentes cotas en las dos orillas del Estrecho.

c) *Fallas de gravedad:* En ninguna de las dos orillas del Estrecho se han detectado fallas de distensión, razón por la cual se ha puesto en duda que el Estrecho pueda tener una génesis de fosa de hundimiento, ya que normalmente el cortejo de fallas que acompaña los accidentes principales (supuestamente sumergidos) debería tener representación en tierra.

No obstante, hay que señalar que, en la parte occidental del Estrecho, la campaña de sismica "Hércules 82" ha detectado claramente que la cuenca neógena «post-mantos» que se inicia al Oeste de Punta Camarinal es un semigraben en el que los sedimentos están al Norte discordantes con las unidades de flyschs y al Sur limitados por una falla distensiva NNE (que no parece tener prolongación en tierra) que los pondría en contacto con el banco Majuán que sería un horst de flyschs.

Al Este del umbral existen también cuencas neógenas que parecen presentar igual génesis, pero será necesario esperar a la interpretación de la campaña geofísica "Hércules 83" para poder realizar una correcta síntesis de este tipo de accidentes y su eventual influencia sobre la génesis del Estrecho.

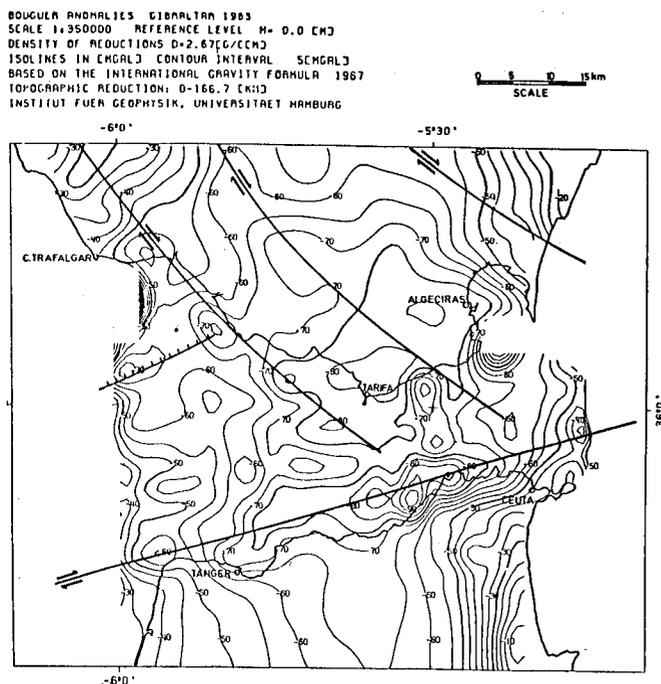


Fig. 6.—Mapa de anomalías de Bouguer, según el Institut fuer Geophysik (1983), al que se han superpuesto los grandes accidentes de zócalo deducidos por geología de superficie.

5. GEOLOGIA DE LA ZONA SUMERGIDA DEL PROYECTO

Cualquiera que sea el tipo de solución que se adopte para el Enlace Fijo (*), su ubicación viene condicionada muy estrictamente por las zonas de mínimas profundidades, ya que en la zona más angosta (14 km.) la batimetría alcanza los 900 m. Así pues, sólo los umbrales denominados «S» y «Espartel» pueden constituir el asentamiento de la obra. El primero de ellos es el más oriental y se sitúa entre Punta Altares en Marruecos y Punta Paloma en España, siendo su profundidad máxima de 300 m. El umbral «Espartel» se desarrolla entre el cabo Espartel, al Oeste de Tánger y Punta Camarinal en España, teniendo como zona central el banco Majuán. Su profundidad máxima es del orden de 350 m.

Los métodos de investigación de la geología marina, son: 1. el estudio de las orillas, para hacer extrapolaciones, 2. la geofísica, fundamentalmente la sísmica por reflexión y 3. la toma de muestras y los sondeos mecánicos.

Anteriormente se ha expuesto la compleja geología de la zona, en la que a una estructuración en mantos de corrimiento se superpone una tectónica en escamas y la presencia de grandes fallas de zócalo con la génesis de estructuras arqueadas. Se comprenderá fácilmente que el resultado es una distribución anárquica de las unidades tectónicas y que toda extrapolación a las zonas sumergidas es completamente especulativa y carente de valor.

Las campañas de sísmica por reflexión realizadas hasta la fecha (***) han podido diferenciar con precisión los sedimentos neógenos «post-mantos» de las unidades de flyschs, pero se han revelado como inoperantes para desvelar la estructura interna de estas últimas, que, en cual-

(*) Se excluyen las tipologías de obras flotantes o semi-sumergidas, si bien las grandes profundidades también serían un inconveniente grave para la realización de los anclajes.

(**) Hércules 80 y 81 del IEO, con 3.800 km. de perfiles en la zona de los dos umbrales, la campaña de «test» de alta resolución con registro numérico multicanal realizada en 81 km. sobre el umbral S y la realizada por el buque Jean Charcot, con 800 km. y sobre el mismo umbral.

quier caso, es la que directamente interesa a la obra y muy especialmente si está fuera un túnel. Las respuestas sísmicas diferenciales encontradas dentro de las unidades flyschs, tales como: basamento indiferenciado, con reflectores internos, con diafracciones en superficie, etc., pueden ser debidas a contrastes de impedancia (reflejo de las características internas), a factores puramente topográficos o a ambos. Por ello y por la observación de los perfiles en general, pensamos que no se puede asimilar un tipo de respuesta sísmica a una unidad tectónica determinada y que resulta inútil cualquier correlación con tierra. En la actualidad se ha creado un comisión de Geofísica, con el fin de investigar la metodología sísmica más apropiada para realizar futuras campañas que proporcionen la máxima información sobre esta compleja zona, ya que por los métodos geofísicos habituales en prospección científica y petrolera no se han conseguido resultados medianamente aceptables.

De todas formas, las campañas sísmicas han sido de gran utilidad para el proyecto, por cuanto han permitido definir claramente que el umbral «S» está enteramente construido sobre unidades del flyschs y que en el umbral «Espartel» aflora, al Norte del banco Majuán, una importante y profunda cuenca de materiales «post-mantos» que por sus condiciones de alta permeabilidad descarta la posible perforación de un túnel en esta zona.

En las campañas de muestreo de rocas submarinas (fig. 7) se han extraído 297 testigos de los cuales la mayor parte pertenecen a sedimentos rodados (cantos, arenas, etc.), a corales y otras bioconstrucciones recientes, y sólo 67 al substrato rocoso de las formaciones flyschs. Por lo que respecta a estas últimas, tanto por su edad, como por la litología se han reconocido las margas de la unidad de Tánger-Almarchal, el «flysch» arenoso micáceo de Beni Ider-Algeciras y arcillas de cualquiera de las series base de las unidades mauritanienses o numídicas. El escaso número de muestras del substrato rocoso y su gran variedad de litologías y edades, impide, por el momento, realizar cualquier intento de cartografía geológica de la zona marina; lo que sí ha sido posible es confirmar que todas las muestras extraídas en el umbral «S» son atri-

El bloque central está limitado por las fallas de Barbate y del Estrecho y en él se ubicaría la mayor longitud de la obra. En tierra, las estructuras de los flyschs situados al SO de la falla de Barbate están cubiertas por sedimentos post-orogénicos que impiden ver su estilo estructural. Por otra parte, las muestras submarinas extraídas en esta zona son bioconstrucciones actuales o sedimentos no consolidados arrasados por las corrientes del fondo. Así pues, esta zona, que es la más importante para la obra puesto que representa su parte central y la de máximas profundidades, es la más desconocida y la que presenta mayores dificultades de investigación. Cabe suponer que tectónicamente sea semejante a la plataforma española, es decir, con estructuras arqueadas y que los recubrimientos recientes deben tener poco espesor, pero, naturalmente, estos extremos tendrán que ser confirmados con investigaciones directas.

6. CONSIDERACIONES GEOLOGICAS SOBRE LA CONSTRUCCION

De todas las soluciones que pueden considerarse para la construcción de un enlace fijo entre España y Marruecos, es el túnel excavado la que presenta una mayor sollicitación de datos y previsiones geológicas. Siendo pues este tipo de solución envolvente de todas las demás, nos referiremos, en lo que sigue, únicamente a ella.

El túnel es la obra pública que generalmente presenta las mayores incógnitas en su ejecución y máxime cuanto es una obra submarina. En el caso del Estrecho de Gibraltar, tal como se ha expuesto anteriormente existen una conjunción de factores que dificultan enormemente la investigación y, por tanto, la calidad de las previsiones geológicas de Proyecto:

- La zona es geológicamente muy atormentada y, sin duda, una de las más complejas del sistema alpino. Básicamente está constituida por un apilamiento de mantos de corrimiento estructurados posteriormente en escamas, que finalmente han sido arqueadas por efecto de fallas de zócalo.
- Los perfiles de sísmica de reflexión, in-

cluso los de alta resolución, no han permitido desvelar la estructura interna de las unidades de flyschs y no se esperan resultados espectaculares con las futuras investigaciones que actualmente se programan.

- La zona del umbral tiene amplios sectores (fundamentalmente su parte central) cubiertos por un espesor que se supone débil, de dunas y bioconstrucciones, pero que impide la toma de muestras de superficie, el empleo de fotografías submarinas y la utilización del «side scan sonar», como elementos clave de apoyo para la cartografía submarina.
- La topografía del umbral es muy compleja en detalle pues a su morfología, en estrecha silla de montar, se superponen pequeñas formas de relieve positivas y negativas que dificultan en gran manera las investigaciones geofísicas produciendo ecos laterales. Las fuertes corrientes (hasta de seis nudos), el intenso tráfico marino y las importantes profundidades, son otras tantas dificultades para la realización de las investigaciones oceanográficas y sondeos mecánicos.

Desde el punto de vista constructivo consideraremos, en primer lugar, el problema de la permeabilidad que es clave en un túnel submarino bajo una lámina de agua que alcanza los 300 m. en su parte central.

En el capítulo 3 se ha visto que en las unidades flyschs que eventualmente podrían verse afectadas por la perforación existen básicamente cuatro tipos de litología.

- a) Flysch arenoso de las unidades numidienses (areniscas del Aljibe) y Tisirene (areniscas del Tambor). Los estratos de arenisca, son de orden métrico, representan el 60 % sobre las intercalaciones pelíticas. El conjunto tiene una permeabilidad muy baja, tal como ha puesto de manifiesto la estanqueidad de los embalses construidos en España en las areniscas del Aljibe. La fracturación en estos macizos, aún en las fallas de desgarre, no suele producir zonas miloníti-

cas importantes, pero en algunos casos excepcionales, como en los afloramientos interpretados como raíces de las escamas numidienses (por ejemplo de Cerro del Rayo al Suroeste de Algeciras), la milonitización es tan intensa que llega a desdibujar casi completamente la estratificación; en estos casos la permeabilidad podría aumentar, pero no excesivamente, ya que las intercalaciones pelíticas actúan como matriz impermeabilizante de la brecha tectónica.

- b) Flysch arenisco con intercalaciones margosas de las unidades de Beni Ider, Algeciras y Tala Lakrah-Bolonia. La alternancia en bancos métricos de areniscas con cemento calcáreo y margas o arcillas confiere al conjunto una gran impermeabilidad que se ha comprobado en el sondeo de Punta Paloma que cortó 400 m. de esta serie, con un caudal muy débil que además surgía de un solo punto. Las intercalaciones margosas que contiene impedirán, igual que en el caso anterior, la elevación de la permeabilidad en las zonas miloníticas.
- c) Formaciones arcillosas armadas con estratos decimétricos de calcarenitas, tales como el Cretácico superior-Paleoceno y el Eoceno de las unidades numidienses, Bolonia-Tala Lakrah y Beni Ider-Algeciras. A pesar de la naturaleza carbonatada de los estratos competentes, estos no presentan permeabilidad secundaria por carstificación, debido a su escaso espesor y a las intercalaciones margosas o arcillosas. Los sondeos que han cortado estas formaciones se han mostrado impermeables.
- d) Formaciones margosas y arcillosas: unidades de Tánger-Almarchal, Melloussa-Facinas y las arcillas y pelitas del Cretácico superior y Eo-Oligoceno que se encuentran en las series de base del resto de las formaciones. La impermeabilidad de estos terrenos ha sido confirmada en varios sondeos mecánicos con pruebas de inyección y extracción de agua; incluso alguno de los sondeos ha

sido perforado con aire comprimido y se ha podido descender hasta 70 m. por debajo del mar, encontrando las arcillas completamente secas.

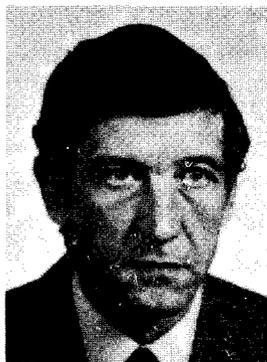
En resumen puede decirse que ninguna de las formaciones que eventualmente debería atravesar el túnel (con excepción del Plioceno que parece seguro que está ausente en el umbral «S») presenta problemas especiales por lo que respecta a la permeabilidad en masa. Únicamente en zonas de fractura —fundamentalmente en las distensivas— que afectan a las litologías a y b, podrían surgir problemas locales de presencia de agua, cuya gravedad sería más por la dificultad de su previsión que por los caudales que, en principio, no pueden preverse elevados.

Por lo que respecta al sostenimiento de la excavación de estas formaciones el problema es más complejo y desconocido mientras no se conozcan los resultados de los estudios geotécnicos, actualmente en curso. De todas formas puede avanzarse que para los tipos de terreno a y b, en condiciones normales y con buzamientos favorables, el sostenimiento sería bueno. Los tipos c y d, especialmente este último, presentarían unas condiciones de sostenimiento aceptables en general, pero difíciles en algún caso particular como zonas de fractura, niveles arcillosos expansivos, fluencia de agua (aún en pequeños caudales), etc. La experiencia de excavación de túneles que se posee en las formaciones de flyschs del Campo de Gibraltar no es muy amplia, pero sí representativa por cuanto se han realizado varios túneles, cortos y con montera escasa, en varias unidades, sin que se hayan producido graves dificultades en la excavación. Cabe citar los túneles de desvío de varias presas en areniscas del Aljibe (terrenos tipo a) y el túnel para la desecación de la laguna de La Janda (tipo d). Actualmente se está construyendo un túnel de ferrocarril en la ciudad de Algeciras y son de inmediata construcción dos túneles para la conducción de agua de la depuradora de Los Barrios en terrenos del tipo b.

BIBLIOGRAFIA

- BAHMED, A.; KACIMI, M., y MEKBOUL, M.: «Géologie de la rive sud du Déroit de Gibraltar». Coloquio Internacional sobre la factibilidad de una comunicación fija a través del estrecho de Gibraltar. SECEGSA. Madrid, 1982.
- BOURGOIS, J.: «La transversale de Ronda (Cordillères bétiques Espagne). Données géologiques pour un modèle d'évolution de l'arc de Gibraltar», *Amm. Scientifiques Univ. Besançon, Géologie, 3^{ème} série, fasc. 30*, 1978.
- DELTEIL, J.; GIUGE, R., y POLVECHE, J.: «Réflexions à propos de l' "unité" de Tanger (Maroc)». *C. R. somm. S. G. F.*, 1975.
- DIDON, J.: «Présence de Miogypsinides à la base des grès de l'Aljibe (Espagne méridionale)». *C. R. somm. Soc. géol. France*, t. VIII, 1974.
- DIDON, J.: «Styles tectoniques de l'unité de l'Aljibe au Nord du Déroit de Gibraltar (Espagne méridionale)». *Bull. Soc. géol. France*, t. VIII, 1966.
- DIDON, J.: «Etude géologique du Campo de Gibraltar (Espagne méridionale)». Thèse, Paris, 1970.
- DIDON, J.: «Accidents transverses et coulissages longitudinaux dextres dans la partie nord de l'arc de Gibraltar (Cordillères bétiques occidentales Espagne)», *Bull. Soc. géol. France* (7), t. XV, 1973.
- DIDON, J.: «Rôle des phénomènes de glissement et d'écoulement par gravité dans la mise en place du matériel flysch à la périphérie de l'arc de Gibraltar». Conséquences. *Bull. Soc. géol. Fr.* (7), t. XIX, 1977.
- DIDON, J.; DURAND-DELGA, M.; ESTERAS, M.; FEINBERG, H., y SUTER, G.: «La formation des grès numidiens de l'arc de Gibraltar s'intègre stratigraphiquement entre des argiles oligocènes et des marnes burdigaliennes». *C. R. Ac. Sc.* (en prensa), 1984.
- DIDON, J.; DURAND-DELGA, M., y KORNPROBST, J.: «Homologies géologiques entre les deux rives du Déroit de Gibraltar». *Bull. Soc. géol. Fr.* (7), t. XV, 1973.
- DIDON, J., y HOYEZ, B.: «Les séries à faciés mixte, numidien et grés-micacé, dans le Rif occidental (Maroc)». *C. R. Somm. Soc. géol. Fr.*, fasc. 6, 1978.
- DURAND-DELGA, M., y FONTBOTE, J. M.: «Le cadre structural de la Méditerranée occidentale». *C. R. 262 Congr. géol. intern. Paris, Colloque 5; Mém. B. R. G. M.*, n.º 115, 1980.
- ESTERAS, M.: «Geología de la orilla europea del Estrecho de Gibraltar. Coloquio Internacional sobre la factibilidad de una comunicación fija a través del estrecho de Gibraltar. SECEGSA. Madrid, 1982.
- GRUPE DE RECHERCHE NEOTECTONIQUE DE L'ARC DE GIBRALTAR: «L'histoire tectonique récente (tortonien à quaternaire) de l'Arc de Gibraltar et des bordures de la mer d'Alboran». *Bull. Soc. géol. Fr.* (7), t. XIX, 1977.
- MAKRIS, J., y DEGHANI: «Marine gravity and magnetic survey of straits of Gibraltar». Report. Institut für geophysik. Hamburg., 1983.
- MONTENAT, Ch.; BIZON, G., y J. J.: «Remarques sur le Néogène du forage Joides 121 en mer d'Alboran (Méditerranée occidentale)». *B. S. G. F.* (7), t. XVII, 1975.
- OLIVIER, Ph.: «Evolution de la limite entre zones internes et zones externes dans l'arc de Gibraltar (Maroc-Espagne)». Thèse d'Etat. Travaux du Laboratoire de Géologie Méditerranéenne. Université Paul-Sabatier. Toulouse, 1984.
- SANZ, J. L.; ACOSTA, J.; HERRANZ, P.; PALOMO, C., y SAN GIL, C.: «Síntesis de las características geológicas y geofísicas de la parte occidental del Estrecho de Gibraltar». *Trab. Inst. Esp. Oceanog.* n. 43, 1983.

Manuel Esteras Martín



Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense, promoción de 1964. Es funcionario del Centro de Estudios Hidrográficos, donde ha realizado los estudios geológicos del túnel de Talave para el trasvase Tajo-Segura, así como de numerosos embalses españoles y extranjeros. En los años 1978 y 1979 fue asesor de la OEA en la República Dominicana para los proyectos de «Medianas presas» y el «Plan regional de desarrollo del Cibao». Actualmente es coordinador de los equipos geológicos de las sociedades SECEG y SNED, que fueron creadas por los gobiernos español y marroquí para el estudio de una comunicación fija a través del estrecho de Gibraltar.