

resulte con el grado de compresión análogo al que se pretenda tenga la masa al ser depositada en los moldes.

Del peso total de la mezcla contenida en la vasija se deducirá el de un litro de ella, y, conociendo las proporciones empleadas, el de cada uno de los componentes que en él entran, así como sus correspondientes volúmenes absolutos.

La suma de éstos, relativos a las cantidades de aglomerante, de arena y de piedra, será la medida de la compacidad de la mezcla. La del hormigón después de fraguado y endurecido será mayor porque vendrá aumentada con el volumen, generalmente importante, representativo del agua que haya entrado en combinación, variable con diversos factores, pero muy principalmente con la cantidad de cemento y con el tiempo. En lo que sigue, al hablar de compacidad, se hará referencia a la de la mezcla fresca, pues la del hormigón endurecido, íntimamente relacionada con ella, es menos precisa y de más delicada y larga determinación.

De estos datos se deducirán también las proporciones que integran un metro cúbico del hormigón analizado, en estado fresco, bien en peso, bien en volúmenes aparentes.

La misma mezcla, si se ha formado en cantidad suficiente, podrá utilizarse en la determinación de la carga de rotura por compresión, y, si es preciso, de la impermeabilidad.

Para practicar el ensayo de rotura, y a falta de otras, pueden seguirse las normas fijadas por la Comisión alemana¹ del hormigón armado, o las que establece el Pliego de condiciones de los Estados Unidos de América, relativo a la ejecución del hormigón².

¹ Aparece un extracto en el *Manual del Ingeniero y Arquitecto*, por M. Foerster, y en otras publicaciones alemanas.

² Publicado en 1927. La parte a que se hace referencia figura también en los *Proceedings of the Am. Soc. of Civil Engineers*, octubre de 1924, y en los *Transactions* de la misma Sociedad, año 1925.

Los cubos de prueba empleados en el Laboratorio central para ensayo de materiales, anejo a la Escuela de Ingenieros de Caminos, tienen de 15 a 28 centímetros de lado, con lo cual puede adoptarse tamaño adecuado al de la piedra que se emplee. Los que prescriben las normas alemanas han de tener 30 centímetros, dimensión que aun resultaría exigua para piedras de 10 centímetros. La rotura de los cubos mayores requerirá una prensa de gran fuerza, que no siempre se encuentra, fuera de los laboratorios muy bien equipados, a los que en tal caso sería preciso remitir las probetas con la oportunidad debida, a menos que se considerase preferible recurrir al expediente de asestrar los cubos grandes formando otros que no conviene tengan menos de 7 centímetros de lado. Ha de hacerse notar que los resultados no son absolutamente comparables cuando no es el mismo el tamaño de los cubos de prueba.

Los ensayos de rotura se hacen normalmente a los veintiocho días; pero si en el aglomerante entrase la puzolana y se dispusiera de tiempo suficiente, sería preferible realizarlos a los noventa.

En este último caso convendría que el desmolde no fuese hecho hasta los tres días, sobre todo siendo algo elevada la proporción de puzolana, debiendo cuidar que las probetas se hallen siempre en atmósfera intensamente húmeda.

No existen hasta el presente normas generalmente aceptadas que marquen el procedimiento para determinar la permeabilidad; pero a más de la forma de la masa, de la superficie y de la manera de obrar sobre ella el agua, lo esencial será medir exactamente la cantidad de ésta que en la unidad de tiempo atraviese la probeta de hormigón, y claro está que la edad de éste, así como el espesor, superficie, presión y temperatura habrán de ser iguales en todas las pruebas para que los resultados sean comparables.

José NICOLÁU
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Estado actual de algunas cuestiones de Geofísica geológica¹

III

Movimientos orogénicos

Estos movimientos afectan a zonas de la corteza mucho más restringidas que los epirogénicos, constituidas por largas y, de ordinario, estrechas fajas, en las que queda muy alterada la forma primitiva. Según Stille, los movimientos epirogénicos son evolutivos, y en ellos se producen lentamente los hundimientos de unas regiones, las elevaciones de otras y aun plegamientos de gran radio, mientras que los orogénicos son de carácter revolucionario, en los que se rompe la marcha evolutiva de los epirogénicos con perturbaciones locales que producen acentuadas modificaciones en la estructuración de la región por ellos afectada.

En unos movimientos orogénicos predominan los

plegamientos de las rocas; en otros, las fracturas llamadas diaclasas. Conviene a este respecto tener presente que las rocas se comportan como materiales quebradizos, plásticos, viscosos o flúidos, no sólo según sus propios caracteres, muy distintos, por ejemplo, en los granitos, calizas, areniscas, arcillas, etcétera, sino que también varían aquellas condiciones, según las circunstancias y duración de los esfuerzos a que están sometidas. De acuerdo con lo que se ha dicho al tratar del sima, haremos presente que una roca que es quebradiza ante un esfuerzo de compresión violento y de corta duración, pasará a comportarse como plástica cuando aquél actúe de un modo progresivo y continuado durante un largo lapso de tiempo.

En virtud de lo anteriormente dicho pueden dividirse las cordilleras en dos tipos principales: las de plegamiento, que son las más frecuentes e importantes, y las formadas por macizos no plegados o cuyo plegamiento es anterior a la formación de la montaña.

¹ Véase el número anterior, página 95.

Montañas de plegamiento

Las grandes zonas plegadas, como ocurre con los Pirineos, Apeninos, cordillera Penibética que culmina en Sierra Nevada y las demás de este tipo, tienen generalmente una anchura relativamente escasa comparada con su gran longitud. En la mayoría de estas montañas una vertiente está mucho más inclinada que la otra, ocurriendo lo mismo con los plegamientos de las capas de rocas que las forman, lo que se explica por muchos atribuyéndolo al rozamiento del macizo continental, en las proximidades de cuyo borde se formó la cordillera, con el substrato viscoso, pues esto iniciaría plegamientos con mayor inclinación hacia el frente de aquel macizo, cuyo movimiento se efectuaría en la dirección en que la resistencia debida al rozamiento fuese mínima.

Frecuentemente la pendiente abrupta de estas cordilleras está en contacto con una zona deprimida, la cual, a la vez que se acentuaba el plegamiento, era el asiento de intensa sedimentación. Así ocurre en nuestra Sierra Morena, ante cuyos antiguos plegamientos hundidos aparecen capas no plegadas,

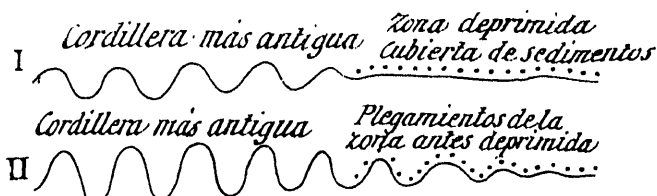


Fig. 4. Invasión de los plegamientos en las regiones delante de las cordilleras (según Stille).

triásicas y terciarias, en la cuenca del Guadalquivir. También delante de las cordilleras hercinianas del centro de Europa se hallan las ricas formaciones carboníferas, y es muy interesante el ejemplo de los Alpes, delante de los cuales se encuentra una zona, primero deprimida y que se llenó de sedimentos

alpina, con lo que se formaron los bancos de molasas que alcanzan hasta 2,5 y 3 km de espesor. El siguiente esquema da idea de lo que acaba de consignarse:

El estudio de la naturaleza y orden de formación de las rocas plegadas que forman las grandes cordilleras, así como los fósiles en ellas encontrados, no dejan lugar a duda respecto a que están constituidas por sedimentos depositados en regiones que fueron marinas y que alcanzaron profundidades mayores que las correspondientes a las contiguas. Aquellas regiones son como fajas débiles, más o menos anchas y de gran longitud, de la corteza, interpuestas entre partes de ésta de mayor rigidez.

La distribución de las montañas de mayor relieve actual, que no son las muy antiguas ya limadas por la ablación durante millones de años, sino las más modernas o sea las terciarias, no es caprichosa, puesto que las principales, como expresa la figura 6.^a, se agrupan siguiendo el contorno del Pacífico, y también según otra dirección, por encima del Ecuador, cuyas montañas, atravesando la América Central y siguiendo el contorno del Mediterráneo, penetran en Asia.

La aparición de las grandes cordilleras ha ocurrido en determinados períodos de la historia de nuestro planeta separados por largos intervalos, siendo las de mayor relieve actual las terciarias, a las que siguen en importancia las hercinianas, ya muy destruidas por la erosión. Las zonas débiles donde se formaron los geosinclinales y subsiguientes cordilleras, tampoco se han hallado siempre en las mismas regiones de la Tierra, sino que han ido variando de posición; si nos fijamos en Europa, vemos que los plegamientos caledonianos, hercinianos y alpinos que se han sucedido en el transcurso del tiempo constituyen regiones plegadas que han ido formándose cada vez más al Sur.

Las montañas de plegamiento constituyen, cuando en plena juventud, imponentes masas por su altura

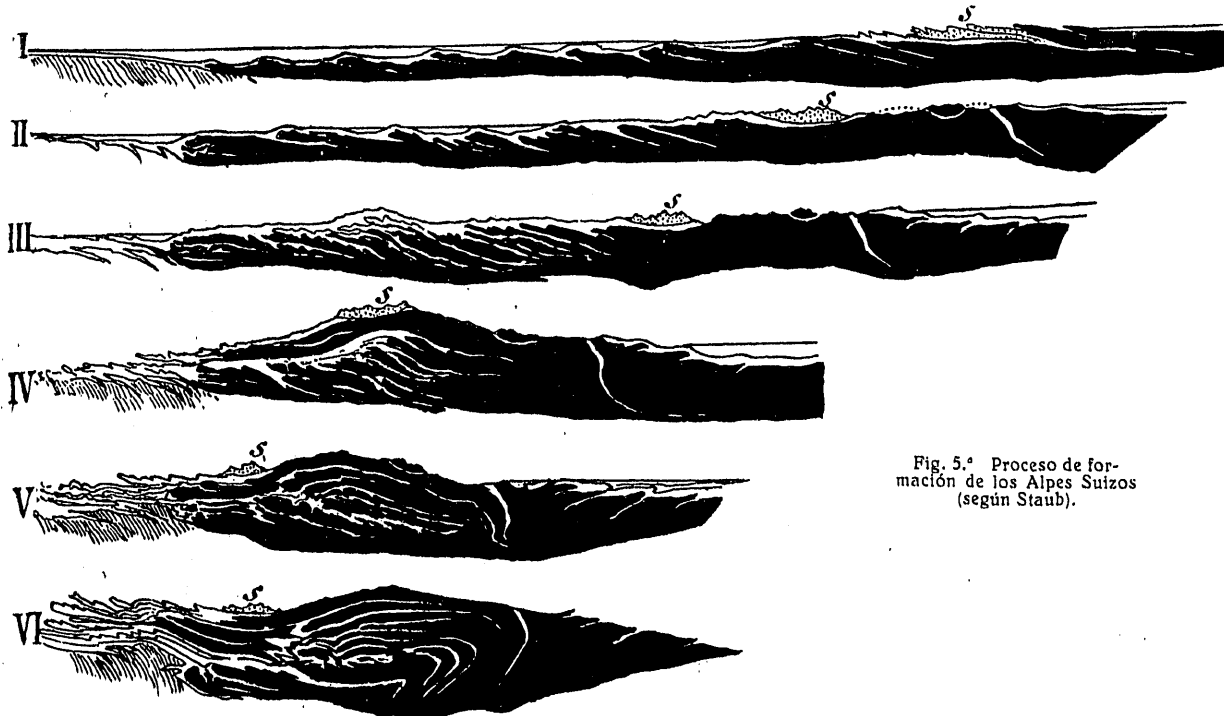


Fig. 5. Proceso de formación de los Alpes Suizos (según Staub).

procedentes de derrubios de aquellas montañas, la que se plegó posteriormente por llegar a actuar en ella las fuerzas que seguían plegando la cadena

sobre las regiones contiguas y por el espesor de rocas que las forman. Para dar una idea del proceso de su evolución, desde los pliegues embrionarios forma-

dos en el primitivo geosinclinal hasta el completo desarrollo del macizo montañoso, reproducimos los adjuntos esquemas, debidos a Staub, que se refieren a los Alpes Suizos y suponen: el primero, I, un corte transversal al geosinclinal primitivo, y los otros, II a VI, al macizo en diversos períodos de su evolución. En dichos esquemas se pone de manifiesto cómo va reduciéndose la anchura de la zona plegada, y, según cálculos de Heim, era aquélla para los Alpes Suizos dos o tres veces más ancha en el geosinclinal I que al finalizar el plegamiento. Hace observar Kossmat que ocurre en muchas cordilleras, como en el caso que acaba de examinarse, que, a medida que el espesor formado por el total de los sedimentos interesados va aumentando por virtud del replegamiento, compárese I con VI, como aquéllos son menos densos que las capas profundas que les rodean, tenderá el complejo plegado a irse elevando sobre las regiones circundantes, hasta alcanzar su posición de equilibrio.

Ninguna de las explicaciones dadas hasta ahora para explicar la formación de las montañas de plegamiento resulta satisfactoria. Pueden dividirse en dos grupos: el de las basadas en fenómenos debidos a la contracción por enfriamiento de la Tierra y el de las que se fundan en fenómenos relacionados con las condiciones y los movimientos de la materia subcortical.

Las hipótesis basadas en la contracción comienzan con la de Descartes, pero la más clásica es la de Suess, y aun tienen muchos adeptos, por más que hay varios resultados de la observación que parece no concuerdan con sus deducciones. Se admite en ellas que en la Tierra, bajo el continuo enfriamiento de su materia, se contrae su núcleo, pero no la corteza que, dada su rigidez, queda constituyendo una bóveda esferoidal. Sometida esta bóveda no apoyada a fortísima compresión, se determinan en algunas pocas estrechas fajas mas débiles, iniciaciones de plegamientos, que luego van acentuándose, y que son el origen de cordilleras. Al descargarse en virtud de los plegamientos parte de la compresión, sobreviene una época de tranquilidad, durante la cual sigue la contracción del núcleo con el consiguiente aumento de la compresión, y, finalmente otro, período orogénico.

Se han hecho varias serias objeciones a las hipótesis basadas en la contracción, entre otros, por Ampferer, Andréé, Schwinner, Salomón, Kossmat. Citaremos algunas:

1.^a Durante los períodos orogénicos la fuerte compresión sería causa de que no se formasen y aun de que se cerrasen las grietas corticales, por lo que no debieran ocurrir manifestaciones volcánicas, cosa contraria a lo que nos dice la Geología, que ha comprobado que las épocas de actividad orogénica lo han sido también de la volcánica.

2.^a Por igual causa no se formarían valles de hundimiento y otras regiones deprimidas y, sin embargo, hay varias sincrónicas con los períodos orogénicos.

3.^a El exceso de masa que aparentemente corresponde a las cordilleras debiera producir en ellas grandes anomalías en el valor de la gravedad, lo que no acusan las observaciones gravimétricas.

4.^a En la bóveda esferoidal constituida por la corteza se producirían compresiones tangenciales que, según cálculos de Loukaschewitzsh, llegarían a 700

u 800 000 kg/cm², y como las rocas corticales no pueden soportar más que 4 a 5 000 kg/cm², se aplastarían.

Son tan serios los cargos hechos a estas teorías que el profesor Bonn, de Berlín, y otros, creen que deben desecharse, por estar en oposición con muchos fenómenos que estiman bien estudiados.

El segundo grupo de hipótesis se basa en las condiciones y movimientos de la materia subcortical. Ampferer y Andréé suponen que en la zona interna geológicamente fluida ocurren subcorrientes, así como en unas partes aumentos de volumen, por ser mayor la temperatura, y disminuciones en otras, por cristalización de la materia vítrea, todo lo cual afectará en más o menos grado, según los casos, a la delgada corteza. Schwinner cree que los movimientos subcorticales son corrientes de convección comparables a los ciclónicos terrestres, que determinan los plegamientos de partes de la flotante corteza. Acaso aquellos movimientos exijan suponer una excesiva movilidad a la, sólo geológicamente fluida, materia interna, y también habría que poner en juego considerables manantiales de energía para producirlos. Kossmat cree posible que los movimientos de los bloques continentales, que atribuye a la rotación terrestre y a las acciones del Sol y de la Luna, pudieran producir las referidas corrientes subcorticales que, al circular por bajo de las zonas débiles de los geosinclinales, iniciarían y continuarían los plegamientos. Wegener, dentro de su teoría, que tiene bastantes analogías con las ideas que acaban de mencionarse, explica la formación de las montañas ¹ como consecuencia de la aproximación de las flotantes masas continentales que pueden llegar a estar en contacto y comprimirse plegando sus bordes o por las arrugas originadas en aquellas masas por la resistencia que a su movimiento opone la viscosidad del sima. A esta explicación se ha presentado por Jeffreys, como objeción de gran importancia, que las fuerzas que se pondrían en juego no serían capaces de vencer la acción de la gravedad que se opone a la elevación de las cordilleras.

Todo lo que acaba de exponerse pone de manifiesto que, aun cuando los defensores del segundo grupo de hipótesis han presentado muy serias objeciones contra las basadas en la contracción, no han podido, hasta ahora, sustituirlas más que por avances de teorías, que no resultan suficientemente estudiadas y desarrolladas.

En el libro citado al comenzar estas notas, del profesor Daly, propone éste otra hipótesis que puede considerarse como intermedia y que él llama *de los corrimientos*. Acepta, con las del primer grupo, el fenómeno de la contracción del núcleo como una de las principales causas de los plegamientos, siendo otra de gran importancia admitir un substrato geológicamente fluido, que es el punto de partida de las del segundo grupo; se diferencia, sin embargo, de éstas en que, en vez de tener que buscar fuerzas que eleven las montañas venciendo la acción de la gravedad, ésta es la que pliega y eleva aquéllas. Procuraremos dar una reseña muy sucinta tomada principalmente de su libro.

Las principales regiones montañosas se han formado bordeando los macizos llamados escudos, que en la época de su formación, debida tal vez al frac-

¹ REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS, 1925, pág. 554.

cionamiento del primitivo continente, constituirían las regiones rígidas de la litoesfera, bien siendo los continentes entonces existentes o regiones poco sumergidas recubiertas de los mares que llevan el nombre de epicontinentales. Refiriéndonos a las grandes montañas actuales, originadas durante la era terciaria, se sabe que se iniciaron en geosinclinales secundarias, quedando distribuidas como expresa la figura 6.^a

a los escudos. Esto determinaría que, aun cuando tuviesen variada accidentación superficial, adquirirían por su parte inferior, las partes de la litoesfera en que estuviesen dichos escudos, bombeamientos, con tendencia a la forma general de domos o cúpulas, acaso algo apoyadas en el basalto vítreo del substrato, pero cuyo peso produciría esfuerzos, como ocurre en todas las bóvedas, sobre los estribos, o sea

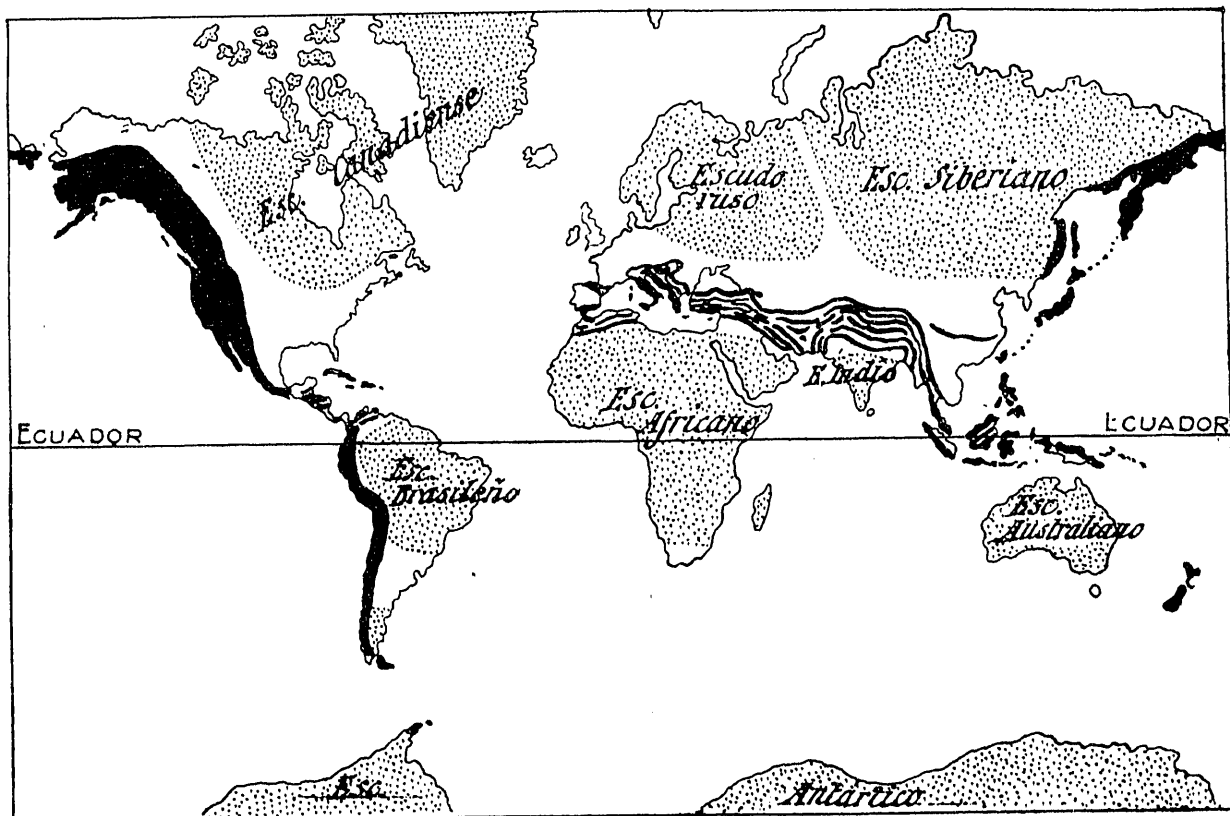


Fig. 6.^a Mapamundi en el que se marcan las posiciones de los escudos o regiones rígidas y las regiones de montañas de plegamiento de la era terciaria.

La formación de aquellos geosinclinales y también la de los correspondientes a las cordilleras anteriores, como las caledonianas y hercinianas, puede explicarse de un modo semejante a lo que, en términos generales, se expuso en la página 78 con motivo de los fenómenos que determinaron el fraccionamiento del primitivo continente. Desde que se formó la corteza terrestre, su mala conductibilidad sería causa de que, enfriada por su superficie, adquiriese una temperatura media muy inferior a la del núcleo. Este, que a pesar de estar protegido por la envoltura cortical, continuaría enfriándose, se contraería más que la corteza, que apenas lo efectuaría, aun cuando, por la acción de la gravedad, tendería a adaptarse al núcleo, cuya superficie sería cada vez algo más reducida, lo que desarrollaría esfuerzos horizontales y radiales, bajo cuya acción aquélla se iría hundiendo. Admitida la primitiva formación de continentes y mares según el proceso expuesto y por fraccionamiento del primitivo continente, la menor densidad de las rocas de la litoesfera en los continentes, así como el peso de las aguas marinas y de los sedimentos que, debidos a la ablación de sus rocas, festonearían los bordes continentales, determinarían mayores hundimientos en las cuencas oceánicas que en los escudos o zonas elevadas, y como aquellas cuencas tendrían que acoplarse a una superficie del núcleo más reducida, comprimirían periféricamente

los bordes continentales. Con ello disminuiría la presión ejercida por las partes altas de aquellos domos, con lo que fluiría el magma basáltico a dichas regiones aligeradas, en virtud de lo cual se tendría en ellas exceso de masa. La constante contracción del núcleo iría aumentando el bombeo de los escudos y las presiones sobre sus estribos. Pero estos estribos, o sea la región periférica de cada escudo continental, estarían además cargados con los sedimentos procedentes de los derrumbios de sus rocas, y se concibe cómo, sin recurrir a otras concausas citadas por Daly pero que por brevedad omitimos, bajo la acción de las presiones ejercidas por el domo y el peso de los sedimentos, podrá producirse, no sólo el hundimiento de la corteza formando largos geosinclinales, sino que llegará a fracturarse, variando la importancia de estos fenómenos de uno a otro punto de la periferia continental, según las presiones correspondientes, debidas a la configuración y circunstancias del domo y la importancia de los sedimentos acumulados en cada sitio.

Los diagramas de la figura 7.^a pueden facilitar la explicación de los fenómenos que Daly admite como probables. En el diagrama I se representa la corteza en el borde del continente, prescindiendo de detallar la distinta naturaleza de las rocas continentales y suboceánicas, pero acusando el geosinclinal y el arranque del domo continental. En el II se su-

pone que se ha roto la corteza bajo la acción del empuje f y del peso de los sedimentos, según se ha explicado en el párrafo precedente, fraccionándose la parte rota en bloques, que irán hundiéndose. Al faltar el estribo o arranque del domo, como éste descansa sobre un material geológicamente plástico, bien en virtud de diaclasas preexistentes o rompiéndose deslizará y comprimirá intensamente los sedimentos, que se plegarán adquiriendo la estructura

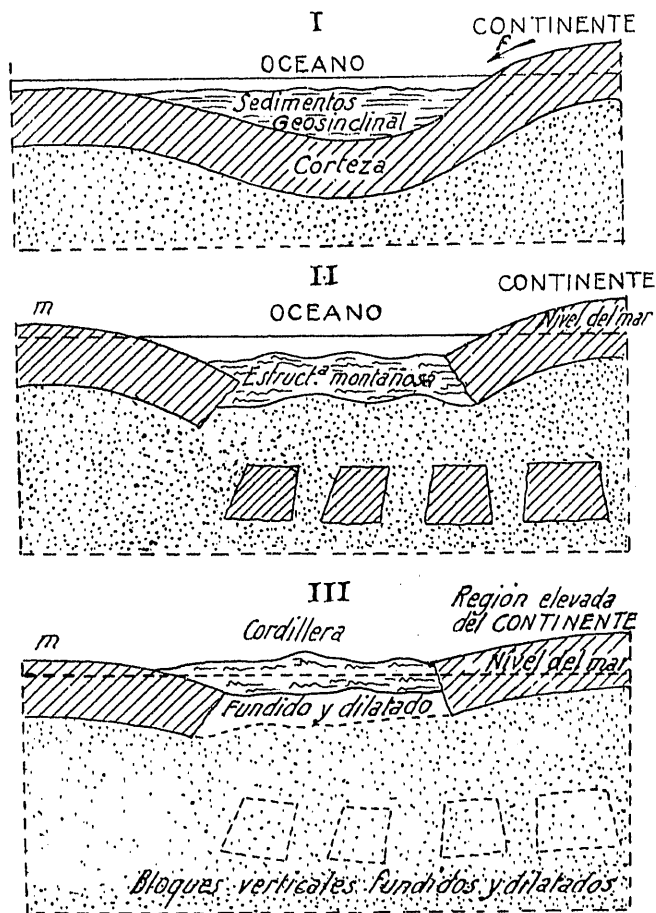


Fig. 7.ª Diagramas relativos a la formación de las montañas plegadas.

montañosa, sin que tengan tendencia a hundirse en el substratum por ser menos densos que él. En cambio, los bloques corticales, como, según las hipótesis de Daly (véase pág. 78), tendrán más densidad que el substrato, descenderán hasta que, como la de éste aumenta con la profundidad, lleguen a la región de equilibrio. La compresión antes indicada producirá a veces una cierta elevación m del borde del geosinclinal del lado del océano (fig. 7 II), pero los sedimentos plegados, con iniciación de la estructura montañosa, permanecerían aún bajo el nivel del mar. Su elevación, no tan sólo por encima de éste, sino sobrepasando mucho con respecto al continente que bordean, se explica, no sólo porque la compresión tenderá a ello y porque, siendo los sedimentos menos densos que el basalto vítreo, flotarán sobre él, sino considerando también, como hace notar Daly, que las partes de la corteza y de la base de los sedimentos en contacto con el basalto vítreo y a elevada temperatura se fundirán, y como la expansión consiguiente representa un aumento de volumen del 6 al 10 por 100, resultarán bastante menos densos que aquél basalto, lo que producirá un empuje que contribuirá a la elevación de la cordillera, como se ex-

presa en el diagrama III. Además, los bloques hundidos también se fundirán y aumentarán de volumen con pérdida de densidad, con lo que seguirá elevándose la cordillera y a veces parte del continente, lo cual puede ser causa de la relativamente reciente elevación epirogénica de las grandes llanuras de la América del Norte y de las elevadas mesetas asiáticas. El deslizamiento de los bloques corticales hacia los geosinclinales producirá tensiones en partes más o menos alejadas de éstos, lo que explica la formación de diaclasas y las manifestaciones volcánicas, que suelen ocurrir sincrónicamente con las épocas de actividad orogénica.

La atrevida y original teoría de Daly parte, según hemos dicho, del postulado de la contracción terrestre, y deduce que ésta produce un bombeo de los macizos continentales de su corteza que, en virtud de la gravedad, crea una energía potencial que posteriormente se invierte en la formación de las montañas de plegamiento. Las ideas de Daly obligan a admitir varios supuestos nuevos, como el del referido bombeo de los macizos continentales y que en el interior de la Tierra hay una envoltura de basalto vítreo de menor densidad que otra de basalto cristalizado que la recubre. Como aún no han sido, que sepamos, detenidamente estudiadas sus concepciones por los demás geólogos especializados en asuntos con ellas relacionados, creemos prudente aguardar, para juzgarla, a que se prosigan los estudios y observaciones tanto por su autor como por otros investigadores.

Montañas formadas por bloques o macizos

Están constituidas por capas más o menos horizontales y de ordinario poco plegadas, que por fracturas se han separado en bloques, los cuales sobresalen unos respecto de los otros.

Este tipo de montañas se encuentra bien representado en la meseta del Colorado y en los Basin Ranges al Oeste de los Estados Unidos de Norteamérica. También son características las de ambas márgenes de la zona hundida que forma el valle del Rin entre Basilea y Francfort, y en España las de la fosa tectónica del Ebro.

Admitida la constante contracción del núcleo, al que va adaptándose la rígida corteza, se comprende que, así como en sus partes menos resistentes se formarán montañas de plegamiento, en las más rígidas se determinarán grietas, que separarán bloques, los cuales, por diversas causas, podrán hundirse unos más que los otros. Esta explicación general del fenómeno es aplicable lo mismo a las hipótesis basadas sólo en la contracción como a las que se fundan también en las condiciones y movimientos de la materia subcortical, por más que resulta más satisfactoria suponiendo que aquélla está constituida por un magma geológicamente flúido. En efecto, admitiendo la tendencia a la formación de los escudos continentales bombeados propuesta por Daly, se comprende que en las partes altas de aquéllos, su rígida materia granítica, en varios sitios con imperfecto apoyo en el substrato, tenderá a cuartearse y hundirse; también los supuestos de Ampferer y Andrée, anteriormente mencionados, dan lugar a discontinuidades subcorticales que pueden producir fracturas en las regiones rígidas de la litosfera.