

LA ESTRUCTURA DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR Y LA POSIBILIDAD DE LAS OBRAS DEL CRUCE DEL MISMO

Conferencia pronunciada en el salón de actos del Instituto de Estudios Africanos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas el día 28 de febrero de 1958, por FERNANDO REIG, Ingeniero de Caminos.

Excelentísimos señores; señoras y señores:

La posibilidad de enlazar los continentes de Europa y Africa a través del Estrecho de Gibraltar mediante obras públicas que permitan el paso de carreteras, autopistas o ferrocarriles, es uno de los problemas que más han interesado a los investigadores e ingenieros españoles en el siglo actual, y que repetidamente ha despertado el interés de la opinión pública, el cual tiene que ser resuelto fundamentalmente mediante investigaciones geológicas, a las que se pretende con el presente trabajo aportar algunos interesantes puntos de vista.

Del conocimiento general son los importantes trabajos realizados desde el punto de vista de la Ingeniería en el estudio de un túnel que cruzase el Estrecho por debajo del mismo y de un puente que enlazase las dos orillas por encima del mar y los ilustres técnicos e ingenieros que los realizaron, y por otra parte, los concienzudos trabajos de investigación geológica realizados por no menos ilustres geólogos o ingenieros, entre los que destacan los señores Marín, Gavala y Dupuy de Lôme con interesantísimas publicaciones en el Instituto Geológico, debiendo añadir los trabajos de investigación geofísica del Sr. García Sifneriz y los de un gran número de colaboradores de todos ellos.

Desde el punto de vista científico, el problema del Estrecho de Gibraltar está íntimamente ligado con el de la estructura de la cordillera Bética y con el de su prolongación en el lado meridional, o sea la cordillera del Rif, las cuales han sido estudiadas por eminentes geólogos nacionales y extranjeros, resaltando entre los primeros los ya citados señores Marín, Gavala y Dupuy de Lôme, más Pastora Chorot, Lizaaur, Solé, Meléndez, Fontboté y muchísimos más que harían interminable esta lista, y entre los extranjeros, ante todo, los nombres de Paul Fallot, ilustre investigador francés que tantos trabajos ha realizado y tantos amigos tiene en España, y Moritz Blumenthal, eminente geólogo suizo que tan excelentes estudios, asimismo, ha publicado, a los que hay que unir un gran número de geólogos holandeses, alemanes y franceses.

Entre las Memorias publicadas que más interesan de modo directo al problema del Estrecho de Gibralt-

tar, están la preciosa obra sobre la Cordillera del Rif de los Sres. Marín, Blumenthal y Fallot; el *Essai sur la Geologie du Rif septentrional*, de Fallot; el estudio geológico del Estrecho de Gibraltar, de los Sres. Gavala y Dupuy de Lôme; el trabajo sobre la geología de la provincia de Cádiz, no editado aún, por el señor Gavala; el estudio de la península norte marroquí, por los Sres. Dupuy de Lôme y Milans del Bosch; la serie de Memorias y trabajos sobre el Estrecho y las cordilleras Bética y del Rif, del Sr. Blumenthal; el gran número de trabajos sobre la cordillera Bética, del Sr. Fallot, entre ellos el estudio geológico de la zona Subbética entre Alicante y el río Guadiana menor, y la Memoria repartida en varios folletos sobre las características y extensión de los terrenos secundarios en la cordillera Bética.

Además de los trabajos anteriores que utilizamos en nuestra exposición, hemos empleado la obra *The Earth as a Planet*, por varios investigadores americanos, bajo la dirección del astrónomo Kuiper; *La Genèse des Continents et des Océans*, de Alfred Wegener; la interesante obra *Our Wandering Continents*, por el geólogo sudafricano Du Toit; el trabajo *The Orocline Concept in Geotectonics*, por Warren Carey, traducido por José María Ríos; las publicaciones del Congreso Geológico Internacional de Argel, artículos de diversas revistas científicas, y nuestro trabajo *La estructura de la Península Ibérica y sus relaciones con Europa, América y Africa*, presentado al XVIII Congreso Geológico Internacional de Londres.

Antes de estudiar la estructura del Estrecho de Gibraltar, es de fundamental importancia el conocer la disposición de la corteza terrestre, por lo que, en primer lugar, vamos a exponer de un modo rápido lo que se conoce al presente sobre la estructura de la Tierra.

Los enormes progresos de la astrofísica, sismología, geología, física y química en los últimos decenios, han permitido obtener un conocimiento más completo y detallado del planeta en que vivimos, el cual, según la moderna teoría de von Weizäcker, que pone al día la antigua de Kant-Laplace sobre la formación del sistema solar a partir de una nebulosa, al igual que

los demás no salió del sol como llegó a creerse, sino que se formó por la condensación de materia de una nebulosa discoidal que engendró el sol, y al propio tiempo, mediante una serie de torbellinos, los planetas, que inicialmente nacieron fríos y no de materia solar incandescente, como proponían otras teorías, disponiéndose los materiales por orden de densidades en general, y produciéndose fusiones en el interior en las

4.500 millones de años, y los procesos geológicos y geofísicos han tenido que ir actuando a todo lo largo de dicho período para llegar a formar la estructura actual de nuestro planeta (véase figura 1.).

En líneas generales, la Tierra puede considerarse como un elipsoide ligeramente achatado en los polos, de 6.371 Km. de radio medio, estando formada desde el exterior hacia el interior por una corteza de silica-

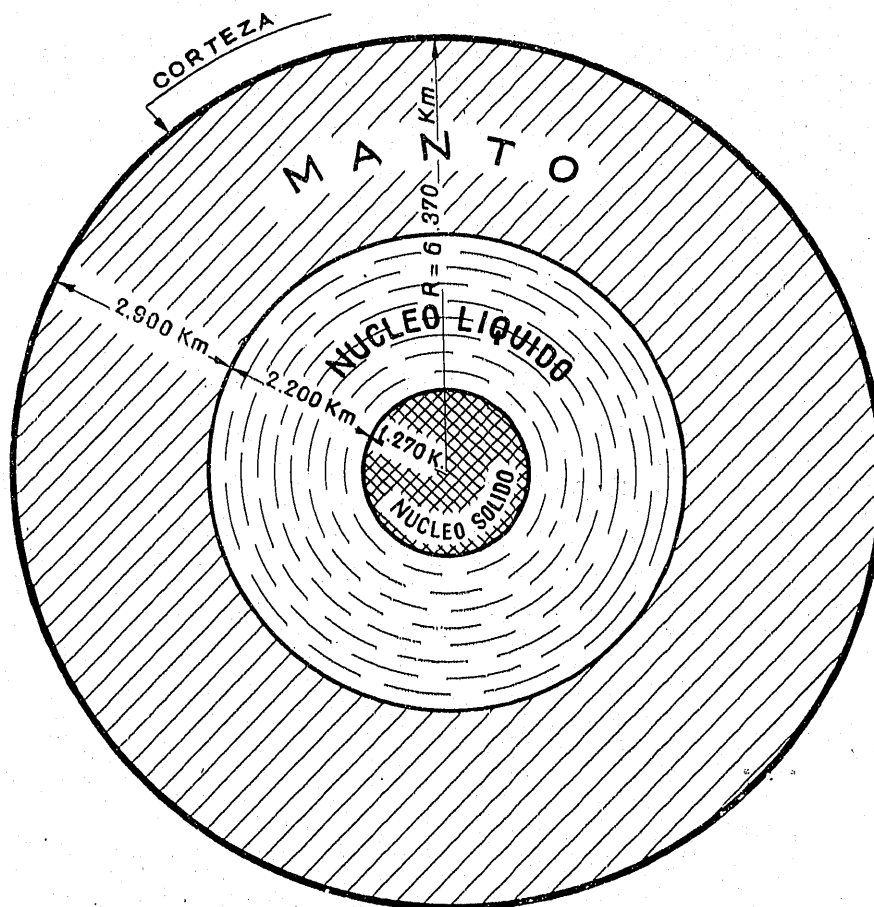


Fig. 1.ª — Estructura del planeta Tierra.

que, entre otras causas, intervinieron los elementos radiactivos existentes.

No vamos a tratar con más detalle este proceso, que nos llevaría muy lejos del tema a exponer, pero sí debemos decir que la misma teoría ha tenido éxitos considerables en la explicación de muchas características del sistema solar, entre ellos la justificación de la Ley empírica de Bode sobre las distancias de los planetas al sol, y si bien no todas las dificultades han sido superadas, representa un gran avance en la astronomía.

La Tierra, tal como existe al presente, resulta de un proceso muy largo, pues según los últimos datos de las investigaciones con minerales radiactivos, su nacimiento debió de tener lugar aproximadamente hace

tos ácidos que pasan en la parte inferior a otros básicos con 35 Km. de espesor medio, siguiendo desde dicha profundidad hasta los 2.900 Km. el denominado manto de constitución análoga a los silicatos ultrabásicos, como las peridotitas o eclogitas, viniendo a continuación el núcleo metálico que se cree es similar en constitución a los meteoritos metálicos, predominando en especial el hierro y el níquel, el cual está fundido y en estado líquido desde los 2.900 a los 5.100 kilómetros, teniendo un núcleo interior sólido desde dicha última profundidad hasta el centro, en el cual deben existir metales pesados.

Es al núcleo metálico líquido al que debe la Tierra su campo magnético, pues se cree que el metal fundido está ionizado, teniendo corrientes que son las que

por un proceso todavía no bien comprendido dan lugar al mencionado campo.

La estructura interior de la Tierra se ha investigado mediante la sismología, bien utilizando los sismos naturales, bien produciendo sismos artificiales mediante explosivos, determinándose la existencia del núcleo líquido, por la propiedad que tienen los cuerpos en este estado de no transmitir las vibraciones transversales y sí sólo las longitudinales, mientras que los sólidos transmiten ambas.

La velocidad de las vibraciones longitudinales en las rocas ácidas de la corteza es de 6 Km./seg., la

de la Tierra, depende de muchas circunstancias, entre ellas la historia térmica anterior del planeta, la concentración de materiales radiactivos, que se cree es mayor en la corteza que en el manto, y en éste que en el núcleo, y de la conductibilidad calorífica, menor en las rocas ácidas que en las básicas, lo que se traduce en una mayor temperatura en la base de los continentes formados por las primeras, que en la base de los océanos formados por las segundas, habiéndose investigado diversos modelos y obtenido soluciones de repartición de temperatura con la profundidad bastante concordantes, aunque algunas discrepancias con-

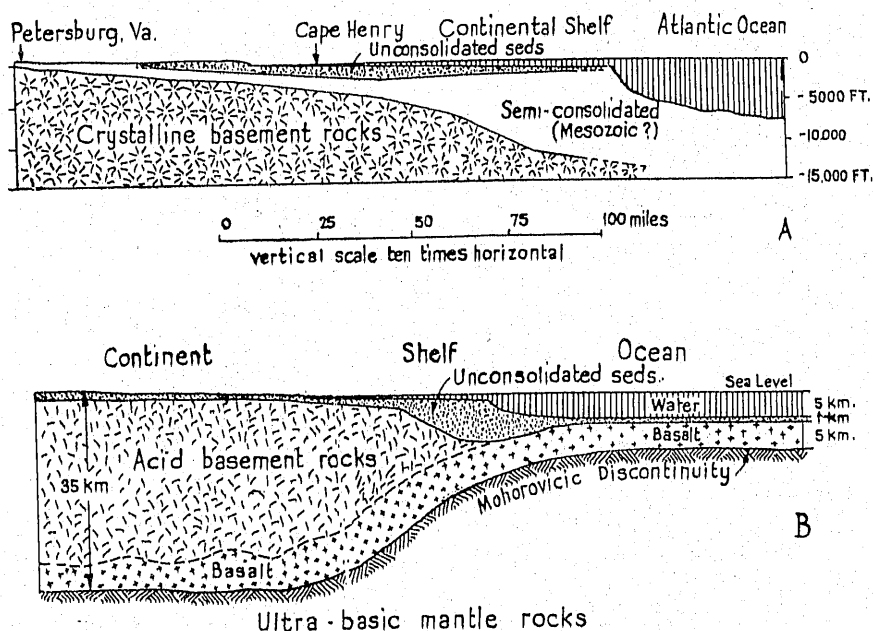


Fig. 2.ª — Estructura de la corteza terrestre.

de las básicas de la parte inferior de aquélla, de 6,5 kilómetros/seg., pasando bruscamente de ésta a 8,2 kilómetros/seg. en la denominada superficie de discontinuidad de Mohorovicic, que marca el límite entre la corteza y el manto, creciendo la velocidad en éste desde el valor dicho en la parte superior, hasta 13,6 kilómetros/seg. en el límite del núcleo, donde baja a 8,2 Km./seg. por debajo del contacto, creciendo a través de la parte líquida hasta 10,4 Km./seg. junto al núcleo interior sólido, saltando de nuevo en éste bruscamente a 11,25 Km./seg., valor que se mantiene constante hasta el centro.

La densidad de la corteza ácida es de 2,7; la de la básica, de 3,0, pasando a 3,4 al principio del manto, en el que va creciendo con la profundidad hasta 5,68 en la parte inferior, en donde salta a 9,4 en el núcleo líquido, en el que llega hasta 11,5 junto al contacto con el núcleo interior sólido, saltando de nuevo en éste hasta un valor de 17.

En lo que respecta a la temperatura del interior

tinúan existiendo; sin embargo, en casi todos los casos se encuentra que la temperatura en el límite entre el manto y el núcleo debe ser del orden de los 2,500° C. (véase fig. 2.ª).

De las investigaciones sísmicas realizadas, se desprende que los continentes están formados por una capa superficial de muy pocos kilómetros, cuanto más de rocas sedimentarias o metamórficas, bajo las que vienen un espesor de unos 25 a 30 Km. de silicatos ácidos del tipo granito o diorita, teniendo en la base por encima de la discontinuidad de Mohorovicic unos 5 Km. de rocas básicas tipo basalto, y debajo de la discontinuidad, el manto con peridotitas, comprendiendo el conjunto cortical un espesor medio de 35 kilómetros, mientras que las cuencas oceánicas tienen una corteza de estructura totalmente distinta, pues por debajo de 4 a 5 Km. de agua existe, por término medio, un kilómetro de sedimentos más o menos consolidados, viniendo luego 5 Km. de basalto y a continuación la discontinuidad de Mohorovicic y la peri-

dotita del manto debajo de ella, así, pues, en los océanos, la parte sólida de la corteza tiene sólo 6 Km., y la total, incluyendo el agua, 11 Km., estando, por tanto la superficie de discontinuidad aproximadamente 24 Km. más alta que bajo los continentes, lo cual es lógico con objeto de mantener el equilibrio isostático, pues en este caso la ausencia del bloque de rocas ácidas y la presencia de la capa de agua de escasa densidad se compensan con la presencia de rocas ultrabásicas pesadas del manto en cantidad importante por encima del nivel de compensación isostática.

La estructura citada de la corteza es la media de las determinadas por métodos geofísicos, y como ejemplos típicos de espesor en un bloque continental pueden citarse los determinados para América del Norte por el Lamont Geological Observatory de la Univer-

tensión de los fondos de tipo realmente oceánico, encontrando que dicho volumen era prácticamente el de la Luna, y dado que la densidad de nuestro satélite es aproximadamente la de la corteza, se investigó la posibilidad de que la Luna fuese efectivamente la corteza teóricamente en defecto, lo que fué realizado por el eminente matemático inglés Darwin, en el siglo pasado, obteniendo el resultado de que realmente era posible siempre que inicialmente la Tierra hubiese tenido una velocidad de rotación tal, que su período fuese inferior a cuatro horas, sucediendo que al disminuir dicha velocidad por el frenado de las mareas solares y aumentar el período a algo más de las cuatro horas, la marea de la corteza entraba en resonancia y se producía la salida del satélite en forma de cuerpo piriforme, dejando una cicatriz que originalmente de-

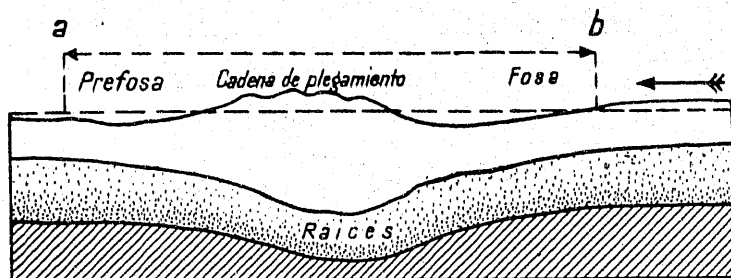


Fig. 3.^a — Raíces de la corteza bajo las cordilleras de montañas.

sidad de Columbia, de Nueva York, con 50 a 55 kilómetros en las montañas Rocosas, 40 a 45 Km. en la depresión interior de Nevada y 35 Km. en la parte llana oriental del continente y en el escudo canadiense, habiéndose efectuado asimismo por dicha institución observaciones submarinas muy precisas en el Atlántico y en el Caribe, para hallar la estructura de la corteza suboceánica (véase fig. 3.^a).

El mayor espesor de la corteza bajo las cadenas de montañas, es lógico, y viene impuesto por la necesidad de mantener el equilibrio isostático, del mismo modo que al no existir en los océanos la capa de rocas ácidas, las ultrabásicas del manto tienen que ascender para conservar el citado equilibrio; así, pues, en las cordilleras el relieve de las rocas ácidas es, en realidad, doble, hacia arriba y hacia el interior del manto, lo que se traduce en una menor densidad de la corteza en profundidad, y que se contrabalancea con una mayor altura de roca, que da lugar a las montañas y a sus raíces profundas en la medida necesaria para lograr el equilibrio en la superficie de compensación, y a una anomalía negativa de la gravedad, cuya importancia crece con la de la cordillera, mientras que en los océanos, por el caso contrario, las anomalías son positivas.

Se ha propuesto la teoría de que la Tierra tenía inicialmente una corteza continua de tipo continental, y como al presente esto no sucede, se cubió el volumen de la misma que falta, teniendo en cuenta la ex-

bió de ser el océano Pacífico, ampliado sobre el actual.

Los bloques continentales se creía por la geología clásica que eran fijos, explicando la similitud de faunas y sus fósiles en otras épocas geológicas en continentes distintos, por la presencia de puentes de tierras emergidas; mas estos crecimientos de corteza de tipo continental han resultado ser muy misteriosos, pues aunque se hubieran hundido bajo las aguas y estuvieran al presente en el fondo de los océanos, su presencia se hubiese acusado siempre por anomalías de la gravedad o por anomalías en la transmisión de ondas sísmicas respecto de los valores normales para la corteza de tipo oceánico, lo que no sucede.

La anterior observación y la circunstancia de ofrecer las costas atlánticas de África y de América del Sur un encaje perfecto (véase fig. 4.^a), fueron las que determinaron que el geólogo alemán Alfred Wegener lanzase su famosa teoría de las translaciones continentales, en su conocido libro sobre *La génesis de los continentes y de los océanos*, que fué traducido a casi todos los idiomas y que dió lugar a una viva controversia científica que ha durado hasta nuestros días.

La tesis de Wegener fué apoyada por una gran cantidad de hechos inexplicables a no ser por la traslación de bloques continentales de corteza y por una gran serie de datos que apoyaban a su teoría, pero no pudo justificar de modo convincente las causas del desplazamiento, lo que ha sido realizado más tarde

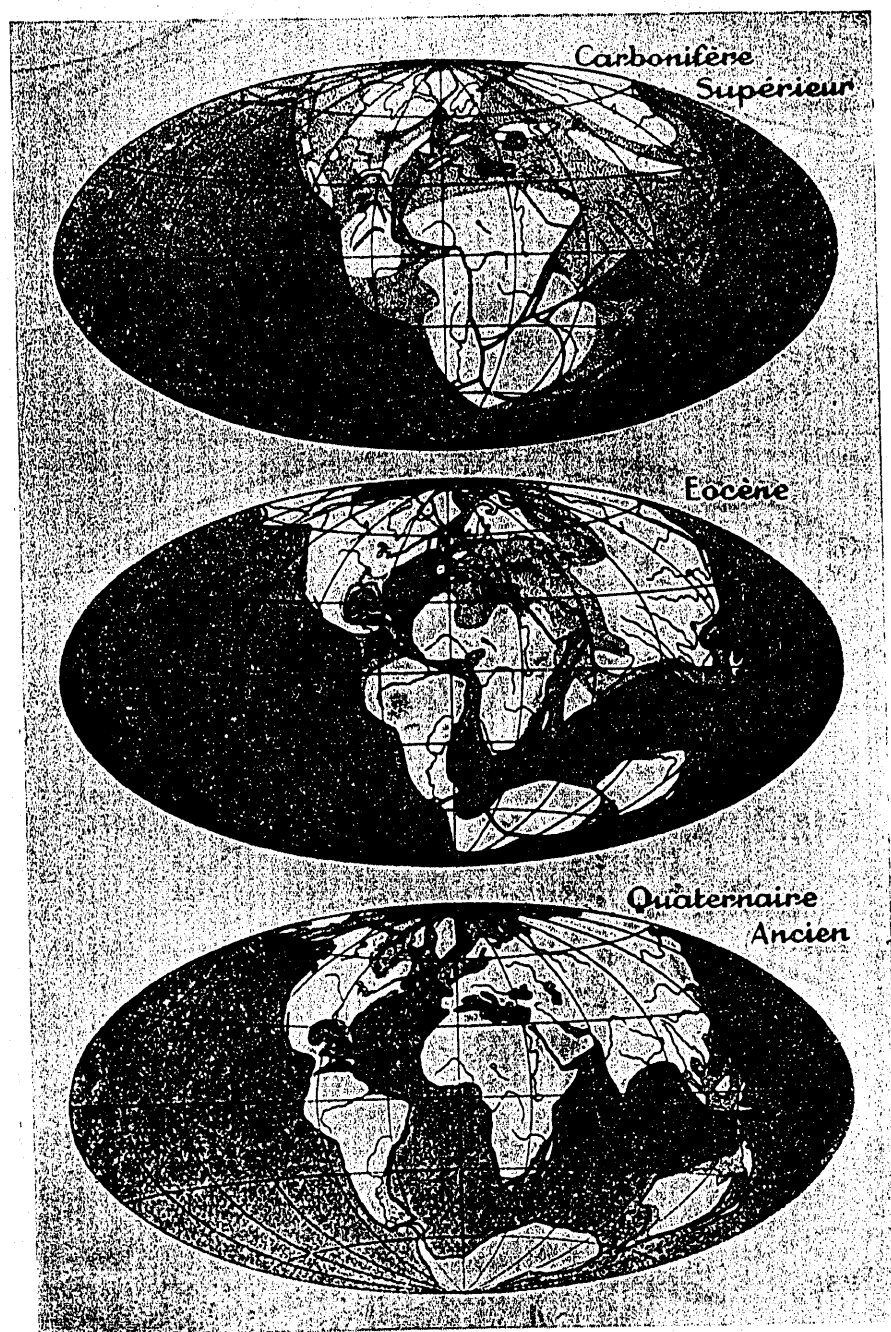


Fig. 4.^a — Desplazamientos continentales, según Wegener.

con la teoría de las corrientes del manto por debajo de la corteza, en donde la roca se comporta como sólida para esfuerzos y tensiones de corta duración, por

en el manto, y el transporte de calor hacia la superficie, engendrado bien por el hundimiento de elementos pesados del manto hacia el núcleo, bien por mate-

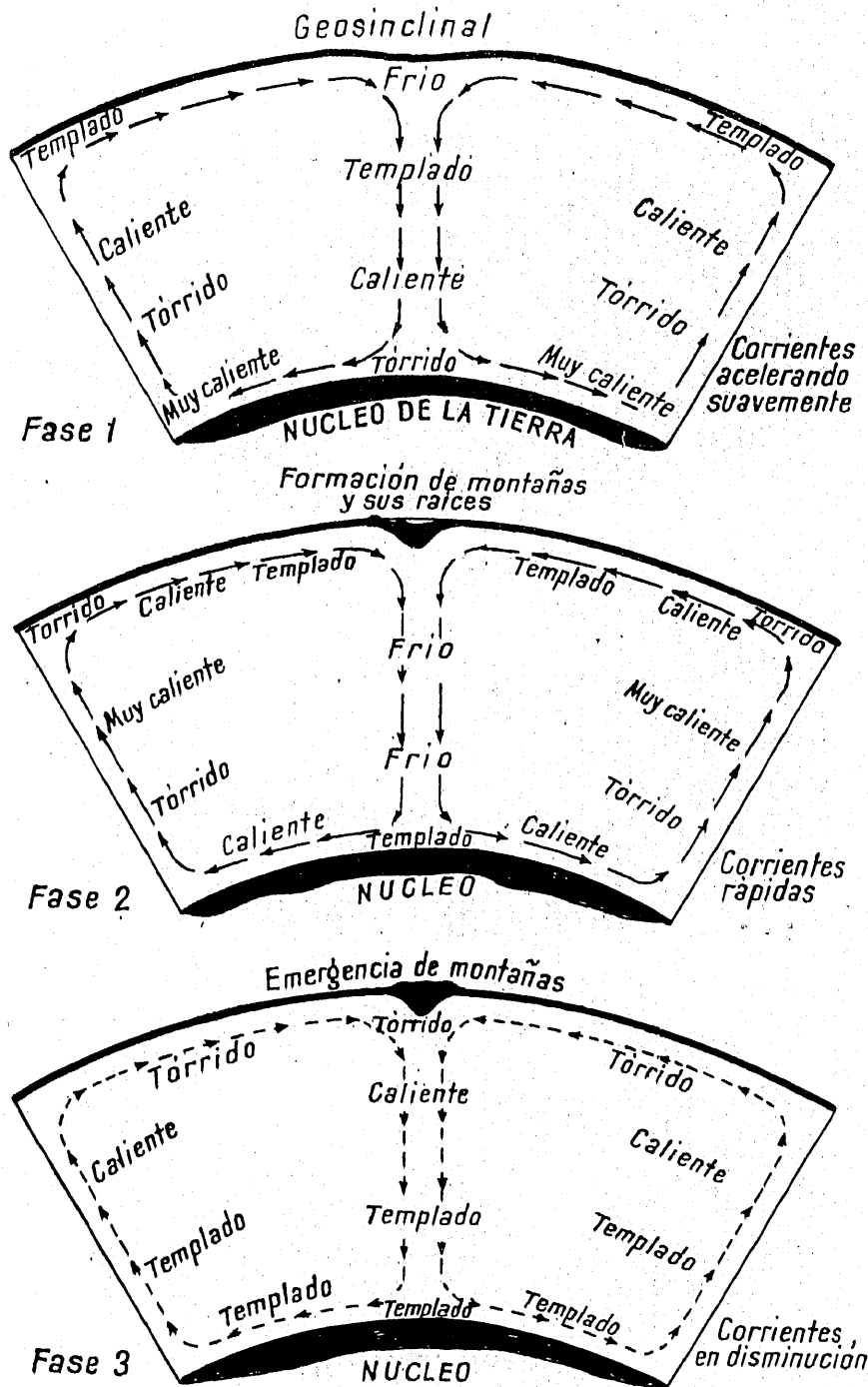


Fig. 5.^a—Proceso cíclico de formación de las corrientes subcorticales del manto.

lo menos hasta los 700 Km. de profundidad, que es en la que se producen los seísmos más profundos, y plástica para esfuerzos y tensiones de larga duración, interviniendo en el proceso de creación de las corrientes las diferencias de temperatura que se establecen

riales radiactivos existentes en el mismo, y actuando en la parte superior las diferencias de conductibilidad calorífica entre la corteza continental y la oceánica (véase fig. 5.^a).

Se ha intentado comprobar experimentalmente el

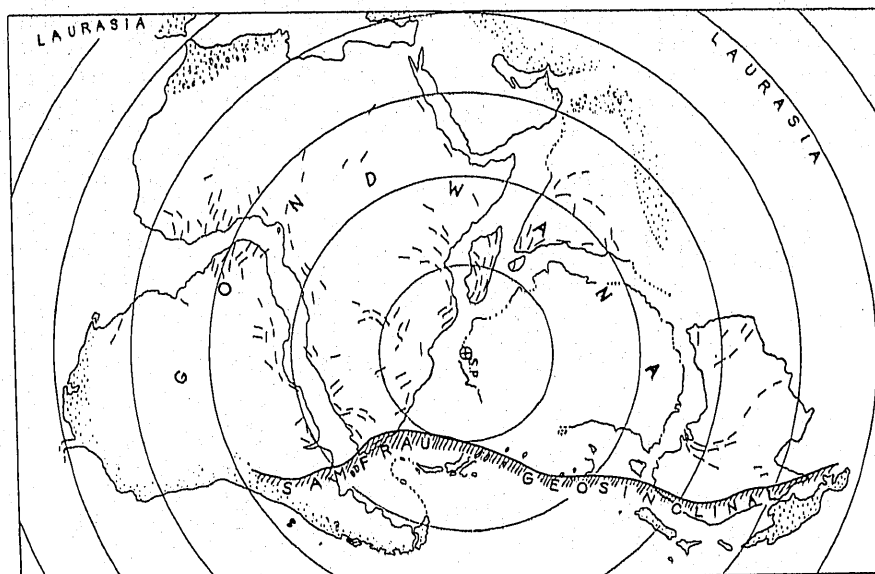


Fig. 6.^a — Continente de Gondwana, con el Polo Sur y el geosinclinal Samfrau en el carbonífero.

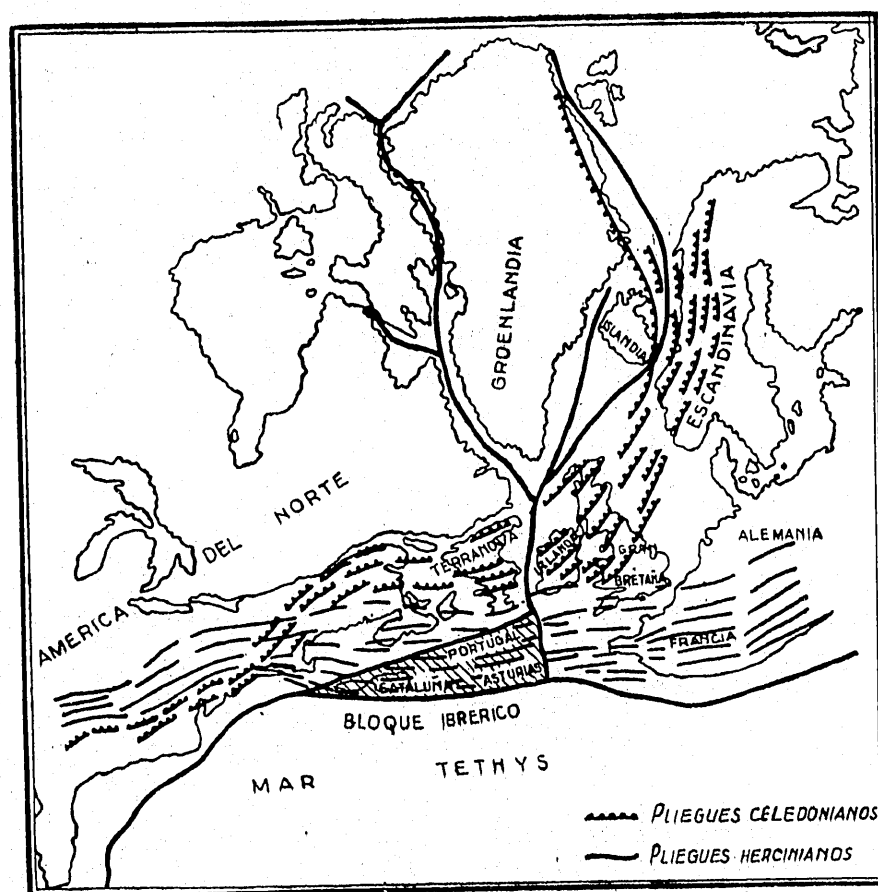


Fig. 7.^a — Continente de Laurasia en su parte centro occidental durante el carbonífero.

desplazamiento de América del Norte respecto de Europa mediante medidas de precisión de longitudes geográficas, pero hasta el momento presente no se han obtenido resultados definitivos por estar la cantidad a medir dentro del orden del error probable; no

tático; es decir, hace unos 100 millones de años, al estar separados actualmente de 6 a 7 000 Km., es evidente que el movimiento medio debe de ser de 6 a 7 centímetros por año, con lo que para conseguir un desplazamiento de dimensión apropiada para su me-

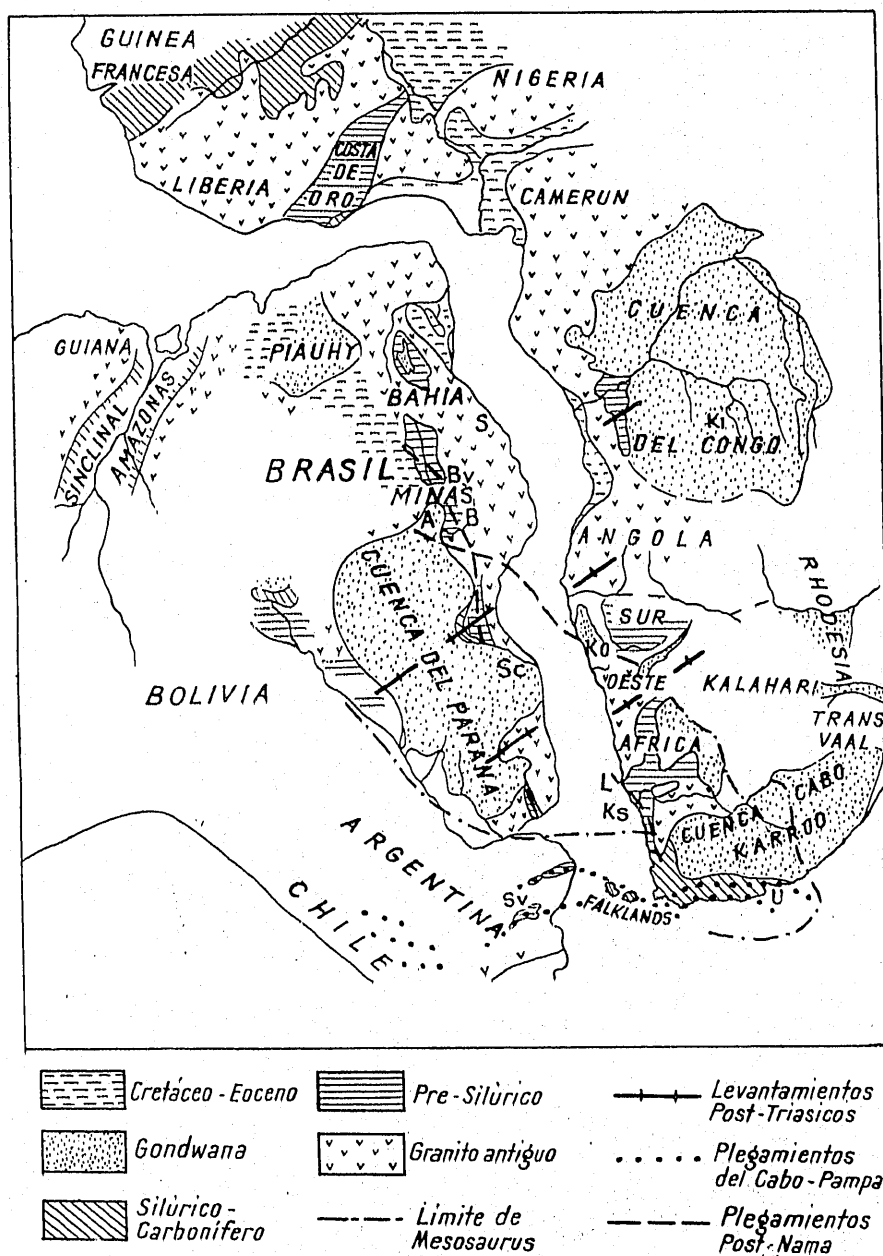


Fig. 8.^a — Enlace de Africa con América del Sur en la parte occidental de Gondwana.

obstante, a medida que transcurre el tiempo podrán conseguirse valores satisfactorios comparando las primeras medidas de precisión efectuadas en 1927 con las que periódicamente se realizan. A este propósito, como la separación de los dos continentes se inició en el cre-

cida, es preciso dejar transcurrir un tiempo conveniente.

Han sido muchísimos los partidarios de la teoría de Wegener y, tantos como ellos, los detractores; sin embargo, es curioso el resaltar que entre los primeros

se encuentran la mayor parte de los geólogos de América del Sur, África y Australia, precisamente por haber encontrado en esos países estructuras geológicas que resultan incomprensibles si no se acepta dicha teoría, entre las que vamos a mencionar como más importantes la presencia de formaciones glaciares del carbonífero en el Brasil meridional, Uruguay, Unión Sudafricana, India y Australia, que en su si-

mas épocas, formadas por terrenos análogos con la misma fauna fósil, y presentan multitud de detalles estructurales que resultan incomprensibles, a no ser que estuviesen unidos (véase fig. 7.ª).

El geólogo sudafricano Du Toit es el que con posterioridad a Wegener estudió el problema de las traslaciones continentales, reuniendo en la magnífica obra, anteriormente citada, una cantidad considerable de

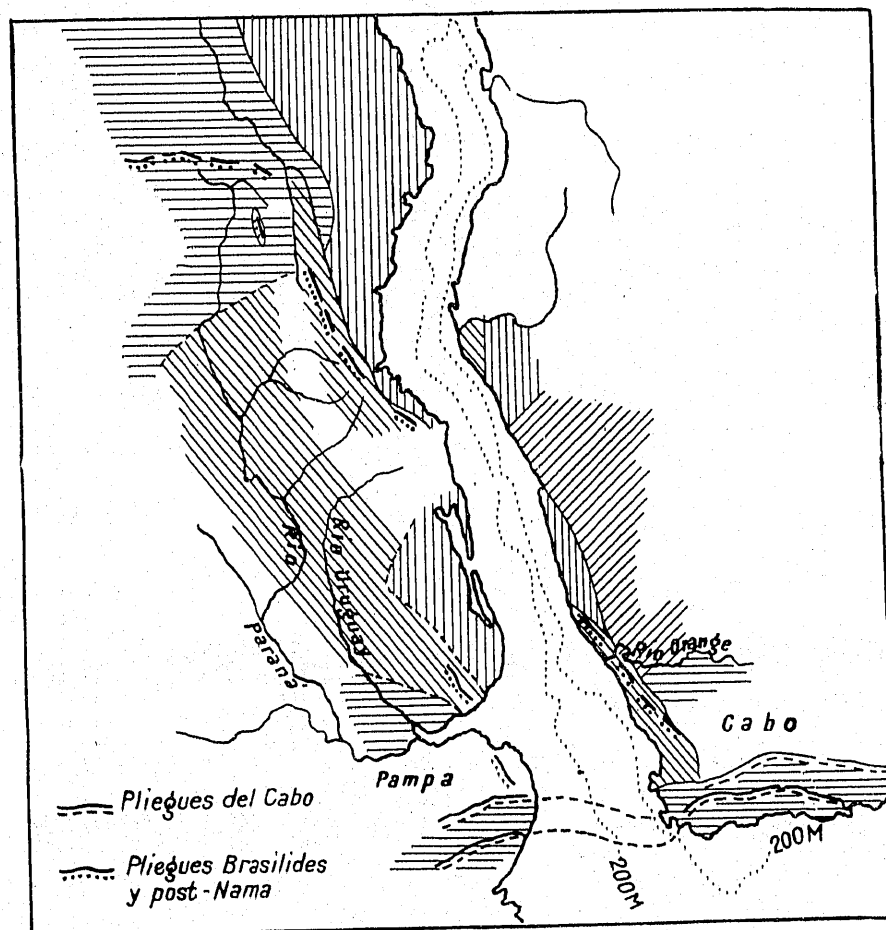


Fig. 9.ª — Relaciones estructurales de América del Sur y África meridional.

tuación actual ofrecen una distribución verdaderamente extraña y sin explicación posible como resultado de una glaciación y un casquete polar único, mas si se reúnen dichos bloques continentales en un bloque único, el denominado continente de Gondwana, y se sitúa el polo en las proximidades de la punta meridional de África, entonces todas las formaciones glaciares se agrupan de un modo armónico alrededor del polo de aquella época, y dibujan de un modo claro la extensión del casquete de hielo de dicha glaciación (véase figura 6.ª).

Análogamente, en el carbonífero, el continente Euroasiático estaba unido al Norteamericano, formando el denominado continente de Laurasia, existiendo cordilleras en ambos que fueron plegadas en las mis-

evidencia en su apoyo, investigando la geología de las dos orillas atlánticas de América del Sur y África, y demostrando que al enlazar estos continentes no sólo encajan sus líneas de costa, sino que también enlazan las formaciones geológicas a ambos lados, e incluso grandes fracturas y cadenas plegadas, como las del sur de la Pampa argentina y la del extremo meridional de África con orogénesis contemporáneas del límite entre el devónico y el carbonífero, que encajan de modo perfecto, fijando también otros elementos estructurales que pasan de unos a otros bloques continentales de Gondwana (véanse figuras 8.ª y 9.ª).

Los continentes de Gondwana y Laurasia estaban separados por el mar Tethys que se extendía desde

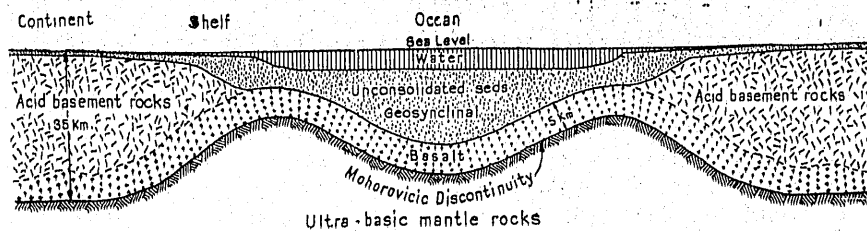


Fig. 10. — Estructura de un geosinclinal entre dos bloques continentales.

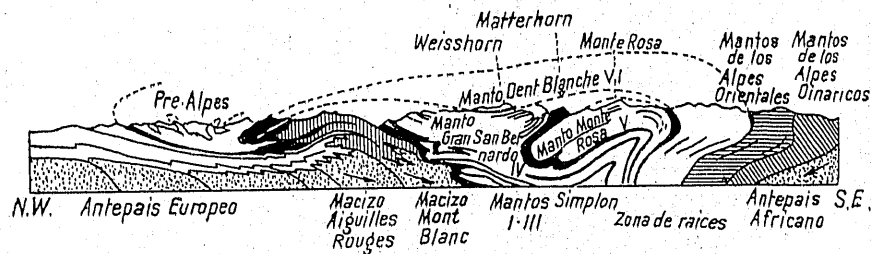


Fig. 11. — Geosinclinal complejo y cadenas marginales plegadas en los Alpes, según Staub.

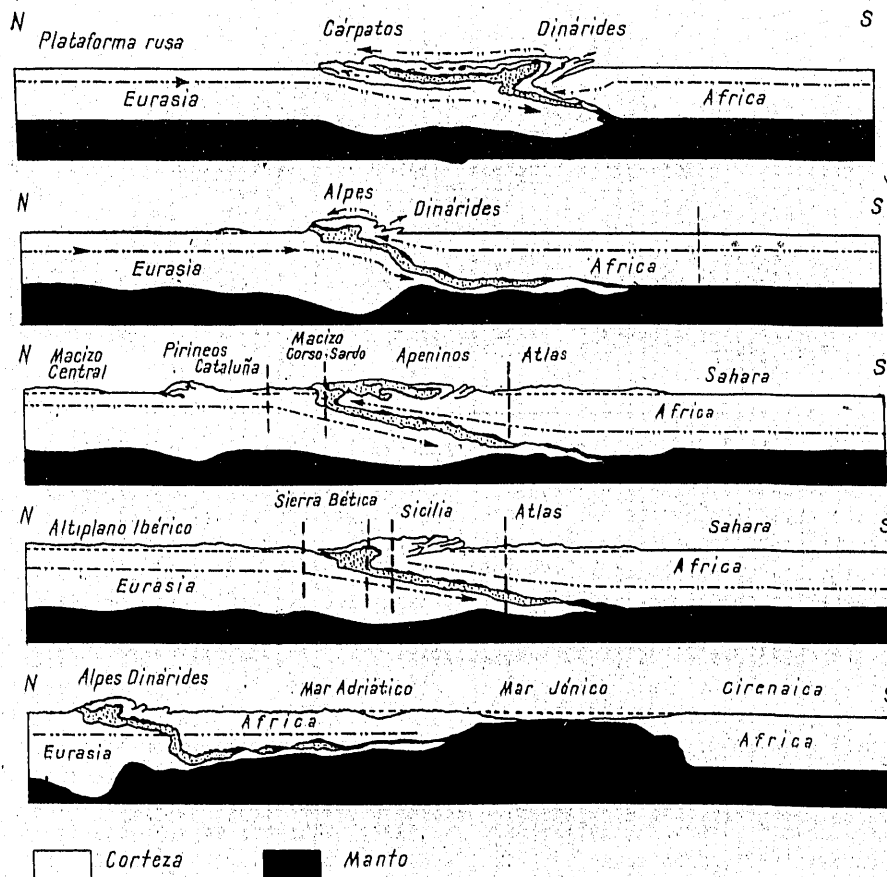


Fig. 12. — Plegamientos alpinos entre Eurasia y Gondwana y estructuras de distensión post-orogénicas.

la extremidad occidental del Caribe, por el actual Mediterráneo, hasta Malasia, dejando al Norte Laurasia, y al Sur Gondwana, en la que quedaba incluida Arabia

sinclinal (véase fig. 11), sino también los sedimentos depositados en las plataformas continentales de ambos lados y produciendo incluso cabalgamientos de un con-

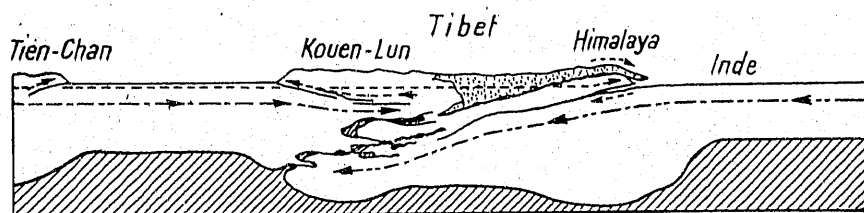


Fig. 13. — Estructura del Himalaya entre Eurasia y el bloque indio de Gondwana.

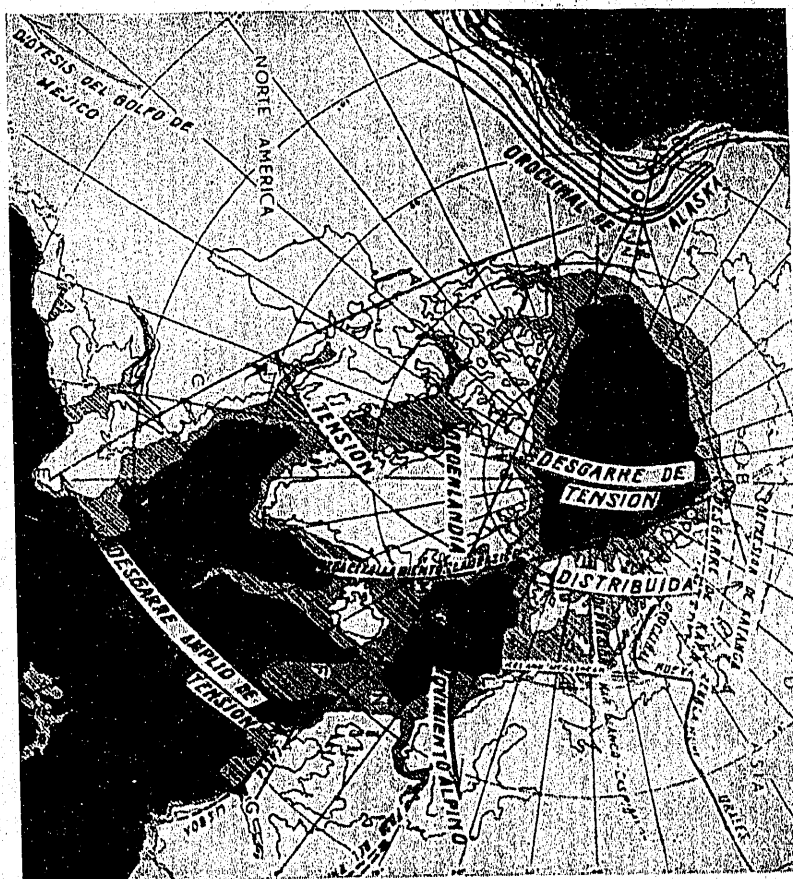


Fig. 14. — Proceso de distensión de Laurasia septentrional y formación del Océano Ártico.

y la India, además de los otros bloques continentales antes citados.

El geosinclinal del Tethys fué alimentado con aportaciones de los dos grandes bloques continentales (véase fig. 10), que iban avanzando uno hacia el otro, comprimiendo los sedimentos de aquél hasta que entraron en colisión, plegando no sólo el relleno del geo-

sinclinal sobre otro en algunos puntos, lo que fué magistralmente explicado por el profesor suizo Angand en su famosa obra *La Tectonique de l'Asie*, siendo en el caso particular de los Alpes, Gondwana la que cabalgó sobre Europa, mientras que en el Himalaya fué Gondwana, es decir, la India, la que fué cabalgada por Asia, teniendo enorme importancia los procesos

de distensión y separación, tanto durante la orogénesis como después de ella, como se verá a continuación (véanse figs. 12 y 13).

de Sudamérica, que tuvo lugar ya en el jurásico con gran intensidad en dicha zona, mientras que en Europa fué mucho más débil, continuando en América du-

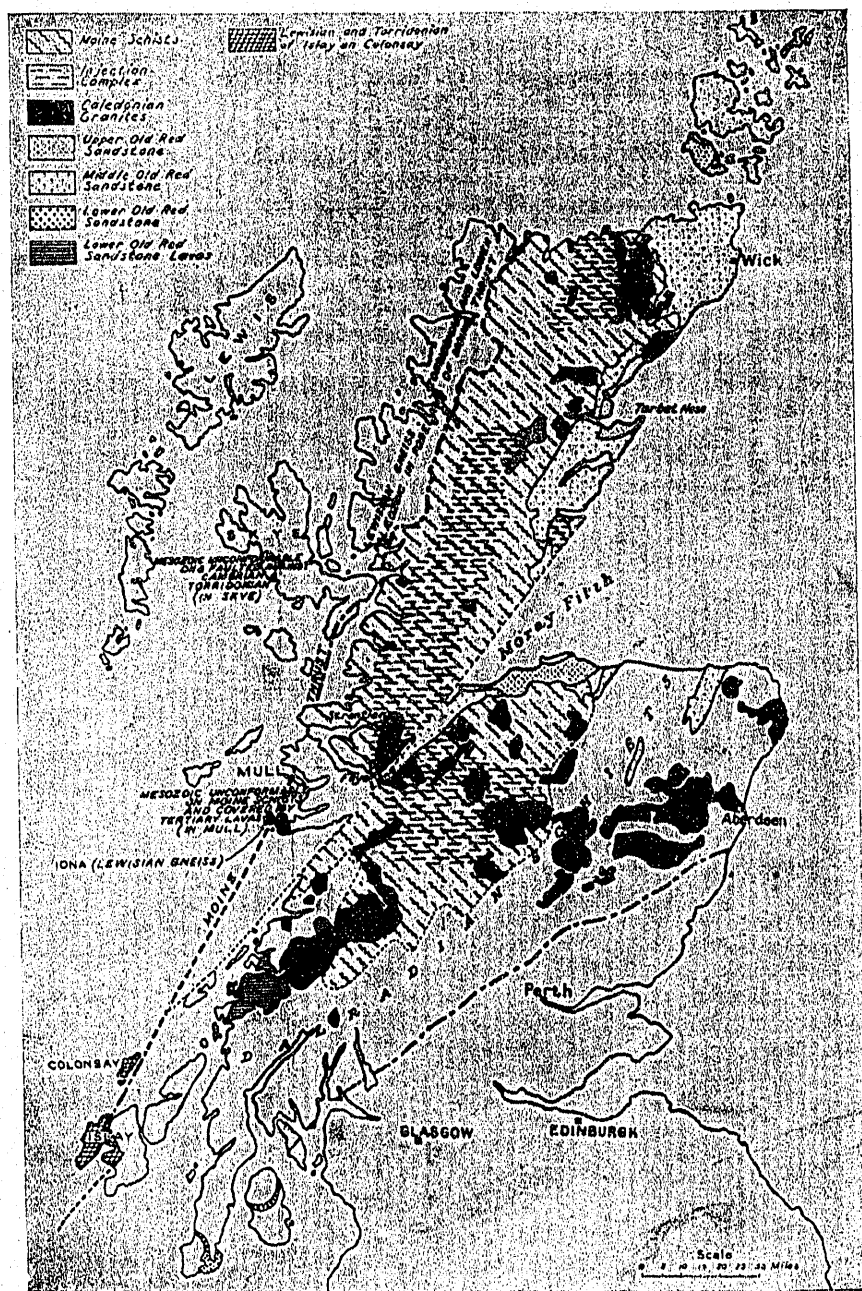


Fig. 15, A. — Falla del Great Glen, en Escocia, y desplazamientos corticales de la misma. Situación anterior al deslizamiento.

El encuentro entre los dos grandes continentes y el plegamiento de la cordillera alpina no fué simultáneo a lo largo del Tethys, sino que se inició en el extremo occidental con el plegamiento de las cordilleras del Caribe, en las Antillas y en el borde septentrional

rante el cretácico y pasando a Europa y Asia en el terciario inferior y medio, alcanzando en este último la máxima intensidad del plegamiento en los Alpes.

La apertura del océano Atlántico y separación de América de Europa y África se inició, según Du Toit,

ya a finales del jurásico, realizándose la separación de América del Sur y África, de norte a sur, como demuestran las formaciones cretácicas depositadas en ambas orillas, que comprenden toda la serie desde el neocomiense en el Norte, y que progresivamente, conforme se va hacia el sur, van empezando en niveles

océano Atlántico, tanto en Godwana como en Laurasia, probablemente se debió al choque excéntrico de ambos continentes al iniciarse la orogénesis en el Caribe, y el elemento motor de los bloques continentales, tanto al acercarse como al separarse deben haber sido las corrientes subcorticales del manto.

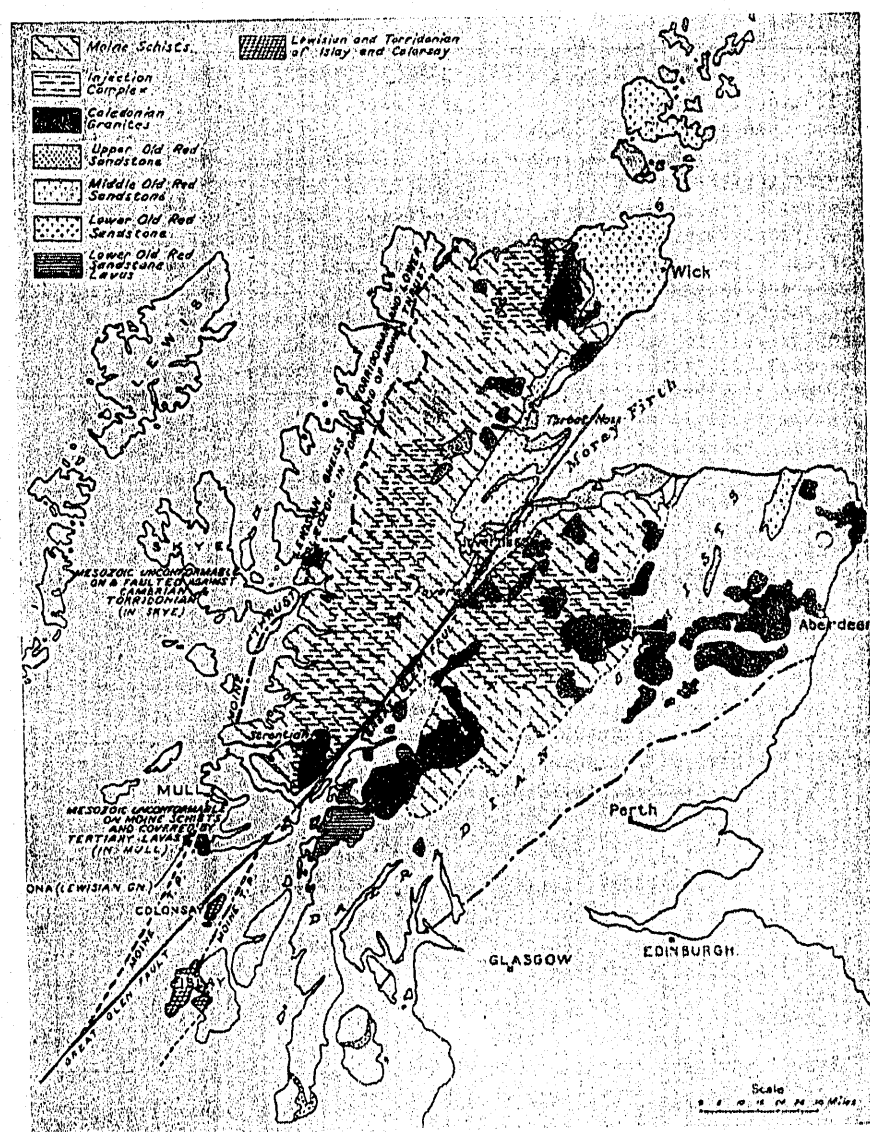


Fig. 15, B.—Falla del Great Glen, en Escocia, y desplazamientos corticales de la misma. Situación posterior al deslizamiento.

cada vez más altos, llegando en África del Sur al campaniense, que es cuando se rompió definitivamente la unión entre los dos bloques continentales enlazando las aguas del nuevo Atlántico con el Indico. La separación de Norteamérica y Europa fué algo posterior a la descrita, y ligada a la formación del océano Arctico, como se expone más adelante.

El sistema de fracturas que motivó la creación del

Como resultado de la orogénesis alpina y de los procesos de distensión durante y después de la misma, además de la formación del océano Atlántico y del Arctico, se creó, al retroceder el bloque africano de Godwana, el mar Mediterráneo y el Rojo, quedando fracturado aquel continente en otros varios y dejando pedazos suyos unidos al continente Eurasiático (véase fig. 12), como Italia, la cordillera Dinárica, Arabia

y la India, engendrándose en el interior de Africa un sistema de enormes fracturas, prolongación de la que dió origen al mar Rojo.

El proceso de formación del océano Artico por distensión (véase fig. 14), ha sido recientemente explicado por Warren Carey en la obra anteriormente citada, estando ligado con la apertura del Atlántico

del meridional de 105 Km., atestiguado por la posición de los batolitos graníticos de Foyers y Strontian; cuya estructura y composición mineralógica es la misma (véanse figs. 15, A y B).

El giro del continente americano ha sido de 28°, y ha producido en el frente de avance hacia el Pacífico la cordillera de las Rocosas, mas al propio tiempo ha

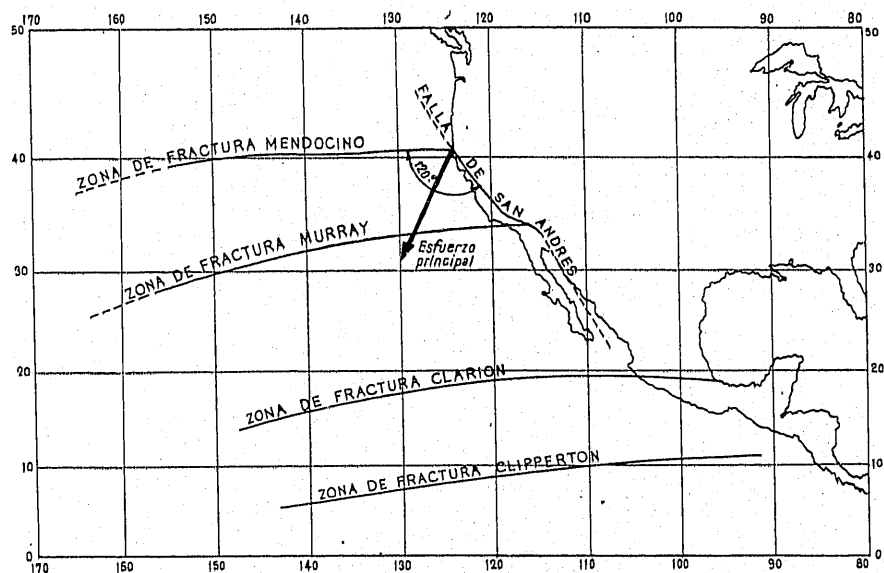


Fig. 16. — Fracturas y fallas de California y del Pacifico oriental.

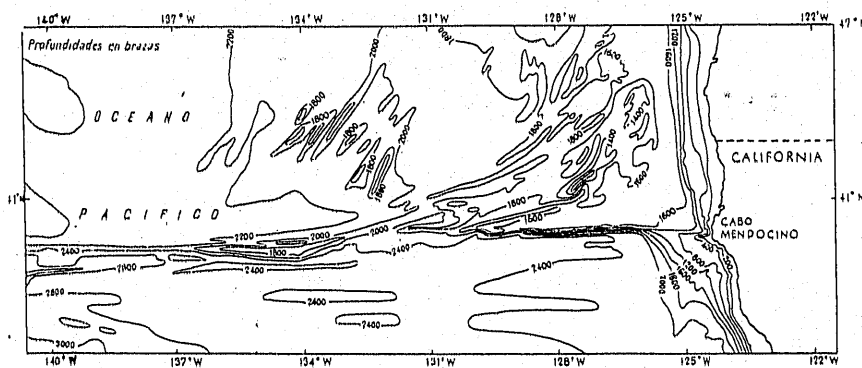


Fig. 17. — Fractura submarina del cabo Mendocino, en el Océano Pacifico.

Norte y el giro del continente norteamericano alrededor de un punto situado aproximadamente en el monte MacKinley, en Alaska, produciendo la tremenda flexión de la cordillera de las Rocosas en dicho país y una serie de fracturas y fallas de desplazamiento lateral entre Norteamérica y Groenlandia por una parte, y la porción occidental y septentrional del continente Eurasiático por otra, de las que es un ejemplo menor la falla del Great Glen, en Escocia, en donde, según el interesante trabajo de Kennedy, ha habido un desplazamiento del bloque septentrional respecto

dado lugar a una serie de fracturas, de las que la más famosa es la falla de San Andrés, de más de 3 000 kilómetros de longitud, entre el cabo Mendocino, en el norte de California, y la salida del golfo de la baja California, con desplazamiento transversal de varios centenares de kilómetros, moviéndose el bloque costero hacia el Norte, mas, además de esta gran falla y la secundaria que la acompaña, recientemente el Scripps Oceanographic Institute de California ha determinado la existencia en el fondo del Océano Pacífico de cuatro grandes fracturas de unos 5 000 kiló-

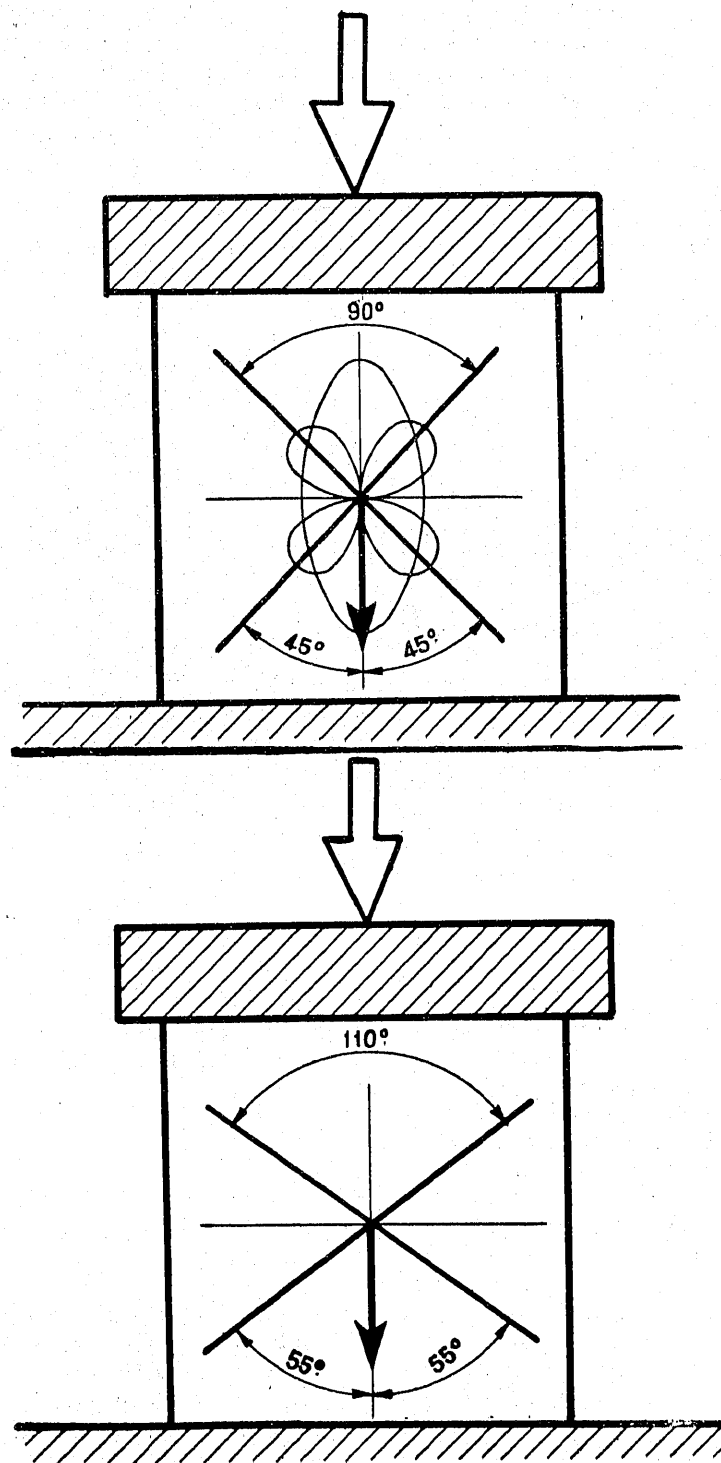


Fig. 18.—Repartición de tensiones y direcciones de esfuerzo cortante máximo en bloques, perfectamente elástico y parcialmente plástico.

metros de longitud cada una, sensiblemente en la rección de los paralelos, la más importante de las cuales es la que llega a la costa occidental de los Estados Unidos, justamente en el cabo Mendocino, en donde la falla de San Andrés desaparece en el mar, siendo muy probable que las dos fracturas sean conjugadas y debidas a un mismo esfuerzo principal (véanse figuras 16 y 17).

Ahora bien: según el Dr. Vening Meinesz, ilustre geofísico holandés, la corteza, a partir de poca profundidad relativa, se comporta como un material sólido con cierta plasticidad, lo que unido a las consideraciones que acabamos de exponer hacen esperar que un sistema conjugado de fallas, debido a esfuerzo cortante por la acción de una fuerza principal de compresión, deben formar con ésta un ángulo aproxima-

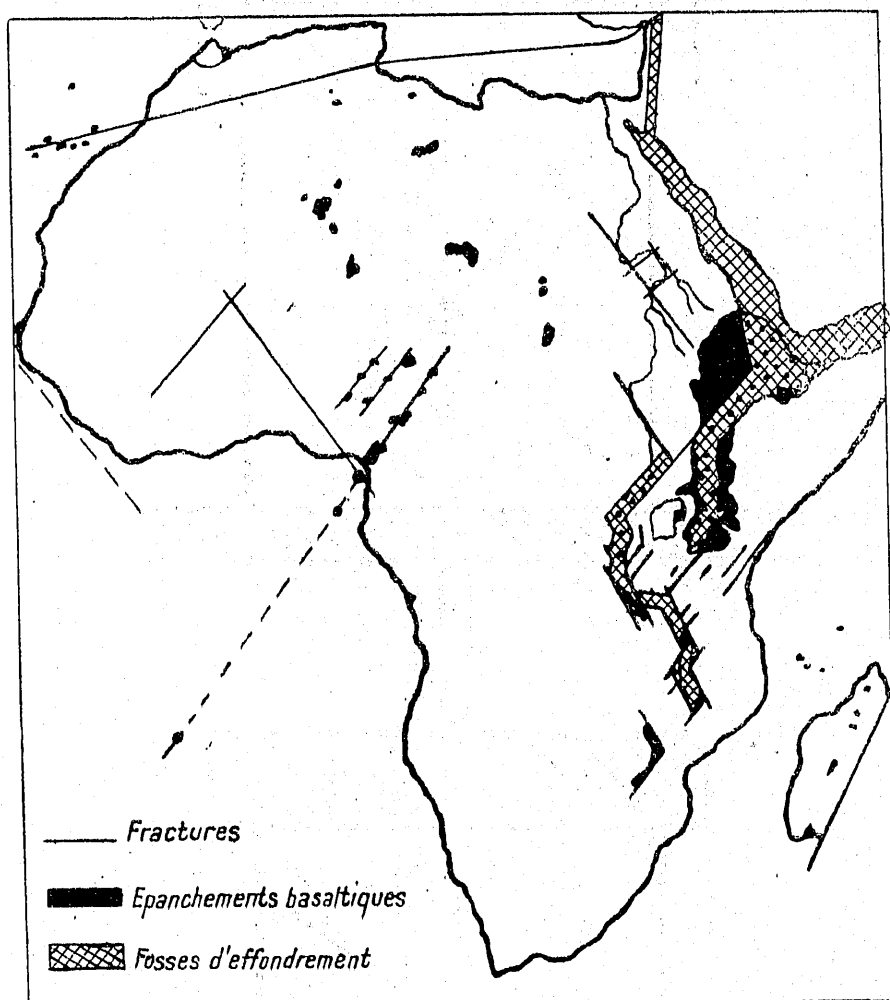


Fig. 19. — Fosas de distensión y grandes fracturas de Africa.

Cuando un sólido elástico se somete a un esfuerzo de compresión, según una cierta dirección, aparecen fracturas de esfuerzo cortante simétricas con la dirección citada, formando con ella un ángulo que teóricamente debe de ser de 45° , mas si en vez de ser perfectamente elástico el material tiene una cierta plasticidad, entonces el ángulo entre la tensión principal de compresión y las fracturas debidas a los esfuerzos cortantes principales aumenta, y puede llegar a ser de unos 55° , dependiendo del mayor o menor grado de plasticidad (véase fig. 18).

do de 55° y ser simétricas respecto de la dirección principal, con lo que el ángulo entre las fracturas será del orden de 110° con ligeras variaciones, según el grado de plasticidad de la corteza, y efectivamente esto es lo que sucede con la falla submarina del cabo Mendocino y con la falla de San Andrés (véase figura 16), que forman un ángulo de 120° ; luego el esfuerzo principal de compresión estará en la bisectriz de ambas y dirigido hacia el Pacífico, resultando curioso el comprobar que dicha dirección es aproximadamente normal al radio del giro supuesto del con-

tinente trazado desde su centro en Alaska, lo que confirma dicho desplazamiento.

Después de la orogénesis alpina en el tramo Euroasiático, el bloque africano de Godwana retrocedió, produciendo una distensión en su borde septentrional que dejó pedazos suyos unidos al continente primeramente citado, como los ya indicados anteriormente de Italia, Cordillera Dinárica, etc., mas en su parte oriental se produjo una fractura desde el Mar Muerto, en Palestina, hasta más abajo de los grandes lagos de Africa Oriental, con una ramificación por el Norte de Somalia que se abrió, formando el Mar

formación de la Cordillera Alpina y las ideas del geólogo y profesor holandés Brouwer sobre la formación de volcanes.

Según el citado Profesor, los volcanes sólo aparecen en fracturas de partes de la corteza sometidas a compresión, y en especial en los frentes de avance de un continente que se desplaza o en el interior, es decir, en la parte comprimida, de un bloque de corteza flectado, siendo ejemplo del primer tipo la línea de volcanes de la costa pacífica de América, y del segundo, los arcos insulares del Pacífico, como el Japón, Filipinas, Islas de la Sonda, o arcos mixtos, como

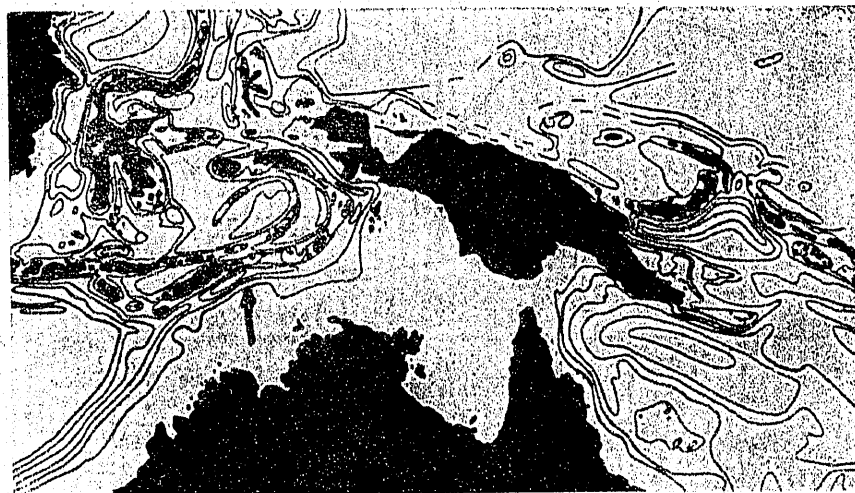


Fig. 20. — Contraflexión del arco oriental de la Sonda por Australia.

Rojo, cuyas orillas opuestas encajan perfectamente, y también en el Golfo de Aden, pero que se rellenó parcialmente al Sur de Etiopía por grandes coladas de rocas volcánicas, si bien quedan algunas cubetas ocupadas por los grandes lagos (véase fig. 19).

Como se aprecia perfectamente por la forma del Mar Rojo y Golfo de Aden, cerrado por arriba y abierto hacia el Sur, salvo en el tapón de lava del Estrecho de Bab-el-Mandeb, el movimiento de Africa, al separarse de Arabia, fué un giro en el sentido de las agujas del reloj, con un ligero desplazamiento hacia el Oeste superpuesto, punto éste de la mayor importancia para la estructura del Estrecho de Gibraltar, que vamos a exponer a continuación, a la vez que una idea general de la estructura de la Península Ibérica.

En el trabajo que presenté al Congreso Geológico Internacional de Londres de 1948, expuse el proceso de formación de la estructura de la Península Ibérica, teniendo en cuenta todas las características de la misma, que reconocemos al presente, buscando una explicación lógica para su creación, admitiendo como base el desplazamiento continental, las corrientes subcorticales del manto, la teoría de Argánd sobre la

Italia-Sicilia, observando que en el último caso, cuando la compresión interna del arco flectado cesa, desaparecen las erupciones volcánicas, como comprobó el Profesor Brouwer al observar cómo el borde Norte de Australia, al embestir la parte oriental del arco de la Sonda, eliminó la flexión que la extremidad occidental de Nueva Guinea había dado a dicho arco, haciendo desaparecer la actividad volcánica de la parte interna de Timor e islas adyacentes (véase fig. 20).

Nuestra explicación de la estructura de la Península Ibérica, utilizando las hipótesis antes citadas, fué guiada por los distintos asomos de rocas eruptivas existentes en la misma y su edad conocida o probable.

Inicialmente, la Península Ibérica, con forma muy distinta a como la conocemos al presente, ocupaba una posición al Oeste de la Bretaña francesa y al Sur de Terranova, en la orilla meridional del Continente de Laurasia, en el mar del Tethys, enlazando sus pliegues hercinianos de modo perfecto con los de Bretaña, por una parte, y con los de Nueva Inglaterra, por otra, mas en uno de los retrocesos de Godwana la extremidad occidental del bloque ibérico quedó unida a dicho continente, siendo arrancada y doblada violentamente hasta la rotura por su base,

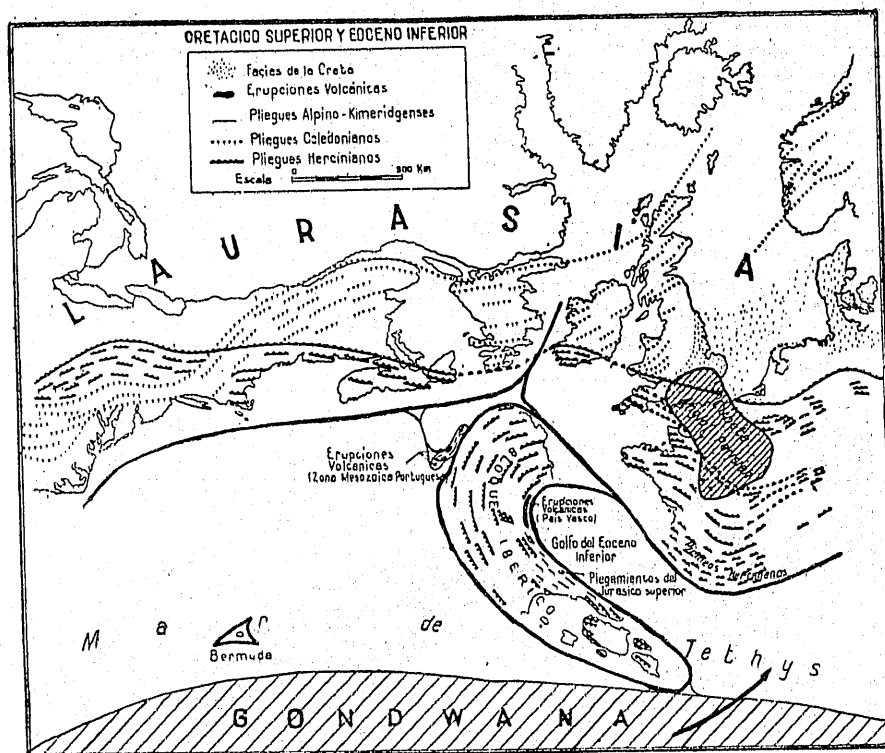


Fig. 21. — La Península Ibérica en el cretácico superior y eoceno inferior.

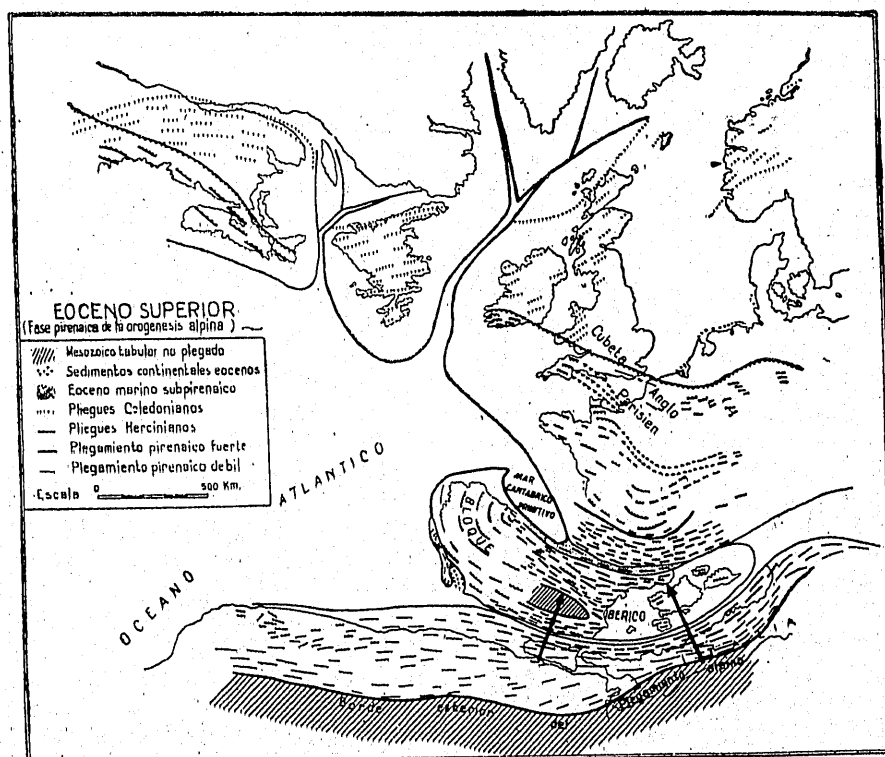


Fig. 22. — La Península Ibérica en el eoceno superior.

creando el conocido codo tectónico asturiano y produciendo la abertura del Golfo de Vizcaya (véanse figuras 21, 22 y 23).

En el avance de Godwana cerrando el Mar del Tethys para la primera fase de la orogénesis alpina, el bloque fué comprimido contra el Sur de Francia, plegando la Cordillera Pirenaica, siguiendo distensiones, formación de fracturas y cubetas de sedimenta-

hacia el Nordeste, para doblar el arco bético en la forma descrita, y al propio tiempo empujar a Sicilia e Italia hasta su posición actual, en las que, al ser flectado su arco, se han producido las erupciones volcánicas de su parte interna en la Campania, y al presente, en el Vesubio, Etna y Stromboli, y es curioso el comprobar que si se deshace el movimiento, desdoblado el arco bético, Italia se coloca paralela-

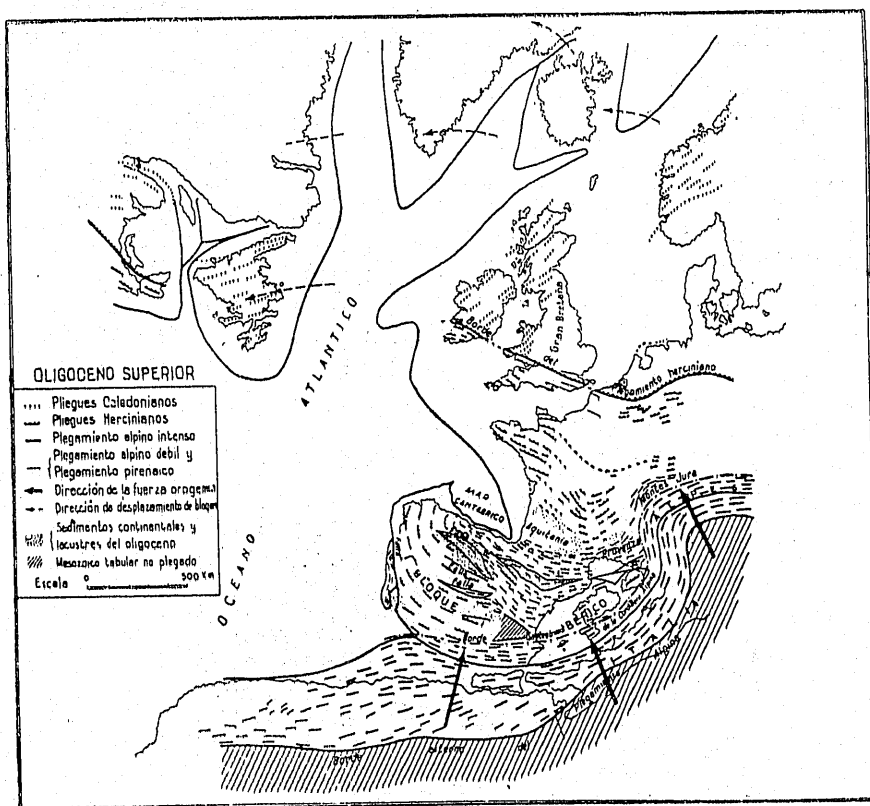


Fig. 23. — La Península Ibérica en el oligoceno superior.

ción continental durante el oligoceno, continuando en el mioceno más bajo el plegamiento alpino principal, que fué seguido por una gran distensión que dió lugar a una gran serie de fracturas que separaron el bloque Corso-Sardo de Cataluña y de las Baleares, y éstas, a su vez, de Italia; mas la extremidad sudoccidental de la Península había quedado unida a Africa, y al retirarse ésta, fué desgarrada la corteza de la parte meridional del bloque ibérico, iniciándose la formación de la gran falla del Guadalquivir, que al abrirse engendró el valle bético, que fué rellenado por sedimentos del mioceno y del plioceno, a la vez que el bloque occidental de la Cordillera Bética era doblado violentamente, cabalgando su extremidad meridional sobre Africa, en donde formó el Arco del Rif (véanse figs. 24 y 25).

El movimiento de Godwana contra Laurasia, en la última fase del plegamiento alpino, debió de ser

mente a las Islas Baleares y a la costa de Africa, y entre las dos, desdoblándose al propio tiempo, el violento arco de los Alpes Marítimos.

Posteriormente a la fase descrita es cuando Africa inició su movimiento de giro, que abrió al Mar Rojo, como se expuso anteriormente, el cual fué, en el sentido de las agujas del reloj, combinado con un ligero desplazamiento hacia el Oeste, los cuales fueron fundamentales para la apertura del Estrecho, precisamente en el centro mismo del arco bético flectado, pues engendraron en el mismo dos series de fallas de desplazamiento lateral, conjugadas debidas a la acción combinada de la flexión con el desplazamiento de Africa hacia el Oeste, lo que, junto con el grado de plasticidad local de la corteza, fueron los factores que controlaron la dirección de la tensión principal y el ángulo de las fallas cuya bisectriz es aquélla (véase fig. 26).

Según se desprende del mapa del Estrecho, de don Juan Gavala, las fallas conjugadas forman ángulos de 105 a 120°, es decir, precisamente los que podía esperarse para un bloque cortical dotado de cierta plasticidad, del mismo orden encontrado en la costa pacífica de Norteamérica, y la dirección principal bisectriz de aquéllas está desplazada hacia el Oeste unos 20° respecto de la dirección meridiana, según la cual debían alinearse las tensiones principales si el

lógico es que se trate de fracturas debidas a escamas o deslizamientos más o menos locales.

Descrito ya el proceso estructural, sobre el que volveremos más adelante, vamos a considerar ahora las características geológicas a ambos lados del Estrecho (véase fig. 27).

La Cordillera Bética, cadena netamente alpina, se extiende en el Mediterráneo occidental desde la isla de Mallorca, por Valencia, Murcia y Andalucía meri-

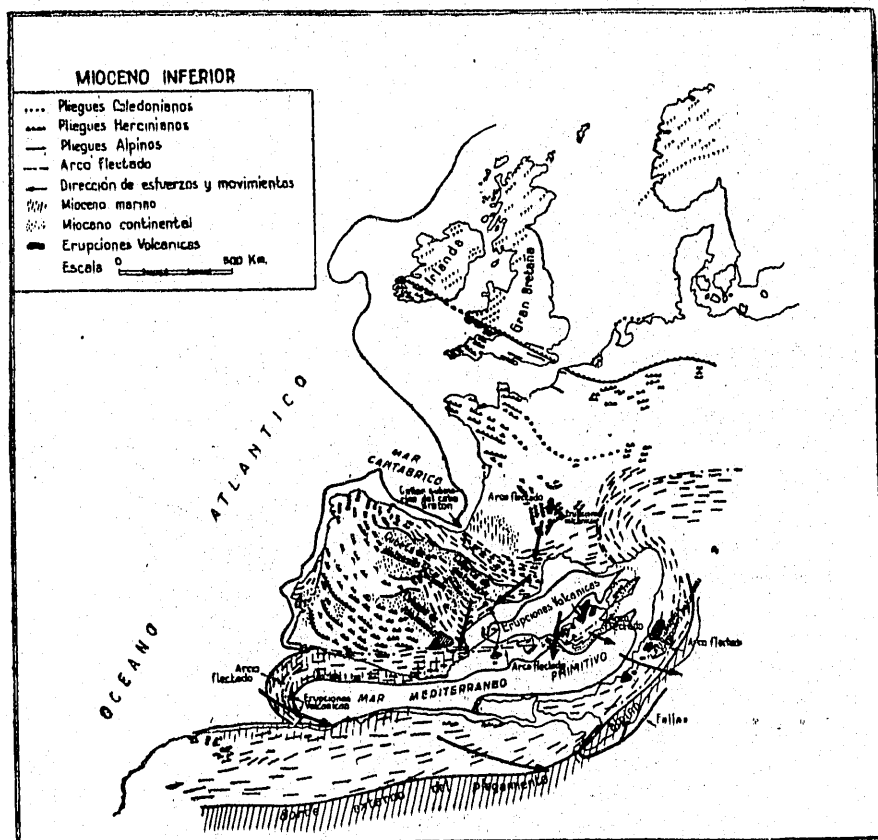


Fig. 24. — La Península Ibérica en el mioceno inferior.

esfuerzo hubiera sido de flexión pura, significando el desplazamiento indicado el efecto de la traslación, de la que antes se hizo mención.

La dirección del Estrecho es rigurosamente paralela a la de las fallas arrumbadas de Sudoeste a Nordeste, del sistema que acabamos de describir, y es lógico que la falla principal y más importante de todas tenga dicha dirección y coincida con el centro de aquél según la línea de máximas profundidades, pues, evidentemente, la roca, en su inmediata proximidad, tiene que estar muy fracturada y milonitizada, ofreciendo fácil camino a la erosión de las corrientes submarinas.

Existen otras fallas de dirección meridiana, como la del Guadiaro, en España, y la de Anyera, en África, que pueden ser de distensión, aunque lo más

dional, hasta el Estrecho, en donde pasa al lado africano formando el Arco del Rif, desapareciendo en las proximidades de Melilla, habiendo sido estudiada por multitud de geólogos nacionales y extranjeros que han emitido hipótesis muy diversas sobre su estructura, desde Staub, que la consideró del mismo estilo de los Alpes con grandes mantos de corrimiento, a los geólogos de la escuela holandesa, que también, en gran parte, mantuvieron esta hipótesis, hasta los puntos de vista más moderados de los geólogos españoles y de los Sres. Fallot y Blumenthal, que aceptan mantos corridos, pero en escala bastante más reducida, si bien en el Marruecos septentrional los mantos cabalgados tienen mucha más importancia que en España (véase fig. 28).

En la sección tipo propuesta por Fallot, existe

una parte externa autóctona, que denomina Prebética, de formaciones de facies litoral, cuyos pliegues, con vergencia hacia el Norte en la parte principal de la cordillera, están progresivamente más tumbados conforme se desplaza la sección hacia el Sur, produciéndose algunos pliegues falla y alguna pequeña escama, estando esta parte externa cabalgada por el Sur por la serie denominada Subbética, de formaciones mucho más profundas de terrenos del secundario,

desaparece con esta facies entre Jaén y Martos, encontrando desde dicho punto hacia el Oeste una importante formación de terrenos de facies flysch, que comprende desde el cretácico hasta el mioceno.

La sección tipo descrita anteriormente con algunos ligeros cambios, es aplicable a la Cordillera del Rif, si bien en ésta no se encuentran algunas unidades estructurales con la extensión con que se presentan en la Península Ibérica.

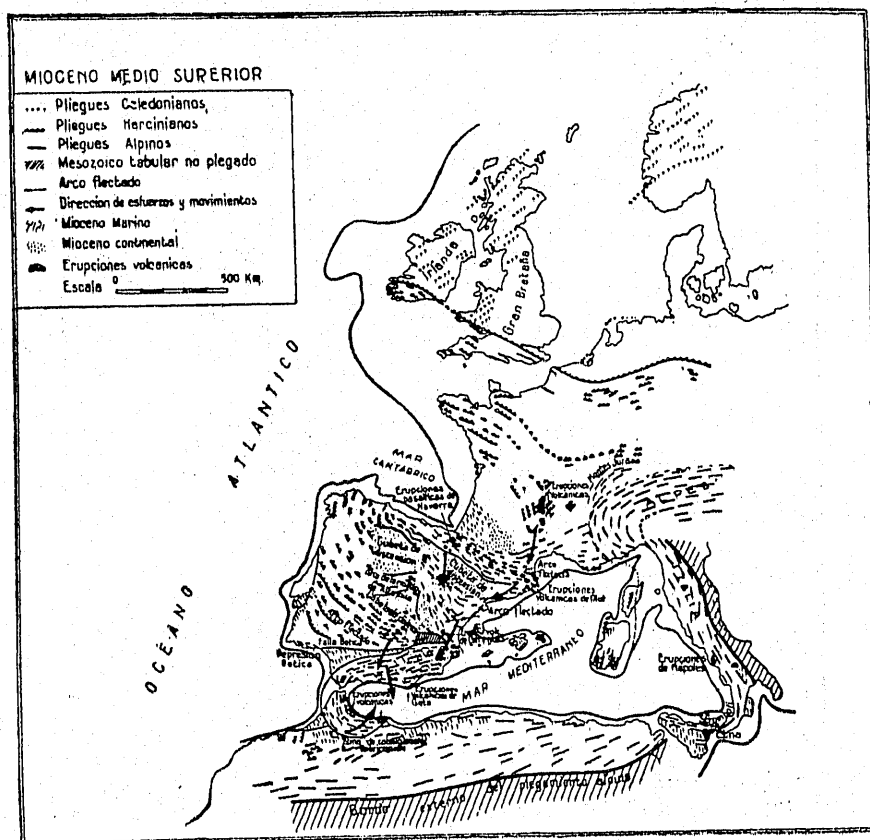


Fig. 25. — La Península Ibérica en el mioceno medio y superior.

que han deslizado sobre el substratum plástico del triás superior margoso y yesífero, presentando en algunos puntos pliegues perforantes de la gran masa de calizas liásicas a través de las formaciones margosas de cobertera más modernas.

La serie subbética presenta, en su borde meridional, una zona de pliegues de vergencia contraria, debido a digitaciones de una serie más meridional denominada Bética, con terrenos paleozoicos, triásicos de facies alpina y metamórficos, que cabalgó sobre el núcleo cristalino y metamórfico de Sierra Nevada, que según algunos autores puede ser autóctono en su parte central, con algunas escamas en la zona de las Alpujarras.

El prebético, con su gran abundancia de calizas en el cretácico y numulítico en la mitad oriental,

Los pliegues de dirección W.-SW. a E.-NE. de la Cordillera Bética, entre Mallorca y Ronda, al llegar a las proximidades de este último punto se incurvan en un arco bastante cerrado, tomando dirección Norte-Sur hasta el Estrecho (véase fig. 27), conservando esta dirección en el lado africano del mismo, para doblarse de nuevo en el Rif hasta desaparecer en el mar cerca de Melilla.

En las provincias de Málaga y Cádiz, el Bético, con terrenos del paleozoico, formaciones metamórficas y un gran batolito de peridotitas, está en la costa hasta las proximidades de Estepona, desapareciendo en el interior junto a Gaucín, en el contacto con una serie de sierras de calizas liásicas, a las que sigue, por el Oeste, una extensa formación de flysch, margoso al principio y más arenoso después, pasando, en la

parte occidental de la provincia, a una serie de formaciones del mioceno con importantes asomos del triás superior (véase fig. 29).

Las calizas liásicas y las margas y calizas del jurásico deben formar el substratum de toda la serie

de Jimena, y que probablemente no son más que la prolongación subterránea de los importantes macizos jurásicos de Grazalema y Sierra de Libar, y mucho más hacia el Oeste en una serie de asomos como la Sierra de las Cabras, en la zona en donde cobran

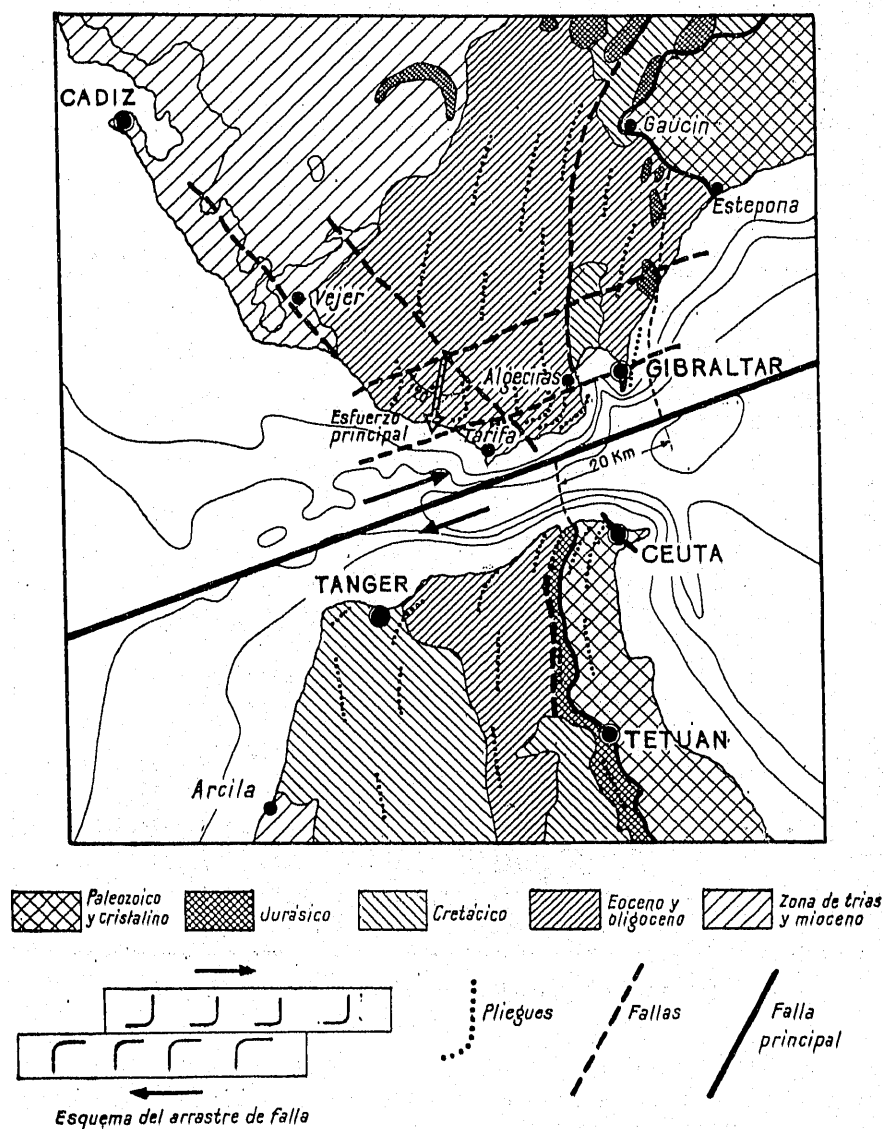


Fig. 26. — Estructura del Estrecho de Gibraltar.

subbética de la provincia de Cádiz, desde el contacto con la serie Bética en Gaucín-Estepona, hacia el Oeste, pues cerca del contacto aparece una serie de pequeñas sierras, como la Crestallina, cuya prolongación hacia el Sur quizá sea Gibraltar, todas ellas de caliza liásica, que más hacia el Oeste desaparecen, y sólo se presentan de nuevo en apuntamientos aislados en el eje de anticlinales de flysch, a los que perforan como en el asomo de la cantera del Puerto de Algeciras y en el río Hozgarganta, aguas arriba

importancia los asomos de triás, pasada ya la barrera intermedia de flysch arenoso.

Al Norte del campo de Gibraltar, desde San Roque a Gaucín, el flysch es margoso, cretácico según los microfósiles encontrados, estando separado del flysch arenoso por la falla del Guadiaro, desarrollándose el último hacia el Oeste en una serie muy replegada que comprende desde el eoceno al oligoceno, con algunas bandas cretácicas en el eje de anticlinales; mas no todas las formaciones importantes de areniscas

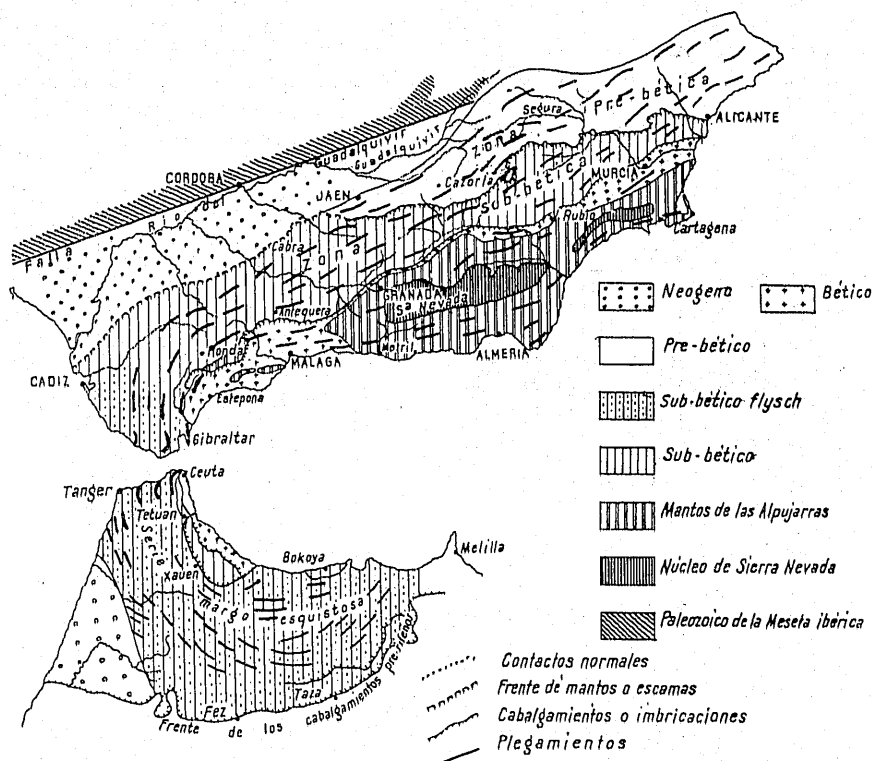


Fig. 27. — Esquema tectónico de las cordilleras Bética y del Rif.

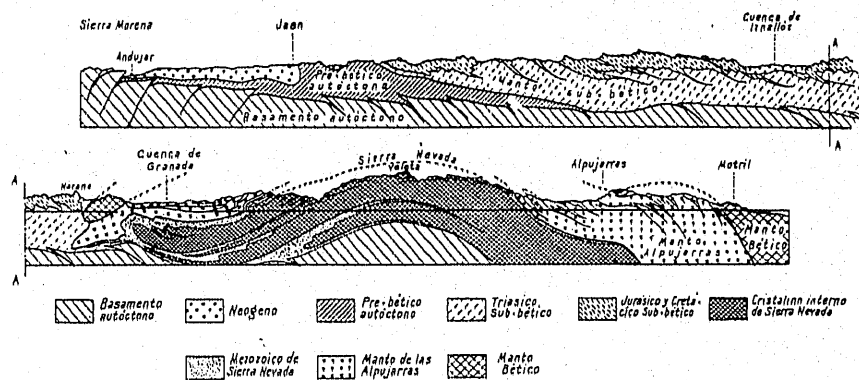


Fig. 28. — Sección tipo de la cordillera Bética.

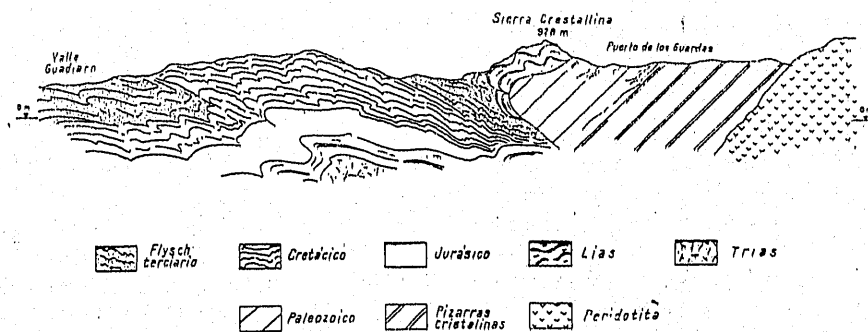


Fig. 29. — Sección de la cordillera Bética al norte del campo de Gibraltar.

Norte de Mequinez, junto a Petitjean, siguiendo por el límite de las llanuras de Mamora y del Rharb

de sondeos profundos de investigación, en los que se aprecia que debajo de un espesor de varios miles

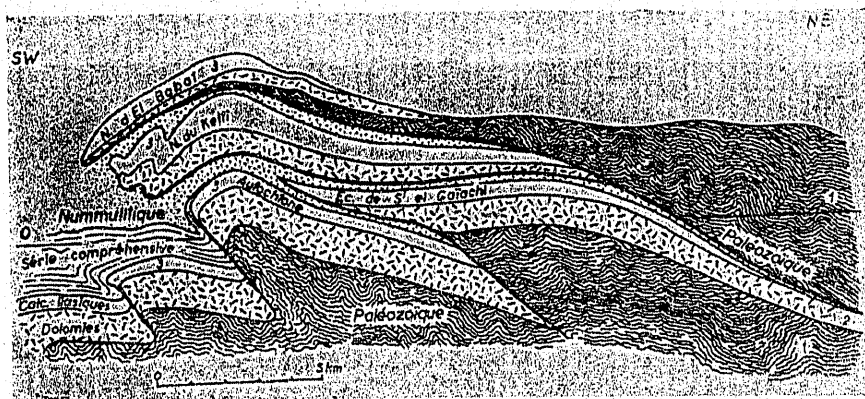


Fig. 32. — Estructura imbricada de la cadena caliza del Rif.

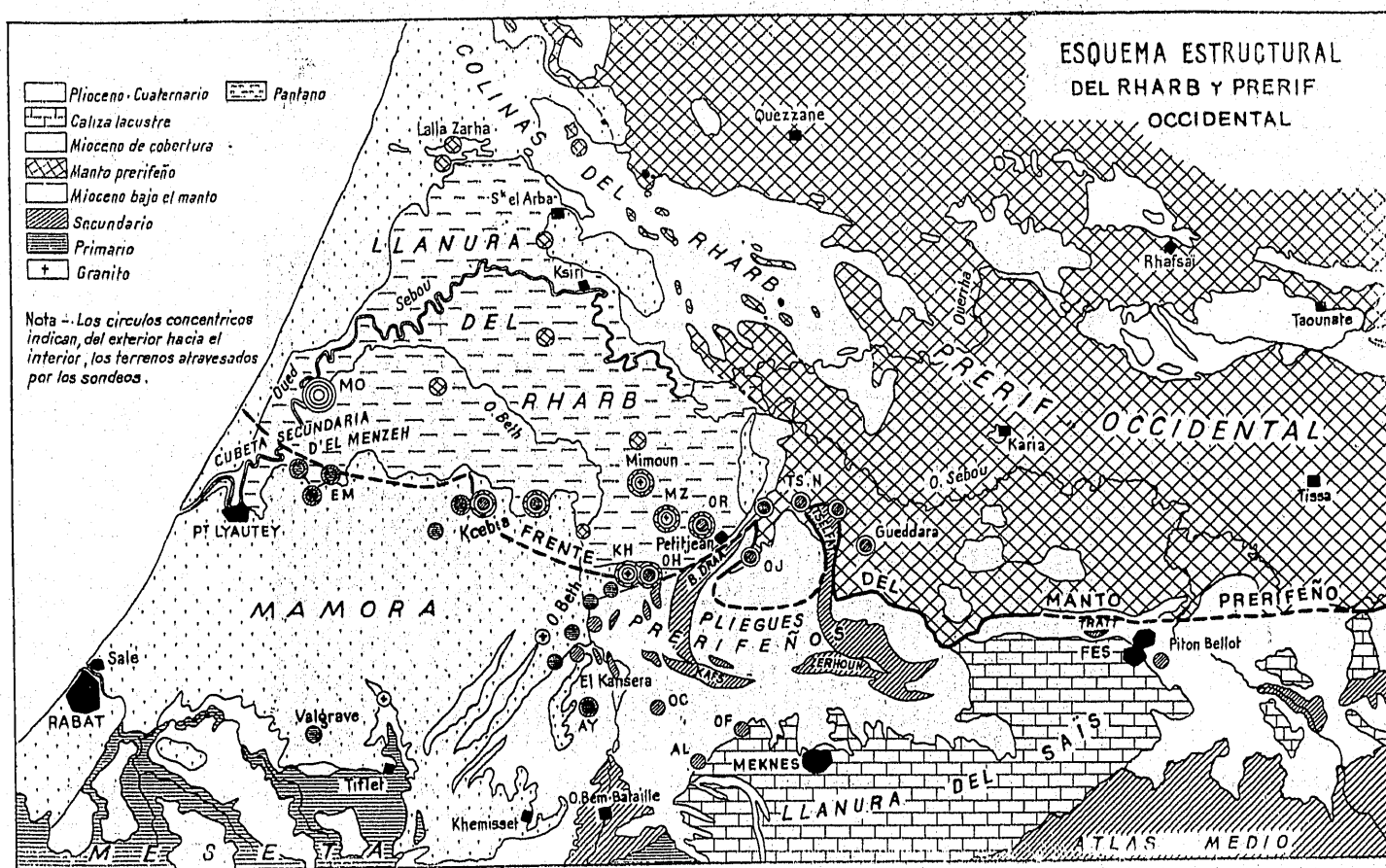


Fig. 33. — Mapa geológico del cabalgamiento del Rif suroccidental y resultados de los sondeos que lo comprueban.

hasta alcanzar el mar cerca de Port-Lyautey, siendo ilustrativos en grado sumo los cortes transversales al frente descrito, dibujados por la Sociedad Cherifienne des Pétrôles como resultado de un gran número

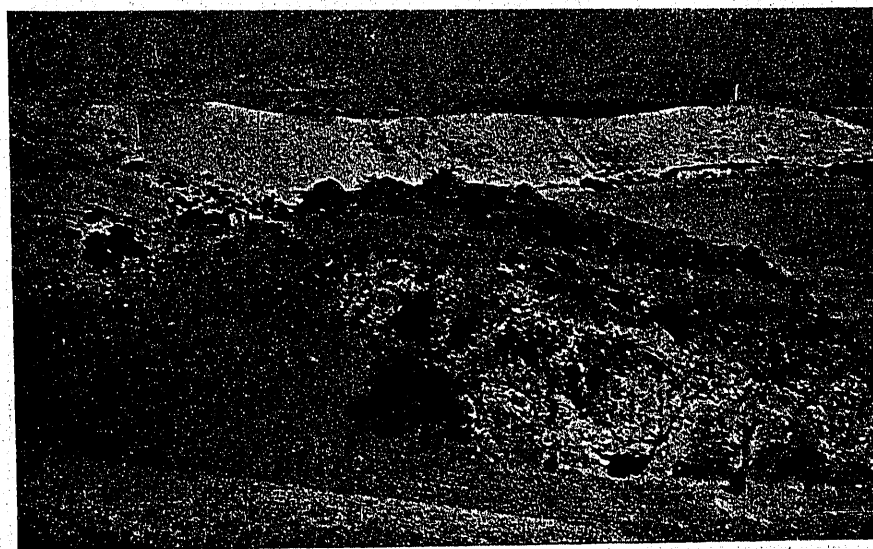
de metros de mioceno, oligoceno, eoceno y todo el secundario hasta el triás, se vuelve a encontrar de nuevo el mioceno del sistema autóctono, lo que viene en apoyo de la teoría del cabalgamiento del Rif sobre

el bloque africano que inicialmente propuso Argand, y que utilizamos y desarrollamos en nuestro trabajo sobre la estructura de la Península Ibérica (véanse figuras 33 y 34).

se ve cabalgar y apoyarse sobre aquél una masa revuelta de trias margoso yesífero que arrastran bloques de granito, cipolinos (uno de éstos de tamaño mayor que una casa), dolomias negras con fósiles del



Fotografía 1. — Cabalgamiento de Kudiat el Abiot. A la izquierda, ladera de molasas miocenas, recubiertas, a la derecha y en segundo término, por margas triásicas con bloques de rocas cristalinas, y en el fondo, por margas blancas cretácicas.



Fotografía 2. — Cabalgamiento de Kudiat el Abiot. Gran bloque de cipolinos arrastrado por las margas abigarradas triásicas y recubierto por las margas blancas cretácicas.

Mas no es necesario el recurrir a los cortes dibujados a base de los sondeos petrolíferos, pues en el corredor de Taza puede visitarse en cualquier momento el famoso cerro de Kudiat-el-Abiod (véase figura 35), en el que, sobre un paquete de capas de molasa miocena del helvetiense, que se apoya sobre el primario autóctono y que buzan hacia el Norte,

infralias, rocas cristalinas y gneiss, al que sigue por encima cretácico margoso, eoceno de tipo flysch y margas azules del mioceno medio (véanse fotografías 1 y 2), demostrando los barrancos transversales que cortan el conjunto que la disposición tectónica es de un cabalgamiento verdadero y no de una falla con extrusión de trias, procediendo todos los ele-

mentos cristalinos del zócalo cabalgado, del que fueron arrancados por el bloque rifeño al montar sobre Africa.

En el lado africano del Estrecho (véanse figs. 30 y 36), y procediendo de Ceuta hacia el Oeste, encontramos los gneiss del monte Hacho, al que siguen pizarras metamórficas, pizarras y cuarcitas paleozoicas con restos de cobertera triásica, viniendo luego sobre el paleozoico, y entre éste y el flysch más occi-

lado africano están más desplazadas hacia el Oeste que sus correlativas del europeo (véase fig. 26).

Como ya dijimos anteriormente, los ejes del plegamiento al Norte y al Sur del Estrecho tienen dirección aproximadamente meridiana en la parte central del arco de enlace de la Cordillera Bética con la del Rif, mas, como ya hizo resaltar Blumenthal en su publicación *Antibetische Faltungen im Gibraltarbogen*, en 1935, los ejes de los pliegues al Norte del

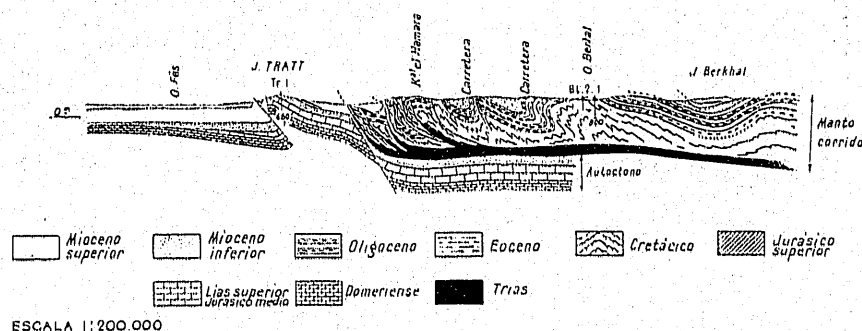


Fig. 34. — Sección transversal del cabalgamiento sudrifeño.

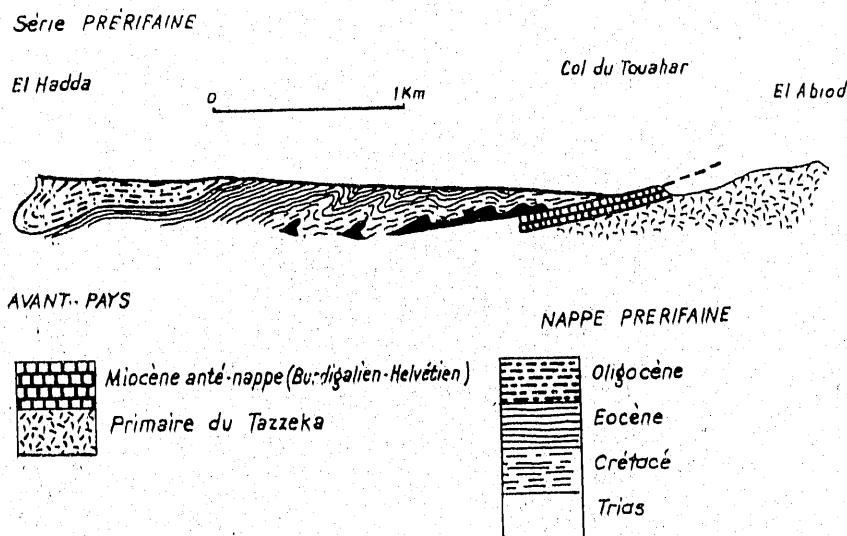


Fig. 35. — Sección del cabalgamiento sudrifeño en Kudiat el Abiot.

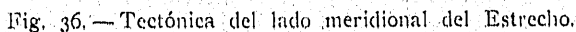
dental, el importante pliegue de calizas liásicas y jurásicas del Gebel Musa, que en parte cabalga sobre el flysch en la bahía de Benzú, formando dicho macizo el paralelo y correspondiente del de Gibraltar en la costa africana, siguiendo más al Oeste, a partir de la Marsa, un tramo de flysch terciario arenisco, que llega hasta la bahía de Tánger, en la que encontramos el flysch margoso cretácico con algunos enclaves de flysch terciario hasta el cabo Espartel.

La repartición de formaciones y terrenos es, pues, análoga en las dos orillas del Estrecho; pero las del

Estrecho, entre Algeciras, Tarifa y Punta Camarinal, al acercarse a la costa, se doblan y se disponen paralelamente al Estrecho con dirección hacia el Sudoeste, como puede comprobarse en la figura 37 y fotografía 3 adjuntas, esta última de la Sierra de Enmedio, al Oeste de Tarifa, indicando también que al Sur del Estrecho, tanto los pliegues del flysch como los de la cordillera de calizas jurásicas y los pliegues del paleozoico, se doblan también desde la dirección meridiana hasta ponerse paralelos al Estrecho, pero con dirección contraria a la de la otra orilla, es decir,

La explicación del doblado de los ejes de los ple-

No disponemos en este caso de una estructura o formación apropiada, como la de los batolitos de

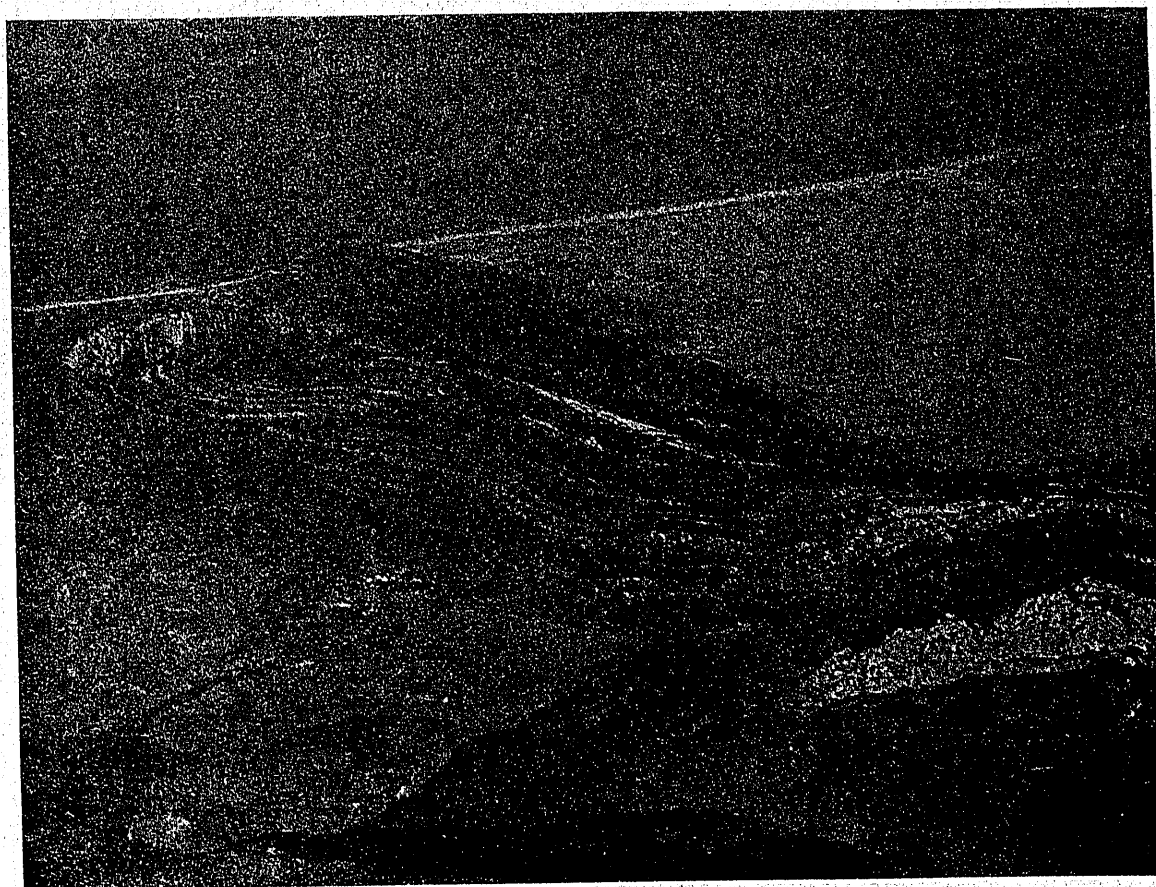


Foyer y Strontian en la falla del Great Glen de Escocia, para fijar de modo preciso la distancia que se ha desplazado la falla; pero si disponemos de dos puntos aproximados, las dos Columnas de Hércules (véanse fotografías 4 y 5), es decir, Gibraltar y el Gebel Musa, que estando junto al contacto con el

paleozoico o cristalino bético, el segundo de modo real, el primero supuesto, pero muy probable por su posición respecto de la continuación del contacto de Gaucín por debajo del flysch, debían ambos de estar en prolongación, lo que supone un desplazamiento en la falla del Estrecho del orden de los 20 kilómetros (véase fig. 26).

Topográficamente, el Estrecho ha sido objeto de

que el Instituto Español de Oceanografía realizó 60 perfiles entre las costas española y marroquí, con 1 750 sondeos acústicos puntuales, en un recorrido de 1 700 Km., más 153 sondeos con cable, y que, en colaboración con el Instituto Lamont, se realizaron sondeos acústicos de registro continuo en una longitud de 2.400 Km., con material prestado, amablemente, por las fuerzas navales norteamericanas.

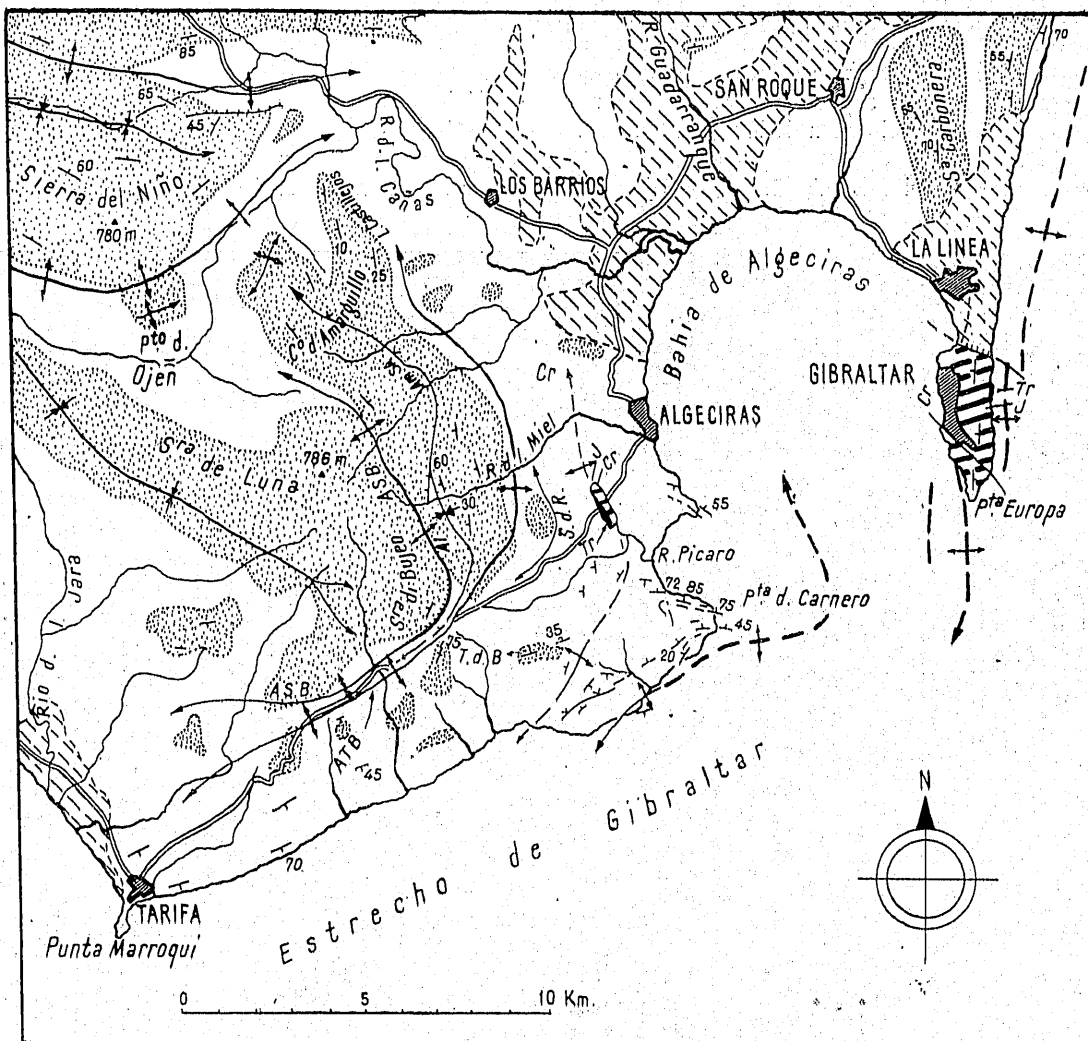


Fotografía 3.— Pliegues de dirección meridiana de las areniscas del *flysch* terciario de la Sierra de Enmedio, que se doblan al llegar al Estrecho por el arrastre de la falla principal.

una investigación muy cuidadosa en años recientes por el Instituto Español de Oceanografía, en colaboración con el Lamont Geological Observatory de Nueva York, por haberse llegado al convencimiento de que la inmensa mayoría de los sondeos efectuados por el método tradicional con cable eran falsos, por el arrastre que producían en éste la corriente superficial y la contracorriente del fondo, dando para la profundidad valores superiores a los realmente existentes.

Los resultados preliminares de la mencionada investigación han sido objeto de un trabajo presentado por el Sr. Gaibar Puertas al V Congreso Internacional de la Asociación para el estudio del Cuaternario, celebrado recientemente en España, del que resulta

Como resultado de los anteriores trabajos se ha dibujado una carta batimétrica del Estrecho muy exacta, y que revela detalles imposibles de obtener por los procedimientos antiguos, encontrando que el punto de máxima profundidad está en el centro del triángulo formado por Tarifa, Punta Carnero y Punta Leona, con 935 m., subiendo el fondo ligeramente hacia el Mediterráneo hasta la transversal de Gibraltar, desde donde vuelve a descender hacia el Este, mientras que en dirección hacia el Atlántico sube mucho más, hasta unos 300 m. de profundidad en la transversal de Punta Paloma a Tánger, descendiendo de nuevo hacia el Océano, habiendo encon-



- Margas y arenas pliocenas
- Flysch
- Arenisca
- Cr Cretacico
- J Caliza jurásica
- Tr Triasico
- Carretera
- Anticlinales
- Sinclinales

Fig. 37.—Tectónica del lado septentrional del Estrecho.

trado como cosa inesperada un cañón submarino de dirección meridiana al Este de Ceuta.

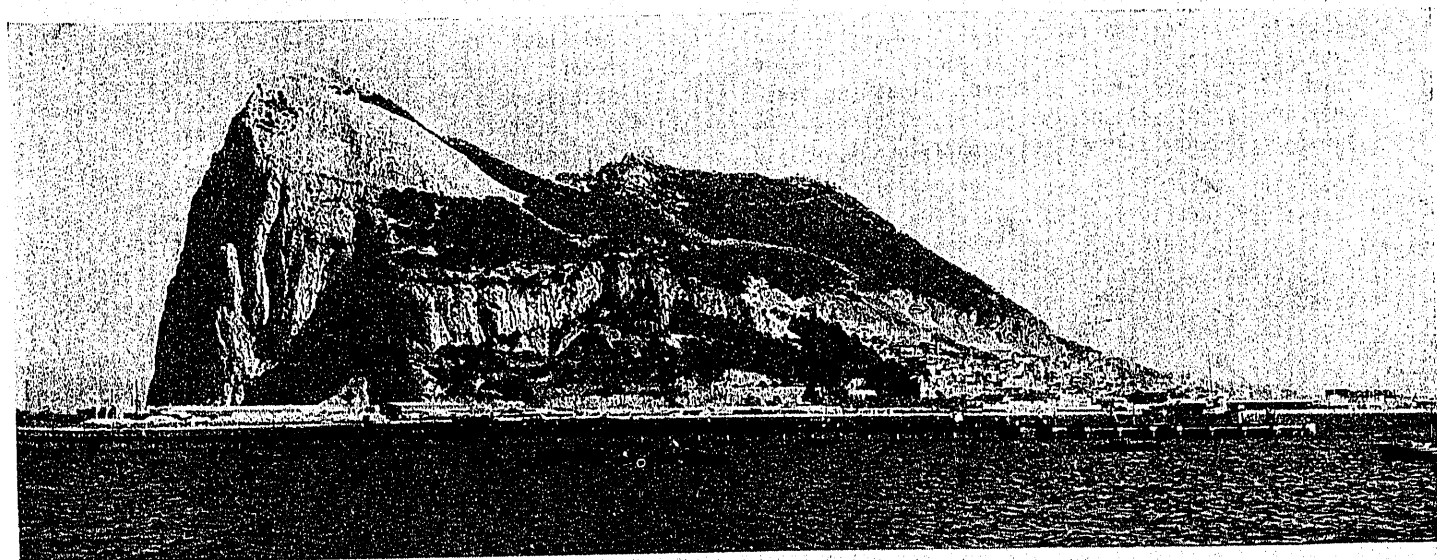
Con muestras recogidas mediante cable, se está dibujando también una carta de la naturaleza del

Estrecho, en lo que respecta a fangos, debe achacarse a la contracorriente de agua salada densa del fondo, que, procedente del Mediterráneo, va hacia el Océano.

El mapa de la naturaleza del fondo viene a com-



Fotografía 4. — Las calizas jurásicas del Gebel Musa, sobre pizarras paleozoicas y *flysch* cretácico.



Fotografía 5. — Peñón de Gibraltar en calizas jurásicas, con *flysch* cretácico en la parte interna inferior.

fondo, que es de roca en la transversal de Ceuta con Algeciras, sin fango; de arenas, areniscas y lunaguélas en el collado submarino occidental, también sin fango; volviendo de nuevo a presentarse los barros submarinos al Oeste, en el descenso hacia el Océano, y al Este hacia el Mediterráneo, más allá de Gibraltar.

Es evidente que la limpieza total del fondo del

probar lo que se ha expuesto anteriormente sobre la naturaleza geológica de las orillas, pues la roca de la transversal Algeciras-Ceuta no es otra cosa que las calizas liásicas de la prolongación submarina del Gebel Musa y de Gibraltar, más formaciones de roca paleozoica que continúan la zona bética de Ceuta por debajo del Estrecho, mientras que las arenas y

arcillas del collado occidental y de la parte más profunda no son otra cosa más que el flysch.

Un punto interesante a considerar es el de que, estando el Estrecho en el centro de un arco cortical flectado con tensiones de compresión en el lado cóncavo y de tracción en el convexo, es en este último, es decir, hacia la salida del Atlántico, en donde debían haberse producido fallas y grietas, y en donde deberían estar las máximas profundidades, y, sin embargo, sucede lo contrario; la explicación de esto está en que, como ya decimos, África sufrió un giro en el sentido del reloj, que actuó también en la zona del Estrecho, abriendo la falla de desplazamiento transversal por su parte oriental, cerrándola por el Oeste, a la vez que se movía el bloque meridional hacia el Océano, que es lo que dió lugar a la fractura que ha producido el cañón submarino hallado al Este de Ceuta.

Así, pues, y resumiendo, el Estrecho de Gibraltar es una gran falla de desplazamiento lateral, cuyos bordes se han movido relativamente entre sí unos 20 kilómetros, estando abierta en su parte oriental y cerrada en su porción occidental por un giro del bloque africano.

Como resultado de dicha estructura, los dos bordes de la falla principal en el fondo del Estrecho están profundamente fracturados y distorsionados, circunstancia que facilitó la acción erosiva de las corrientes submarinas en el modelado de la forma topográfica existente, y es por este motivo por el que debe abandonarse totalmente la idea de la construcción de un túnel a través del fondo submarino, pues aun aprovechando el collado occidental, en el que en los accesos se encontrarían rocas impermeables del flysch,

en la parte central de la falla todas las formaciones estarán tan revueltas y fracturadas que no podría ni garantizarse la impermeabilidad ni tampoco terreno firme apropiado para la obra.

Por lo que respecta al cruce del Estrecho por un puente, aprovechando también el collado occidental, y con cimentación similar a la utilizada en el puente de la bahía de San Francisco de California, también se encontraría en el centro del Estrecho la falla en su parte superficial con la roca igualmente trastornada y con el inconveniente de tratarse de flysch, es decir, según el dialecto suizo, del que viene la palabra, *terreno corredizo*, con lo que el desplazamiento sería aún más fácil estando el conjunto embebido de agua, y no hay que olvidar que, según las investigaciones submarinas de los Institutos Americanos, en estos casos pueden producirse deslizamientos de masas considerables, aun formando el fondo ángulos tan suaves como 5°, iniciándose el movimiento a la más mínima rotura o al efecto dinámico más suave, tanto más cuanto que, según los datos que se poseen de sismología, la falla del Estrecho está todavía activa, con seísmos que han llegado hasta el grado VII, y que recientemente los terremotos de Orleansville, en Argelia, dieron lugar a un colosal corrimiento del fondo submarino cerca de Tenés y Orán, que cortó todos los cables submarinos.

Es por dichas circunstancias por lo que expresamos nuestro pleno convencimiento sobre la imposibilidad del túnel y del puente a través del Estrecho, y sólo creemos posible el tendido de cables telegráficos o telefónicos, de transmisión de energía eléctrica o de pipelines, sobre todo en la parte rocosa oriental del Estrecho, con preferencia a la occidental.