

**ESTUDIO DE LA TECTONICA Y GEODINAMICA DE LA
HOJA DE TARIFA**

Fernando Moreno

INTRODUCCION

La estructuración tectónica de los diferentes conjuntos estratigráficos comprendidos dentro de la Hoja de Tarifa, es el resultado de diversas fases tectónicas deducidas tras el análisis de las macroestructuras cartografiadas y de las mesoestructuras observadas en diferentes afloramientos.

Algunas de las conclusiones que se introducen en este capítulo han surgido además tras la observación e integración del conjunto de las hojas geológicas limítrofes con ésta, así como de algunas conclusiones derivadas de trabajos recientes relativos a las fallas de desgarre del Rif Occidental.

El modelo dinámico que se propone, explica todos los datos de observación reunidos, basándose para ello en el significado de diferentes macro y mesoestructuras como indicadores de movimiento. De esta manera se aporta una cierta ordenación y coherencia en la interpretación tectónica de estos sectores, en los cuales, algunos autores habían sugerido un comportamiento "caprichoso" para ciertos conjuntos litológicos especialmente en el caso de las areniscas del Aljibe.

A continuación se enumeran los movimientos y etapas tectónicas deducidas, ordenadas cronológicamente:

- Movimientos gravitacionales en las areniscas del Aljibe de la Sierra de Ojén.
- Fase tectónica principal de imbricación y cabalgamiento de diversas escamas constituidas por las areniscas del Aljibe y su serie de base, con avance de todo el conjunto hacia el WSW.
- Actuación simultánea, tardía en relación a la imbricación, como desgarre derecho de un accidente cortical paralelo al Estrecho.
- Deslizamiento gravitacional, hacia el WSW, de las escamas más altas, a partir del relieve creado durante la imbricación.

- Fase de retrocabalgamientos con vergencia al ENE.
- Fase compresiva en dirección NNW-SSE. Emplazamiento de la unidad tectónica de Algeciras y del conjunto Bujo - Cabrito.
- Formación del estrecho de Gibraltar. Basculamiento de la unidad tectónica de Algeciras.

En lo que sigue se analizan las diferentes etapas propuestas consignando las meso y macroestructuras resultantes de cada una de ellas.

MOVIMIENTOS GRAVITACIONALES TEMPRANOS

En la porción central de la Sierra de Ojen, constituida por areniscas del Aljibe, existe una sucesión de pliegues de geometría y amplitud uniformes, afectando a un único tramo estratigráfico, ya que las capas situadas a muro y a techo no aparecen deformadas. En el extremo oriental de dicha sierra los pliegues adquieren una mayor amplitud y una forma más irregular, afectando ya a la totalidad de la formación. La geometría de dichos pliegues y su localización en un tramo estratigráfico permiten considerarlos como "slump folds" desarrollados antes de que las areniscas alcanzasen su litificación total.

Por otro lado la Sierra Ojen se acuña hacia su extremo noroccidental, en tanto que en su terminación oriental presenta un importante engrosamiento. En el primero aparecen además dos fallas subparalelas a la estratificación, de las cuales la más superior termina por cortar la serie de muro a techo, desde el Oeste hacia el Este. Dichas fracturas deben interpretarse como fallas gravitacionales lísticas de las cuales se observan actualmente sus porciones paralelas a la estratificación y en la más superior, su zona de salida a la superficie con carácter de falla inversa, como consecuencia del empuje de la masa deslizante.

Todo lo anterior hace pensar en deslizamientos gravitacionales dirigidos de Oeste a Este, si bien la dirección exacta de los mismos de momento no puede precisarse. Con este transporte las areniscas del Aljibe de esta Sierra habrían sufrido un acuñamiento en su porción, actualmente noroccidental, y un engrosamiento en su extremo oriental.

Hasta la fecha ningún autor habría puesto de manifiesto dichos deslizamientos. El origen de la pendiente necesaria para el desarrollo de dicho proceso entra ya en el terreno de lo especulativo. Así, puede pensarse en el ascenso diafílico de las regiones occidentales donde afloran materiales triásicos, o bien en la subsidencia de las regiones orientales debido a la compensación isostática producida como respuesta a la imbricación y apilamiento de las escamas de la arenisca del Aljibe. No obstante ambas alternativas pueden estar estrechamente relacionadas.

FASE TECTONICA PRINCIPAL

- Mecanismo de actuación

Las Sierras de Ojen, la Luna y la Palma corresponden a tres grandes escamas de areniscas de Aljibe, imbricadas según este orden. Suponiendo un mecanismo de "piggy back" (Dahlstrom, 1.975) para el desarrollo de la imbricación, la primera escama sería la más baja tectónicamente y la que habría sufrido un menor desplazamiento (fig. 1).

Dentro de la hoja de Tarifa no puede llevarse a cabo un análisis completo de la geometría de la imbricación, la cual aparece ampliamente representada en las hojas geológicas nº 1.070 (Alcalá de los Gazules) y 1.074 (Tahivilla), situadas al Norte.

Es en base a las observaciones realizadas en dichas hojas por lo que se propone el mecanismo de imbricación mencionado. Este fue el resultado de cabalgamientos a favor de diversas superficies con tramos paralelos a la estratificación ("flats") y tramos oblicuos a la misma ("ramps") (Douglas; 1.950). Dentro de la hoja de Tarifa en la Sierra de la Plata y de Enmedio pueden observarse dos superficies de rampa en los momentos iniciales de su desarrollo ya que , aparecen asociadas a sendos pliegues-falla. En la fig. 2 se reconstruyen las etapas tectónicas que han llevado hasta la configuración actual, como sinforme y antiforme, de los pliegues de la Sierra de la Plata. La posición casi verticalizada con la que ahora aparecen dichos pliegues y la superficie de fractura permite observar la sección transversal de estas estructuras, normalmente ocultas en el resto de las escamas que conservan la horizontalidad de sus estructuras lineales, si bien las bases de algunas de ellas, situadas al norte de esta zona de estudio, se han podido observar pliegues análogos. En la Sierra de la Plata y de Enmedio dichos pliegues son el resultado de una deformación dúctil-frágil por cizallamiento.

Con posterioridad a esta fase de cabalgamientos han actuado diversas fracturas de desgarre y una etapa importante de retrocabalgamientos que junto con la erosión posterior han alterado profundamente la geometría del edificio

original. No obstante en base a la disposición de algunas escamas en las hojas geológicas mencionadas (nº 1.070 y 1.074) y por comparación con casos descritos en otros cinturones de deformación análogos a éste, puede suponerse que algunas de las escamas llegaron a cubrir y cabalgar sobre la propia imbricación formando estructuras anticlinoriales o "duplex" (Dahlstrom, 1.970). Algunas de estas escamas deslizaron gravitatoriamente más allá del frente del cabalgamiento más occidental, tal como se verá más adelante.

Durante esta fase, la imbricación de las escamas y los aportes procedentes probablemente de la decapitación de un diapiro que afloraría al Este, hacen que se produzca un depósito sincrónico con el movimiento principal y que se extiende mucho más que hacia el Oeste. Serían las arcillas con *Tubotomaculum* que incluyen bloques de diversos orígenes (Jurásico, Cretácico, calizas de la base del Aljibe, areniscas del Aljibe, etc.) tal como las que están en la zona de base de la Sierra de Ojén.

- Estructuras y relaciones entre la diferentes deformaciones

Las areniscas del Aljibe se han desplazado solidariamente con su serie de base, al menos en el caso de la Sierra de Ojén, donde existen afloramientos continuos entre ambos conjuntos. Solamente se han encontrado algunas mesoestructuras resultantes de la deformación producida por cizallamiento. Así, algunos bancos de arenisca presentan un diaclasado o esquistosidad espaciada, oblicua y acorde con dicho cizallamiento. En la serie carbonatada infrayacente se encuentran pliegues asimétricos con eje subhorizontal y amplitud decamétrica (Puerto de los Chaparros). En las inmediaciones del Cortijo de los Grajales aparece una imbricación en segmentos de una misma capa (fig. 3), con estrías en una de las superficies de imbricación que marcan una dirección N 60 a 70° E. Dicha dirección, prescindiendo de posibles giros posteriores de todo el conjunto, podría considerarse como la del transporte tectónico, si bien hay que tener en cuenta que la dirección de los pliegues es paralela siempre a las de las rampas, a todas las escalas, pero en ocasiones, esta dirección no es perpendicular a la del transporte tectónico. La serie de base cretácica a oligocena que actuó como zapata, desaparece en esta escama hacia el Oeste, hasta que la base del cabalgamiento es la arenisca del Aljibe.

Hacia muro de la serie de base en un afluente por el norte del Arroyo de los Molinos se encuentran tramos pelíticos y margosos sin deformar y con disyunción esférica, junto con tramos esquistosados en los cuales se ha concentrado la deformación por cizallamiento. En resumen todo el conjunto de la Sierra de Ojen cabalga de esta manera a las Arcillas con *Tubotomaculum* situadas bajo la misma, en las cuales se encuentra el bloque jurásico del Chivato (Didon, 1.969).

En la garganta del Conejo, situada al Oeste de la anterior, aflora la prolongación del bloque jurásico y las pelitas verdes y rojas de la matriz de las arcillas con *Tubotomaculum*, con bandas de pliegues asimétricos y zonas pelíticas intensamente esquistosadas como indicadores del cizallamiento debido a esta fase.

En relación con la procedencia de este bloque jurásico, Didon (1.969) sugiere un emplazamiento del mismo análogo al del bloque jurásico de los Pastores. Ambos deben tener su origen en zonas más orientales. Sus facies presentan bastantes similitudes con las series ultrapenibéticas descritas por Bourgois (1.978) en el corredor del Boyar y habían sido emplazados durante el desplazamiento de las escamas de areniscas del Aljibe, según el primer autor. No obstante, si se tiene en cuenta, tal como se expone en el capítulo dedicado a la estratigrafía el origen inicialmente sedimentario de las arcillas con *Tubotomaculum*, puede pensarse en emplazamiento gravitacional y como olistolito, durante la etapa de imbricación y estructuración de la zona circunbética, datada por diferentes autores, Baena y Jerez (1.983) entre otros, como Oligoceno.

Posteriormente durante la fase tangencial principal, las arcillas con *Tubotomaculum* actuaron como nivel de despegue sufriendo ellas mismas un transporte y desorganización tectónicos. En el frente de la imbricación algunos bloques de no gran tamaño deslizaron y fueron incorporados en las arcillas pudiendo llegar a ser cabalgados posteriormente por la misma imbricación. Dicho frente tuvo que ser además el límite paleogeográfico de las areniscas del Aljibe que en este lugar debió de coincidir aproximadamente con la Sierra de Ojen y con el accidente de la Cruz Negra (ver hoja geológica nº 1.074, Tahivila) el cual

pudo haber sido sobrepasado por el cabalgamiento de la Sierra de Ojen en una cuantía desconocida. Movimientos posteriores en la vertical a lo largo de dicho accidente, combinados con la erosión, hacen coincidir el frente actual de la escama de esta Sierra con el accidente mencionado.

Por último hay que considerar el carácter autóctono o paraautóctono del Flysch del Almarchal, el cual sirve de substrato común a todas las series superiores. A pesar de la gran extensión que ocupa no presenta afloramientos que permitan estudiar su deformación.

Los más notables se encuentran en los acantilados de la Sierra de Enmedio en cuyo lugar aparece como una serie isoclinal volcada hacia el Oeste, a muro de la cual se encuentra un potente tramo de capas deformadas por "slumps" y que se repite en forma de escamas según se pone de manifiesto en la columna realizada (Torre de la Peña).

En todos los casos se pone de manifiesto la independencia tectónica durante la 1^a fase entre el Flysch del Almarchal y las formaciones superiores, o bien la deformación conjunta de ambos grupo durante las fases posteriores.

Bourgois et al (1.971) propusieron una procedencia ultrapenibética para la Unidad del Algarrobo y, por extensión y correlación con la misma, para el Flysch del Almarchal. Por otro lado su equivalencia con la Unidad de Tánger, estructurada en diversos mantos, puede sugerir una disposición análoga para aquel. Dicho extremo no ha podido ser constatado, pero por supuesto cabe la posibilidad de que dicha formación está estructurada de forma similar y que las superficies de cabalgamiento o no hayan sido detectadas o bien no lleguen aflorar (cabalgamientos ciegos). Hay que tener en cuenta que el nivel alcanzado por la erosión es más profundo en el lado marroquí que en el lado español del estrecho. Así en el primero las areniscas del Aljibe han sido desmanteladas en su mayor parte.

FALLAS DE DESGARRE Y DESLIZAMIENTOS GRAVITACIONALES.

Seguidamente y con posterioridad a la imbricación de las escamas mencionadas en el apartado anterior se produjo la actuación de un accidente paralelo al estrecho (dirección ENE-WSW a NE-SW), como desgarre derecho. Dicho accidente produjo el giro en sentido horario de los extremos orientales de las escamas que hoy forman las Sierras de la Palma, Bujeo y los Calabozos y actuó simultáneamente a las de la Sierra de la Plata - Estepona y Jebel - Fahamin, ambos con movimientos relativos también derechos. Este último se sitúa ya la cadea del Rif; donde más al Sur se encuentra la gran fractura de Jebda Chrafate, con movimiento relativo izquierdo. Olivier (1.978) situa la actuación de esta fractura en el Burdigaliense, dando un salto para la misma de unos 50 Km. De esta manera los tres desgarres derechos mencionados, situados al norte habrían compensado el movimiento izquierdo de la falla de Jebda-Chrafate, delimitando entre todos un bloque cortical adelantado hacia el WSW. Didón (1.969 y 1.973) atribuye el desplazamiento ligado al accidente, denominado en esta ocasión de Tarifa-La Línea el desfase de la zona paleogeográfica de la unidad tectónica de Algeciras y del límite zonas internas-zonas externas entre España y Marruecos.

Llama la atención el hecho de que los accidentes de Tarifa-La Línea y de la Sierra de la Plata-Estepona, de los cuales la mayor parte de su recorrido queda fuera de la hoja de Tarifa, presentan en la actualidad un trazado sinuoso y en ocasiones interrumpido. Así el segundo de ellos aparece interrumpido en la hoja de Tahivila por la Sierra del Niño y el primero, por lo que Didón (1.969) denominó como unidad de Bujo-Cabrito. Esta circunstancia junto con las consideraciones anteriores obligan a pensar en la actuación temprana de dichos accidentes en relación a la tectogénesis de este sector de las Béticas, habiendo sido cubiertas por algunas traslaciones vinculadas a movimientos posteriores.

Durante la actuación de dichas zonas de desgarre se produjo el deslizamiento gravitacional de la escama o las escamas tectónicamente más elevadas en relación al edificio de la imbricación, las cuales sobrepasaron el frente del mismo, situado en la Sierra de Ojen, deslizando sobre las arcillas con Tubomaculum. Dichos deslizamientos dieron lugar a las Sierras actuales de El

Picacho, Salaviosa, Enmedio, La Plata y Retín, ésta último fuera ya de la hoja de Tarifa. Durante estos movimientos los bloques correspondientes a la Sierra de la Plata y el Picacho por encontrarse sobre las zonas de desgarre experimentaron un giro en sentido horario (derecho), hasta orientarse paralelamente a las mismas. La sierra de Enmedio al quedar algo más distanciada en relación al accidente de Tarifa sufrió un giro también derecho pero de menor cuantía (fig. 2, b).

Por otra parte hay que señalar, la existencia de porciones del Flysch areniscoso-micáceo de Algeciras sobre la loma de San Bartolomé, así como en la base de una estructura tipo "duplex" emplazada también gravitatoriamente en el interior de un "graben" existente en las hojas de Tahivilla y de Alcalá de los Gazules. Dado que dicho "duplex" y los bloques correspondientes a las sierras de la hoja de Tarifa, antes mencionadas, proceden necesariamente de las porciones más elevadas del edificio de la imbricación se puede plantear el siguiente esquema evolutivo.

La estructura tipo "duplex" y la escama de la cual derivan los bloques de las Sierras de la Plata, Enmedio, etc. proceden y pudieron generarse en los sectores más orientales en relación al resto de las escamas. Probablemente la primera cabalgó a la segunda según una superficie que profundizó hasta el Flysch de Algeciras de forma que en dicha superficie se introdujeron virutas o porciones del Flysch areniscoso-micáceo. Posteriormente todo ello avanzó hacia occidente sobre el resto de las escamas hasta su deslizamiento gravitacional. De esta manera los afloramientos del Flysch de Algeciras y de la serie de base situados sobre la loma de San Bartolomé y a techo de la Sierra de Salaviosa corresponderían a los retazos, dejados por la erosión de la base de otra imbricación superior.

Didon (1.966, 1.969 y 1.977) realizó algunas consideraciones de carácter general sobre el papel de la gravedad en el emplazamiento de las areniscas del Aljibe. En la última publicación mencionada supone que dichas areniscas englobadas dentro de la matriz de las arcillas con *Tubotomaculum*. No obstante, en un trabajo reciente (Didon, 1.982) dicho autor parece abandonar dicha interpretación.

En el presente trabajo se pone de manifiesto como los deslizamientos gravitacionales solo se han producido en las escamas topográficas y tectónicamente más elevadas sobre el edificio de la imbricación. La estructuración de este último se produjo por empujes tangenciales procedentes del Oeste, y solo podría pensarse en un deslizamiento de todo el conjunto merced a la pendiente que tras la imbricación pudo crearse en el sustrato autóctono o paraautóctono correspondiente al Flysch de Algeciras y al Flysch del Almarchal. Según Gretherer (1.981) dichas pendientes resultan del levantamiento isostático de las zonas más internas de una cadena de esta naturaleza al ser descargadas de los materiales involucrados en la imbricación. Hacia el exterior dicha imbricación equivale a una rápida sobrecarga, condicionando la subsidencia del conjunto. De esta manera, desde el comienzo de la imbricación, ella misma genera una onda de reajuste isostático, que puede servir como motor para su avance.

En resumen la primera secuencia de acontecimientos tectónicos durante la cual se alcanzó la estructuración principal de este sector del arco de Gibraltar, se inició con la imbricación y cabalgamiento de las areniscas del Aljibe con su serie de base y las arcillas con *Tubotomaculum*, según una tectónica del tipo "thin skin" en la cual el sustrato correspondiente al Flysch del Almarchal no me vió involucrado, lo cual no excluye la posible existencia de otras superficies de cabalgamiento en su seno. En los sectores más orientales de dicha imbricación el sustrato correspondiente al Flysch de Algeciras si llegó a involucrarse en dicha imbricación. Posteriormente y probablemente como consecuencia de reajustes isostáticos o de una compresión más energética que podría relacionarse con el avance hacia el WSW de un bloque cortical correspondiente a las zonas internas, las escamas más orientales se desplazarán hacia el Oeste hasta deslizar gravitatoriamente, desmembrándose en bloques y ocupando la posición más occidental en relación al edificio resultante de la imbricación. Simultáneamente dicho edificio fue compartimentado por los accidentes paralelos al estrecho, los cuales en la hoja de Tarifa, en cierto modo, pudieron "canalizar" el deslizamiento de los bloques correspondientes a las Sierras más occidentales.

FASE DE RETROCABALGAMIENTOS

Esta fase ha sido puesta de manifiesto por diferentes autores en diversos lugares de las Béticas y del Rif (García Dueñas y Navarro - Vila, 1.976; Bourgois, 1.978; Olivier 1.982; García Dueñas, 1.982; Baena y Jerez, 1.983). Sin embargo en estos sectores todavía no ha sido señalada.

En la hoja de Tarifa esta fase ha dado lugar a diversas estructuras observables a la escala del afloramiento y a la inversión de algunos conjuntos estratigráficos. Así, todo el borde oriental de las Sierras de Salaviciosa y de Enmedio aparecen en posición invertida, retrocabalgado a las arcillas con Tubotomaculum y al Flysch del Almarchal del Santuario de la Virgen de la Luz. Esta disposición resulta coherente con la de diversos pliegues asimétricos y bandas con esquistosidad desarrolladas en las pelitas y niveles detríticos de las arcillas con Tubotomaculum en el puerto de la Torre del Rayo. Algunas de las numerosas charnelas existentes en este lugar presentan además una reorientación, tendiendo a paralelizarse a la dirección del transporte tectónico.

Durante esta misma fase pudieron generarse los diferentes pliegues hectométricos de la Sierra de Fates. La forma curva de los mismos y del conjunto correspondiente a la Sierra de Salaviciosa - Sierra de Fates y Sierra de Enmedio, indican un arqueamiento de dichas estructuras durante el desarrollo de esta fase. La zona de fractura del Puerto de Fates puede haberse generado también durante esta fase, actuando como falla mixta, con desplazamientos inverso y derecho simultáneamente.

En los sectores situados al Oeste del Puerto de Bolonia existen diversas imbricaciones y pliegues-falea con charnelas y superficies axiales, posteriormente verticalizadas, (fig. 2c y d) generadas durante esta misma fase. La serie de base del Aljibe, en la que se encuentran estas estructuras, ocupaban junto con las areniscas del Aljibe de la Sierra de la Plata una posición subhorizontal con suaves buzamientos al SW. La asimetría del antiforme y del sinform de dicha Sierra induce a relacionarlos con esta misma fase, siempre y cuando las charnelas de dichos pliegues fuesen curvas. No obstante puede aceptarse una deformación dúctil de esta envergadura para las capas

competentes de las areniscas del Aljibe, situadas, tras su emplazamiento gravitacional, en la misma superficie topográfica o, al menos, a poca profundidad. Por lo cual la génesis de estas estructuras ha de relacionarse con la primera fase de imbricación, bajo condiciones de una mayor presión confinante.

En los tramos basales carbonatados de la unidad tectónica de Algeciras, en los afloramientos correspondientes a las pequeñas canteras excavadas sobre los mismos y que jalonan la carretera nacional de Cádiz-Algeciras, aparecen algunos pliegues con dirección N 140º E, cuyos ejes han sido también verticalizados posteriormente. Un grupo de ellos aparece asociado a una microfalla inversa con la misma dirección. La vergencia del conjunto es al ENE.

Por último, los afloramientos correspondientes a lo que Didon (1.969, fig. 91) denominó como retazo de la Unidad de Bolonia del Bujo-Cabrito presentan una compleja estructura resultante de la interferencia de esta fase de retrocabalgamientos con otra fase posterior, durante la cual dicha formación se imbricó en sucesivas escamas y se desplazó hacia el NNW. Dentro de esta estructura aparecen pliegues con dirección NNW formados durante la fase de retrocabalgamiento y plegados posteriormente durante dicha excavación (Cerro Palomino y La Ahumada). La dirección de acortamiento para ambas fases resulta ser perpendicular y la estructura final corresponde a un braquisinclinal o una braquisinforma, abierta en su extremo oriental.

Fuera ya de la hoja de Tarifa y en el límite con la hoja nº 1.075 (Algeciras), Didon (1.969, fig. 115) describe, en el Cerro de las Esclarecidas y dentro de las areniscas del Aljibe, una estructura que puede ser relacionada con esta fase.

Génesis y significado de la fase de retrocabalgamientos

La dirección de acortamiento para esta 2^a fase tangencial resulta ser idéntica a la de la primera, en tanto que su vergencia es opuesta.

Algunas estructuras retrocabalgantes de las zonas externas de la cadena Bética han sido relacionadas con la actuación de los desgarres derechos

paralelos a la cadena y el incremento simultáneo de la curvatura del arco de Gibraltar (BOURGOIS; 1.978). Por otro lado Baena y Jerez (1.983) supone que su actuación es el resultado de la elevación de la zona Subbética, tras su estructuración durante la primera fase, es decir que en este caso correspondería a deslizamientos gravitacionales. Sin embargo en este sector del arco de Gibraltar, los meso y macroestructuras existentes atestiguan un régimen claramente compresivo.

El cambio de vergencia entre las dos fases principales podría interpretarse como una inversión en el sentido del cabalgamiento de los bloques corticales, considerando la cadena en su conjunto. Durante la primera fase el bloque de Alborán correspondiente a las zonas internas, (Andrieux et al. 1.971) habría cabalgado sobre la margen ibérica y africana, produciendo mantos y cabalgamientos sintéticos. El apilamiento de los mismos habría dado lugar a un hundimiento por compensación isostática de dichos márgenes, de forma que en una segunda etapa de convergencia actuaron como desgarres derechos diversos accidentes paralelos a la cadena las cuales anteriormente delimitaron diferentes dominios paleogeográficos o actuaron como cabalgamientos durante la primera fase. (Corredor de Boyar, accidente de Barbate-Sierra de Cabras, etc.). (Ver hojas geológicas nºs. 1.070, 1.073 y 1.074). La inversión en el sentido del cabalgamiento en niveles corticales profundos debió de producirse, en este sector de la cadena en relación con el accidente de Barbate-Sierra de las Cabras, es decir, hacia el exterior de la misma y lejos ya del límite zonas internas zonas externas. Este accidente corresponde además al límite occidental del área sobre la que se apilaron las diferentes escamas de areniscas del Aljibe.

FASE COMPRESIVA CON DIRECCION NNW-SSE.

Esta fase se ha identificado solamente en las inmediaciones del Estrecho. Aparece relacionada con el emplazamiento del conjunto Bujo-Cabrito (Didon, 1.969) y de la unidad tectónica de Algeciras que bordea todo el estrecho, entre Tarifa y el meridiano de Algeciras. El emplazamiento de ambos conjuntos es indudablemente posterior a la actuación como desgarre derecho del accidente Tarifa-La Línea, habiendo sido cubierto por aquellos.

La unidad tectónica de Algeciras parece haber sido poco afectado por la etapa de retrocabalgamientos y la mayor parte de sus pliegues pertenecen a esta fase. Son pliegues en acordeón, algunos de los cuales han evolucionado posteriormente por aplastamiento y resbalamiento en relación a niveles de despegue (fig. 4a y b). El Flysch calcáreo de la base de este conjunto aparece en posición subvertical y paralelamente todos los planos axiales de sus pliegues presentan un suave buzamiento al Norte, por lo cual dicha posición a resultado de un basculamiento posterior de dichos niveles asociado a la formación del Estrecho.

En los Arroyos de los Alhelies y de las Viñas se ha observado la superficie de cabalgamiento de la unidad tectónica de Algeciras sobre el conjunto Bujo-Cabrito. En este lugar los basculamientos posteriores han debido ser de poca cuantía y puede observarse una charnela anticinal en el bloque cabalgante y otra sinclinal en el cabalgado, cuyos ejes resultan ser paralelos a la dirección de la superficie de cabalgamiento. Su amplitud es de unos 40 m. y su formación hay que relacionarla con el cizallamiento a lo largo de dicho cabalgamiento, (fig. 5).

En el conjunto Bujo-Cabrito, se encuentran igualmente pliegues en acordeón afectando a series invertidas previamente durante la fase de retrocabalgamientos, (fig. 6a y b). En la base de alguna de sus escamas, visibles a lo largo de la carretera nacional Cadiz-Algeciras, se encuentran estructuras diversas de las cuales unas presentan vergencias acordes con la fase de retrocabalgamientos y otros aparecen relacionadas con esta última fase (fig. 7a y b). Por ello, es muy probable que la imbricación se iniciase durante aquella fase,

habiéndose continuado y modificado durante la fase responsable del desplazamiento de todo el conjunto hacia el Norte.

Pese a la continuidad estratigráfica que parece evidente, entre el Flysch del Almarchal y el conjunto Bujo-Cabrito, al menos en su límite occidental, hay que pensar en alguna superficie de cabalgamiento situada dentro del Flysch del Almarchal, el cual puede incluso presentar diversas imbricaciones análogas a la del conjunto Brujo-Cabrito. A esta fase correspondería la repetición con imbricación que se observa en la serie de la Torre de la Peña.

A esta misma fase debe atribuirse la verticalización de la Sierra de la Plata y de su serie de base en las inmediaciones del Puerto de Bolonia. De esta manera los pliegues e imbricaciones generados durante las dos fases anteriores llegan incluso a invertirse volcándose hacia el NW. Así en el cabo de Gracia se ha comprobado como la charnela del pliegue antiforme (sinclinal de 1^a fase) aparece troceada según diversas fallas inversas de pequeño salto, paralela a la falla original de primera fase. Dichas fracturas presentan una esquistosidad milonítica acorde con movimientos de vergencia al NW (fig. 2e). Simultáneamente el Flysch del Almarchal aflorante en el mismo puerto de Bolonia adquirió su posición invertida a la par de la serie de base y las areniscas del Aljibe de la Loma de San Bartolomé experimentaron un desplazamiento en el mismo sentido.

Dichas estructuras, correlativas de las descritas anteriormente en las inmediaciones del Estrecho, quedan sin embargo a mayor distancia del mismo. Entre ambos sectores (ver esquema tectónico) puede trazarse una fractura con dirección NW-SE, la cual delimita dos bloques correspondientes a ambos sectores. Aunque de momento no existe ninguna evidencia clara de la actuación de movimientos según esta falla, si que parece delimitar dos bloques o dos sectores con diferente comportamiento tectónico en relación a esta fase. En el bloque suroccidental correspondiente a la Loma de San Bartolomé y Sierra de la Plata, la deformación se habría desarrollado hasta una distancia mayor en relación al Estrecho.

En el bloque nororiental la deformación asociada a esta fase no se manifiesta más allá de la estructura Bujo-Cabrito.

Génesis y significado de esta fase

En ella la dirección de acortamiento resulta ser paralela a la dirección de la cadena en este sector, lo cual plantea ciertos problemas de índole estructural. En cualquier caso, puede representar una etapa de acercamiento en dirección N-S y de colisión de las márgenes Ibérica y Africana en su lugar de encuentro con el bloque de Alborán. La porción española del arco de Gibraltar habría sido cabalgada por el borde africano. De esta manera, los cabalgamientos y vergencias correspondientes a esta fase serían sintéticos en relación con dicho movimiento. Paralelamente, hay que señalar que el nivel de erosión ha profundizado en mayor grado en el lado marroquí, donde las areniscas del Aljibe han sido en gran parte desmanteladas, de forma que la porción española del arco ha debido presentar una mayor tendencia al hundimiento.

Por otro lado el bloque de las zonas internas de Ceuta (Gomárides y Sébtides) aparece limitado al NW por el triángulo del Marsa-Benzú (Didon y Durand Delga, 1.982), el cual parece estructurado en bandas de desgarre con dirección NNE pero con sentido de movimiento relativo todavía no esclarecido, según los citado autores. Dentro de este triángulo, los bloques jurásicos del Jebel Mohusa y del Jebel Fahamin, presentan una dirección aproximadamente paralela al límite de las zonas internas (accidente del Jebel Fahamin) y a las estructuras resultantes de la tercera fase ya descritas existentes en el lado español del Estrecho y en el apartado anterior.

Pese al desconocimiento de la estructura detallada del lado marroquí podría aventurarse, al menos como hipótesis para futuras investigaciones, que dicha fase es efectivamente el resultado de una convergencia entre los bloques marroquí y español, que su actuación queda geográficamente limitada a las inmediaciones del estrecho de Gibraltar y que durante ella algunos accidentes con dirección ENE a NE, los cuales anteriormente actuaron como desgarres derechos, funcionaron en esta ocasión como superficies de cabalgamiento con vergencia al norte, generando pliegues y cabalgamientos con la misma vergencia y con desplazamiento no muy importante.

FASE DISTENSIVA

Por último tuvo lugar una etapa distensiva durante el Mioceno Superior (Tortoniense-Messiniense) durante la cual se configuraron las diferentes cuencas subsidentes presentes en diversos lugares de la Cordillera Bética y del Rif. La apertura del estrecho se produjo durante el Messiniense (MULDER y PARRY, 1.976) mediante una nueva reactivación de algunas de las fracturas con dirección ENE. En la margen española del Estrecho han debido de actuar como fallas normales, en forma de graderío a partir y hacia el Sur del contacto entre la unidad tectónica de Algeciras y el conjunto Bujo-Cabrito produciendo una flexión y basculamiento hacia el SSE en algunos sectores del primero. De esta manera los planos axiales de los pliegues generados durante la fase anterior (fig. 4a y b) y que originalmente deberían presentar un buzamiento de unos 60 a 70º al Sur (vergencia al Norte) aparecen ahora con suaves buzamientos de 10 a 20º al Norte. Por tanto el giro producido en algunos casos ha sido de unos 90º.

El Estrecho de Gibraltar corresponde a un "graben", que interrumpe el arco con el mismo nombre, con una dirección perpendicular a él. Dicho depositivo resulta similar al conjunto de "grabens" que compartimentan el arco de Calabria-Sicilia (Ghisetti y VEZZANI, 1.981) aunque la génesis y significado geotectónico de los mismos pueda ser diferentes en ambos casos.

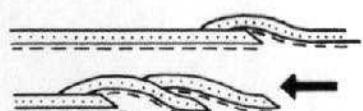


Fig. 1

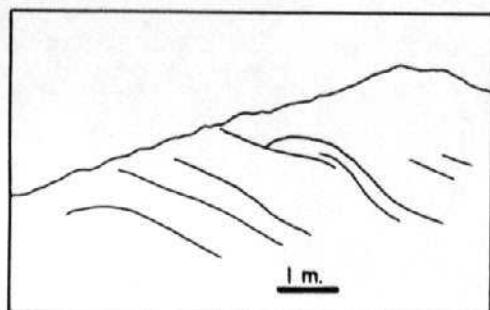


Fig. 3

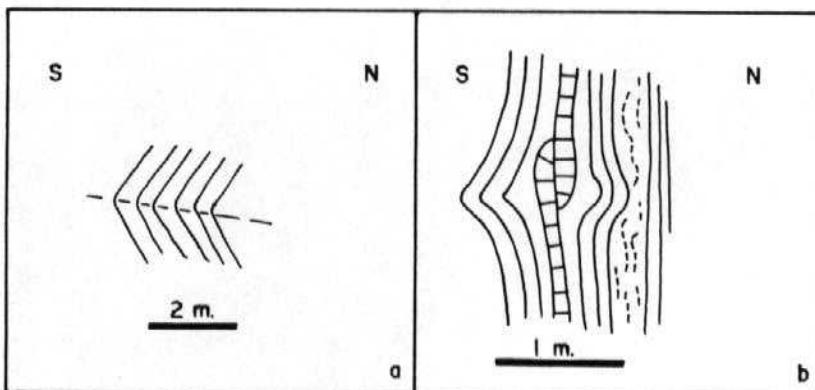


Fig. 4

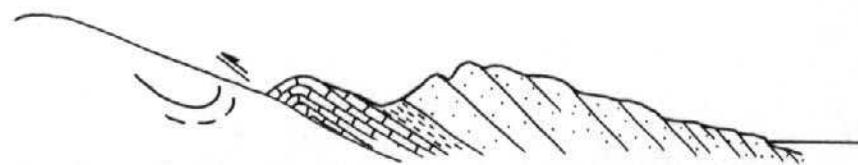


Fig. 5

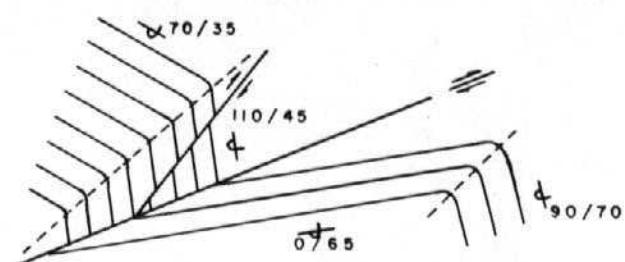


Fig. 6

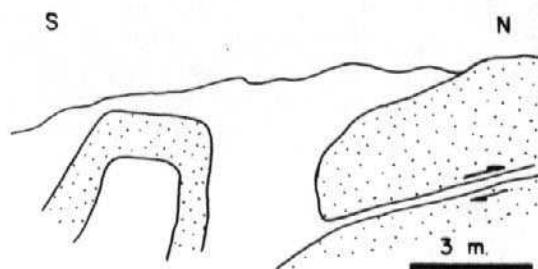


Fig. 7

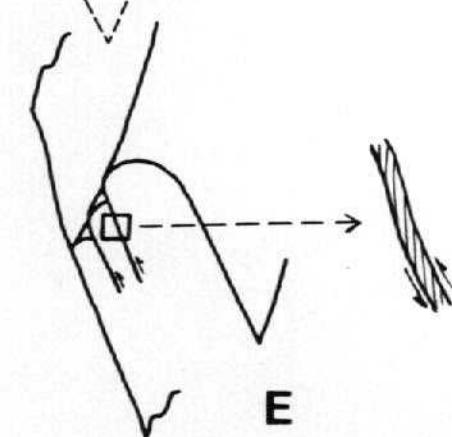
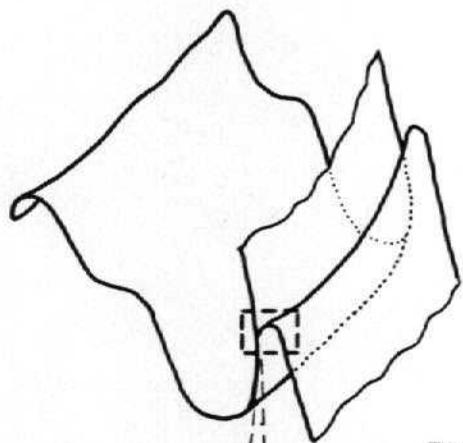
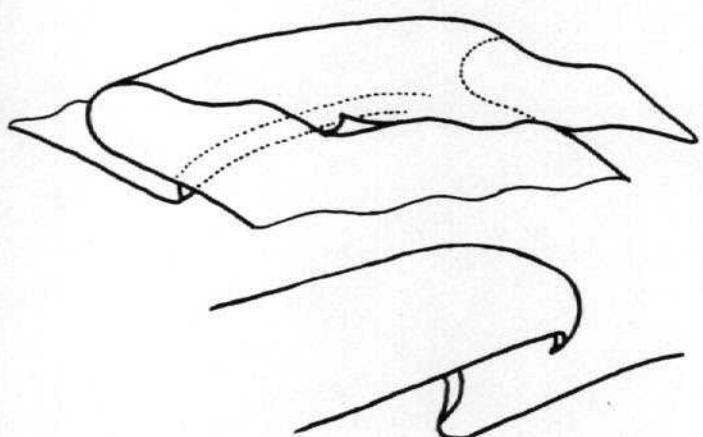
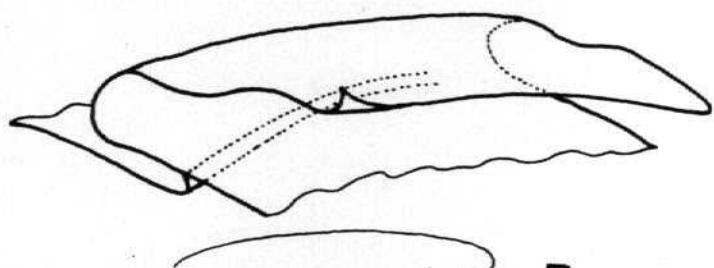
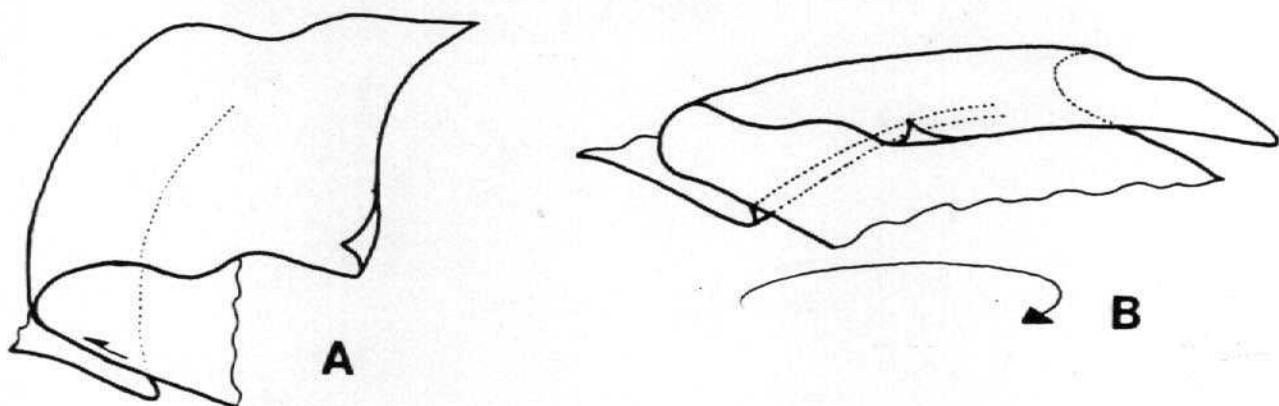


Figura 2

PIES DE FIGURA

Fig. 1. Mecanismo de "piggy-back" para la formación de las imbricaciones durante la primera fase.

Fig. 2. Etapas sucesivas correspondientes a las tres fases principales de deformación. Evolución estructural de la Sierra de la Plata y de las imbricaciones de las series de base del Aljibe relacionadas con ella.

- a) Génesis del pliegue-falla de la Sierra de la Plata, con charnelas curvas, durante la primera fase de imbricación y en el seno de alguna escama situada hacia oriente en relación a su posición actual.
- b) Deslizamiento gravitatorio del bloque ya estructurado por desmembración de la escama original. Giro dextro como consecuencia de la actuación del accidente. Sierra de la Plata-Estepona.
- c) Fase de retrocabalgamientos con formación de imbricaciones y charnelas curvas, reorientadas, en la serie de base. El dibujo no representa los tamaños relativos.
- d y c) Verticalización o inversión del conjunto durante la tercera fase tangencial. Reactivación de la superficie fractura original y aparición de micro fallas inversas, con esquistosidad milonítica, sobre la estructura antiforme del cabo de Gracia. Dicha charnela se verticaliza progresivamente entre dicho lugar y la cumbre de la Sierra de la Plata, ya que el ángulo de inversión varía de 24º a 50º al W, lo cual tiene su explicación en la forma curva de la misma. La otra estructura antiformal situada al NW corresponde a la charnela anticlinal del cabo de la Plata.

Fig.3. Imbricación a pequeña escala en los niveles competentes de la serie de base del Aljibe, al pie de la Sierra de Ojen y en las inmediaciones del

Cortijo de los Grajales.

- Fig.4. a) Pliegue en acordeón en el flysch calcáreo del flysch de Algeciras. 2 Km al E de Tarifa.
- b) Estructura de despegue, plegamiento en niveles incompetentes e imbricación en un nivel competente. Tramos basales del flysch de Algeciras. Tres Km al Este de Tarifa. Explicación en el texto.
- Fig.5. Relaciones tectónicas entre el flysch de Algeciras y el conjunto Bujo-Cabrito. Arroyo de los Alejos. Explicación en el texto.
- Fig.6. Pliegues en acordeón en el seno de las series rítmicas del conjunto Bujo-Cabrito, invertidas anteriormente durante la fase de retrocabalgamiento.
- Fig.7. Contacto entre un nivel competente y otro incompetente en el seno de las capas del Bujo-Cabrito. Vergencias, por arrastre, al NE resultantes de la etapa de retrocabalgamientos.