

# Estructura profunda de la Cuenca del Mar de Alborán: margen continental nororiental y zona de transición hacia la cuenca Surbaleár

*Crustal structure of the Alboran Sea Basin: northeastern continental margin and transition zone to the Southbalearic basin*

J.T. Vázquez (\*) y R. Vegas (\*\*)

(\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica y Petrología y Geoquímica. Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz. Polígono Río San Pedro. 11510 - Puerto Real.

(\*\*) Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 - Madrid.

## ABSTRACT

*The Alboran Sea is an extensional basin placed on thinned continental crust and sited in a regional compressive context. Deep seismic reflection and industrial multichannel seismic reflection profiles show two major seismic units in the northeastern continental margin of the Alboran Sea, and the transition zone towards the Southbalearic Basin. These units have been defined by means of seismic fabric characterization and correspond to the sedimentary and basement units of the basin. The basement of the Alboran Sea Basin corresponds to the upper crust under the Betics Cordillera and eastwards presents a transition to an oceanic crust. The major tectonic structures are normal faults. The ultimate N40W convergence between Africa and Iberia produced at least three different orders of inversion structures.*

**key words:** *crustal structure, continental margin, continental-oceanic transition, seismic fabric, Alboran Sea*

*Geogaceta, 20 (4) (1996), 962-965*

*ISSN: 0213683X*

## Introducción

La cuenca del mar de Alborán está situada, en su mayoría, sobre un segmento de corteza continental adelgazada correspondiente al Dominio de Alborán (García-Dueñas *et al.*, 1992). El desarrollo de la cuenca ha tenido lugar en un contexto tectónico compresivo, en el interior del arco formado por la cordillera bético-rifeña y a partir de importantes procesos extensionales; su génesis y evolución, por tanto, tiene que estar conectada con los procesos que llevaron a la formación de este orógeno y su posterior desarrollo, así como con la dinámica del límite de placas entre Eurasia y África, al cual se encuentra asociado.

La cuenca del mar de Alborán está subdividida, a su vez, en otras dos desde un punto de vista fisiográfico (Fig. 1): las cuencas occidental y oriental que están conectadas únicamente por un estrecho surco central. La cuenca occidental alcanza una profundidad próxima a los 1500 m y, tiene una geometría ligeramente romboidal, con una elevación, de tendencia E-W, en su interior. Por otra parte, la cuenca oriental se abre progresivamente, hacia el este, a la región Surbaleár cuya profundidad se sitúa entorno a los 2600 m. Además, estas dos cuencas están separadas por dos áreas más someras, una septentrional constituida

por el margen nororiental de la cuenca e integrado por los altos de Málaga y de Djibouti, y otra meridional formada por el umbral de Alborán y el margen continental situado entre este umbral y la costa occidental de Argelia.

En el presente estudio se aportan nuevos datos para el conocimiento de la estructura profunda del margen septentrional del mar de Alborán y de su transición al área Surbaleár a través de la cuenca oriental de Alborán, para lo cual se analizaran con detalle dos transectos en el mar de Alborán correspondientes con la traza de los perfiles ESCI-Alborán 01 y 02, el primero realizado entre Adra y el surco central de Alborán según una dirección NNO-SSE, y el segundo extendido según una dirección OSO-ENE entre dicho surco central y la llanura de la cuenca Surbaleár.

## Metodología

Los datos utilizados en este estudio son perfiles sísmicos de reflexión que tienen dos orígenes: perfiles profundos ESCI-Alborán 01 y 02, y perfiles procedentes de la exploración petrolífera del área. Los perfiles ESCI-Alborán utilizados son secciones «brute stack» obtenidas en una secuencia inicial del procesado, lo cual, junto a la mala calidad de los datos, hace que los reflectores observables, en estos perfiles, sean considerados

con las lógicas limitaciones. Ambas secciones sísmicas fueron ya objeto de una interpretación previa por Vegas *et al.* (en prensa).

En el sector septentrional del mar de Alborán existe una densa red de perfiles sísmicos de reflexión multicanal, realizados entre 1974 y 1983 para la exploración de hidrocarburos. Estos perfiles tienen características muy variadas en cuanto a la adquisición de datos (tipo de fuentes y número de canales), al procesado que presentan ("stacking", migración, tipo de filtros) e incluso al tiempo de registro (variable entre 4 y 8 seg TWT) lo cual influye en la calidad de estos datos. En la parte oriental, estudiada en el presente trabajo, los datos tienen una calidad media, predominando perfiles sin migrar, situados preferentemente en áreas de plataforma, si bien existen suficientes datos para poder correlacionarlos con los perfiles ESCI-Alborán (Fig. 1).

La metodología empleada para realizar la interpretación de los perfiles de sísmica de reflexión ha sido la convencional dentro del análisis sísmico el cual tiene tres etapas: i) trazado de los reflectores de primera magnitud que constituyen las discontinuidades mayores, ii) configuración geométrica de los reflectores secundarios y relación que presentan con respecto a las discontinuidades mayores y, iii) identificación de las facies sísmicas características de cada unidad en

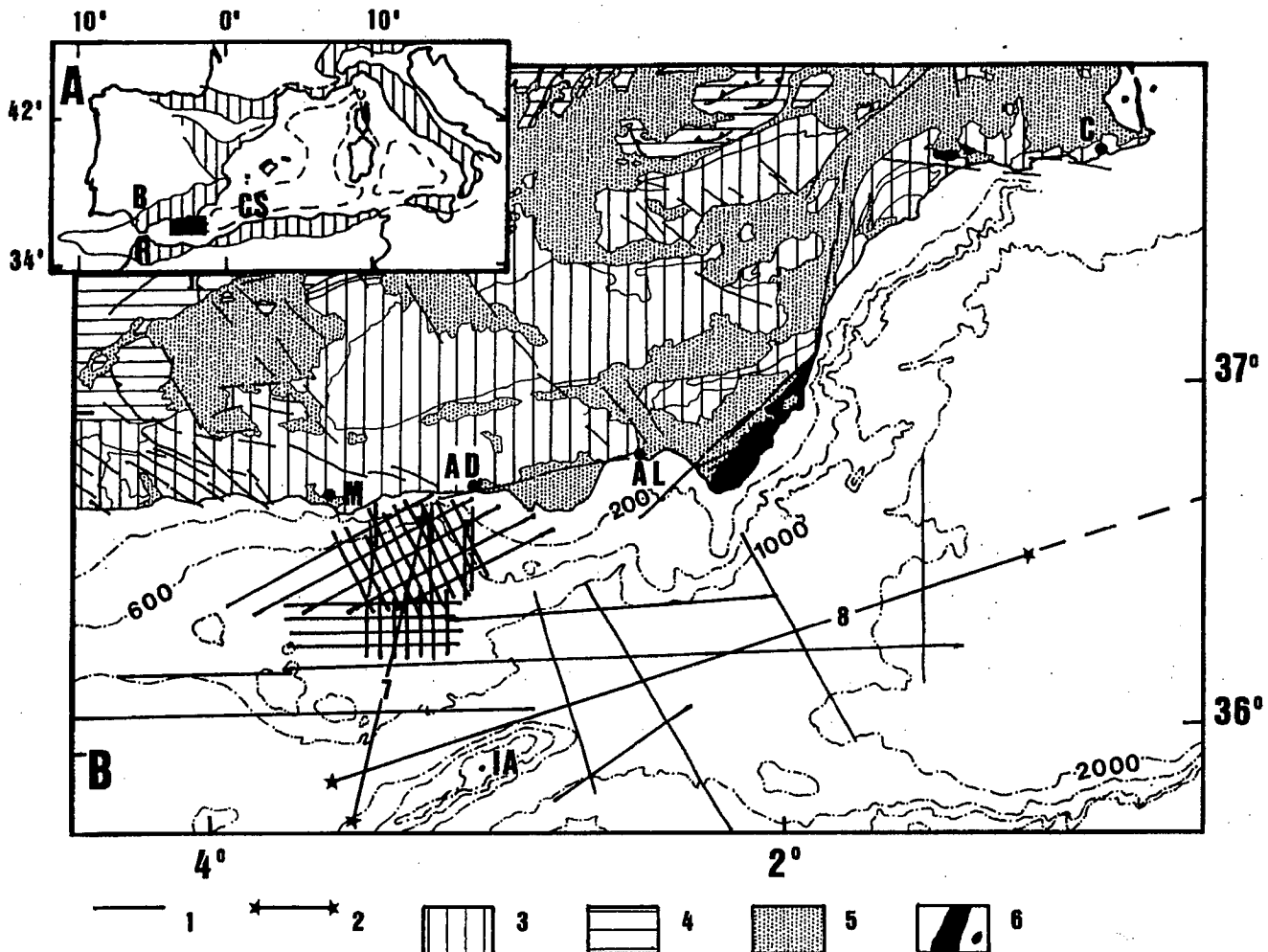


Fig. 1.- Situación del área estudiada. A) Localización geográfica de la zona de estudio (en negro) dentro de la Cuenca del Mediterráneo Occidental y su relación con el cinturón alpino circundante. B) Cordillera Bética; CS: Cuenca Surbalear; R: Cordillera del Rif. B) Perfiles de sísmica de reflexión estudiados y esquema geológico de la zona terrestre adyacente. 1: Perfiles ESCI-Alborán; 2: Perfiles comerciales de sísmica de reflexión multicanal; 3: Zonas Internas; 4: Zonas Externas; 5: Formaciones sedimentarias neógeno-cuaternarias; 6: Formaciones volcánicas neógeno-cuaternarias; 7: Localización de la figura 2; 8: Localización de la figura 3; AD: Adra; AL: Almería; C: Cartagena; IA: Isla de Alborán; M: Motril.

Fig. 1.- Situation of the studied area. A) The Alboran Sea in the Western Mediterranean Basin and its relation to the surrounding Alpine orogenic belt. B) Betic Cordillera; CS: Southbalearic Basin; R: Riflean Cordillera. Black box: studied area. B) Seismic reflection profiles data and onshore geological setting. 1: ESCI-Alboran profiles; 2: Commercial Multichannel Seismic Reflection profiles; 3: Internal Zones; 4: External Zones; 5: Neogene-Quaternary sedimentary formations; 6: Neogene-Quaternary volcanic formations; 7: Figure 2 location; 8: Figure 3 location; AD: Adra; AL: Almería; C: Cartagena; IA: Alboran Island; M: Motril.

el sentido de Mitchum *et al.* (1977). En el caso de los perfiles profundos ESCI-Alborán se ha llevado a cabo, además, un análisis complementario en términos de fábrica sísmica (Allmendinger *et al.*, 1987); que permite la realización de interpretaciones estructurales más completas (Berastegui, 1992). El análisis de la fábrica sísmica se basa en la asociación de la geometría de los reflectores, a la escala del perfil, y de la descripción de las facies sísmicas, permitiendo la identificación de grandes dominios o unidades estructurales, dentro de la corteza, caracterizados por un patrón similar de reflectores.

La utilización simultánea, de dos tipos diferentes de perfiles de sísmica de reflexión, ha permitido definir la estructura y las características sísmicas de la corteza a partir de dos niveles de resolución. Los perfiles ESCI-Alborán proporcionan imágenes más globales de la estructura de la corteza, siendo posible localizar en muchos

casos la posición de la discontinuidad cortezamiento, mientras que con los perfiles de exploración petrolífera se ha llevado a cabo un análisis de las principales estructuras y unidades sísmicas observables en los primeros segundos de registro, en especial en el relleno de las cuencas sedimentarias neógeno-cuaternarias; en ocasiones se han diferenciado reflectores en el interior del basamento, correspondientes, en este caso, con discontinuidades intracorticales o más profundas semejantes a las descritas por Vázquez *et al.* (1995) y Watts *et al.* (1993). Asimismo se ha realizado una correlación de las estructuras determinadas con ellas y las observables en los perfiles ESCI-Alborán.

#### Estructura sísmica de la corteza en el Mar de Alborán

La estructura de la corteza en el margen nororiental del Mar de Alborán presenta dos unida-

des sísmicas bien diferenciadas (Fig. 2). La unidad superior se caracteriza por una fábrica sedimentaria con reflectores continuos y dispuestos según una configuración interna estratificada, normalmente planar y paralela, correspondiendo al relleno sedimentario neógeno-cuaternario de la cuenca. En detalle esta unidad está dividida, a su vez, en dos grandes conjuntos estratigráficos, unidades miocenas y unidades plioceno-cuaternarias, separados por un reflector regional de fuerte carácter (discontinuidad Messiniense); a su vez, estos dos conjuntos están subdivididos en unidades menores separadas por medio de sucesivas superficies de discontinuidad. El mayor desarrollo de la unidad sísmica sedimentaria, en esta zona, y por tanto en donde mejor se diferencian las diversas unidades menores, se encuentra en la subcuenca de Motril, en cuyo eje el basamento está situado aproximadamente a 4,5 seg TWT de profundidad, con un espesor máxi-

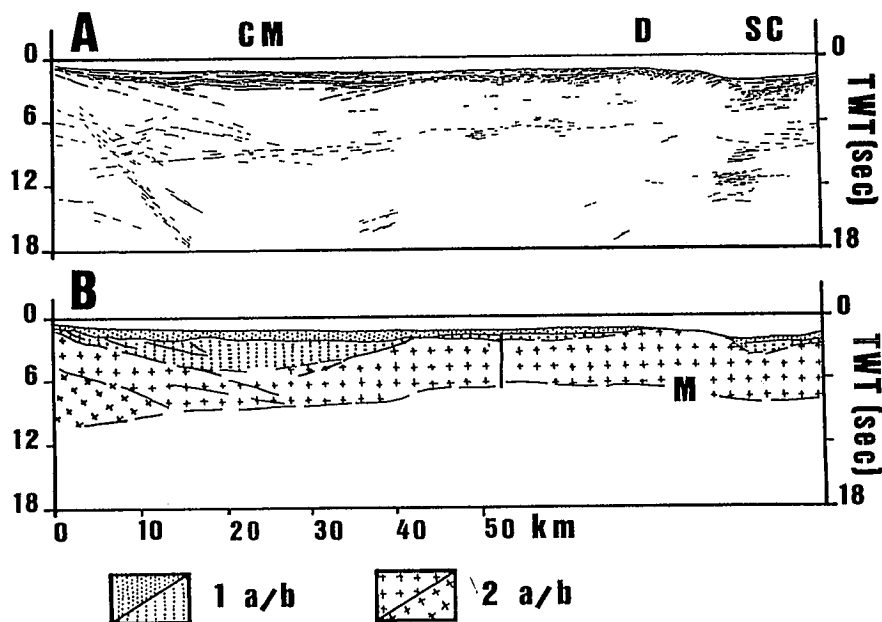


Fig. 2.- Interpretación de la estructura de la corteza en el margen continental nororiental del Mar de Alborán, según la traza del perfil ESCI-Alborán 01. A) Esquema de los principales reflectores. CM: Cuenca de Motril; D: Banco de Djibouti; SC: Surco Central de Alborán. B) Interpretación de la estructura de la corteza. 1: Unidad sedimentaria, a: Plioceno-Cuaternario, b: Mioceno; 2: Unidad de basamento, a: Corteza superior de la Cordillera Bética, b: Corteza inferior de la Cordillera Bética; M: Discontinuidad corteza-manto. Localización del perfil en figura 1.

Fig. 2.- Interpretation of the Crustal Structure along the ESCI-Alboran 01 profile track under the northeastern continental margin of the Alboran Sea. A) ESCI-Alboran 01 line drawing. CM: Motril Basin; D: Djibouti Bank; SC: Central Alboran Trough. B) Crustal structure interpretation. 1: Sedimentary unit, a: Miocene, b: Pliocene-Quaternary; 2: Basement unit, a: Upper crust under the Betic Cordillera, b: Lower crust under the Betic Cordillera; M: Crust-mantle discontinuity. Location in figure 1.

mo de 3,5 seg TWT (Fig. 2).

La unidad inferior presenta una fábrica sísmica irregular, caracterizándose por una facies semitransparente con reflectores discontinuos buzando hacia el norte y hacia el sur. Esta unidad corresponde al basamento de la cuenca y llega a aflorar en el escarpe septentrional del surco central de Alborán. La unidad tiene como límite superior el contacto con la unidad sedimentaria, caracterizado por su alta amplitud, y como límite inferior la discontinuidad corteza-manto que aparece con baja reflectividad y suavemente inclinada hacia el norte; así bajo la plataforma continental está situada a 9,5 seg TWT de profundidad, y pasa sucesivamente a profundidades de 7,5 seg TWT, bajo la subcuenca de Motril, y de 6,5 seg TWT bajo el banco de Djibouti. En la zona próxima a la costa se observan posibles reflectores discontinuos, con buzamiento hacia el sur, en el interior de la unidad que tienden a unirse hacia la discontinuidad "Moho", y que deben estar relacionados con la terminación de la corteza inferior existente bajo las cordilleras Béticas, la cual no aparece en el resto de la cuenca del Mar de Alborán.

En el surco central de Alborán y en la zona de transición hacia la cuenca Surbaleare se observan también estas dos principales unidades (Fig. 3). La unidad sedimentaria mantiene las característi-

cas descritas previamente (con pequeñas diferencias, así hacia el este se mantiene la subdivisión en los dos conjuntos estratigráficos principales pero se observan con peor desarrollo las subdivisiones menores, particularmente en el caso del conjunto mioceno. El espesor de la unidad se mantiene de forma general, disminuyendo en el surco central de Alborán, debido a la compartimentación que presenta esta zona, así como en las áreas de umbral, mientras que aumenta progresivamente hacia la cuenca Surbaleare. Por otra parte la unidad inferior, basamento de la cuenca, presenta una fábrica sísmica de transparente a semitransparente, caracterizándose por una respuesta sísmica irregular, poco reflectiva, con difracciones. El límite superior de la unidad (contacto cobertera-basamento) está bien definido, presentando alta reflectividad y continuidad, mientras que el límite inferior (discontinuidad Moho) presenta un carácter más discontinuo (Fig. 3). De oeste a este el límite superior pasa de 3 a 4 seg TWT de profundidad, excepto en las zonas de umbral donde llega a estar aflorando, mientras que el límite inferior pasa de 7,5 a 6 seg TWT en las proximidades del meridiano 1°50'W, a partir del cual presenta una flexura monoclinial que produce su hundimiento hacia el este (7 seg TWT). En general, hacia el este aumenta progresivamente la presencia de difraccio-

nes, las cuales se sitúan en las zonas de umbral y en el límite superior de la unidad, posiblemente en relación, respectivamente, con intrusiones magmáticas y con un aumento de la irregularidad del límite superior de la unidad.

**Discusión**

En la cuenca del mar de Alborán predominan estructuras extensionales, teniendo la corteza un carácter netamente continental adelgazada. Hacia la cuenca Surbaleare son relativamente frecuentes las intrusiones de materiales magmáticos que confieren un verdadero carácter de transición de corteza continental a oceánica, tal como se puede observar en el progresivo cambio de las fábricas sísmicas, hacia el este, en los perfiles ESCI-Alborán 02 (Fig. 3). La corteza pasa de fábricas irregulares a semitransparentes con reflectores poco frecuentes a fábricas transparentes con numerosas difracciones en el contacto cobertera-basamento; este cambio se asocia a un progresivo aumento del carácter magmático y a la irregularidad del límite cobertera sedimentaria-basamento que caracteriza a las cortezas de tipo oceánico. La presencia de una flexura en la zona de transición ha sido atribuido por Vegas *et al.* (en prensa) a dos posibles episodios de creación de corteza oceánica, si bien pudiera estar relacionada con un efecto posterior de inversión compresiva.

Esta corteza continental, al menos en el margen septentrional, parece corresponder a unidades pertenecientes al Dominio de Alborán. El adelgazamiento de la corteza en la transición cordillera bética-cuenca de Alborán parece resolverse en la corteza inferior (Vegas *et al.*, en prensa). Independientemente de su naturaleza (Hespérica o Dominio de Alborán), ésta corteza inferior bética no aparece prácticamente en el margen septentrional de Alborán, ni en el resto del área considerada.

La extensión, en el basamento de la cuenca, se acomoda mediante el desarrollo de importantes fallas normales que han conducido a un fuerte adelgazamiento general, que en el margen nororiental queda enmascarado por la presencia de una cuenca sedimentaria sobre él, subcuenca de Motril (Fig. 2). Esta cuenca es asimétrica, y está limitada por bordes extensionales. El límite septentrional es el principal y se caracteriza por fallas normales progresivamente más tendidas hacia el interior de la cuenca, mientras que el meridional es más abrupto, tiene carácter antitético, y separa la cuenca de los bancos de Djibouti. Ambos bordes están sometidos posteriormente a inversión, en el septentrional los cabalgamientos de cobertera arrancan claramente desde el basamento y llegan a afectar a gran parte de la unidad pliocuaternaria, mientras que en el meridional presenta, al menos, reactivaciones en forma de pequeños cabalgamientos en la cobertera.

La compresión N40W, existente desde el Mioceno terminal se acomodaría no sólo mediante la inversión de fallas normales, sino también mediante flexuras de escala cortical, en este

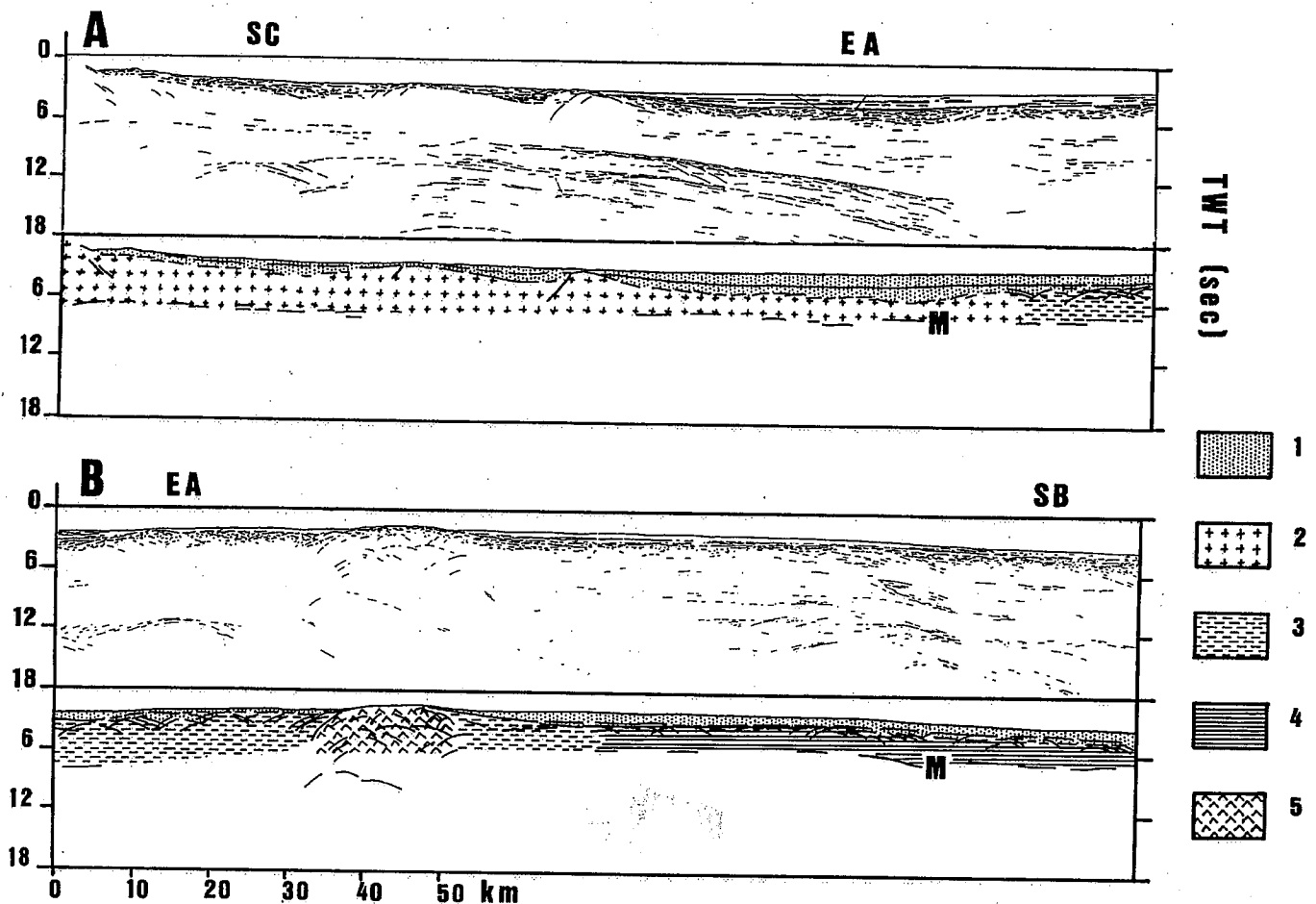


Fig. 3.- Interpretación de la estructura de la corteza, según la traza del perfil ESCI-Alborán 02. A) Esquema de los principales reflectores de el perfil ESCI-Alborán 02 y 02A, e interpretación de la estructura de la corteza según la traza de este perfil. B) Esquema de los principales reflectores de el perfil ESCI-Alborán 02B, e interpretación de la estructura de la corteza según la traza de este perfil. 1: Unidad sedimentaria; 2: Corteza continental adelgazada; 3: Corteza de transición; 4: Corteza oceánica; 5: Probable intrusión magmática; SC: Surco Central de Alborán; EA: Cuenca Oriental de Alborán; SB: Cuenca Surbalear; M: Discontinuidad corteza-manto. Localización en figura 1.

Fig. 3.- Interpretation of the Crustal Structure along the ESCI-Alboran 02 profile track. A) ESCI-Alboran 02 and 02A line drawing and crustal structure interpretation. B) ESCI-Alborán 02B line drawing and crustal structure interpretation. 1: Sedimentary unit; 2: Thinning continental crust; 3: Transitional crust; 4: Oceanic crust; 5: Probable magmatic intrusion; SC: Central Alboran Trough; EA: Eastern Alboran Basin; SB: Southbalearic Basin; M: Crust-mantle discontinuity. Location in figure 1.

sentido, el banco de Djibouti que es una elevación, al menos de carácter volcánico, puede ser también la respuesta a un efecto de inversión de la cuenca, formándose una flexura de tipo positiva (Fig. 2), ya que, paradójicamente, esta elevación corresponde con la localización del mayor adelgazamiento de la corteza que alcanza, en esta zona, un espesor de 16 km (Suriñach y Vegas, 1993). Por otra parte, cabe señalar que este efecto flexural positivo se puede observar también en el umbral de Alborán, si bien con mayor desarrollo de fallas inversas (Bourgeois *et al.*, 1992; Comas *et al.*, 1992; Woodside y Maldonado, 1992). Básicamente la compresión N40W se ha resuelto en tres órdenes de estructuras compresivas: flexuras positivas que afectan a la totalidad de la corteza y estructuras de inversión (cabalgamientos y pliegues) que pueden afectar bien al basamento junto con la cobertera sedimentaria, o bien únicamente a esta cobertera.

#### Agradecimientos

La realización de los perfiles ESCI-Alborán ha sido llevada a cabo por medio de los proyectos GEO 090-0617 de la CICYT y CE 91-0013 de la DGICYT. Los perfiles de sismica de reflexión multicanal comerciales fueron cedidos por las empresas SHELL, CHEVRON y especialmente REPSOL Exploración, a lo largo de la colaboración de J.T. Vázquez en el ITGE dentro del programa de cartografía de las hojas geológicas marinas situadas en el mar de Alborán.

#### Referencias

- Allmendinger, R.W., Hauge, T.A., Hauser, E.C., Poter, C.J., Kemplerer, S.L., Nelson, K.D., Knuepfer, T. y Olivier, J. (1987) *Geol. Soc. Am. Bull.*, 98: 308-319.  
Berastegui, X. (1992) Proyecto Hispano-Fran-

- cés ECORS-Pirineos, 4, pp. 51-61.  
Bourgeois, J., Mauffret, A., Ammar, A. y Demnati, A. (1992). *GeoMar Lett.*, 12: 117-122.  
Comas, C., García-Dueñas, V. y Jurado, M.J. (1992). *GeoMar Lett.*, 12: 157-164.  
García-Dueñas, V., Balanyá, J.C. y Martínez Martínez, J.M. (1992). *GeoMar Lett.*, 12: 88-95.  
Mauffret, A., Maldonado, A. y Campillo, A. (1992). *GeoMar Lett.*, 12: 104-110.  
Mitchum, R.M., Vail, P.R. y Sangree, J.B. (1977) *A.A.P.G. Memoir*, 26: 117-133.  
Suriñach, E. y Vegas, R. (1993). *Geogaceta*, 14: 126-128.  
Vázquez, J.T., Vegas, R. y Villalán, J.J. (1995). *Geogaceta*, 17: 143-145.  
Vegas, R., Vázquez, J.T., Medialdea, T. y Suriñach, E. (En prensa). *Rev. Soc. Geol. España*  
Watts, A.B., Platt, J.P., y Buhl, P. (1993). *Basin Res.*, 5: 153-177.