

INSTITUTO DE GEOGRAFIA DE LA UNAM

GEOMORFOLOGIA ESTRUCTURAL APLICADA

Resumen del curso dictado en septiembre-octubre de 1975.

Natalia Petrovna Kostenko

Doctora en ciencias geológico-mineralógicas.

Profesora de la Universidad Estatal de Moscú,

"Lomonosov".

México-Moscú, 1975.

INDICE

Prólogo	1
Introducción	3
Primera Conferencia. Objetivos del curso	4
Segunda Conferencia. Los factores endógenos formadores del relieve. Características generales.	7
Tercera Conferencia. Los procesos exógenos, características generales.	12
Cuarta Conferencia. Relaciones entre los factores endógenos y exógenos y las formas fundamentales del relieve del conti- nente.	17
Quinta Conferencia. Regularidad de la estructura del relieve de los va- lles fluviales.	22
Sexta Conferencia. Los cambios locales y regionales en la construcción de los valles fluviales y sus relaciones con los distintos tipos de placeres.	29
Séptima Conferencia. Los cambios locales en el régimen del río, y las trampas estructurales	31
Octava Conferencia. Regularidad de la estructura de las vertientes y los parteaguas .	38
Novena Conferencia. Parteaguas y vertientes (continuación)	41
Décima Conferencia. Cartas paleogeomorfológicas (análisis de la di- sección en plano horizontal)	45
Undécima Conferencia. Perfiles compuestos geológico-geomorfológicos (Análisis de la disección vertical)	53
Duodécima Conferencia. Sistemas sobrepuestos y formas estructurales fundamentales en las regiones de formación de montañas	62
Decimotercera Conferencia. Estadios de formación de las montañas y zonalidad geomorfológica del relieve	69
Décimocuarta Conferencia. Estudio de los levantamientos modernos en las planicies de nivel de base.	76
Decimoquinta Conferencia. Estudio de los levantamientos modernos en el litoral y la plataforma continental	86
Decimosexta Conferencia. Análisis geomorfológico de dislocaciones disyuntivas, con expresión de relieve	90
Decimoséptima Conferencia. Conclusiones	101
Glosario.	111

PAOLOGO

En la situación actual, el conocimiento geomorfológico constituye un puente que liga el campo geológico, geográfico y biológico, para poder explicar la génesis y evolución de las formas del relieve y el modelado de la superficie terrestre. Sabemos que tanto la Geografía como la Geología estudian la Tierra; la primera más en función del espacio, la segunda más en función del tiempo. La geomorfología lo hace en función de ambos factores. Por ello la geomorfología ha tenido que desarrollar métodos de investigación propios que la llevan cada vez más a un plano de ciencia autónoma.

Por lo anterior, el análisis geomorfológico, aunque complejo, puede resolverse, en esencia, por su magnitud temporo-espacial, por su carácter genético y por sus fines particulares, empleando en ello conocimientos físico-geográficos, físico-biológicos, geomorfológico-estructurales, etc.

En el caso del trabajo que nos ocupa, N.P. Kostenko, nos presenta una forma depurada del análisis geomorfológico-estructural, en el que el estudio de las deformaciones del relieve como expresión de la actividad tectónica, activa o inactiva dan la pauta en el cambio de formas y tipos del relieve. Por la forma en que lo presenta la autora, los factores y elementos del relieve pasan de la forma estática implícita que caracteriza la mayor parte de la cartografía morfoestructural, a un plano de dimensión funcional explícita en sí misma. La representación cartográfica, el corte y el bloque, diagrama, elementos y herramientas del análisis básico de N.P. Kostenko, pasan, así, de su función esquemática a la operación correlativa inductiva-deductiva; las explicaciones de hechos y fenómenos adquieren dimensiones múltiples y salen de la esfera de los modelos mecanicistas rígidos que hasta ahora imperan, para, con el dominio pleno del empirismo, demostrar que la teoría y el hecho constituyen una dualidad inseparable de su método. Con ello Natalia Petrovna no sólo muestra la ventaja de su teoría sino, además, el éxito de llevarla a la práctica. Así, las cartas geomorfológicas son un modelo básico en el que la maestría empírica produce el modelo cartográfico teórico sobre el que se afinan hipótesis y se planea la comprobación de campo. Todo ello en un

trabajo que requiere de pocos elementos humanos y materiales, de manera que en los aspectos de la geodinámica de exploración, así como en la de prospección, los costos de operación son muy bajos.

Esta geomorfología revolucionaria ha encontrado aplicación en el vasto territorio de la URSS, en la búsqueda de yacimientos petrolíferos en estructuras de desarrollo moderno; en la localización de yacimientos de placer; en las obras de ingeniería civil; en trabajos de regionalización sísmica, etc.

Por todo esto, Natalia Petrovna Kostenko es uno de los principales exponentes de la geomorfología soviética y, de ahí la importancia de dar a conocer los conceptos de su método, lo que es causa de profunda satisfacción para nosotros.

Es de justicia hacer mención de que, sin la decidida cooperación de los Drs. Carlos Arredondo Martínez, José Lugo Hubp; Lic. Jorge Cervantes Borja e Ing. Gilberto Hernández Corzo, quienes tuvieron a su cargo la traducción, asesoría y revisión, no hubiera sido factible llevar a feliz término la edición en español de esta obra tan valiosa.

Lic. Rubén López Recéndez
Coordinador del curso.

INTRODUCCION

Este curso, que comprende 17 conferencias, no pretende, por su volumen; ser una exposición sistemática de las bases teóricas de la geomorfología estructural, ni obtener algún provecho con fines prácticos. La meta principal del curso es un tanto modesta: dar a conocer, simplemente, una serie de nuevas concepciones teóricas, con un nuevo método de cartografía geomorfológica.

Esta teoría se expone más ampliamente en tres libros* de la autora, donados al Instituto de Geografía con el ferviente deseo de verlos algún día escritos en lengua española, para que puedan ser ampliamente utilizados en México. Este deseo se produjo en la autora por el conocimiento directo que gradualmente fue obteniendo de la geología y el relieve de la República Mexicana, así como por lo que le permitieron observar los trabajos prácticos de laboratorio (ver conferencia No. 17).

La aplicación que durante muchos años la autora ha hecho de sus métodos de elaboración de cartas paleogeomorfológicas y morfoestructurales (1) es una experiencia que demuestra la utilidad de los mismos cuando se aplican a países montañosos (2) como México: joven y maravilloso en su impetuoso desarrollo geológico.

Para la autora sería motivo de alegría que sus métodos encontraran aplicación práctica en la geomorfología mexicana.

* "Desarrollo del relieve de países montañosos", 1970, 338p.

"Desarrollo de deformaciones plicativas y disyuntivas en el relieve orogénico", 1972, 320 p.

"Sedimentos cuaternarios de países montañosos", 1975, 216 p.

(Las tres obras escritas en ruso).

PRIMERA CONFERENCIA.

1. OBJETIVOS DEL CURSO.

La geomorfología es una ciencia puente entre la geografía y la geología y estudia una serie de problemas complejos y heterogéneos de los que algunos se resuelven por métodos fisicogeográficos y otros por métodos geológicos, és tos últimos en los que se apoya la geomorfología estructural.

El objeto fundamental del método de la geomorfología estructural es analizar las deformaciones tectónicas, activas e inactivas, expresadas en el relieve de la superficie terrestre con dimensiones y configuraciones variables.

Por cuanto el desarrollo de las formas orográficas depende de muchos factores, el método de estudio es, en sí, complejo. Los métodos de estudio del re lieve y de elaboración de cartas geomorfológicas se exponen en publicaciones periódicas especializadas. Por ello, en este curso estudiaremos en forma selec tiva dos métodos básicos: el paleogeomorfológico y el geomorfológico estructural. El primero permite estudiar el relieve en función del tiempo y del espacio; el segundo establece la relación existente entre el relieve y su estructura interna, y permite evaluar cuantitativamente en el tiempo a las deformaciones tectónicas, a partir de su expresión en el relieve, en forma de elevaciones o depresiones.

El análisis morfoestructural puede aplicarse ampliamente en:

- I. La búsqueda de algunos tipos de yacimientos minerales.
- II. Estudios geohidrológicos.
- III. Estudios geotécnicos de obras hidráulicas.
- IV. Evaluación de riesgos en obras civiles, por actividad tectónica.

Por todo lo anterior, el curso se subdivide en dos partes: la primera dedicada a los fundamentos teóricos, la segunda a la aplicación de los mismos.

2. Los principales factores formadores del relieve.

El desarrollo del relieve terrestre depende de varios factores que se dividen en tres categorías: cósmicos, planetarios (en lo que corresponde al sistema solar) y terrestres. Con los primeros está relacionado el origen de la Tierra; con los segundos, algunos de sus parámetros físicos y la energía de los rayos solares; los factores terrestres se subdividen en internos o endógenos y externos o exógenos, de acuerdo con el carácter de influencia sobre el relieve, su relación genética con el mismo, y su origen.

Los factores endógenos se relacionan con los procesos de actividad en la corteza y en el manto superior, y en parte se expresan por la formación de irregularidades en la superficie terrestre, así como por sus propiedades físico-químicas y mecánicas.

A los factores exógenos corresponden los procesos de intemperismo, denudación (3) y acumulación. Estos están ligados en forma estrecha con los procesos endógenos y con el clima del planeta. Los factores terrestres, tanto endógenos como exógenos se desarrollan y actúan en función de los movimientos de la Tierra y de su campo gravitacional; por eso, la fuerza de la gravedad, y en especial el movimiento de rotación, tienen gran significado en los procesos formadores del relieve.

Los procesos que conforman el relieve de la Tierra tienen un continuo diferencial en el tiempo; por eso las características temporales como permanencia, continuidad, velocidad y otros deben considerarse durante su análisis.

De esta manera, podemos presentar el siguiente esquema de la interacción de los principales factores formadores del relieve.

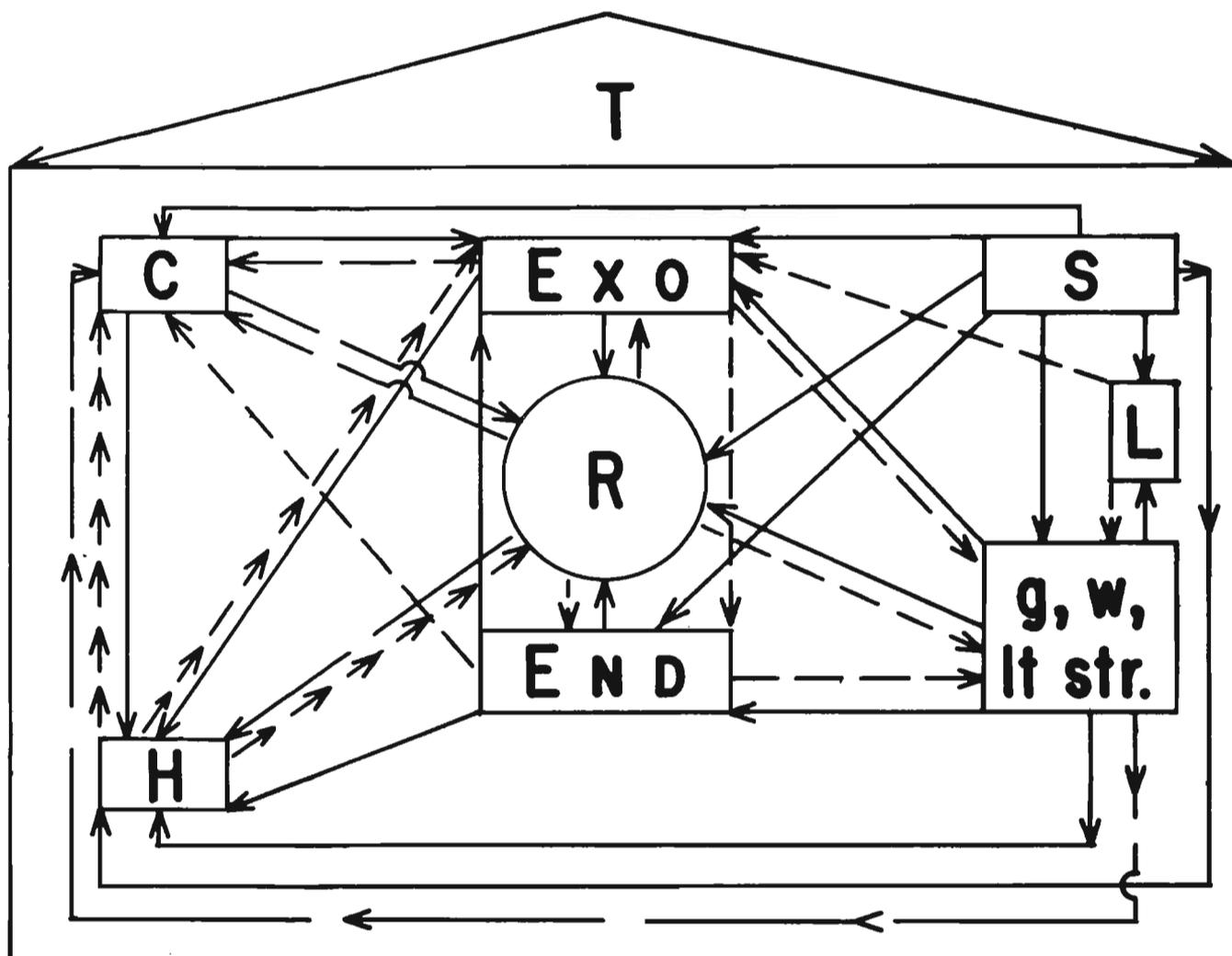


Fig. 1. PRINCIPALES FACTORES FORMADORES DEL RELIEVE Y SUS INTERRELACIONES.

R = relieve; factores terrestres: END = endógenos; EXO = exógenos; g = campo gravitacional de la Tierra; (W) = velocidad de rotación y otros movimientos; H = influencia del hombre; C = clima.

Factores planetarios generales: S = energía solar; L = actividad gravitacional de la Luna; T = tiempo (duración, continuidad, etc.)

Las diferencias en el dibujo de las flechas indica el carácter comparativo de la interacción entre los factores: \longrightarrow significativo; \dashrightarrow débil; $-\ - \ - \rightarrow$ sin importancia; \longleftrightarrow aproximadamente balanceado; $\gg \gg \gg$ sin importancia, pero incrementándose con el tiempo.

SEGUNDA CONFERENCIA.

1. LOS FACTORES ENDOGENOS FORMADORES DEL RELIEVE. CARACTERISTICAS GENERALES.

Si se calcula la edad de los procesos endógenos formadores del relieve a partir de la formación de la corteza continental, resulta del orden de 3 a 3.5×10^9 años.

Estos procesos se presentan en todas partes, pero su actividad varía cuando actúan en los macizos continentales o en las depresiones oceánicas, lo que se debe a las propiedades heterogéneas de la corteza terrestre, lo cual da lugar a la existencia de dos tipos de corteza: continental y oceánica.

Son conocidos los regímenes de tipo geosinclinal, platafórmico y orogénico que tuvieron lugar durante el neogeo (4), y a los cuales les correspondieron determinados parámetros de los procesos endógenos: velocidad, orientación, tipos de magmatismo y metamorfismo, así como los tipos globales del relieve, en tanto que el orogénico tiene un desarrollo limitado.

El régimen ha determinado un extenso desarrollo de planicies a diferentes altitudes, desde altiplanicies y mesetas hasta las planicies bajas acumulativas, no disecadas.

El régimen orogénico condicionó la formación de los ejes montañosos transcontinentales, como el Andino-Cordillerano, entre otros, así como de algunos países montañosos aislados, como los Urales, por ejemplo, con formas lineares y un relieve contrastante de sistemas montañosos (2) y singulares planicies de piedemonte e intermontanas, que tienen un significado secundario.

En la región de las depresiones oceánicas se reconocen las formas correspondientes: planicies oceánicas, así como sistemas montañosos perioceánicos e intraoceánicos. Al igual que en los continentes, en los océanos las planicies predominan significativamente sobre los sistemas montañosos. Las diferencias en el desarrollo de las megaformas continentales y oceánicas están en función de su génesis diferente, como lo evidencian las diversidades en su arquitectura y en su historia geológica.

Las fuentes principales de energía de los procesos endógenos son:

- I) el desarrollo de la materia que compone la Tierra, orientada a su descomposición y el desprendimiento de energía, incluyendo térmica y mecánica;
- II) la energía potencial de la masa de la Tierra y el campo gravitacional por ella creado; c) los movimientos de la Tierra, principalmente el de rotación.

2. Los principales factores endógenos formadores del relieve.

La actual arquitectura interna de elevaciones y depresiones, en la gran mayoría de los casos es compleja y corresponde a diversas combinaciones de las formas estructurales activas e inactivas que están compuestas por rocas con diferentes grados de estabilidad ante los procesos exógenos.

Los factores formadores del relieve pueden dividirse en dos grupos principales: estáticos y dinámicos; a su vez, cada uno de estos grupos abarca una serie de factores (fig. 2-5). El análisis de los factores mencionados es de mucha utilidad práctica, como en el cálculo de la resistencia de obras de ingeniería, planeación urbana, irrigación, así como en la búsqueda de algunos tipos de yacimientos (minerales in situ, placeres, petróleo y gas natural).

* * * * *

Significado de la simbología de las figuras 2 a 5:

Fig. 2. Est: factores estáticos: p_n^d : profundidad del corte por denudación, S_r^m : estructura "muerta" o inactiva; $L_t^{es}_{gr}$: factores litológicos (es: estabilidad, gr: espesor de las capas). D_n^f : factores dinámicos: V : velocidad (escalar) de los movimientos de las formas estructurales; V_c : vector que indica la dirección del movimiento; S_r^v : estructura activa o "viva".

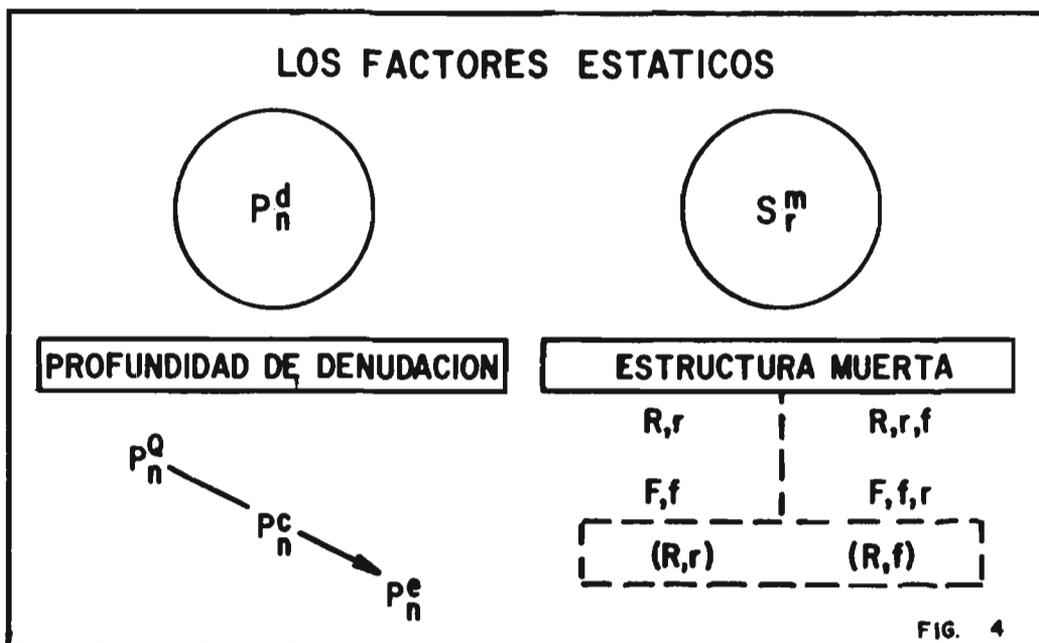
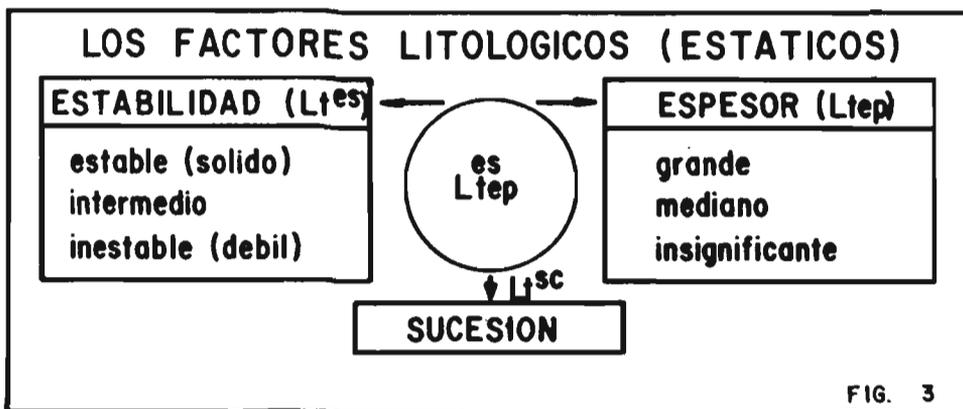
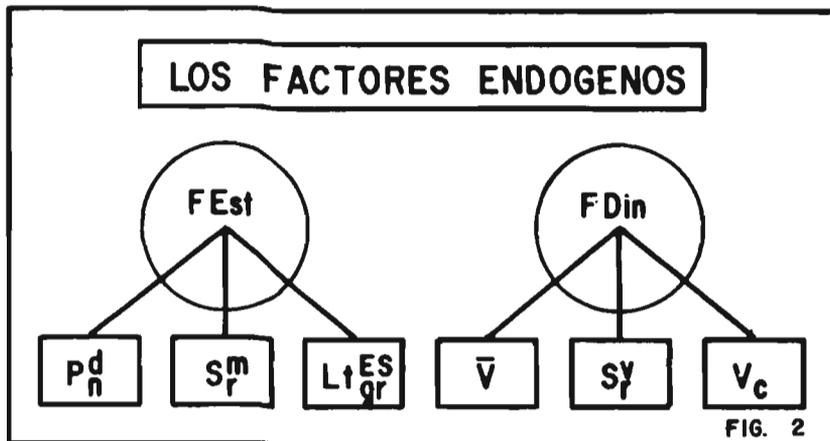
Fig. 3. La simbología se explica en la misma.

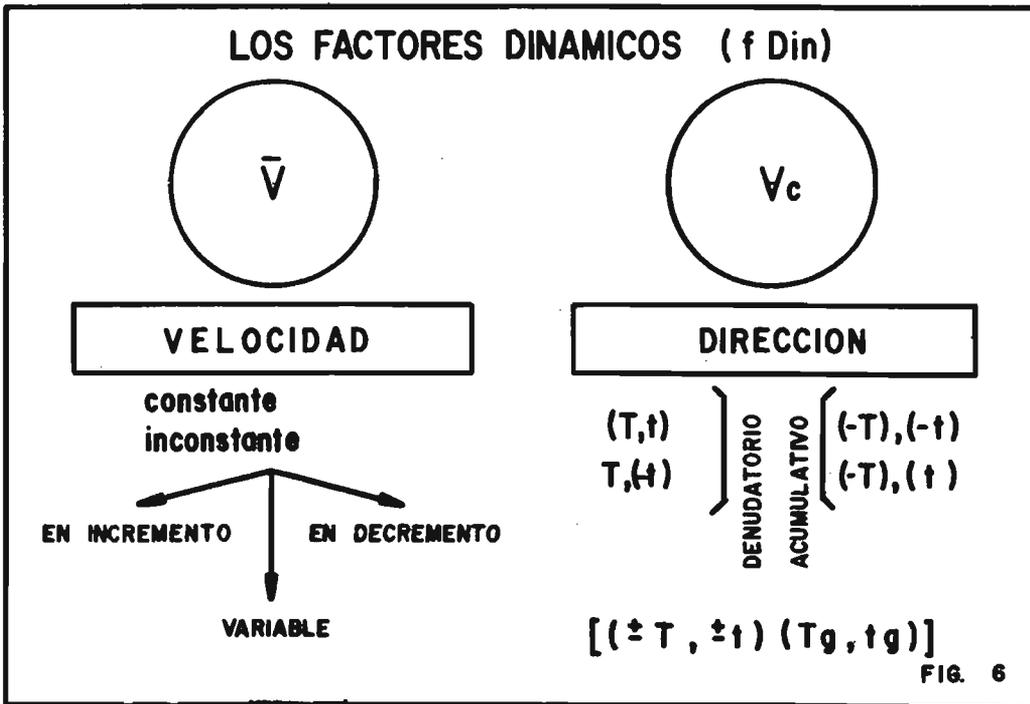
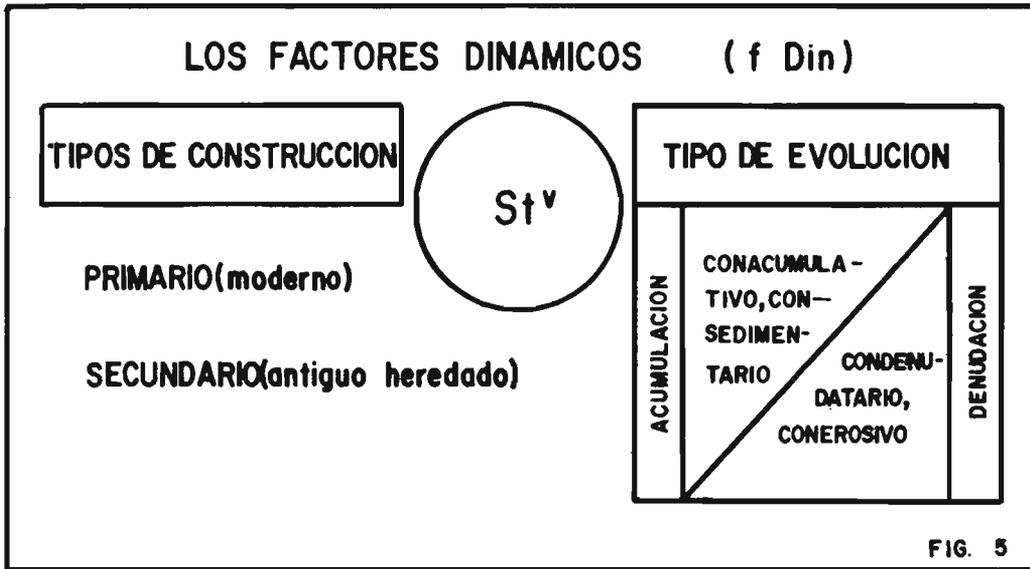
Fig. 4. Profundidad por denudación: P_n^q : en sedimentos cuaternarios; P_n^c : en rocas de la cubierta sedimentaria; P_n^b : en rocas del basamento.

Tipos(mecánicos) de deformaciones tectónicas: R: flexiones con radios de curvatura grandes, r: con radio pequeño; F: fracturamiento profundo, regional, f: local, de poca profundidad; en los paréntesis rectangulares se señalan las combinaciones complejas de los tipos principales de deformaciones que se observan en la arquitectura de las elevaciones y las depresiones.

Fig. 5. La simbología se explica en la misma.

Fig. 6. Dirección de los movimientos: radiales o verticales: a) hundimientos: (-T), regionales; (-t), locales; b) levantamientos: T: regionales; t, locales; tangenciales u horizontales: Tg, regionales; tg, locales. En los paréntesis rectangulares se señalan las combinaciones complejas de movimientos verticales y horizontales en las formas estructurales activas.





TERCERA CONFERENCIA.

1. LOS PROCESOS EXÓGENOS, CARACTERÍSTICAS GENERALES.

La edad de los procesos exógenos es semejante a la de la corteza terrestre y de los procesos endógenos, o sea del orden de 3.5 miles de millones de años. La edad de las rocas metamórficas más antiguas, formadas a partir de rocas sedimentarias, se calcula aproximadamente en 1.6 a 1.8 miles de millones de años.

Se considera a los movimientos de la corteza terrestre, y la acción del campo gravitacional de la Tierra, como fente de energía de los procesos exógenos. Estos movimientos determinan la dirección de los procesos de acumulación y denudación. La preparación del material detrítico se lleva a cabo in situ por los procesos de intemperización (física, química y biológica), bajo la influencia de la energía de los rayos solares, de la atmósfera y de la hidrósfera.

El tipo genético de los procesos exógenos se determina mediante las condiciones externas físico-geográficas (relieve y clima).

La distribución de los diferentes tipos genéticos de los procesos exógenos es de carácter regular y depende de los niveles geomorfológicos globales, del régimen tectónico y de la zonación climática planetaria (Fig. 7).

2. Los tipos genéticos de los procesos exógenos.

En condiciones continentales, los principales tipos genéticos de los procesos exógenos se distribuyen regularmente en los elementos fundamentales del relieve: los parteaguas (5); las vertientes, los fondos de los valles fluviales, así como las depresiones lacustres y los litorales marinos. De acuerdo con ello, se diferencian procesos exógenos, eluviales, coluviales y aluviales, todos en mayores extensiones; así como glaciales y eólicos (Fig. 8 y 9).

Los tipos fundamentales de la intemperización y los caminos de transporte del material detrítico, así como la génesis de los procesos que les dieron ori-

gen pueden ser determinados a partir de los sedimentos correlativos.

3. Relaciones genético-causales. (Entre los procesos endógenos y exógenos).

Los procesos endógenos producen las irregularidades fundamentales del relieve que son la fuente de la energía potencial de los procesos exógenos. Bajo la influencia del campo gravitacional de la Tierra tiene lugar un cambio de la energía potencial en cinética, que es usada en el acarreo del material detrítico, mediante los diversos procesos exógenos. El resultado final de la acción de los procesos exógenos es la nivelación debida al corte de las elevaciones y al relleno de las depresiones. Por esto los procesos en dógenos deben ser considerados como creadores de las irregularidades de la superficie terrestre, y los exógenos niveladores. En condiciones muy favorables la velocidad máxima de los procesos endógenos y exógenos no es igual, siendo mayor en los procesos endógenos que en los exógenos. Por esto, en los procesos exógenos existen velocidades críticas que al sobrepasar la de los procesos endógenos alteran el estado de equilibrio dinámico de compensación, incrementando cambios cualitativos en el desarrollo de los procesos exógenos.

De acuerdo con la interacción de los procesos endógenos y exógenos, se pueden diferenciar los siguientes tipos de desarrollo del relieve: un desarrollo conacumulativo, de depresiones particulares, y un desarrollo consedimentario de elevaciones particulares, en una zona de hundimiento y acumulación regional. En condiciones de levantamiento regional aparece un desarrollo condenudatorio y conerosivo de elevaciones particulares.

La dirección y velocidad del movimiento determinan el carácter principal y la dirección de los procesos exógenos. Así, el hundimiento provoca la acumulación y el levantamiento la denudación; la denudación planar se produce cuando la velocidad de levantamiento es de poca magnitud durante un desarrollo condenudatorio. Un aumento de la velocidad crítica de denudación planar conduce a una denudación lineal (6) que tiende a condiciones de desarrollo conerosivo (Fig. 10).

Signos convencionales.

Fig. 7. Explicación en el esquema.

Fig. 8. Explicación en el esquema.

Fig. 9. Explicación en el esquema.

Fig. 10. Procesos de denudación: D, regionales; d, locales; D^p , denudación planar; D^{er} , denudación lineal; A, procesos de acumulación; A^{sba} , subacuática y S^{sar} , subaérea.

LOS NIVELES GEOMORFOLÓGICOS GLOBALES



Relieve continental

- I NIVEL OROGENICO CONTINENTAL
- II NIVEL DE PLANICIES DE PLATAFORMA
- III NIVEL DE PLANICIES DE FONDO OCEANICO
- IV NIVEL OROGENICO OCEANICO

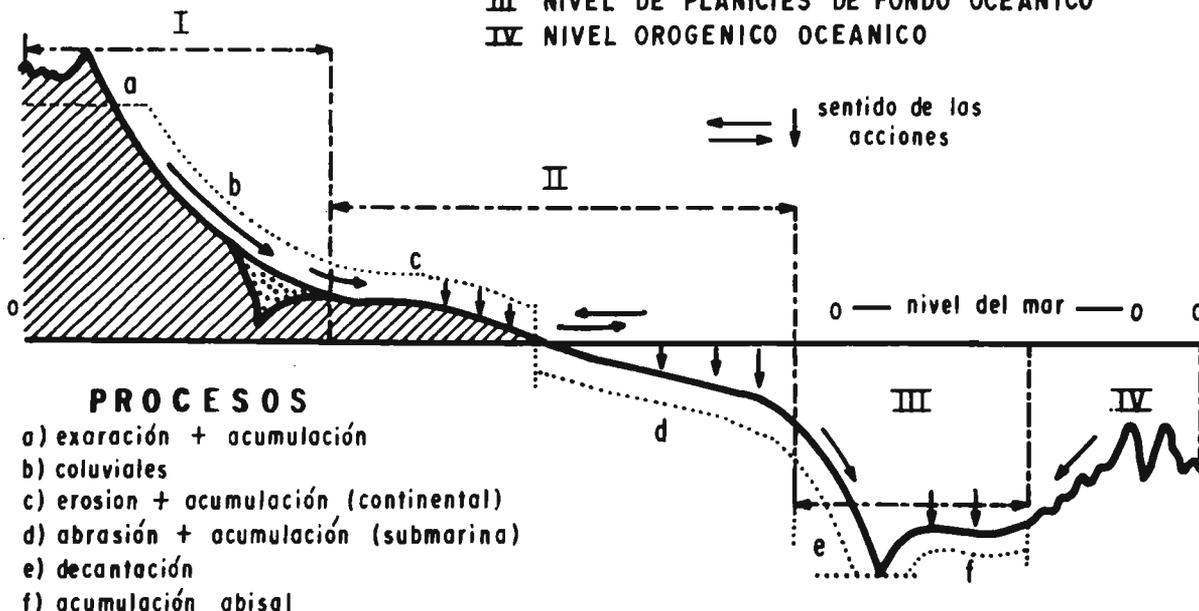
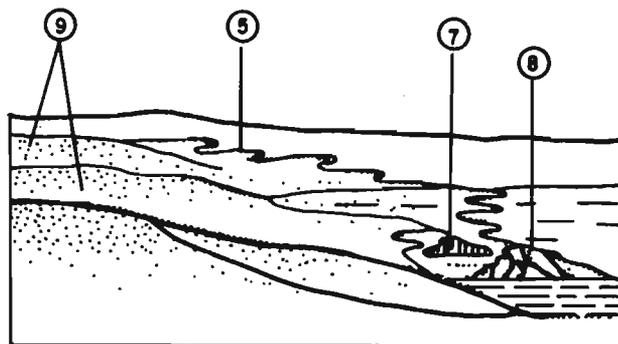
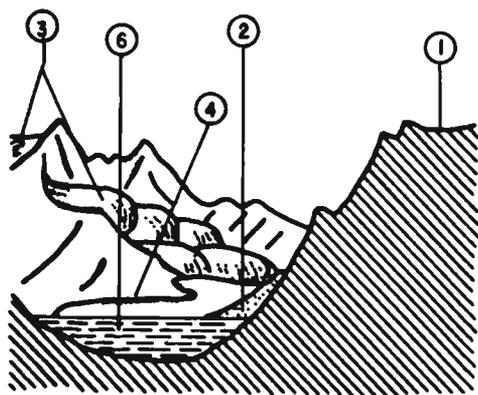


Fig. 7

LOS PROCESOS EXOGENOS



- 1. ELUVIALES
 - 2. COLUVIALES
 - deslaves
 - derrumbes
 - deslizamientos
 - solifluxión
 - deluvial
- } GRAVITACIONALES

- 3. GLACIALES
- 4. FLUVIOGLACIALES
- 5. FLUVIALES
- 6. LIMNOGLACIAL
- 7. LACUSTRES
- 8. DELTAICO MARINOS
- 9. EOLICOS

Fig. 8

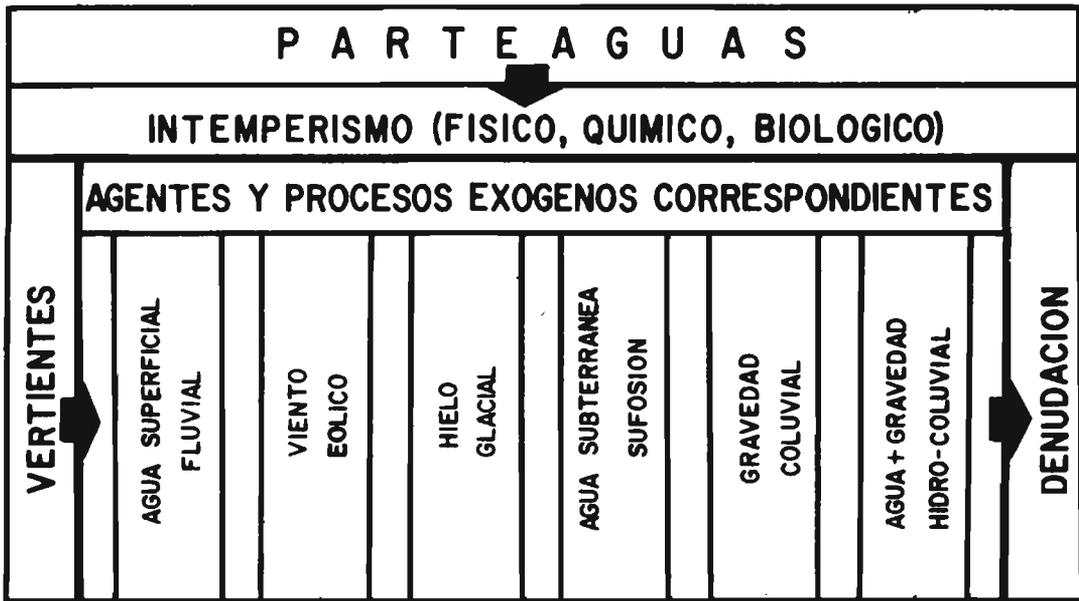


FIG. 9

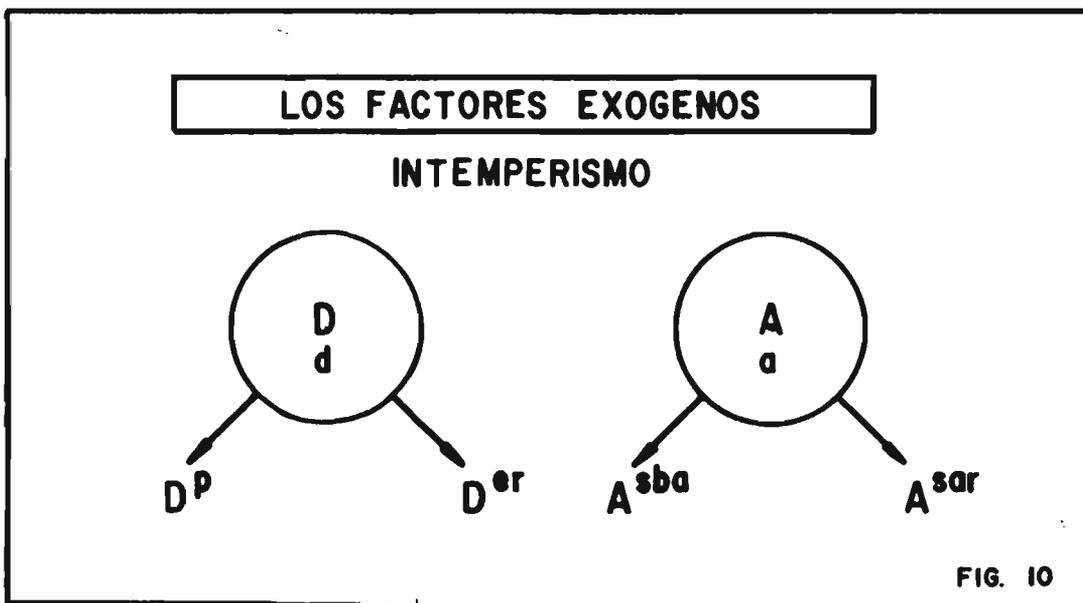


FIG. 10

CUARTA CONFERENCIA

RELACIONES ENTRE LOS FACTORES ENDOGENOS Y EXOGENOS Y LAS FORMAS FUNDAMENTALES DEL RELIEVE DEL CONTINENTE.

1. El efecto de aislamiento de los procesos exógenos.

El material precedente (conferencias primera a tercera) permitió establecer:

a) Que la fuente principal de energía de los procesos exógenos de denudación (D) y acumulación (A) se debe a la aparición de desniveles en ciertas porciones de la superficie terrestre. Como consecuencia, la formación en el relieve de elevaciones y depresiones tectónicas siempre va acompañada por procesos de disección y nivelación de las formas orográficas positivas, así como por el relleno de las negativas.

b) Que la velocidad máxima de los procesos de nivelación (D y A), en condiciones óptimas, es menor que la velocidad máxima posible de los movimientos de las formas estructurales y siempre depende de la magnitud y sentido de los movimientos tectónicos. El incremento de la velocidad de los movimientos tectónicos está en razón directa del aumento de la velocidad de los procesos exógenos, a los que provoca sólo dentro de ciertos límites. Estos se determinan, para cada especie de proceso nivelador, mediante su velocidad óptima. Así, por ejemplo, la velocidad máxima de denudación planar (D_{max}^p) es mucho menor que la velocidad máxima de denudación lineal o erosión (D_{max}^er) etc. La velocidad de los movimientos tectónicos que corresponde a la velocidad máxima del proceso exógeno dado (D, d, o bien A, a) es llamada velocidad crítica. Una velocidad supra-crítica de los movimientos tectónicos no provoca un aumento en la intensidad del proceso exógeno dado.

c) Las condiciones de velocidades infracríticas de denudación planar ($T < D_{max}^p$) corresponden a un desarrollo condenudatorio de levantamientos regionales y locales, al equilibrio de los procesos ($T=D$) y a la formación de su superficies de denudación de nivelación dinámica.

Las condiciones de rebasamiento de las velocidades críticas de denudación planar ($D_{\max}^p < T < D_{\max}^{er}$) determinan un desarrollo conerosivo y la aparición de formas estructurales positivas manifestadas en elevaciones disecadas por ríos.

Las condiciones de rebasamiento de las velocidades críticas de erosión ($T > D_{\max}^{er}$) provocan el fenómeno de retardo general de todos los procesos exógenos niveladores, en relación con el crecimiento en el relieve del levantamiento tectónico.

d) En función de la magnitud de la velocidad (\bar{V}) y de la dirección (V_c) de desarrollo tectónico, así como de las dimensiones de la forma estructural, el aislamiento de los procesos exógenos puede ser parcial o total a partir del nivel de base general de denudación.

Las regiones internas de la altiplanicie tibetana son un ejemplo de aislamiento total. Un ligero aislamiento parcial se puede observar en muchas regiones del altiplano volcánico de México, elevado a alturas del orden de 3 km, pero moderadamente disecado. Las regiones externas del frente de la Sierra Madre Oriental son un ejemplo de desarrollo de un levantamiento orogénico profundamente disecado en condiciones de altas velocidades de erosión, aunque todavía infracríticas, ya que los ríos cortados en las vertientes orientales del levantamiento se unen con el nivel de base de denudación; es decir, con la planicie acumulativa de Tampico-Misantla. En tales condiciones, el cambio de velocidades y sentido de los movimientos tectónicos regionales y locales ($\pm T$ y $\pm t$) determina la intensidad de los procesos exógenos y toda la diversidad de tipos de relieve en la superficie de los macizos continentales.

2. Sistemas geomorfológicos estables e inestables.

a) Por sistema geomorfológico se entiende el conjunto de procesos endógenos y exógenos, genéticamente ligados entre sí, que dan lugar al desarrollo de uno u otro tipo de relieve.

Se considera sistema estable aquel en el que el desarrollo de los proce

esos exógenos se abastece por una fuente de energía; e inestable aquel en el que el gasto de energía no corresponde a su recuperación, lo que provoca una disminución correspondiente en la intensidad de los procesos exógenos, hasta que éstos alcanzan la condición de estabilidad.

b. En grandes territorios en donde los movimientos tectónicos (T o $-T$) tienen un desarrollo regional orientado durante un tiempo (T_{eq}) suficiente para lograr un equilibrio dinámico entre ($+T$) y (A, D); es decir, entre los factores fundamentales de formación del relieve se pueden diferenciar los sistemas representados en la Fig. 11.

c. En los sistemas estables, y de manera especial en los inestables, tiene gran importancia la prehistoria geológica y el relieve formado como resultado de las relaciones entre los factores endógenos y exógenos. Los sistemas estables pueden desarrollarse en cualquier tipo de condiciones orográficas. Para la existencia de sistemas inestables son indispensables condiciones orográficas tales que, temporalmente, compensen la energía gastada que los procesos endógenos no pueden proporcionar. Como resultado de un desarrollo equilibrado completo de estos sistemas principales aparecen los tipos de relieves estables correspondientes; es decir, que en el transcurso del tiempo no experimentan cambio en la dirección e intensidad de su desarrollo (Fig. 12).

CONDICIONES INICIALES DE DESARROLLO
Y TIPOS DE RELIEVE (R)
$t = 0; (-t) = 0; t = d; (-t) = a$
DE PLANICIE: "MUERTO" Y "VIVO"

CORRELACION DE LOS PROCESOS ENDOGENOS Y EXOGENOS (1-8, TIPOS PRINCIPALES)			Prof. del corte de denuda- ción (Pn)	Nivel Geomor- fológi- co
O R O G E N I C O			R A P I D O	O R O G E N I C O - C O N T I N E N T A L
1	$T \gg D$	Rápido; ascendente. Es posible la conservación de relieve relictos		
2	$T > D$	Lento; ascendente.	L E N T O	H U N D I M I E N T O D E L A P n
D E P L A N I C I E - D E N U D A T O R I O				
3	$T = D$	Nivelación dinámica.	R A P I D O	D E P L A N I C I E P L A T A F O R M I C O
4	$T < D \longrightarrow T = D'$			
D E P L A N I C I E - A C U M U L A T I V O			L E N T O	L E V A N T A M I E N T O D E L A P n
5	$(-T) < A \longrightarrow (-T) = A'$			
6	$(-T) = A$	Nivelación dinámica	R A P I D O	D E P L A N I C I E O C E A N I C O
D E P L A N I C I E - D E D E P R E S I O N				
7	$(-T) > A$	Lento; descendente.	L E N T O	
8	$(-t) \gg A$	Rápido; descendente.		

Fig. 11. DIRECCION DE DESARROLLO DEL RELIEVE Y TIPOS FINALES ESTABLES DEL MISMO.

CONDICIONES INICIALES DE DESARROLLO		Y TIPOS DE RELIEVE (R)		$(-t) = a; t = d; (-t) > a; t > d$		RELIEVE DIRECTO O ESTRUCTURAL (R^{eq})	
CORRELACION DE LOS PROCESOS ENDOGENOS Y EXOGENOS (1-8, TIPOS PRINCIPALES)						Nivel geomorfológico	
OROGENICO						CONTINENTAL	OROGENICO
1	$T \gg D$	Es posible un prolongado desarrollo de un relieve inicial (R) levantado muy alto, en condiciones de aislamiento.					
2	$T > D$	Carácter heredado del desarrollo de las elevaciones (t), con la aparición predominante de formas estructurales negativas (-t) y su transformación en depresión relativa.					
OROGENICO							
3		Carácter heredado del desarrollo en relieve de las elevaciones; las depresiones se pueden expresar en forma diversa en función de la relación: T y (-t); cuando $T = (-t)$ o $T > (-t)$ las depresiones aparecen como zonas de hundimiento absoluto.					
4		$T < D \longrightarrow T = D'$					
OROGENICO - PERIOCEANICO (Geosinclinal?; del tipo de los "rifts" de los arcos insulares)						OCEANICO	TIPO FINAL DE RELIEVE (R')
5		$(-T) < A \longrightarrow (-T) = A'$					
6	$(-T) = A$	Desarrollo heredado de las depresiones: 1) $(-T) + t = t d'$, con un papel subordinado de los levantamientos; 2) $(-T) + t = 0$, con un papel subordinado de las planicies de denudación; 3) $(-T) + t = (-t)$, en proceso de nivelación dinámica.					
OROGENICO - CENTRAL - OCEANICO							
7	$(-T) > A$	Lento, con tendencia preponderante hacia la formación de depresiones en relieve.					
8	$(-T) \gg A$	Rápido, con la conservación del antiguo relieve ligeramente modelado con preponderancia hacia la formación de depresiones.					

Fig. 12. DIRECCION DE DESARROLLO DEL RELIEVE Y TIPOS FINALES ESTABLES DEL MISMO.

QUINTA CONFERENCIA.

REGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA DEL RELIEVE DE LOS VALLES FLUVIALES.

1. Los valles fluviales constituyen uno de los principales objetivos del análisis geomorfológico-estructural del relieve del continente. Resulta difícil evaluar suficientemente el papel que juegan los ríos en la vida del hombre, ya que con ellos está ligado el desarrollo industrial y agrario de los países, así como diversos yacimientos minerales.

De acuerdo con la estructura geomorfológica y el carácter del desarrollo moderno (?) de los valles fluviales, se dividen en orogénicos y platafórmicos (Fig. 13), y en todos ellos son característicos los elementos generales del relieve determinados por los procesos fluviales.

En la sección transversal y longitudinal de un río se pueden distinguir formas de relieve fluvial de diferente magnitud y desarrollo, diferenciables por el carácter de la estructura moderna del valle. Estas formas pueden ser antiguas, inactivas, correspondientes a etapas tectónicas concluidas (o realizadas) de la formación del valle, y nuevas, activas, pero que se encuentran en diferentes fases de desarrollo.

2. Las formas antiguas son erosivas, erosivo-acumulativas y acumulativas sepultadas, correspondientes a megaciclos del desarrollo de los valles, que reflejan: a) la dirección en el sentido que sigue el fenómeno y b) la manifestación de los movimientos tectónicos en la región dada, en estrecha relación con el sistema de la red hidrográfica.

En una región de levantamientos uniformes, a las etapas fundamentales de desarrollo de los procesos fluviales corresponden cortes megacíclicos de los valles erosivo-denudatorios, de diferentes edades, regionalmente distribuidos y dispuestos en pisos (Fig. 14).

En una región de hundimientos uniformes a las etapas fundamentales de desarrollo de los procesos fluviales corresponden depósitos regionales de diversas edades, sucesivamente sepultados e incluidos en la columna geológica.

Como regla, los contactos entre las capas conservan huellas de erosión laminar de diferente intensidad y las capas mismas se diferencian por sus características físicas y litológicas (Fig. 14).

En las regiones con tendencia de desarrollo variable (cambio de levantamiento por hundimiento, o viceversa), aparecen interrelaciones complejas entre las formas sepultadas diferentemente levantadas y de diferentes edades, de acuerdo con las principales variaciones de corte, entre las cuales el desarrollo actual de los valles tiene gran significado (Fig. 14).

3. Las formas iniciales corresponden a un megaciclo activo de los procesos fluviales los cuales representan un relieve fluvial de mayor orden (o rango). En condiciones de levantamientos uniformes, el corte regional es de carácter denudatorio-erosivo y ocupa la posición más baja dentro de la cuenca (Fig. 15); en condiciones de hundimiento uniforme el corte se efectúa sobre la capa superior. En condiciones con cambio en el sentido de los movimientos se forma un corte erosivo-acumulativo regional, con una estructura compleja en los elementos del relieve que lo constituyen (Fig. 15).

4. Los elementos de relieve que entran en la estructura del corte regional se dividen en: a) elementos del relieve ya formados -terrazas (Fig. 16)- y b) elementos del relieve en formación -lecho mayor (8)- con sus cortes correspondientes (Figs. 15 y 16).

En condiciones de levantamientos estables y variables intensivos, estos elementos se disponen en pisos dentro de los límites del último corte regional y están representados por formas erosivas y denudatorio-erosivas.

En condiciones de hundimiento uniforme e intensivo, a las terrazas les corresponden capas acumulativas de diversas edades; a la terraza más antigua corresponde el depósito más joven.

En condiciones de levantamiento irregular, así como de levantamientos débiles que cambian a hundimientos, aparecen diferentes formas erosivo-acumulativas y acumulativas de terrazas, planicies de inundación y cauces fluvia-

les. El tipo de su estructura y la potencia de las formaciones se determina en gran parte por los factores endógenos dinámicos. Pero junto a ellos comienzan a adquirir gran importancia los factores exógenos, principalmente aquellos que ejercen influencia en las características litológicas.

5. En condiciones de desarrollo completo de los procesos fluviales, se forman tres facies principales de aluvión: de cauce y de lecho mayor, tanto superior (antiguo) como inferior (actual). Sus características litológicas e interrelaciones (por espesores) dependen, además de los factores endógenos y exógenos, del clima de la zona del planeta.

6. De acuerdo con el desarrollo de las formas estructurales de alto orden (cortadas por el río), en la estructura de las formas antiguas y modernas del relieve se establecen cambios regionales y locales.

Ya que dichos cambios están íntimamente ligados al estudio de los valles fluviales, a este tema se dedica una serie de conferencias especiales.

ESTADOS PRINCIPALES DEL DESARROLLO DE LOS VALLES DE TIPO PLATAFORMICO
Y OROGENICO.

EN VALLES PLATAFORMICOS	EN PLANICIES POLIGENETICAS DE DIVERSAS ALTITUDES
ANTIGUOS LEVANTAMIENTOS ESTABLES DEL BASAMENTO	CUENCAS ANTIGUAS, PRINCIPALMENTE INACTIVAS
LEVANTAMIENTOS JOVENES EN POTENTES ESPESORES DE LA CUBIERTA SEDIMENTARIA (CENOZOICOS, PRINCIPALMENTE NEOGENICOS)	CUENCAS JOVENES ACTIVAS (CENOZOICAS, PRINCIPALMENTE NEOGENICAS)

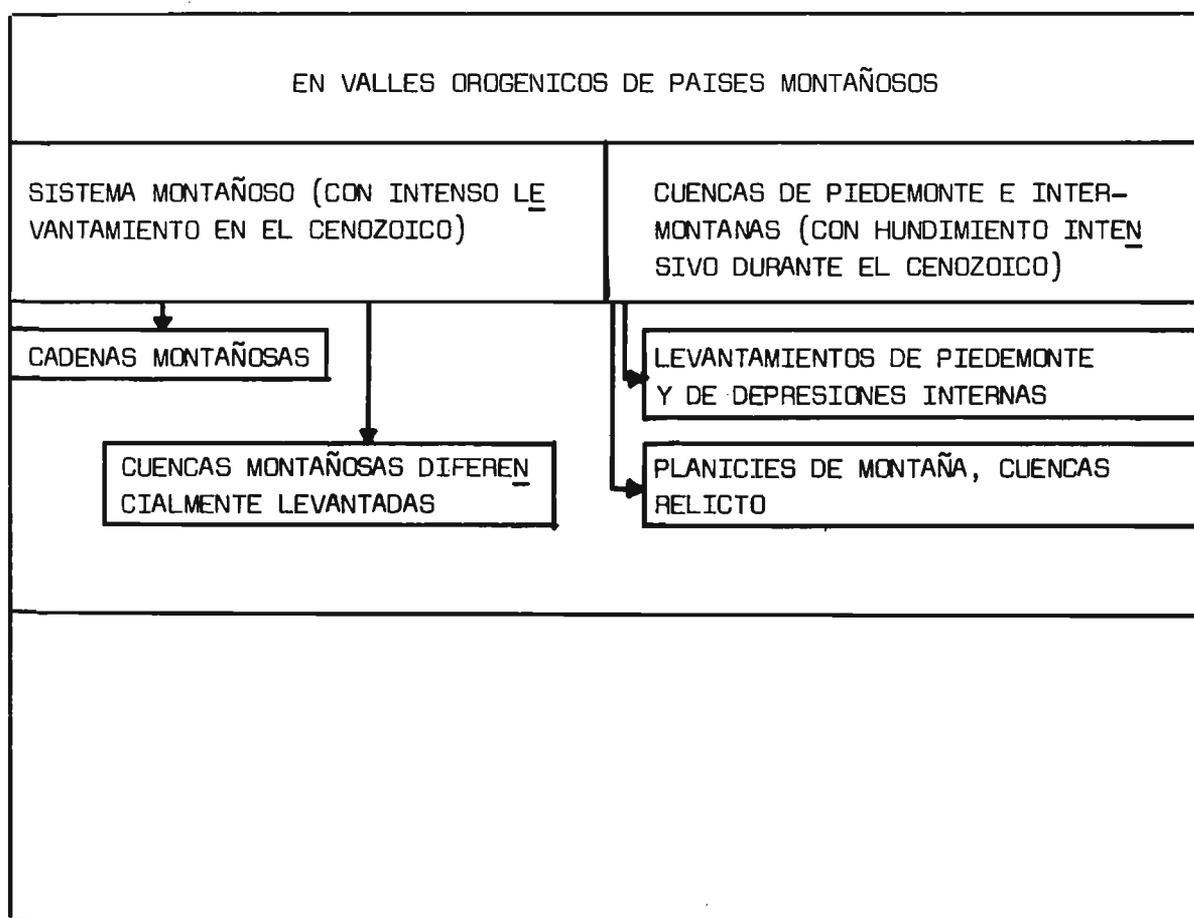
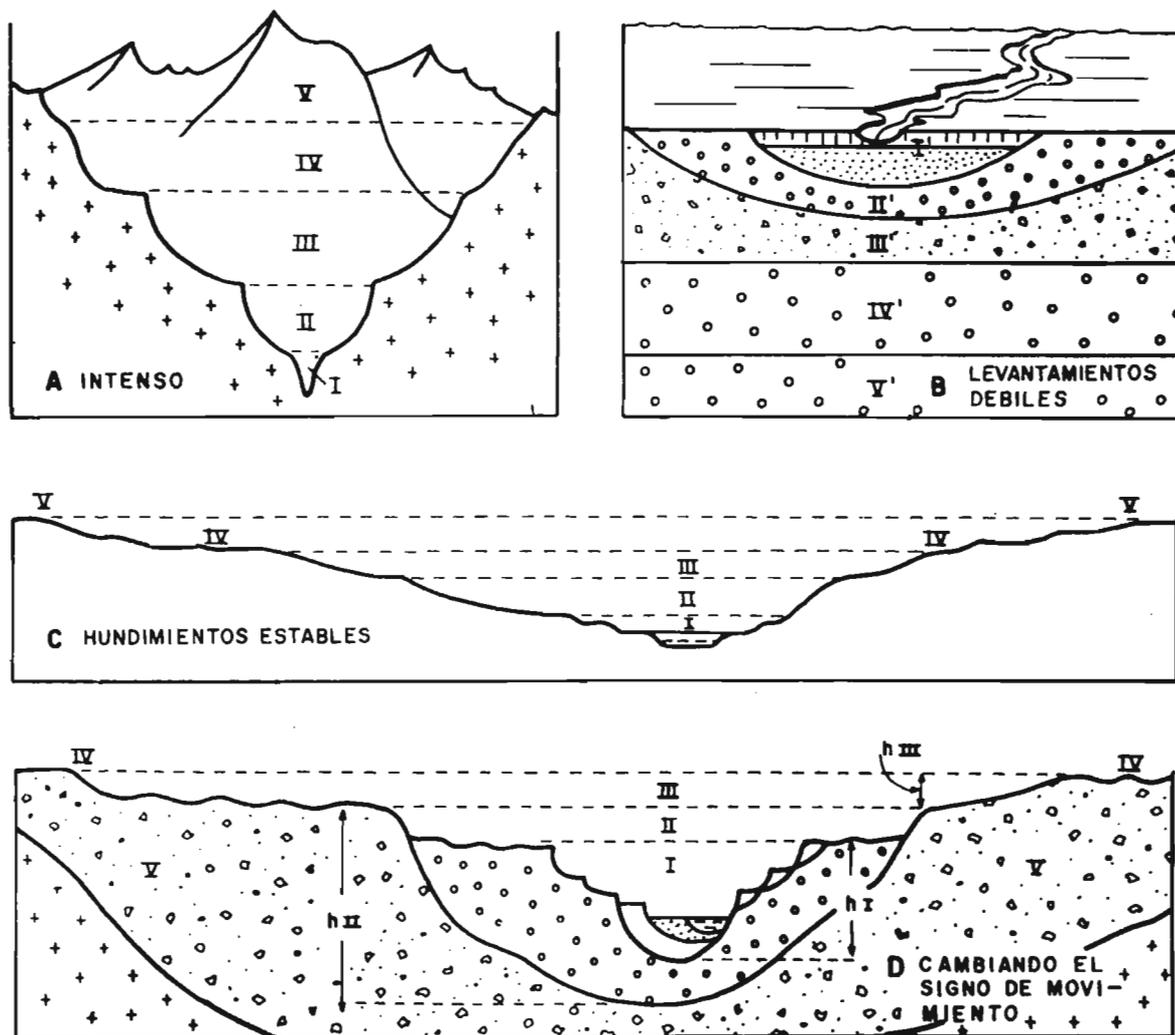


Fig. 13

FORMAS GEOMORFOLOGICAS ANTIGUAS DEL RELIEVE FLUVIAL
(CICLOS PRE-PLEISTOCENICOS) CON CONDICIONES DE DESARROLLO
EN DISTINTAS DIRECCIONES



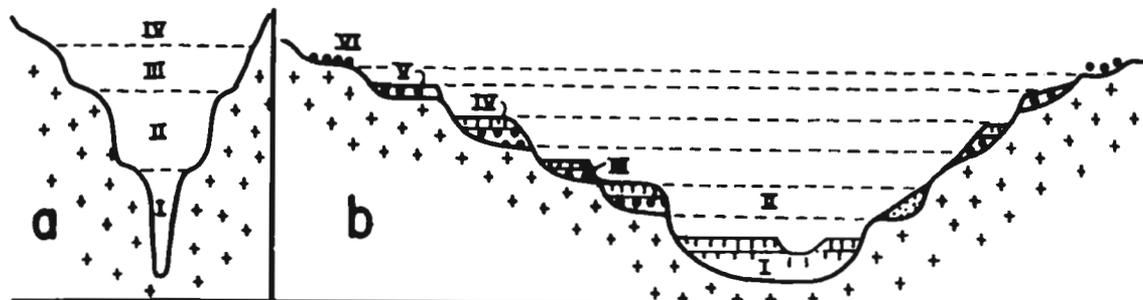
LEYENDA GENERAL

I a V Corte regional por erosión
 II a V Cortes antiguos
 I — Joven, en formación
 V' a IV' Cuerpos fluviales antiguos y relieve de acumulación sepultado.

II' Cuerpo de aluvión formandose en un valle joven, donde el último megaciclo aún no se ha realizado.
 h profundidad de los cortes regionales.
 h_{II} y h_{III} = antiguos
 h_I = en formación

Fig. 14

POSICION GEOMORFOLOGICA DE LOS ELEMENTOS FLUVIALES DEL RELIEVE DE LECHO MAYOR Y DE TERRAZAS EN UN CORTE JOVEN (MEGACICLO PLEISTOCENO-RECIENTE), CON DIVERSAS DIRECCIONES DE DESARROLLO.

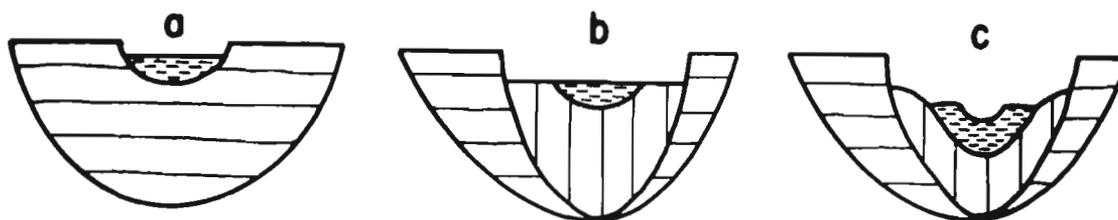


a. intenso (I-IV)

LEVANTAMIENTO UNIFORME

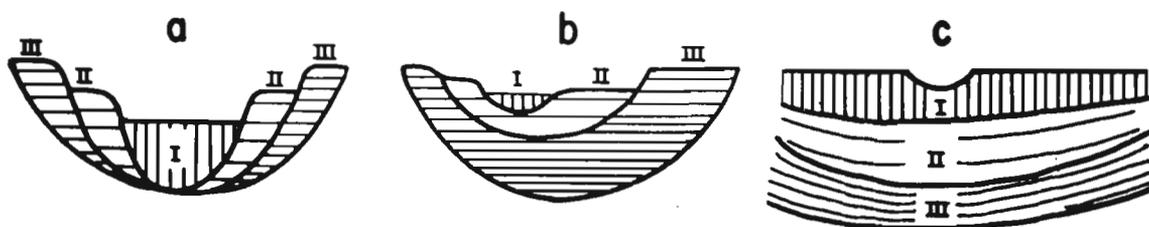
b. debil (I-VI)

fig. 15



CONDICIONES DE FORMACION DE LAS TERRAZAS ACUMULATIVAS

a, b, c = ciclos de terrazas de erosión y de relleno de sus cauces



TIPOS DE TERRAZAS DE ACUMULACION

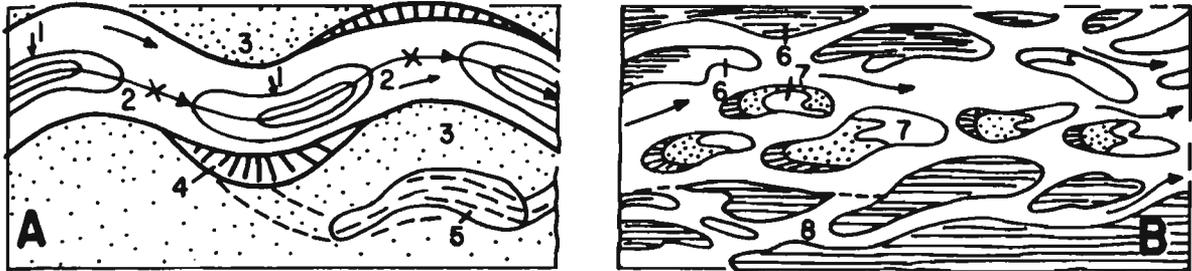
a. apoyadas

b. incrustadas

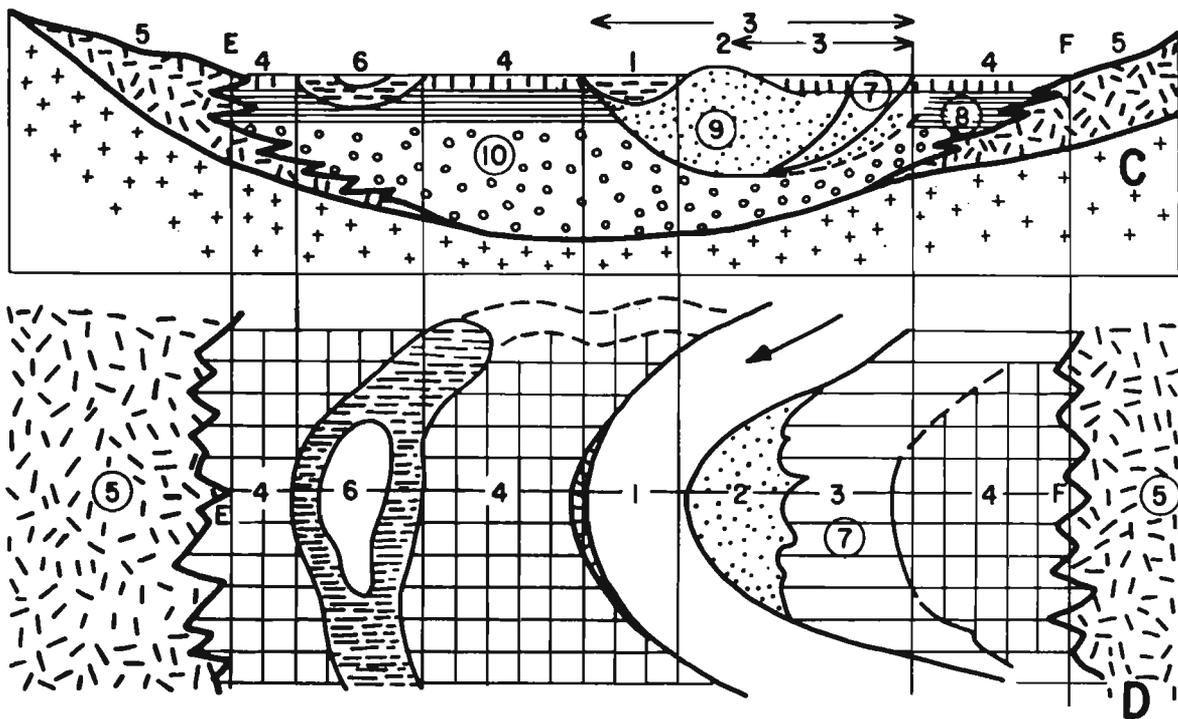
c. sobrepuestas

Fig. 16

PRINCIPALES ELEMENTOS FORMADORES DEL RELIEVE DE LLANURAS DE INUNDACION Y DE CAUCES



A, B RELIEVE DEL CAUCE FLUVIAL. A. CON MEANDROS B. DE FONDO PLANO CON ISLETAS 1-Bajos en el lecho del río; 2-Bancos subacuáticos en el lecho del río; 3-Bancos de cauce; 4-Cantiles del lecho mayor y de las terrazas; 5-Cauce antiguo de un río; 6-Terraza baja de avenida; 7-Isletas; 8-Derivaciones fluviales por aguas de fuerte avenida.



C- SECCION TRANSVERSAL DEL CAUCE Y DE LA TERRAZA DE AVENIDA D- PLANO SOBRE LA LINE E-F

1- Cauce; 2- Barra aluvial; 3- Meandro migrante; 4- Lecho mayor no modificado por meandro migrante alguno; 5- Deluviones o sedimentos gravitacionales de las vertientes; 6- Aluvión de cauce antiguo; 7 y 8- Aluvión de lecho mayor; 9 y 10- Aluvión de cauce.

FIG. 17

SEXTA CONFERENCIA.

LOS CAMBIOS LOCALES Y REGIONALES EN LA CONSTRUCCION DE LOS VALLES FLUVIALES Y SUS RELACIONES CON LOS DISTINTOS TIPOS DE PLACERES.

1. Cuando en una región en estudio el corte por denudación y el contenido de metales en las rocas originales ofrecen condiciones favorables, el aluvión de los valles fluviales se enriquece en metal. De acuerdo con el carácter de desarrollo neotectónico (9), pueden aparecer aquí placeres de cauce, de valle y de terraza, así como placeres sepultados. De la cabecera a la desembocadura el valle intersecta formas estructurales que se diferencian por la velocidad y sentido de los movimientos tectónicos que las afectan; de acuerdo con ello, las condiciones de formación y el tipo de los placeres pueden cambiar sustancialmente. Una concentración rentable de metal en placeres, y su volumen (en condiciones semejantes) dependen en gran parte de las circunstancias geomorfológico-estructurales e hidrológicas, locales y regionales. Así, la conjugación de factores regionales (principalmente movimientos tectónicos) determina el tipo posible de placeres, mientras que los factores locales influyen en la concentración de metal y las dimensiones del placer.

2. Los tipos de desarrollo regional de valles fluviales que se encuentran más ampliamente extendidos son tres. El primero consiste en el modelado de valles fluviales acumulativos, con perfiles equilibrados y capas activas de poca potencia que se mueven por el valle aluvial. En tales condiciones, a menudo se forman placeres de valle. El segundo tipo se relaciona con la intensificación de la erosión en el valle fluvial, como resultado de un levantamiento general que afecta la parte superior y media de la corriente del río. En este caso, en los placeres del valle se produce una erosión laminar en la parte donde aparece la erosión regresiva y, como consecuencia, se forman placeres de terraza y de cauce.

Con el tercer tipo (el menos común) se relaciona el hundimiento considerable de un trecho en la corriente fluvial inferior. Esto provoca un aumento posterior en el espesor de los sedimentos, bajo el placer de valle sepul-

tado. Al mismo tiempo, al descender la base de erosión, los cambios en las pendientes del perfil longitudinal conducen a un incremento en la profundización del río, aguas arriba del punto de inflexión, y a una erosión laminar de los placeres de valle. En condiciones naturales, en los valles fluviales de grandes dimensiones, con mucha frecuencia se presenta una combinación de movimientos en distintos sentidos.

SEPTIMA CONFERENCIA.

LOS CAMBIOS LOCALES EN EL REGIMEN DEL RIO, Y LAS TRAMPAS ESTRUCTURALES.

1. En la mayoría de los casos, los cambios locales de un régimen no determinan los tipos de placeres, sino su magnitud y el grado de enriquecimiento, en metal, de los sedimentos fluviales. Se reconocen trampas estructurales condicionadas por el desarrollo de depresiones y levantamientos locales, en alternancia, a lo largo del río, los cuales en distinto grado alteran el valle en su amplitud y, como consecuencia, la velocidad de la corriente así como las características de los depósitos sedimentarios. Las porciones de hundimiento absoluto o relativo provocan la ampliación de los valles fluviales que forman depresiones locales.

Las porciones de hundimiento absoluto se encuentran con más frecuencia dentro de los límites de los valles que intersectan grandes depresiones sedimentarias: intermontanas y de piedemonte; las de hundimiento relativo se encuentran en regiones de levantamiento general, en aquellas partes en las que bloques aislados o pliegues (con menos frecuencia) se rezagan de sus acompañantes estructurales, debido a menor velocidad de levantamiento.

Los estrechamientos de los valles aparecen en las partes de mayor intensidad de levantamientos de bloques (o pliegues) locales (Fig. 18).

De acuerdo con los cambios de la inclinación de los bloques y de las pendientes del cauce del río, los estrechamientos pueden ser concordantes o discordantes. (Fig. 18).

Todos los cambios locales de las condiciones estructurales provocan una reacción de los procesos exógenos. Por esto, ante un estrechamiento significativo de la sección transversal del valle, comienzan a formarse las facies de estancamiento (10), en tanto que río abajo, en la parte estrecha de la garganta (11), se forman las facies de descarga (10). Ambas partes, inmediatamente abajo y arriba del puente estructural (o estrechamiento) resultan favorables al aumento del contenido de metal del aluvión y representan trampas

estructurales ampliamente extendidas.

En grandes partes de las depresiones pueden desarrollarse levantamientos de órdenes mayores que complican su estructura. Estos puentes estructurales (estrechamientos) interiores pueden ejercer considerable influencia en la distribución del metal en el aluvión; por esto, al hacer un análisis geomorfológico-estructural de cuencas locales, se estudian los valles junto con los grandes puentes estructurales exteriores que los limitan (Fig. 19).

2. Además de las grandes trampas estructurales, que permanecen largo tiempo, se pueden diferenciar trampas "efímeras" (de corta existencia) condicionadas por factores exógenos. Ellas, a menudo, provocan un aumento en el contenido de metal en el aluvión, algunas veces formando grandes concentraciones en pequeños volúmenes de sedimentos metalíferos.

El primer tipo de los puentes estructurales exógenos se refiere al estrechamiento transversal del valle, condicionado por un importante desarrollo local de conos de deyección, depósitos gravitacionales y otros (Fig. 18). El enriquecimiento de metal de los sedimentos fluviales se puede esperar principalmente en donde la sección transversal cambia sus dimensiones, de estrecha a ancha.

Los estrechamientos locales pueden relacionarse con factores estáticos, tales como el afloramiento de rocas resistentes.

3. Los relieves del cauce, del lecho mayor y las terrazas también influyen en la distribución de las fracciones pesadas. Así se establecen enriquecimientos preponderantes en:

- a) Las partes altas de las lenguas e isletas, así como en las riberas convexas de ellas.
- b) Las partes bajas de las depresiones comprendidas entre dos meandros (cubetas de decantación).
- c) Las irregularidades del cauce, del tipo de barreras litológicas.

d) Las partes convexas de los bancos ribereños.

e) Las partes inferiores del perfil de las terrazas, en su contacto con las rocas originales.

4. En cuencas montañosas en proceso de extinción y modeladas por grandes ríos, los yacimientos de placer pueden estar relacionados con las configuraciones de ríos antiguos y sus afluentes. La extinción de los antiguos elementos generales de la red fluvial puede producirse como resultado del cambio de las condiciones exteriores; por ejemplo: la red fluvial preglacial y la posglacial actual de América del Norte y Asia Nororiental. Pero más ampliamente, e independiente de las condiciones exteriores, se encuentran cambios en la estructura del valle principal y sus partes contiguas, como porciones relacionadas con la sobreposición de la cuenca de montaña y su desmembración por levantamientos locales; por esto, en el caso de valles tectónicos auríferos, o sea, referidos a grandes cuencas montañosas, es muy importante realizar análisis paleogeomorfológicos del relieve y reconstruir la situación de las antiguas derivaciones fluviales. Los puentes estructurales (levantamientos locales) que aíslan estas derivaciones podrían permitir una acumulación de placeres, de volumen y contenido considerable de metal, en las partes en proceso de extinción del valle.

* * * * *

Explicación a las ilustraciones.

Fig. 18. Puentes estructurales-garganta y depresiones locales en ampliación en valles fluviales transversales (A) y longitudinales (B) (respecto a la estructura). Dibujos hechos en el campo, en el valle del Pianj, en el Pamir (A) y Zeravshan, en el Tian-Shan (B).

1, capa de la terraza superior; cuerpos del aluvión de cauce; 2, en el valle actual; 3-4 en los valles antiguos; 5, depósitos antiguos (reptación); 6, derrumbes; 7, rocas del basamento (con estructura en pilares); 8, fondo de los valles; 9, fracturas: a) determina-

das, b) propuestas. A: I, río divagante (Pianj), en el lecho se depositan materiales muy finos; II-III, puentes estructurales-garganta. B: I, depresiones locales condicionadas por fallas activas; II-III, puentes estructurales-garganta. B: I, depresiones locales condicionadas por fallas activas; II-III, puentes estructurales; IV, valles residuales con relleno de materiales pleistocénicos; V, porción conservada del valle.

Fig. 19. Esquema de las facies de estancamiento y de descarga en las depresiones con obstáculos a las corrientes; subfacies de descarga (Dc), de estancamiento (Es), aluvión y profundidad de la erosión (Per).

A, la pendiente del río no coincide con la de la inclinación del bloque en proceso de levantamiento; B, la pendiente del río coincide con la de la inclinación del bloque. 1, cuerpos de la cubierta; 2, aluvión de cauce; 3, rocas precuaternarias de la cubierta; 4, rocas (a, de la cubierta, b, del basamento); 5, fallas (a, de corrimiento, b, inversas). Fases dinámicas del aluvión: 6) instrativa; 7, perstrativa; 8, constrativa. Subfases del aluvión: 9, descarga; 10, estancamiento; 11, dirección de las corrientes; 12, característica cualitativa de los movimientos verticales de bloques particulares.

Cifras: 1) vertiente inferior de la depresión; 2) vertiente superior; 3) depósitos por estancamiento (igual que en 2 y 3); 4) y 5) descarga parcial o total; 6) depósito del material más grueso.

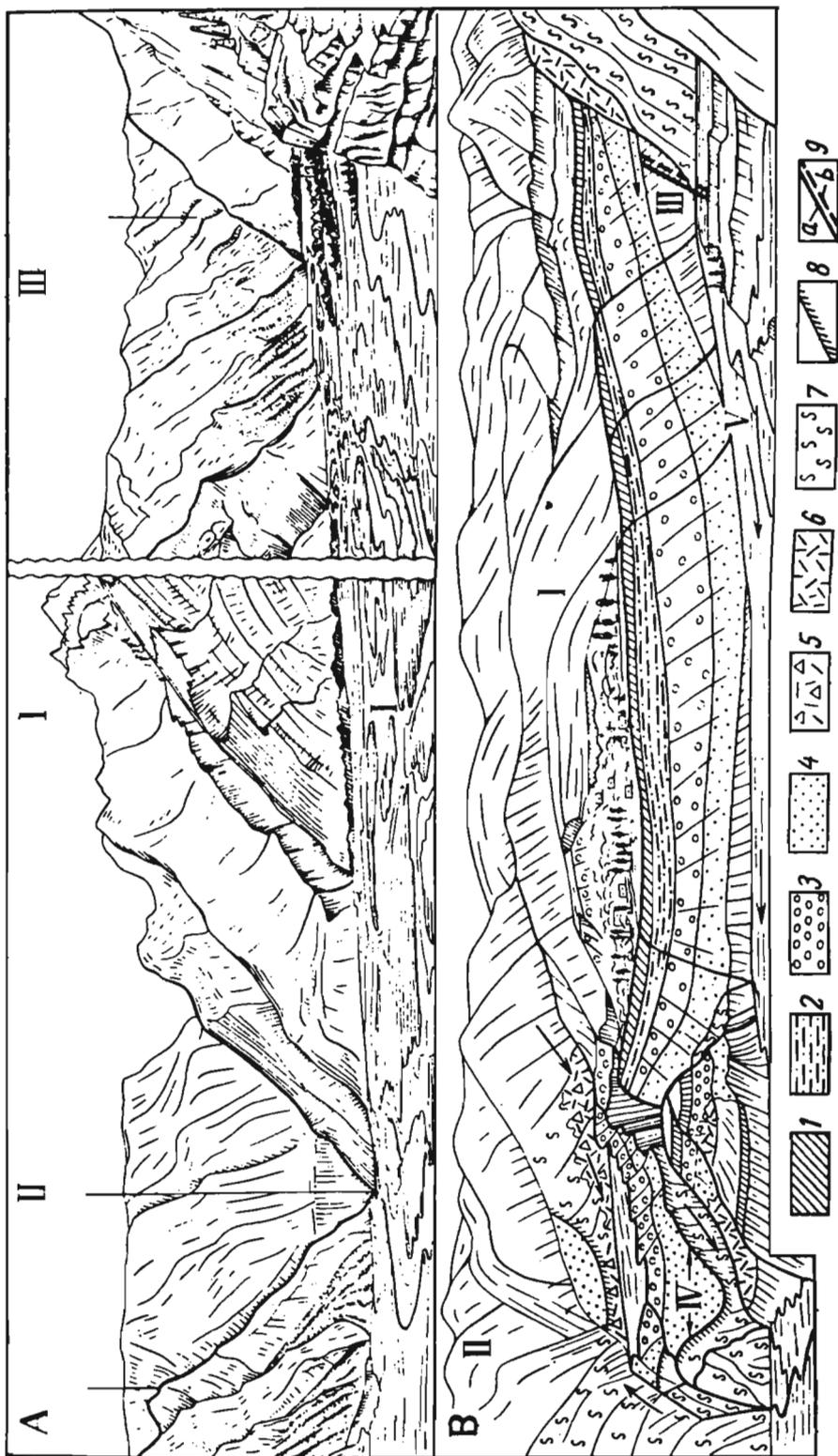


Fig. 18

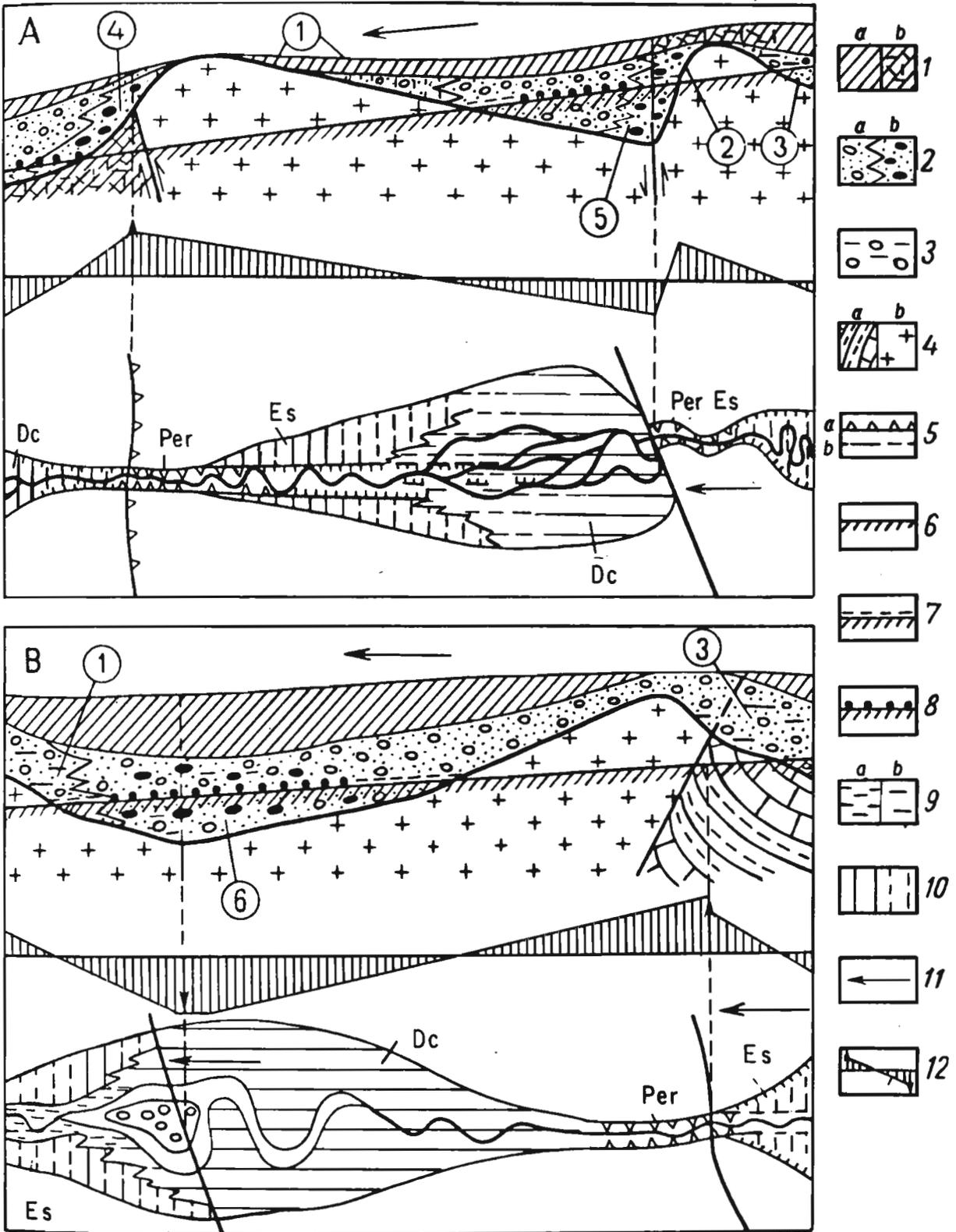


Fig. 19

LOS PENIPLANOS Y LAS SUPERFICIES DE NIVELACION EN LOS PAISES MONTAÑOSOS
DEL ASIA CENTRAL

Régimen tectónico y correlación de intensidad entre los procesos endógenos y exógenos.	Peniplanos de distintas edades y superficies de nivelación del Tian-Shan, el Pamir y el Kopet-Dag.	Carácter de conservación en la época actual.
Geosinclinal	No establecido	
De plataforma $T = 0; -T = 0$ $(A, D) = 0$	Peniplanos, formas de desarrollo completo, fijados por la corteza de intemperismo formado en el paleozoico y el mesozoico temprano.	Levantados y con disección considerable; en parte sepuntados.
$\Sigma T \geq 0; \Sigma -T \geq 0$ $\Sigma T = 0; \Sigma -T = A$	Superficies de nivelación de epiplataforma, formas de desarrollo completo poligenéticas. Superficies preorogénicas, predominantemente del mesozoico tardío y el cenozoico temprano.	Carácter de conservación en la época actual.
Preorogénico. Desarrollo condenudatorio y levantamientos principales. $\Sigma T > 0; \Sigma -T > 0$ $\Sigma T \geq 0; \Sigma -T \geq A$	Superficie preorogénica de nivelación, con desarrollo completo y casi completo, poligenéticas, de edad predominantemente oligoceno temprano. Posiblemente muy extendidas. Predominan los tipos denudatorios.	Sepultamiento en las cuencas intramontanas, de piedemonte y de montaña, y en los levantamientos de las cadenas del sistema montañoso.
Orogénico. Desarrollo conerosivo de los levantamientos principales $\Sigma T \geq 0; \Sigma -T \geq 0$ $\Sigma T \geq 0; \Sigma -T = A$	Superficie orogénica de nivelación, formas de desarrollo incompleto, miocénicas, con menor frecuencia del plioceno temprano; se desarrollan predominantemente en la periferia en expansión del sistema montañoso.	Sepultadas en las cuencas interdepressionales, levantadas y disecadas en zonas de piedemonte y de cadenas interdepressionales.
$\Sigma T \geq 0; \Sigma -T > 0$ $\Sigma T \geq 0; \Sigma -T \leq A$	Superficies de nivelación correspondientes a la orogenia tardía, desarrolladas durante el plioceno tardío, el pleistoceno y el holoceno. En el sistema montañoso están ausentes, pero forman parteaguas nivelados, y escalones en las laderas de las cuencas interdepressionales.	El carácter de conservación es el mismo.

Fig. 20

OCTAVA CONFERENCIA.

REGULARIDAD DE LA ESTRUCTURA DE LAS VERTIENTES Y LOS PARTEAGUAS.

1. Al hacer el análisis geomorfológico-estructural de los elementos principales del relieve del continente, es necesario diferenciar su estructura interna y su forma externa.

La estructura interna de los parteaguas y las vertientes se determina por la interacción de los factores estáticos y dinámicos. Entre los primeros, la profundidad de corte por denudación tiene un gran significado, lo que se determina por la diferente resistencia de las rocas a la denudación. Las formas estructurales antiguas, "muertas", también influyen en los rasgos morfológicos de los parteaguas y las vertientes. Las deformaciones producidas por fallas (zonas de trituración e intenso fracturamiento) corresponden a las zonas de las rocas más débiles que han sufrido denudación diferencial. Las deformaciones plicativas, cuyos flancos y cimas están constituidos por rocas que les sirven de corona (12), dan lugar, por denudación diferencial, a un relieve de gradas, cuestas y, con menos frecuencia, a elevaciones ligeramente cóncavas en forma de mesetas, de cimas y núcleos de plegamientos constituidos por rocas resistentes. La forma externa de los parteaguas y las vertientes depende fundamentalmente del régimen tectónico que prevaleció durante su formación. Por ello, en correspondencia a los dos principales regímenes tectónicos de los continentes, los parteaguas y las vertientes pueden ser divididos en dos tipos de desarrollo: platafórmicos y orogénicos. Las formas desarrolladas con estos regímenes se diferencian notablemente y, por ello, se estudian más adelante en forma separada.

2. En las regiones de plataforma los parteaguas y las vertientes se desarrollan a partir de planicies de altitudes variables, por ello los parteaguas están ampliamente extendidos, mientras que en las formas de las vertientes el escalonamiento regional se manifiesta en forma más débil y modelado por los procesos exógenos.

En cada escalón del sistema "pared-rellano" (13) predomina considerablemente el rellano, la altura de las paredes es pequeña y la pendiente del rellano mínima.

3. Las formas fundamentales de las plataformas son los anteclises y los sineclises, y su manifestación en el relieve no siempre corresponde a las elevaciones y depresiones orográficas. En ellos se pueden diferenciar las relaciones siguientes:

a) En condiciones de un levantamiento heredado, del basamento, con frecuencia se forman estructuras, del tipo anteclis, consistentes en bloques abovedados que en el relieve se manifiestan por elevaciones de parteaguas extensos, y escalonamientos imprecisos en las vertientes. En función de la profundidad del corte por denudación, las estructuras de los parteaguas pueden presentar afloramientos del basamento o de la cubierta sedimentaria.

b) En condiciones de cambio de sentido de los movimientos tectónicos, en el relieve se producen relaciones más complejas en las formas estructurales y las orográficas. En particular esto es frecuente en las formas estructurales negativas (sineclises) que, a partir del neógeno tardío y durante el cuaternario han sufrido atrofia como zonas de hundimiento general uniforme.

4. En las regiones orogénicas los parteaguas y las vertientes se desarrollan en condiciones de movimientos contrastantes en sentido, extensión e intensidad de formas estructurales positivas; conforme a esto, en las depresiones intermontanas y de piedemonte aún persisten elevaciones con vertientes de poca pendiente, complicadas con escalones de clara expresión en el relieve en los que predomina a menudo la pared sobre el rellano.

Dentro de los umbrales de un sistema montañoso, en condiciones de un desarrollo completo de zonas geomorfológicas, se producen valles con predominio agudo, en ocasiones con exclusividad, de paredes del sistema "pared-rellano", principalmente en la parte baja de los valles.

En el centro de un sistema montañoso, a veces se conservan, aisladas del

nivel de base general, elevaciones con vertientes de suave inclinación, cuyo escalonamiento presenta un predominio insignificante de las paredes sobre los rellanos.

NOVENA CONFERENCIA.

PARTEAGUAS Y VERTIENTES (continuación).

1. Los parteaguas de las elevaciones orográficas que corresponden a levantamientos de planicies, con frecuencia forman superficies de nivelación.

Del análisis de las estructuras tectónicas conerosivas se desprende que, la mayor importancia se encuentra en las superficies de nivelación de las regiones de plataforma, en donde alcanzan grandes dimensiones y se encuentran bien conservadas.

2. En los países montañosos se dan las condiciones favorables para la formación de superficies de nivelación y por eso ahí, a menudo, se encuentran solamente fragmentos (de distintas edades) de la superficie de nivelación, modelados en las etapas de desarrollo anteorogénica y preorogénica (14). En correspondencia con las condiciones y tiempo de formación de las superficies de nivelación, se puede reconocer una serie de tipos de gran significado en la determinación de la magnitud y edad de la deformación sufrida antes de la etapa orogénica y después de ella. Para el análisis morfológico de la estructuras orogénicas, es necesario estudiar la deformación de la superficie de nivelación preorogénica, desde el inicio del levantamiento mismo que puede ser nuevo o, en determinado grado, heredado. O sea que, en este periodo que precede inmediatamente al proceso de formación de elevaciones del sistema montañoso, los levantamientos preorogénicos se desarrollan en forma condenudatoria, en condiciones de equilibrio dinámico entre la altitud de formas estructurales positivas y la actividad niveladora de la denudación pláner. Por eso, todas las deformaciones que posteriormente sufra esta superficie dan la posibilidad de analizar en su aspecto natural el arqueamiento y la fractura que se producen en la etapa orogénica, excluyendo la influencia de las deformaciones más antiguas.

En las regiones en que se extiende regionalmente una corteza de intemperismo (15) sobre las zonas mineralizadas, es necesaria una reconstrucción de

los parteaguas y los valles antiguos. En donde los parteaguas presentan antiguas cortezas de intemperismo metalizadas, que sufren una erosión laminar posterior, se producen los yacimientos de placer: de oro, platino, wolframio y otros. Por eso es que en un análisis geomorfológico-estructural es muy importante elaborar cartas de antiguas regiones de acarreo, así como de caminos de transporte y de antiguos valles, cuyo análisis, comparado con la red fluvial actual, así como la distribución de los placeres jóvenes, permite determinar los sitios favorables para la búsqueda de placeres antiguos.

4. En las regiones que en épocas pasadas o actuales presentan condiciones favorables para la formación de una corteza bauxítica, es de mucho más utilidad realizar un análisis geomorfológico de los parteaguas antiguos y las condiciones en que se ha producido su denudación. En caso de existir condiciones de equilibrio, pueden presentarse las siguientes posibles correlaciones entre procesos de formación de una corteza laterítica tipo Pk atacada por los procesos de la denudación D; a su vez, en función de cambios en el espesor de la corteza Mk:

1. $Pk > D$; Mk se incrementa
2. $Pk = D$; $Mk = c$ (constante)
3. $Pk < D$; Mk disminuye

El clima y la intensidad de los procesos de remoción son los principales factores que determinan la conservación de las cortezas antiguas deformadas; asimismo, estos factores depende de la velocidad de levantamiento de la superficie de nivelación, afectada por una corteza de intemperismo sobre las partes contiguas. El clima interfiere o impide el desarrollo de procesos de destrucción de las rocas originales (Fig. 21).

5. Por todo lo anterior, en objetivos prácticos de búsqueda de placeres y cortezas de intemperismo metalizadas, surge la necesidad de un estudio paleogeomorfológico del relieve. En las regiones de hundimiento y acumulación se utiliza el método geológico de análisis de espesores y facies. Para las

regiones de denudación se recomienda el método paleogeomorfológico de análisis de espesores y facies. Para las regiones de denudación se recomienda el método paleogeomorfológico de análisis comparativo de la edad del relieve y, si es posible, la edad absoluta. Los datos de este estudio deben ser de conjunto y confrontar la disección horizontal y vertical de la superficie terrestre, y su estructura interna. Este método puede ser utilizado para muy diversos objetivos prácticos: evaluación del desarrollo neotectónico de formas estructurales en regiones de mineralización, en las obras hidráulicas, crecimiento de ciudades, aguas subterráneas y levantamientos neotectónicos en zonas "cubiertas", así como en la resolución de muchos otros problemas.

Por eso, en las conferencias posteriores se expondrán las bases teóricas del método propuesto de cartografía geomorfológica de países montañosos, aplicadas a las condiciones de México.

* * * * *

Explicación a las figuras.

Fig. 21. Carácter de la deformación de un peniplano premesozoico en las vertientes y cuencas intermontanas. A. Localidad con dislocación débil de la superficie del peniplano, en una ladera de pendiente suave del megapliegue; vertiente sur de la cuenca de Fergán. B. Superficie del antiguo peniplano en la vertiente sur (de pendiente fuerte) del megapliegue de Guissar (tomado de A.K. Dvchinikov, y complementado por la autora.

Signos convencionales: 1, rocas de la cubierta; 2-3, rocas del basamento (2, metamórficas, 3, magmáticas); 4, horizonte basal de la cubierta (jurásico inferior); 5, fallas; 6-9, líneas de correlación (6, configuración generalizada de la superficie del levantamiento moderno; 7, reconstrucción de la posición de la superficie denudada

del antiguo peniplano; 8-9, superficie del peniplano recubierto: 8, cubierta del fondo de los valles fluviales; 9, sepultada).

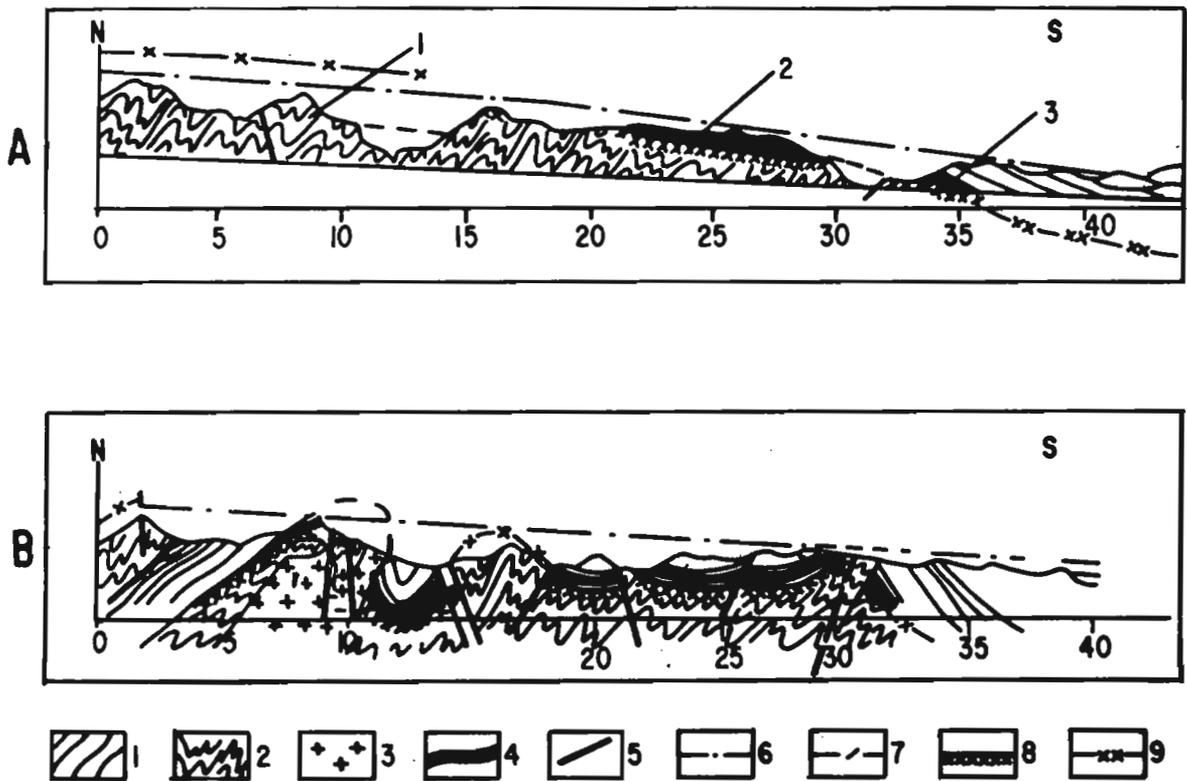


Fig. 21

DECIMA CONFERENCIA.

CARTAS PALEOGEOMORFOLOGICAS (ANALISIS DE LA DISECCION EN PLANO HORIZONTAL).

1. Los movimientos verticales de la corteza terrestre, que producen levantamientos de unas partes con respecto a otras, son la principal fuente de energía en la superficie de los continentes, y están en íntima relación con el campo gravitacional de la Tierra. El clima no puede ser una fuente de energía en los procesos de acarreo (D) y depósito (A). El clima sólo determina el tipo genético de los procesos exógenos, pero no la intensidad de los mismos. Consecuentemente, la velocidad de los procesos exógenos (en condiciones de magnitudes infracríticas) es proporcional a la velocidad de los movimientos de la corteza terrestre. Cuando se presentan las más altas velocidades, se producen correlaciones complejas: los fenómenos de retraso de la disección con respecto al levantamiento, conservación del relieve relictos, etc.

2. En el espacio y en el tiempo los movimientos tectónicos se caracterizan por su irregularidad, lo que provoca una desigualdad en los procesos exógenos, en particular la disección vertical y horizontal. Los periodos de incremento de la velocidad en una región dada corresponden a un aumento en las pendientes de los ríos y de las vertientes; en cambio, los periodos de disminución de las velocidades de levantamiento provocan el fenómeno contrario.

Esta desigualdad se refleja en el desarrollo cíclico del relieve, lo que puede analizarse diferenciando los ciclos regionales principales. La base de las investigaciones son las observaciones de campo, que se combinan con interpretaciones específicas de cartas topográficas que, a diferencia de las fotografías aéreas, son material que expresa sin alteraciones (sombras, vegetación, nubosidades, dimensiones, etc.) la extensión en plano de elevaciones y depresiones, así como su altimetría. Esta última característica es la más importante, ya que los defectos restantes pueden ser superados con ayuda de las modernas técnicas fotogramétricas.

3. Las investigaciones realizadas en distintos países montañosos de Europa,

Asia, Africa y América del Norte, permiten confirmar la presencia de una periodicidad irregular, o sea, una alternancia de un incremento y un decremento de la velocidad de levantamiento, que se expresa en la estructura del relieve y puede observarse en las cartas topográficas. Una de las formas que expresan universalmente el carácter cíclico del desarrollo de los levantamientos tectónicos son los cortes regionales erosivo-denudatorios. En ellos están incluidos dos elementos morfológicos principales que se expresan en el dibujo de las curvas de nivel, y son las vertientes y los fondos de valles de distintas edades, o, más exactamente, sus fragmentos intactos en las vertientes denudatorias de sistemas de elevaciones y de elevaciones aisladas.

En condiciones de levantamientos suaves que posteriormente se transforman en hundimientos* de los cortes, y éstos, en diverso grado, pueden ser rellenos por sedimentos. En condiciones de predominio del levantamiento se forman esencialmente cortes erosivo-denudatorios escalonados, y las cartas topográficas indican la dirección del proceso del desarrollo sucesivo de los ciclos de disección (Fig. 22).

4. En las cartas topográficas las vertientes de las elevaciones modeladas por los ríos corresponden al acercamiento de las curvas de nivel, y el fondo (o con más exactitud, sus remanentes) se manifiesta mediante la separación de las curvas.

La morfología de los ciclos de cortes se diferencia sustancialmente. En las planicies predominan los ciclos erosivos con vertientes reducidas, pero con fondos amplios y con un grado variable de relleno (principalmente sedimentos fluviales). En los sistemas montañosos predominan las vertientes y los fondos están constituidos por un relleno insignificante o ausente (Fig. 23).

5. En condiciones de disección profunda de las regiones orogénicas, la diferenciación de los cortes regionales permite establecer (en plano) los principales ciclos de disección de los sistemas de levantamiento de cadenas

* Absolutos, pocas veces relativos.

montañosas y la disposición de los valles de distintas edades (antiguos y modernos). En relación con el carácter de desarrollo de las nuevas estructuras, en el transcurso de la etapa orogénica se forman valles de distintos tipos: 1) antiguos heredados, 2) nuevos y 3) compuestos. Dependiendo de los cambios regionales y locales de la inclinación de la superficie terrestre durante el proceso general y particular de levantamiento, se producen diversas combinaciones de las corrientes antiguas y actuales. Con mucha mayor frecuencia se encuentran dos sistemas: a) antiguos: valles longitudinales con elevaciones transversales, y b) valles actuales paralelos a las elevaciones transversales. Los primeros se forman en condiciones de desarrollo de sistemas individuales de cadenas de levantamiento, y los segundos en el periodo de levantamiento general de todo el sistema montañoso sobre las cuencas adyacentes: de piedemonte e intermontanas (Fig. 24).

6. La generalización en plano de los ciclos de disección da una imagen objetiva del levantamiento de las formas estructurales positivas. Esta generalización permite reconstruir, en el espacio y en el tiempo, la dirección en que se produjo el acarreo de sedimentos fluviales.

En condiciones de mineralización y de desarrollo de placeres, estas reconstrucciones, comparándolas con la estructura geológica, permiten establecer las áreas con perspectivas para la búsqueda de placeres y yacimientos minerales.

En la construcción de obras hidráulicas, los análisis de los cortes regionales permiten establecer el basculamiento de los valles y las causas que lo producen; y si hay una buena conservación de los fondos de los cortes de distintas edades, es posible determinar cuantitativamente el basculamiento de los valles, en totalidad y por etapas.

La elaboración de cartas geomorfológicas contribuye a la proyección racional del desagüe de las aguas subterráneas en regiones semiáridas, y en zonas de alta sismicidad y vulcanismo es posible fundamentar sólidamente una regionalización microsísmica, y recomendar los sitios más favorables para el

crecimiento de las ciudades y las obras de ingeniería relacionadas con ella.

* * * * *

Explicación a las figuras.

Fig. 22. Análisis de las principales etapas de la disección.

A-D, esquemas principales de la formación de los cortes-escalones en las vertientes de las cuencas montañosas y su disección por corrientes de distintas edades; 1-3, fragmentos de fondos diferenciados por su edad; 4, líneas de correlación que unen los remanentes de los fondos de cortes.

Fig. 23. Cortes periódicos representados por curvas de nivel en las cartas topográficas (A, E); su configuración en plano (D); en perfiles (B, C) y del relieve de cadenas y valles (F).

1-2, rocas del basamento (1, magmáticas, 2, metamórficas); 3, rocas de la cubierta; 4-5, macizo montañoso (4, disecado, 5, no disecado); 6, dibujo característico de las curvas de nivel (separación = fondo, acercamiento = ladera); 7, cortes de los afluentes, de distintas edades; 8, fallas; 9, líneas de correlación; 10, números de los cortes periódicos: I-V (parteaguas y cortes); a-b y a'b', líneas de perfil.

Fig. 24. Esquema del periclinal sur del anticlinal de Karatau. A, geología; B, geomorfología (formas del relieve); C, paleogeomorfología (principales etapas de la disección en el anticlinal), D y E, perfiles sobre la línea I-II (D, geomorfológico, E, geológico). Esquema A: 1-6, sedimentos cuaternarios de distintas edades; 7, sedimentos del neógeno.

Esquema B: 1, planicies bajas de acumulación; 2, conos de deyección; 3-5, piedemonte con disección variada; 6, relieve en gradas; 7, umbrales; 8, terrazas en cantiles; 9, rumbo del echado de las capas.

Esquema C: 1-6, superficies cuaternarias erosivo-denudatorias, con depósitos de distintas edades (se indica); 7-8, generación de barrancos de distintas

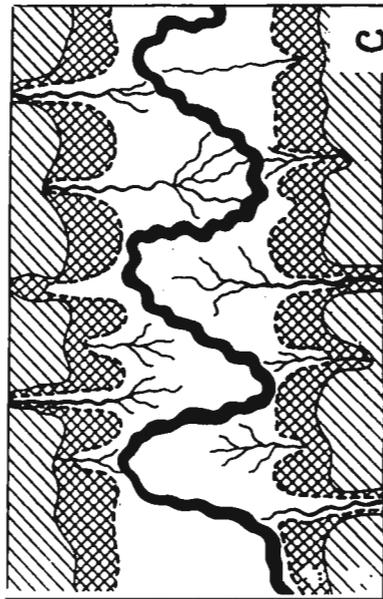
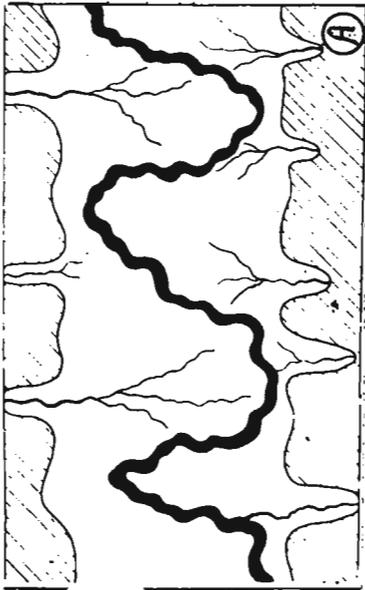
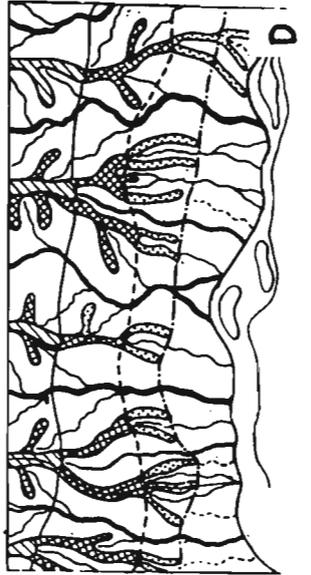
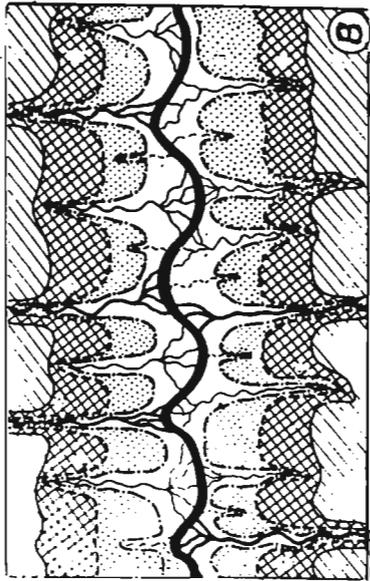


Fig. 22

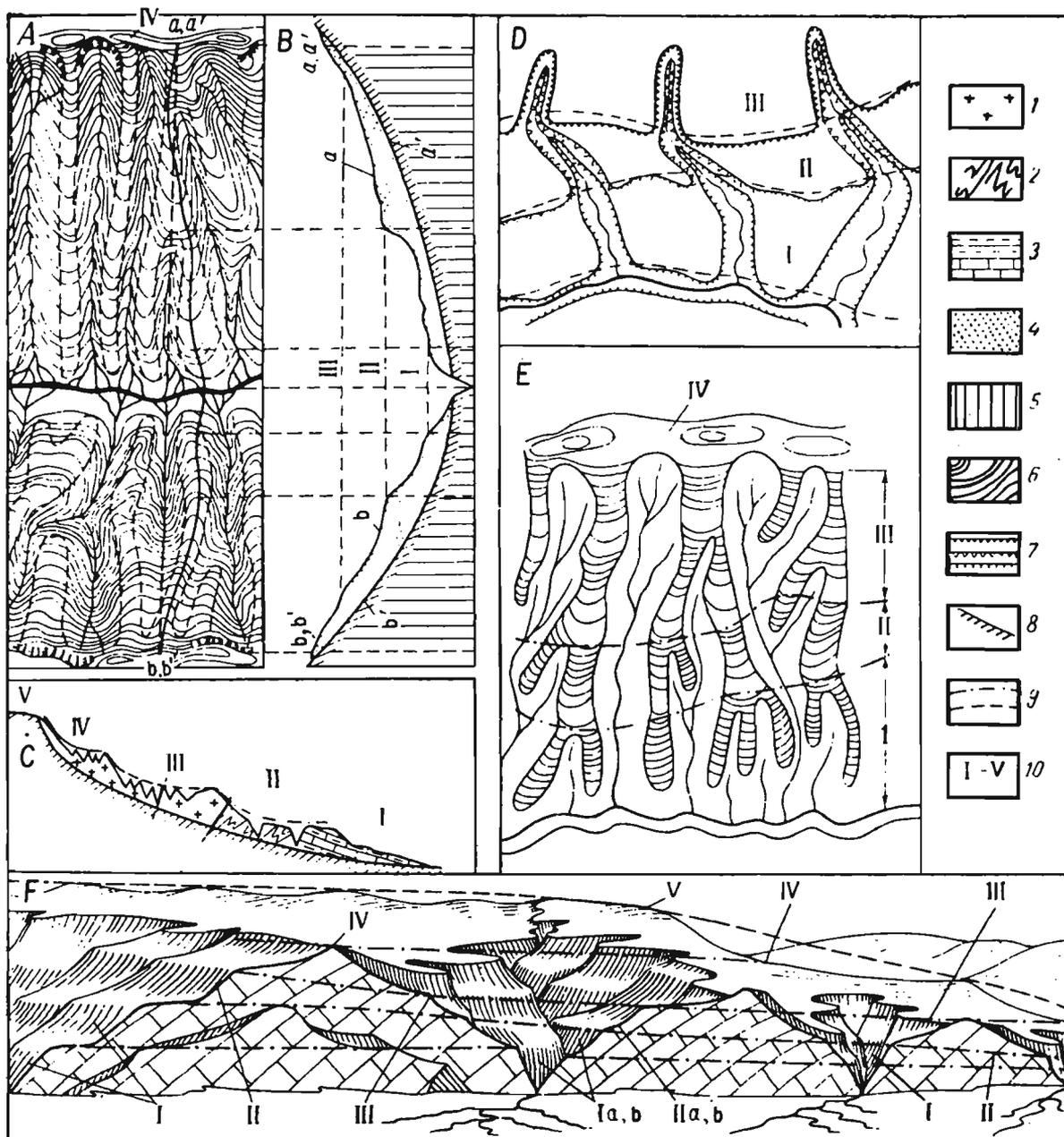


Fig. 23

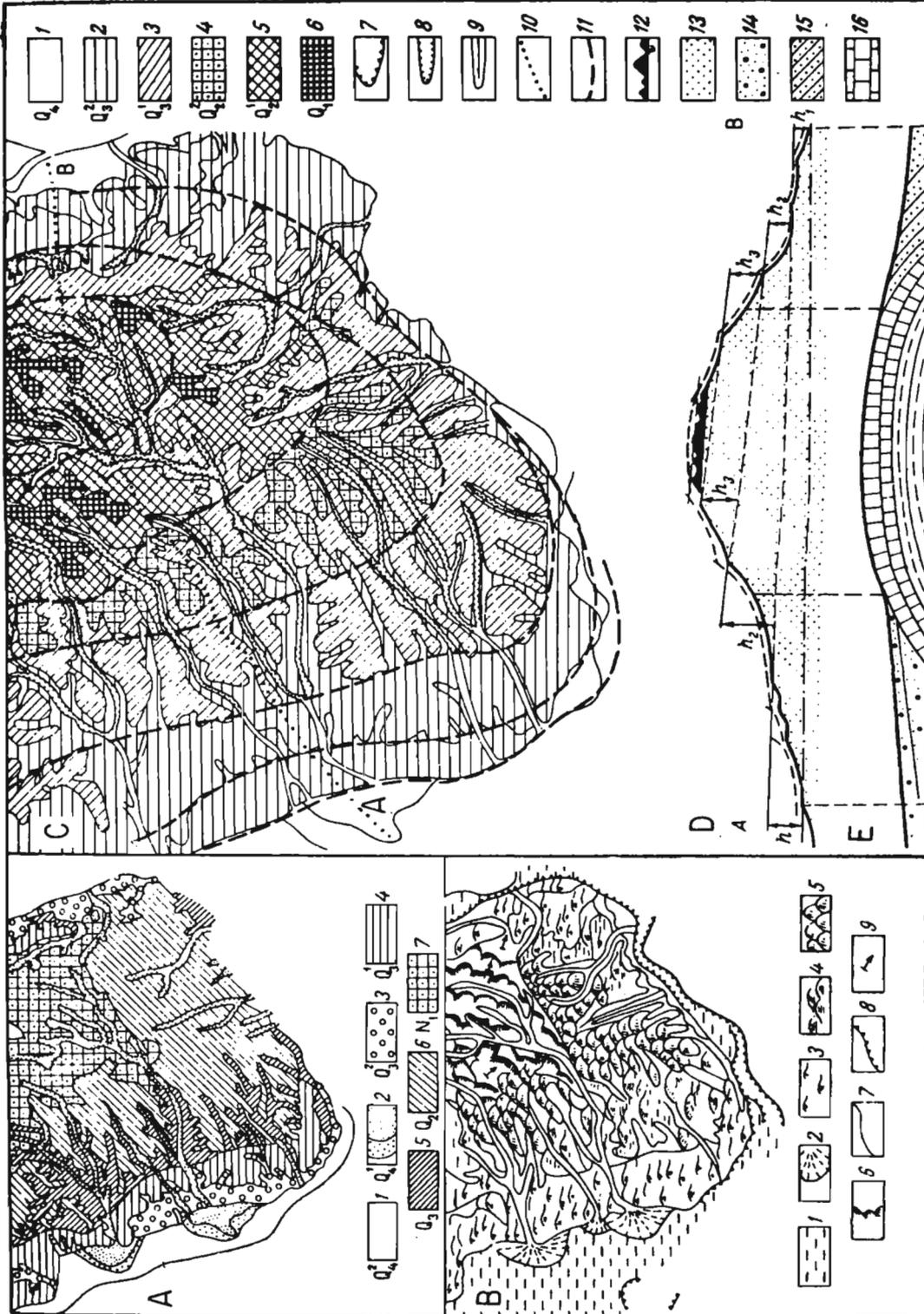


Fig. 24

edades; 10, línea de perfil I-II; 11, líneas de correlación de las etapas de formación del anticlinal en el relieve.

Esquema D: 12, zona de denudación planar en el parteaguas; 13, macizo montañoso afectado por la erosión.

Esquema E: 14-15, molasa del neógeno (de distintas edades); 16, calizas oligocénicas que coronan la cúpula del anticlinal.

UNDECIMA CONFERENCIA.

PERFILES COMPUESTOS GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICOS (Análisis de la disección vertical).

1. Si las cartas paleogeomorfológicas dan idea del desarrollo de las elevaciones orogénicas y las depresiones en plano, los perfiles compuestos permiten evaluar el cambio en la velocidad de la erosión, condicionada por la tectónica, así como una serie de características del desarrollo de formas estructurales positivas y negativas en el relieve.

Los perfiles compuestos constan de tres partes: a) geomorfología, b) geología y c) geofísica, además, d) una carta especial: una franja estrecha a lo largo del perfil (fig. 25).

2. Para los perfiles geomorfológicos la escala vertical se elige en relación con el contraste del relieve, y la escala horizontal debe ser igual a la de la carta con que se trabaje. Por eso, para un relieve profundamente disecado, la relación vertical a horizontal debe ser 1:3; 1:5. En el caso de un relieve débilmente disecado la exageración vertical aumenta. Una elección correcta de la escala permite un mejor estudio de las deformaciones tectónicas en el relieve, y el carácter de su disección.

El perfil geológico siempre se construye a una escala igual, tanto vertical como horizontal (1:1), a la de la carta topográfica. Esto se hace con el objeto de evitar en la representación gráfica exageraciones en las deformaciones tectónicas. Este perfil permite una apreciación objetiva de la relación entre arqueamientos y afallamientos, así como determinar la amplitud del arqueamiento durante la etapa de desarrollo conerosivo o la pendiente de la superficie de falla.

Además de las deformaciones tectónicas de las rocas, en el perfil geológico se muestra también la composición de las mismas: sedimentarias (limos, calizas, etc.) magmáticas o metamórficas. Estas propiedades, así como el in-

cremento de solubilidad (karst) y otros fenómenos se señalan con signos convencionales para los correspondientes cuerpos de roca.

Todos los elementos característicos (fallas, flexiones, etc.) se proyectan del perfil geológico al geomorfológico, con líneas de correlación (fig. 25, 26).

El perfil -o perfiles- geofísico se construye a la misma escala horizontal y da una idea sobre la profundidad estructural de la región.

La carta especial (Fig. 25D) expresa la resistencia de las rocas a los procesos denudatorios. La subdivisión de las rocas en estables e inestables se basa en observaciones hechas en el campo, confirmadas por trabajo de laboratorio.

3. El perfil geomorfológico tiene una importancia muy especial, ya que permite distinguir: a) la zona de denudación planar; b) la zona de denudación lineal, o sea, una erosión sumaria, considerando la profundidad de disección de un macizo montañoso producida por corrientes fluviales montañosas más o menos similares; c) los cortes cíclicos regionales en los valles fluviales (Fig.25).

En relación con el nuevo plan estructural y orográfico es necesario trazar dos tipos de perfiles que se intersequen entre sí: longitudinales, que sigan la dirección del levantamiento (elevaciones), y transversales, perpendiculares al eje principal de estas formas estructurales.

4. Los perfiles longitudinales (Fig. 26) tienen por objeto expresar:

I) las deformaciones longitudinales, arqueamientos y fallas en la superficie del parteaguas -el elemento más antiguo del relieve denudatorio en las elevaciones, II) la configuración de valles transversales y sus principales cortes cíclicos, 3) los escalones regionales en los hundimientos de las cadenas de levantamiento.

5. Los perfiles transversales (Fig. 27) cortan perpendicularmente a su eje mayor, a sistemas de depresiones y de elevaciones. Esto permite establecer:

a) la presencia de deformaciones transversales, por ejemplo, tipos de grandes arqueamientos (en corte transversal al levantamiento), así como fallas; b) la configuración de laderas contiguas de valles longitudinales y elevaciones, y los principales cortes cíclicos que componen estas laderas; c) formas correlativas del relieve denudatorio -sistemas de cadenas y depresiones montañosas.

6. Los puntos de intersección de los perfiles longitudinales y transversales permiten unir los elementos básicos erosivo-denudatorios del relieve y excluir la posibilidad de errores casuales.

El estudio de los principales parámetros de los cortes cíclicos, en amplitud y profundidad, permite determinar indirectamente: a) el cambio general de la velocidad de levantamiento en el tiempo; b) la migración de los ríos como resultado del basculamiento de valles de distintas edades, que se originan a causa de diferencias en la velocidad de los levantamientos de bloques independientes (o plegamientos); c) los movimientos a lo largo de las fallas y (en condiciones favorables) dimensiones del desplazamiento durante la etapa del desarrollo conerosivo.

Los perfiles compuestos dados se trazan sobre la carta y permiten comprobar entonces hasta qué punto es correcta la subdivisión de los cortes durante el análisis de la disección en plano horizontal. Para una verificación objetiva de la interpretación de las cartas y perfiles se recomienda hacer ambos en forma independiente cada uno, pero, necesariamente, ligar los resultados al terminar de elaborar la carta.

* * * * *

Explicación a las figuras.

Fig. 25. Leyenda para perfiles geológico-geomorfológicos:

A, signos convencionales; B, C y D, esquemas aclaratorios (no abarcan todos los signos convencionales de A).

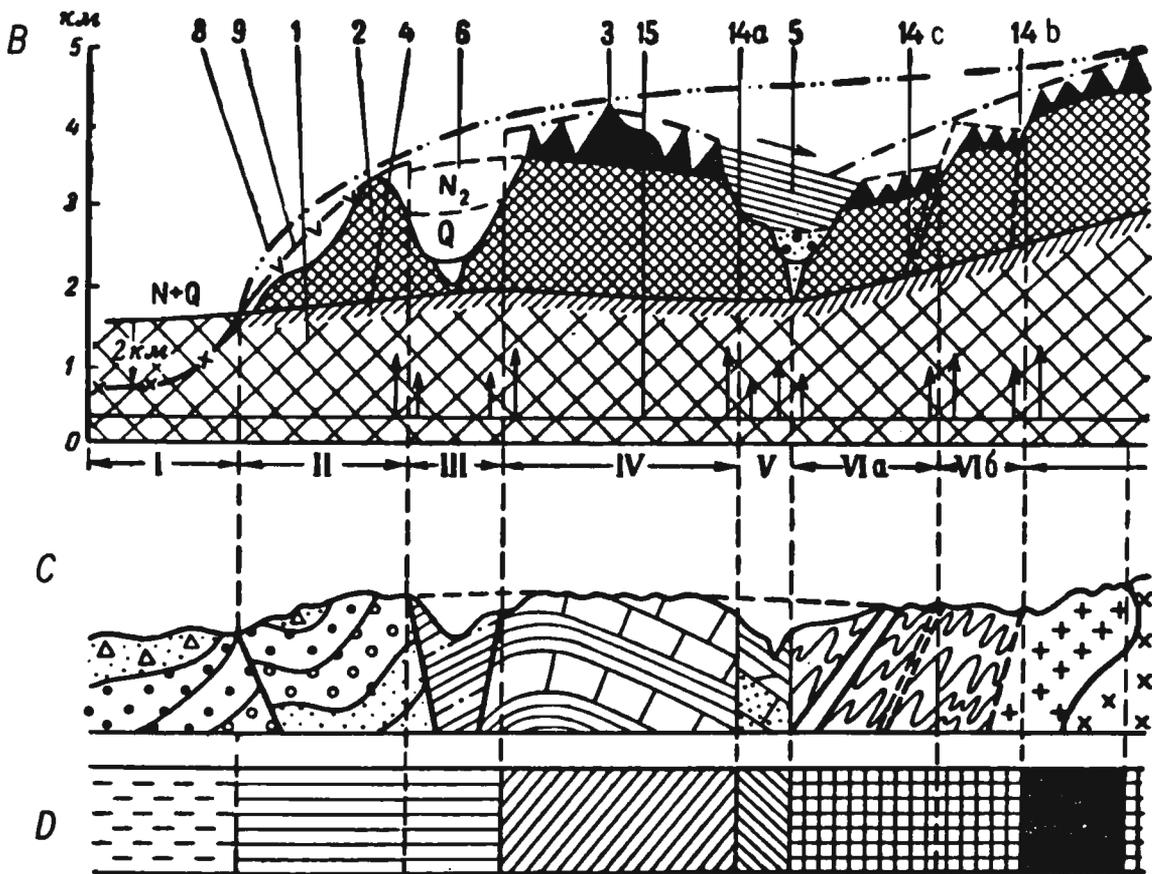
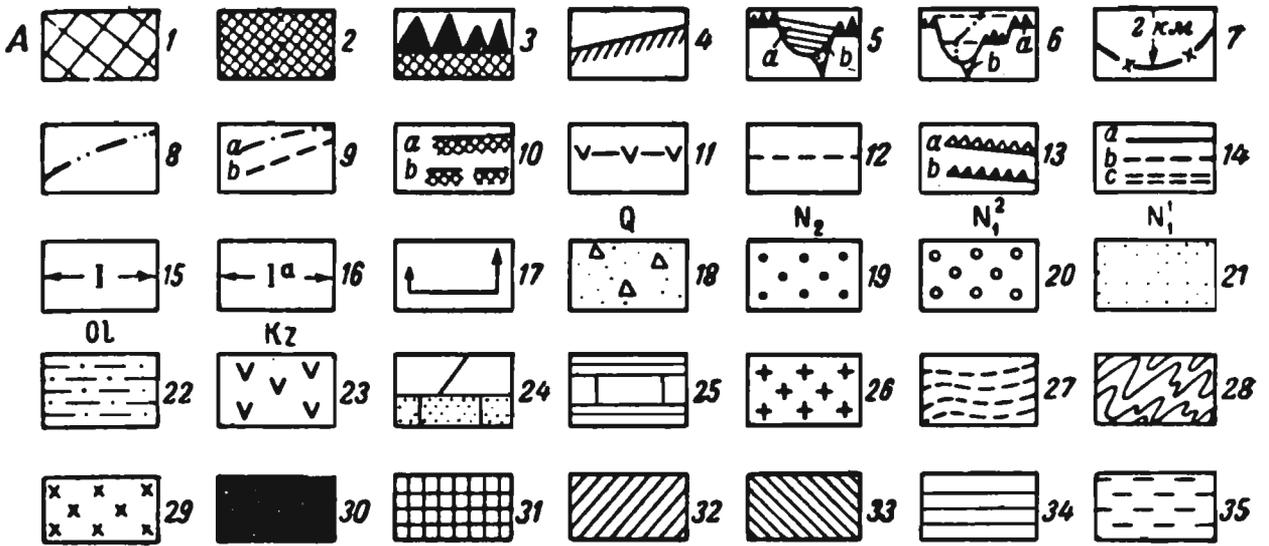


Fig. 25

B, para el perfil geomorfológico (1-17); 1, macizo montañoso no afectado por los procesos denudatorios; 2, zona de denudación lineal; profundidad de la disección por erosión en el macizo, producida por las corrientes; 3, zona de denudación planar con afluentes embrionarios sin cauces en las cabeceras de los ríos; 4, línea de correlación que une profundidades de valles formados por la erosión de ríos de montaña, de importancia considerable; 5 y 6, edad propuesta a los cortes regionales (a, oligoceno tardío-mioceno temprano, b, plioceno y cuaternario, no subdividido); 7-10, reconstrucción de la superficie preorogénica /7, sepultado bajo un cuerpo de molasa, el máximo espesor se indica con cifras; 8 y 9, levantado (8, en el arco del levantamiento general del edificio montañoso, 9a, sobre los levantamientos de segundo y más altos órdenes; 9b, sobre los bloques); 10, superficie anteorogénica de nivelación con un grado de conservación variable (a, bueno, b, malo); 11, superficie orogénica de nivelación, modelada en el cuerpo de molasa y en los levantamientos, a variable altura en el proceso de ampliación del sistema montañoso; 12, líneas de correlación para diversos elementos de los perfiles y para su relación con los esquemas; 13, zonas de fracturamiento profundo con expresión variable en la estructura actual y en el relieve del sistema montañoso (a, moderada, b, clara); 14, fallas (a, determinadas, b y c, propuestas por datos: b, geológicos, c, geomorfológicos); 15, formas estructurales; 16, elementos de las formas estructurales; 17; dirección de los movimientos verticales: la dimensión de las flechas expresa cualitativamente el levantamiento o hundimiento total). C, para el perfil geológico (18-29): 18-22, rocas de formaciones orogénicas, molasa y submolasa: 18-20, gruesas, 21 y 22, finas); 23, rocas magmáticas, y principalmente efusivas; 24 y 25, rocas de la cubierta preorogénica (24, cenozoicas, 25, precenozoicas); 26-29, rocas del basamento 26, rocas magmáticas, predominantemente intrusivas, las efusivas son diques; 27 y 28, rocas metamórficas (27, el dibujo representa

realmente la inclinación de las capas, 28, convencional); 29, rocas más antiguas del basamento, no disectado/. D, para la carta especial (30-35):30, complejo intrusivo, predominantemente granítico, compacto y resistente; 31 complejo metamórfico, con resistencia de las rocas -de las más duras a duras compactas- aproximadamente igual (32, dureza regular, compactas, con predominio de capas en corona; 33, blandas, compactas, con predominio de materiales fácilmente solubles carbonato-arcillosos y arenarcillosos); 34 y 35, rocas de formaciones orogénicas, molassas (34, precuaternarias consolidadas; 35, del Plioceno tardío al Pleistoceno, no consolidadas).

Fig. 26. Ejemplo de análisis de fallas con desplazamiento por deformación, de la superficie de nivelación.

Perfil transversal de un meganticlinal con rasgos de arco-pliegue
Signos convencionales en la fig. 25.

Fig. 27. Ejemplo del análisis de una falla con desplazamiento por la deformación de la superficie preorogénica de nivelación. El perfil longitudinal del meganticlinal con rasgos de arco-bloque. En la figura se muestran los cortes de erosión-denudación y las distintas pendientes de las zonas de denudación planar en bloques independientes.

Los signos convencionales en la fig. 25.

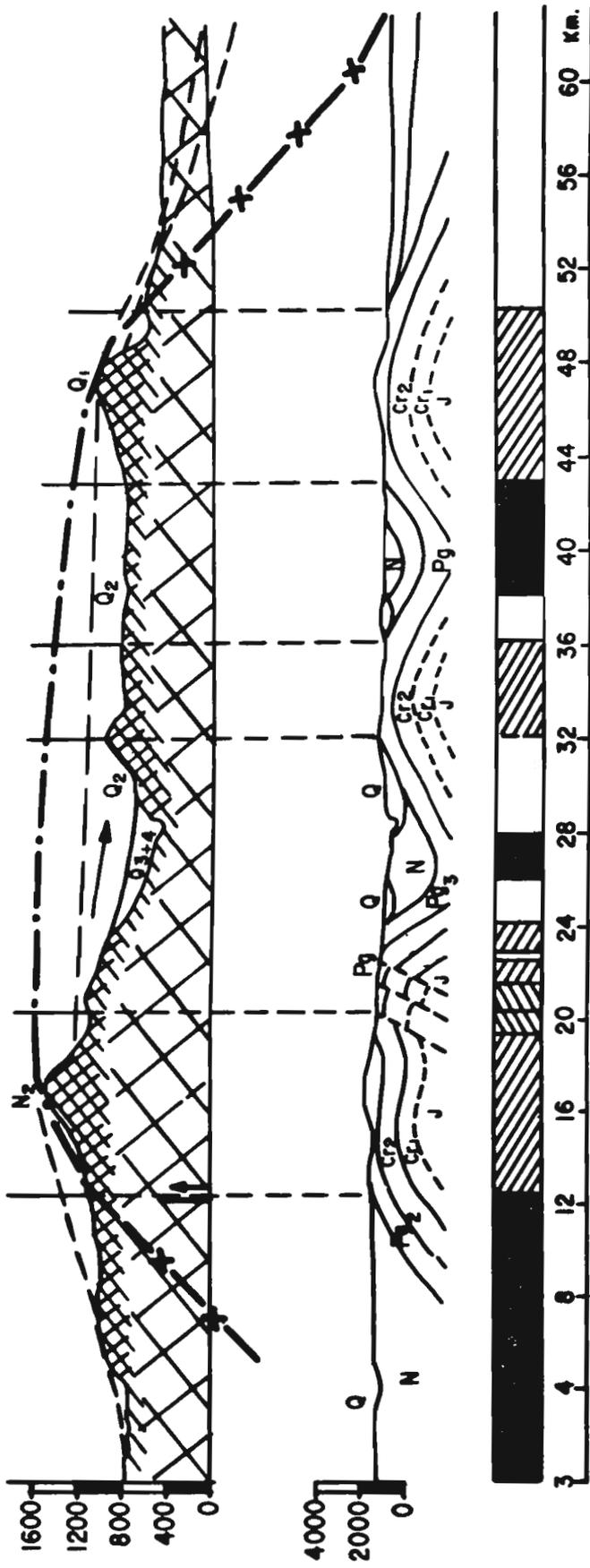


Fig. 26

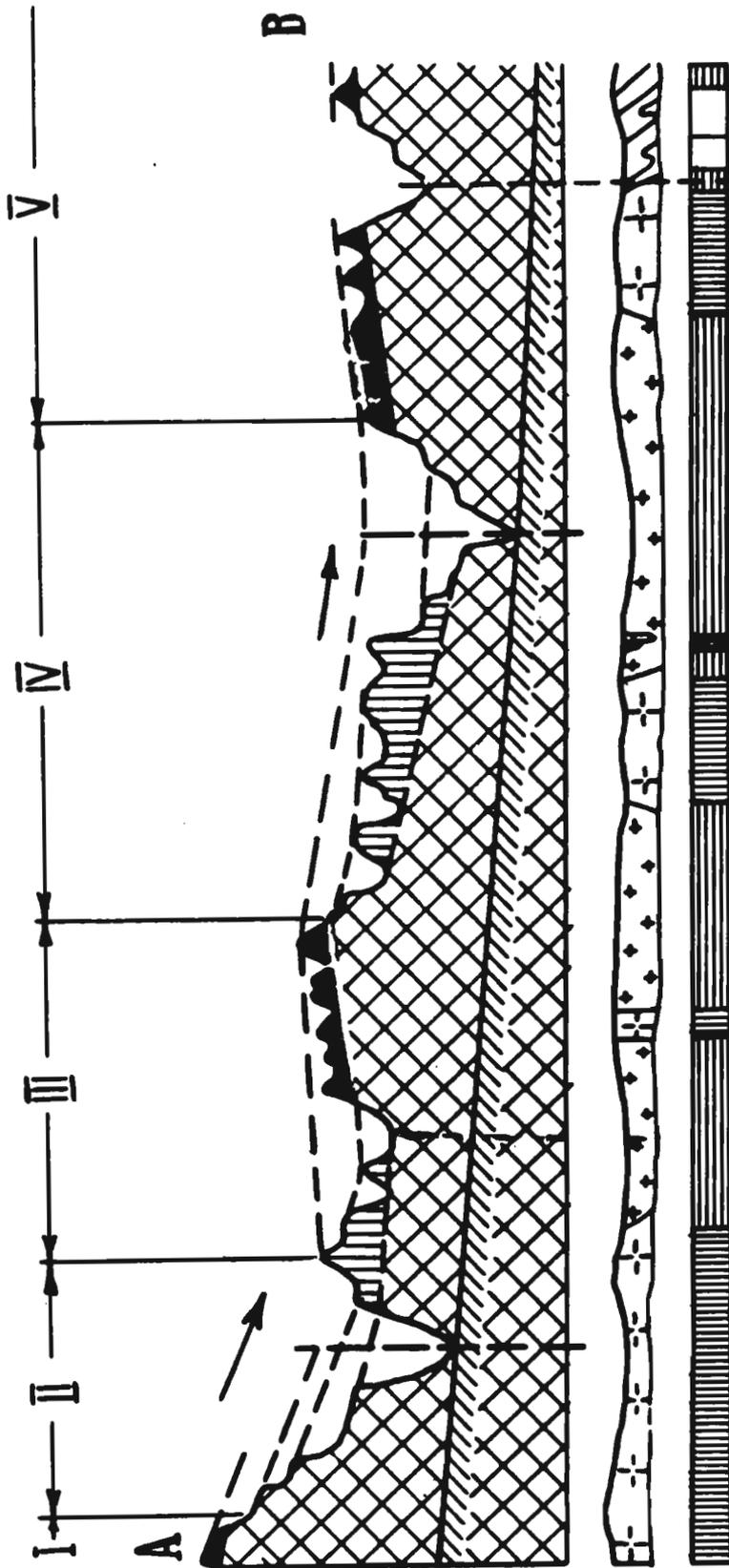


Fig. 27

JERARQUIA DE MEGAFORMAS Y MESOFORMAS OROGENICAS

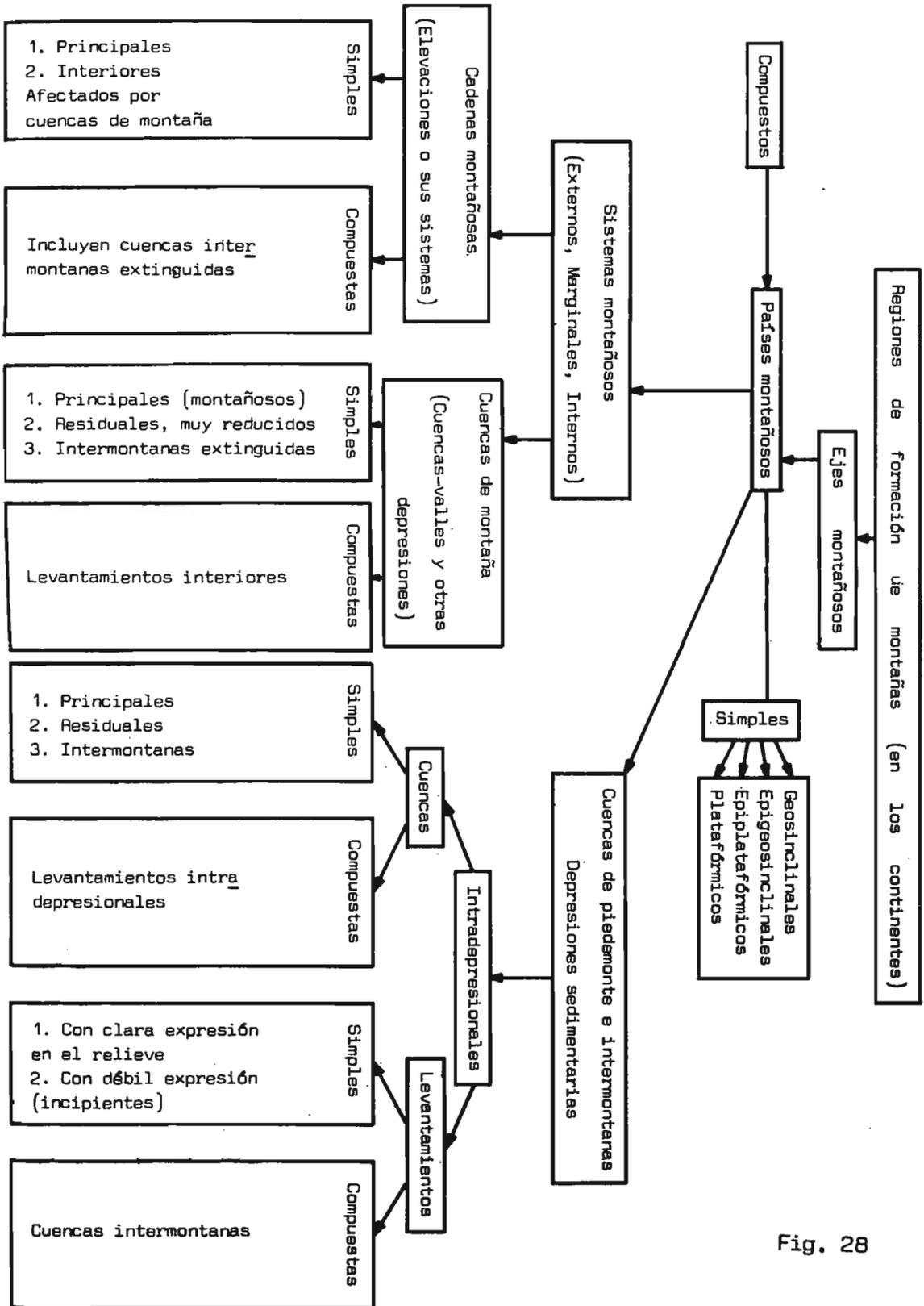


Fig. 28

DUODECIMA CONFERENCIA.

SISTEMAS SOBREPUESTOS Y FORMAS ESTRUCTURALES FUNDAMENTALES EN LAS REGIONES DE FORMACION DE MONTAÑAS.

1. En los orógenos son muy comunes las condiciones de desarrollo de sobreposición. Así, los levantamientos y las depresiones tienen una clara expresión en el relieve y, teniendo laderas comunes, representan sistemas en estrecha relación genética o sobrepuestos en su desarrollo durante toda la etapa de formación de las montañas. Así, por ejemplo, hasta determinado estadio de desarrollo, y dentro de los límites de las velocidades infracríticas, el incremento en el desarrollo del levantamiento y en el acarreo de molasa provoca un aumento en el hundimiento en la cuenca contigua, así como cambios en la composición mecánica de los sedimentos. A menudo el carácter sobrepuesto del desarrollo no corresponde al equilibrio dinámico y en el sistema contiguo puede desarrollarse con predominancia el levantamiento o la depresión.

2. Los sistemas sobrepuestos se dividen en varios órdenes. Cada país montañoso está representado por uno o varios levantamientos y depresiones de primer orden. Los levantamientos forman en el relieve sistemas montañosos y depresiones, estas últimas en estrecha relación genética con los levantamientos de las cuencas sedimentarias rellenas de molasa (Fig. 28, 29).

3. En el sistema montañoso se diferencian formas estructurales sobrepuestas de segundo orden: sistemas de cadenas montañosas (levantamientos y zonas de valles). Los primeros predominan significativamente sobre los segundos, ya que las cadenas se amplían en el proceso de levantamiento, a costa de las depresiones sobrepuestas: cuencas-valle (Fig. 29).

Con las formas sobrepuestas de tercer orden se relacionan las cadenas independientes: elevaciones y cuencas-valle. Simultáneamente se distinguen levantamientos simples y compuestos (incluyen la cuenca en extinción). Las cuencas simples y compuestas incluyen uno o más levantamientos en procesos de desarrollo (Fig. 30).

4. En las depresiones sedimentarias se distinguen, asimismo, formas estructurales sobrepuestas de segundo orden. Estas son zonas de levantamientos intradepresionales: cadenas y elevaciones independientes y, relacionados con ellos, cuencas residuales (Fig. 31). Las zonas de levantamientos a menudo ceden, por sus dimensiones, ante los sistemas de cuencas, pero los primeros se encuentran en estadio de crecimiento y ampliación a costa de los segundos (cuencas) que empiezan a extinguirse y reducirse como zonas de hundimiento absoluto.

Las zonas de levantamiento y las de depresiones consisten en formas estructurales de tercer orden, éstas pueden ser elevaciones y depresiones simples y compuestas. Las elevaciones compuestas incluyen una o varias cuencas en extinción o ya extinguidas. Las depresiones compuestas, por el contrario, se subdividen en uno o varios levantamientos en proceso de generación, o con un buen desarrollo en el relieve.

5. Para la solución de problemas prácticos, en condiciones de desarrollo sobre puesto de formas estructurales positivas y negativas, es necesario explicar los diversos estadios del desarrollo de las mismas. Esto es importante principalmente cuando cambian los caminos de acarreo de la molasa con contenido metálico, o ante la aparición de levantamientos modernos con perspectivas petrolíferas. También en las amplias depresiones sedimentarias "cubiertas", así como durante el desarrollo de sistemas de fallas mineralizadas de distintas edades, etc. Frecuentemente estas tareas pueden ser resueltas con base en el estudio de las leyes fundamentales sobre la estructura del relieve. Está establecido que el proceso de desarrollo conerosivo de las formas estructurales sobrepuestas va acompañado de la formación de un relieve zonal. Este se obser va regularmente y con claridad en la estructura del relieve orogénico. Por eso en los sistemas montañosos se puede reconocer una zonación geomorfológica general, condicionada por el desarrollo de las formas estructurales de primer orden, y una zonación geomorfológica particular relacionada con los procesos de modelado morfológico del relieve del levantamiento en desarrollo.

Explicación a las figuras.

Fig. 29. Formas orogénicas de un país montañoso (I-VIII): A, esquema de su estructura; B, fragmento del Tian-Shan.

Levantamientos y cuencas de primer orden. Sistemas montañosos: I, externo compuesto; II, interno compuesto, con buen desarrollo; III, exterior simple, con débil desarrollo. Cuencas de piedemonte: IV, con débil reducción; V, con reducción significativa, sobre una falla. Cuencas intermontanas: VI, asimétricas afectadas por levantamientos intradepresionales, con débil reducción; VII, igual, pero con reducción considerable; VIII, planicies contiguas de las regiones de plataforma. Levantamientos y cuencas de segundo orden y mayores en el sistema montañoso. Cadenas de levantamiento: 1, exteriores o marginales; 2-3, interiores (2, simples, 3, compuestos). Cuencas de montaña, principalmente de hundimiento relativo, con reducción variable: 4, moderado, 5, considerable; 6, cuencas intermontanas en extinción. Elevaciones y depresiones de segundo y más altos órdenes en las depresiones sedimentarias: cuencas de piedemonte e intermontanas. Cuencas intradepresionales de hundimiento absoluto con reducción variable; 7, débil, 8, fuerte. Levantamientos intradepresionales; 9, con expresión en el relieve; 10, incipientes; 11, partes marginales de las cuencas alargadas en el sentido del levantamiento (en el relieve corresponde al piedemonte); 12, cuencas combinadas y sobrepuestas.

1-6, Rocas de las formaciones orogénicas. Edades: 1, holoceno-pleistoceno; 2, plioceno; 3, mioceno-oligoceno; 4, cenozoico-orogénico, no diferenciado; 5, depósitos sedimentarios anteorogénicos; 6, sedimentos dislocados; 7-9, rocas del basamento: 7, metamórficas; 8, magmáticas; 9, rocas anteorogénicas del complejo sedimentario y del basamento, no diferenciadas; 10-11, fracturas en desarrollo: 10, interiores; 11, marginales; 12, piso de las rocas orogénicas; 13-14, reconstrucción de las superficies de denudación: 13, preorogénicas; 14, orogénicas; 15, contactos de las formas estructurales y orográficas (a, determinadas, b, propuestas).

Fig. 30. Formas estructurales orogénicas de un sistema montañoso:

A, esquema, B, construcción en detalle.

Cadenas montañosas: I, simples; II, simples afectadas por cuencas sobrepuestas; III, compuestas, incluyen levantamientos simples y cuencas intermontanas. Elementos de cadena: 1-2, pilares (o pliegues) con alturas variables: 1, exteriores; 2, interiores; 3-5, pilares (o pliegues) con relativo hundimiento (cuencas intermontanas): 3, sobrepuestas; 4, predominantemente heredadas, extinguidas; 5, idem (con reducción significativa). Elementos de las cuencas montañosas: 6, cuencas residuales; 7, elevaciones dentro de cuencas; 8, laderas de piedemonte.

Fig. 31. Formas estructurales negativas de formación de montañas y formación orogénica de molasa continental.

Depresiones consedimentarias de desarrollo completo y hundimiento absoluto (cuencas intermontanas y de piedemonte), reducidas en diverso grado: I, débil; II, fuerte. Cuencas de montaña: III, de desarrollo completo y hundimiento absoluto; IV y V, de desarrollo incompleto, con frecuencia de hundimiento relativo (IV, formación temprana; V, formación tardía); VI y VII, cuencas intermontanas extintas con formación en distintas épocas (VI, temprana; VII, tardía); levantamientos dentro de cuencas; cuencas-valle con actividad acumulativa de los ríos; a, fuerte; b, moderada; c, débil transformándose por una erosión incipiente. Valles (cuencas extintas con erosión profunda, e intensidad: d, moderada; e, fuerte). Rocas de las formaciones orogénicas: 1, cantos gruesos y guijarros; 2, matatenas y guijarros; 3, gravas y material local mal pulido y brechas; 4, arenas y areniscas; 5, limos; 6, arcillas; 7, calizas; 8, margas; 9, suelos de loess; 10, cantos y suelos glaciales; 11, yeso; 12, sal; 13, basalto; rocas preorogénicas dislocadas: 14, sedimentarias; 15, metamórficas; 16, magmáticas; 17, piso de la formación orogénica; 18, fracturas profundas; 19, fallas regionales principales.

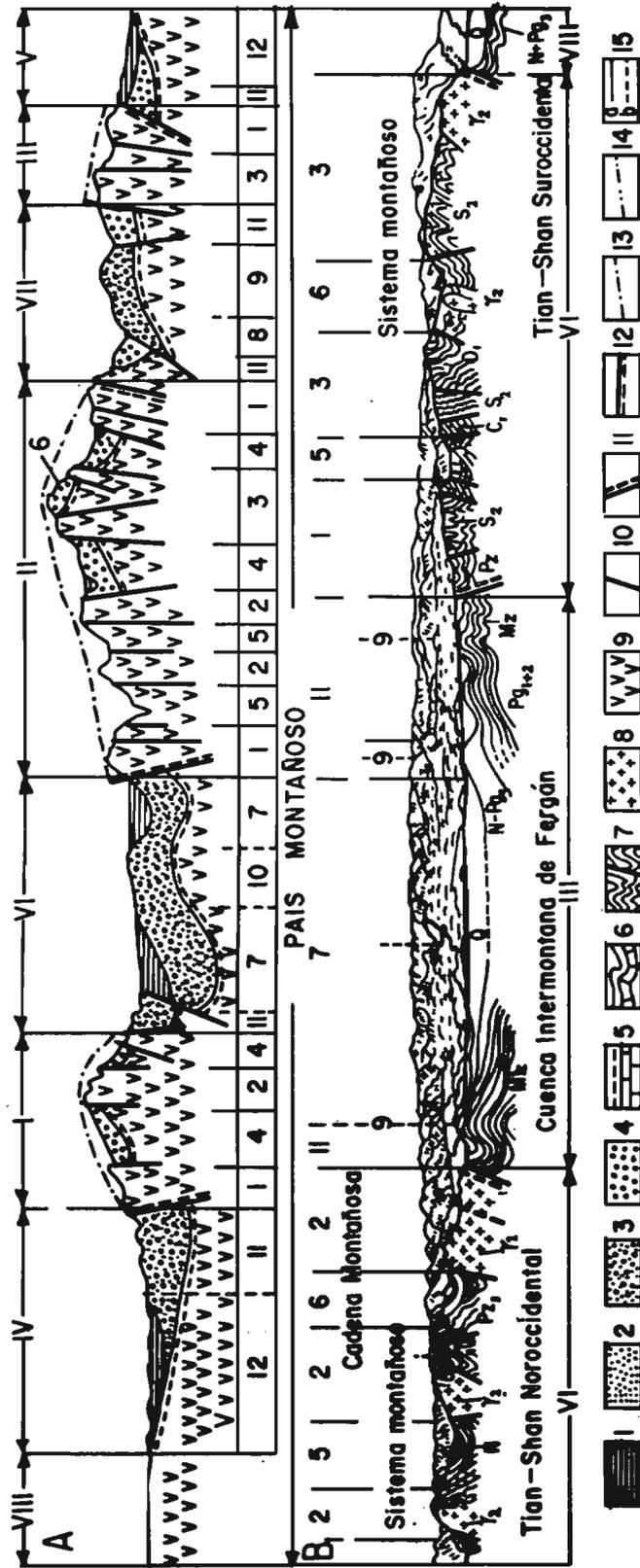


Fig. 29

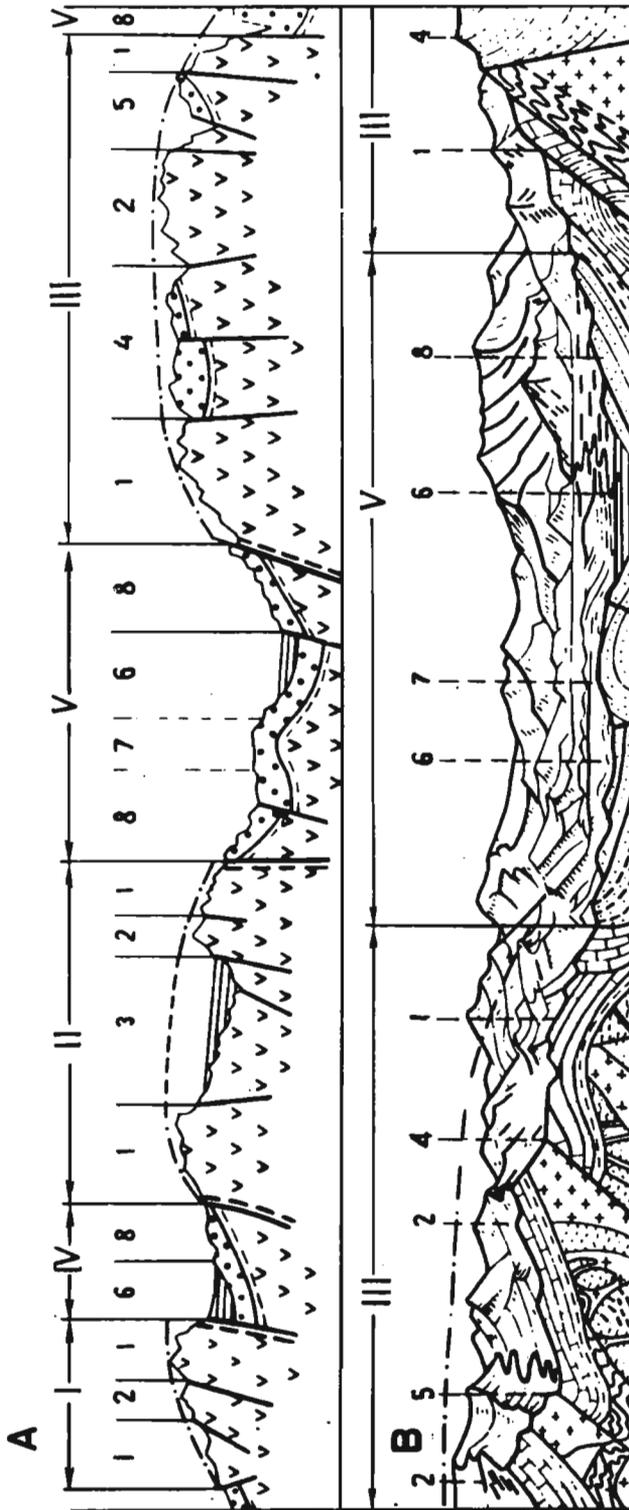


Fig. 30

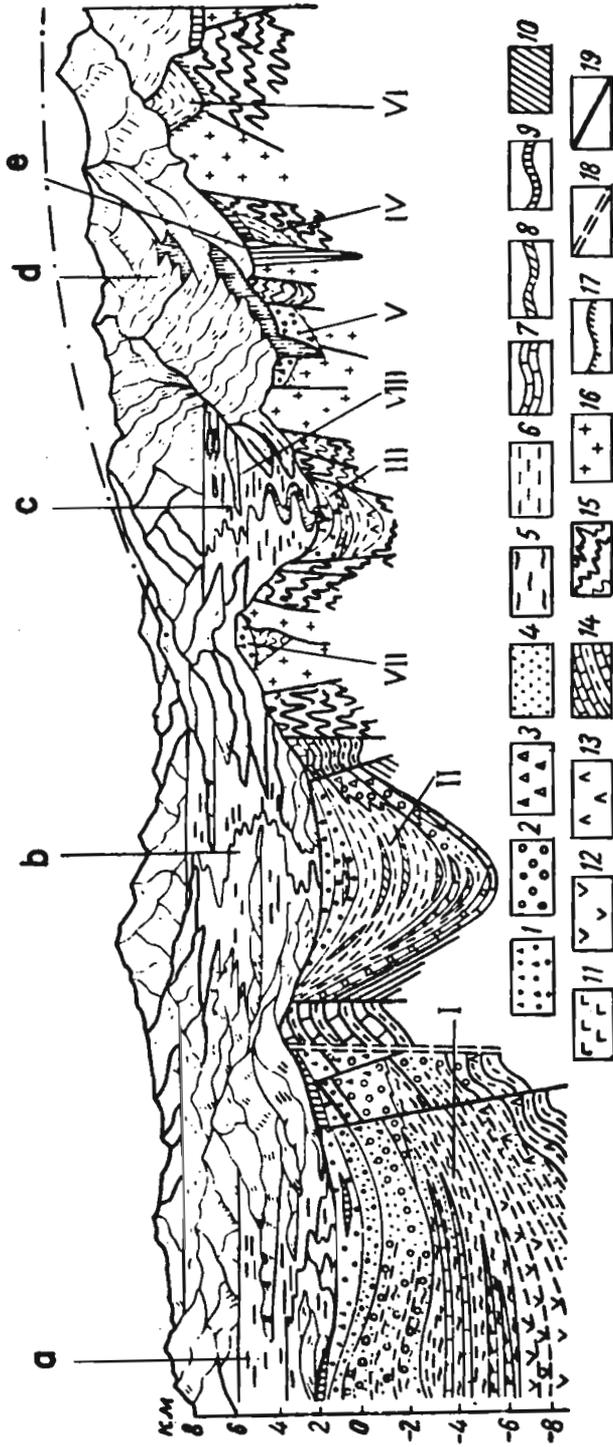


Fig. 31

DECIMOTERCERA CONFERENCIA.

ESTADIOS DE FORMACION DE LAS MONTAÑAS Y ZONALIDAD GEOMORFOLOGICA DEL RELIEVE.

1. En el desarrollo de los países montañosos pueden diferenciarse tres estadios en el transcurso de los cuales el comportamiento de las formas estructurales positivas y negativas sufre cambios substanciales. De acuerdo con las subdivisiones, ampliamente utilizadas, estos estadios se denominan: inicial, fundamental o principal y final. La gran mayoría de los sistemas montañosos actuales, pericontinentales y continentales se encuentran en el estadio final de su desarrollo. En muchas regiones de formación de montañas, el estadio inicial pertenece al paleógeno medio o al tardío (más frecuente) para terminar en el neógeno temprano. El estadio fundamental se desarrolló del neógeno tardío al pleistoceno temprano, época en que se inició el estadio final que está lejos de haber terminado.

2. En el estadio inicial son típicos los depósitos homogéneos de molasa consistente en materiales finos de color rojo, y sedimentos de transición de flysch a molasa. Este estadio se caracteriza por un incremento en la intensidad del hundimiento, que se manifiesta en toda la zona que abarcan las cuencas de piedemonte e intermontanas. En la región que será ocupada posteriormente por el sistema montañoso predomina el hundimiento en sus cuencas más amplias, pero, al mismo tiempo, en todo el territorio se inicia el desarrollo conerosivo de los levantamientos.

3. El estadio principal se caracteriza por un claro desarrollo morfológico de elevaciones y depresiones de primer orden, o sea un levantamiento del sistema montañoso sobre el relieve de una depresión sedimentaria (de cuencas de piedemonte e intermontanas). Hacia el final del estadio principal, en los sistemas montañosos los sistemas de levantamiento alcanzan una igualdad territorial con los sistemas de cuencas de montañas e, incluso, predominan sobre ellos. Muchas de las cuencas de montaña son regiones de hundimiento absoluto que paulatinamente van transformándose en regiones de hundimiento relativo.

En el transcurso del estadio principal cambia el carácter de la deposición en las cuencas intermontanas y de piedemonte: a los cuerpos de molasa fina, homogénea, les siguen cuerpos de mayor espesor y de composición más gruesa en sus materiales. La subdivisión de las depresiones sedimentarias se produce como consecuencia del creciente desarrollo consedimentario de los levantamientos intradepresionales.

4. El principio del estadio final se reconoce por los siguientes sucesos:

a) un incremento en la velocidad del levantamiento del sistema montañoso en su totalidad, con predominio significativo de las velocidades críticas.

Esto conduce a un aislamiento parcial o total del relieve, levantado a considerable altura con respecto a las bases orogénicas de denudación (fondos de las cuencas intermontanas y de piedemonte), y a la formación de un relieve construido en escalones de diversas edades; b) una reducción significativa

de las cuencas intermontanas y de piedemonte, como regiones de acumulación y hundimiento, a costa de la formación de zonas actuales de piedemonte, y un crecimiento del relieve de planicies de nivel de base de las elevaciones intradepresionales; c) un aislamiento parcial y completo (poco frecuente) del

nivel de base principal de las cuencas-valle residuales intradepresionales y su transformación en hondonadas semicerradas, débilmente levantadas; d) extinción, en la cadena montañosa, de cuencas-valle pleistocénicas, caminos de

acarreo de molasa neogénica y desarrollo de una nueva red fluvial con predominio de gargantas formadas a lo largo de fracturas.

5. En muchos países montañosos, durante el estadio principal se activa el magmatismo efusivo que, con frecuencia, continúa durante el cuaternario. Las altas cadenas montañosas alcanzan la quionosfera (16) y sufren glaciaciones principalmente durante el cuaternario (Fig. 32).

6. El desarrollo orogénico por estadios encuentra su expresión exterior en el relieve montañoso, en el de las planicies de la base de las montañas, en la formación de cuatro zonas geomorfológicas desiguales.

En el sistema montañoso se reconocen dos zonas: la primera, interior o central, y la segunda, la exterior. La primera zona se formó en el transcurso del estadio inicial. Por eso su relieve, disecado en forma débil o moderada, en la época actual resultó levantado a gran altura. De acuerdo con su desarrollo es un relieve relictivo y, en grado variable, aislado de las regiones contiguas de las planicies de nivel de base (Fig. 33-I). El relieve de la segunda zona montañosa, disecado a gran profundidad, corresponde al principal estadio de formación de las montañas. En este estadio se produce el levantamiento general del relieve de la primera zona montañosa. El relieve de la segunda zona continúa su desarrollo hasta la época actual y se amplía a costa de la destrucción parcial o total del relieve de la primera zona y del levantamiento de las regiones altas, interiores, de piedemonte. Este es el relieve más típico de las actuales regiones de formación de montañas (Fig. 33-II).

En las cuencas de piedemonte e intermontanas el relieve correlativo de la primera y segunda zonas montañosas se encuentra sepultado por cuerpos correspondientes de molasa fina y gruesa (Fig. 33).

Comparando la disección vertical y horizontal de una cadena montañosa (o sea, el relieve montañoso de las zonas geomorfológicas I y II) se puede ver que es de tipo erosivo-denudatorio, y presenta una serie de cortes cíclicos regionales, dispuestos uno sobre otro, formados por corrientes fluviales de una red de edad fundamentalmente neogénica. En su totalidad forman el piso superior de la disección vertical del sistema montañoso.

7. Solamente en el relieve contemporáneo de cuencas intermontanas y de piedemonte —de depresiones sedimentarias en extinción— se reconocen la tercera y cuarta zonas geomorfológicas: planicies de piedemonte y de nivel de base.

La tercera zona geomorfológica de piedemonte consta de planicies pleistocénicas levantadas y disecadas durante el cuaternario. Su construcción es en escalones (piedemonte alto y bajo), con disminución de la intensidad de la disección hacia el centro de la cuenca.

La cuarta zona o planicie de nivel de base forma las actuales planicies alta, media y baja.

En el sistema montañoso, al relieve denudatorio-erosivo y erosivo-acumulativo de las zonas geomorfológicas III y IV (cuencas intermontanas y de piedemonte) corresponde el piso inferior del relieve con disección profunda. Este consiste en uno o varios ciclos de erosión correspondientes a la zona de piedemonte, así como al periodo actual en formación, con series de terrazas, planicies aluviales y cauces de los ríos de la red fluvial contemporánea, mismos que se correlacionan con las planicies de nivel de base, terrazas, planicies aluviales y cauces de ríos de cuencas intermontanas y de piedemonte.

Las zonas geomorfológicas montañosa y de piedemonte, en relación con el centro del levantamiento se extienden en forma concéntrica. La zona de la planicie de nivel de base se extiende hacia las cuencas residuales.

Todas las particularidades del plano estructural de cada sistema montañoso dado en conjunto, y las formas estructurales independientes, determinan las características de la configuración de las zonas geomorfológicas. La presencia de un nuevo levantamiento en las cuencas produce una alteración de los rasgos en las zonas regionales y la formación de una zonalidad local o particular. Así, por ejemplo, en las regiones "cubiertas" con levantamientos incipientes del relieve se forma una zonalidad geomorfológica particular (Fig.33).

* * * * *

Explicación a las figuras.

Fig. 32. Estadios de desarrollo en un país montañoso: A, inicial; B, fundamental; C, final (los ejemplos son del Tian-Shan y el Pamir).

1-5, molasa del cenozoico, de diversas edades: 1-2, cuerpos de molasa gruesa del final del plioceno tardío y del cuaternario, de colores varios (1, cuer-

pos del cuaternario, de suelos de loess y guijarros, en cuencas independientes; 2, esencialmente del plioceno tardío, conglomerados de guijarros gruesos; 3-4, cuerpos de molasa del mioceno tardío y plioceno, de colores brillantes (3, gruesos; 4, transitorios a finos: a) de facies de cuencas intermontanas y de piedemonte, b) facies de cuencas montañosas de alto orden); 5, cuerpos de molasa roja del paleógeno tardío-mioceno temprano: a) facies de cuencas montañosas de alto orden; 6-7, configuración general de las formas estructurales de primer orden (6, sistema montañoso; 7, cuencas intermontanas y de piedemonte sobre el piso de molasa; 8, fracturas).

Fg. 33. Zonas geomorfológicas de un país montañoso. I, montañosa interior; II, montañosa exterior; III, piedemonte; IV, planicie de nivel de base.

1-2, rocas subyacentes a la cadena montañosa epiplatafórmica: 1, basamento (a, rocas magmáticas, b, rocas metamórficas); 2, cubierta; 3-4, rocas del complejo orogénico que rellenan las cuencas contiguas; 3, molasa fina (a, arenosa, b, arcillosa); 4, molasa gruesa; 5-6, líneas de correlación: 5, levantamientos generales en forma de arco; 6, fosas en forma de taza; 7, profundidad de la disección por erosión; 8, peniplano antiguo y superficie de nivelación (modelada sobre las rocas del basamento);

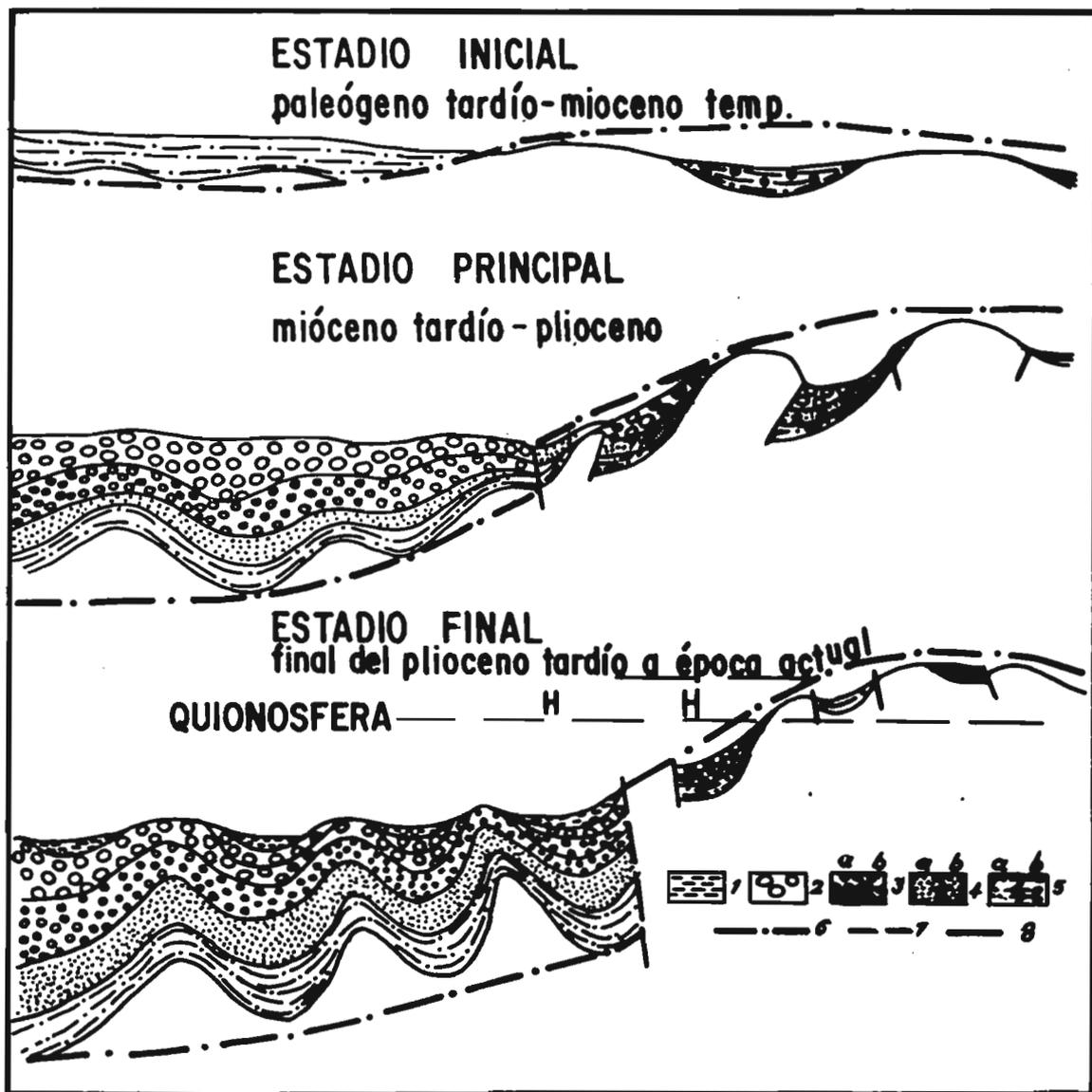


Fig. 32

DECIMOCUARTA CONFERENCIA.

ESTUDIO DE LOS LEVANTAMIENTOS MODERNOS EN LAS PLANICIES DE NIVEL DE BASE.

1. Las cúpulas y los anticlinales braquimórficos, que en condiciones favorables se han desarrollado dentro de los umbrales de las cuencas intermontanas y de piedemonte, son formas estructurales con perspectivas petrolíferas; por eso su análisis morfoestructural resulta de gran interés. Entre estos plegamientos, los de mayor perspectiva en la acumulación de petróleo y gas son los activos: cúpulas y anticlinales braquimórficos en desarrollo, lo que favorece también el desarrollo de grietas lo que, a su vez, facilita la migración del petróleo y el gas, desde la profundidad hasta los cuerpos superiores o colectores. Más adelante veremos las condiciones de las zonas "cubiertas". A causa de la estructura especial del relieve, en las planicies de nivel de base y de la plataforma continental, este tema será tratado en las conferencias 15 y 16.

2. Las planicies de nivel de base (intracontinentales y marinas), se reconocen, de acuerdo con principios geomorfológicos, como levantamientos activos de tres tipos: conerosivos, condenudatorios, y consedimentarios. El último de estos se estudia por métodos geológicos, y la estructura del primero y del segundo puede ser estudiada por métodos geomorfológicos (ver la conferencia No. 9 y la Fig. 34).

3. En función de la intensidad y la longevidad del desarrollo de los levantamientos, éstos pueden ser de tipo "cubierto", "semicubierto" y "abierto".

Los levantamientos "abiertos" se caracterizan por la ausencia, en la cúpula y en los flancos, de una cubierta de sedimentos cuaternarios.

En la parte central del levantamiento moderno -en el parteaguas y las laderas- se desarrolla un relieve erosivo-denudatorio, con una correlación compleja con respecto a la formación litológico-estructural del plegamiento (Fig. 35).

En las laderas, al pie del levantamiento, donde las elevaciones que todavía se encuentran cubiertas por sedimentos cuaternarios, pero ya en proceso de disección, se desarrolla un relieve zonal local, con subzonas geomorfológicas extendidas concéntricamente en relación al centro del levantamiento local, o sea, con una cúpula conerosiva en desarrollo, o anticlinal braquimórfico (Fig. 35). Esta zonación representa esencialmente la regularidad del proceso de disección horizontal de los levantamientos locales activos.

Con los cambios locales que se producen en el proceso de la disección horizontal, se presentan los siguientes fenómenos: 1) deformación: flexión en los cauces de los ríos, 2) migración de valles de edades diversas, a partir del centro del levantamiento, 3) extinción de los arroyos que atraviesan la parte central del levantamiento. La extinción de los ríos y sus valles puede ser completa, o con la posterior aparición de riachuelos y arroyos locales (dentro de los umbrales de los valles en extinción) y su avance regresivo en relación con la forma del parteaguas local que se desarrolla en el relieve formado por la elevación (Fig. 36).

Los cambios locales producidos por la disección vertical son, entre otros: 1) un aumento de la profundidad del valle y, simultáneamente, una reducción en su amplitud, 2) arqueamiento (a lo largo) de las superficies de las terrazas, en condiciones de una reducción (hasta cero) del espesor de sedimentos, y un aumento general en el tamaño del material de depósito en la parte del levantamiento, 3) disociación de los cortes: formación de niveles complementarios locales, de terrazas.

4. La evaluación cuantitativa del crecimiento de la forma estructural durante un ciclo de disección (t_n) puede determinarse (en condiciones de velocidades infracríticas de levantamiento) por la fórmula $\frac{hn}{H} = \frac{t_n}{T}$, donde h corresponde a la profundidad de un corte dado (n), H es la profundidad total de disección del levantamiento dado, y T la amplitud total de levantamiento en una etapa de desarrollo conerosivo (o sea, la altura del levantamiento con

correcciones por denudación planar D_p).

5. Los levantamientos "semicubiertos" tienen en su superficie una cubierta irregular de sedimentos cuaternarios, y los levantamientos "cubiertos" una cubierta continua (fig. 37). El desarrollo de levantamientos "semicubiertos" y "cubiertos" en el relieve permite realizar una descripción de los cambios locales en la disección en sentido horizontal y vertical, pero con menos claridad en su expresión, en comparación con las formas estructurales "abiertas". En condiciones de estructuras "cubiertas" nacientes en el relieve, con una litología homogénea de sedimentos cuaternarios, el análisis de la disección horizontal adquiere mayor significado cuando se buscan levantamientos locales. En estas condiciones, el método geomorfológico ayuda a reconocer una serie de zonas perspectivas para la búsqueda de estructuras con contenido de petróleo y gas, sólo con base en una serie de datos indirectos.

En regiones semiáridas y con amplio desarrollo de deltas secos y conos de deyección se presentan condiciones que se ilustran en la Fig. 40, en la que se consignan algunos datos indirectos que permiten reconocer levantamientos locales.

* * * * *

Explicación a las figuras.

Fig. 34. Las fases de desarrollo de las formas estructurales: A, consedimentaria; B, condenudatoria; C, conerosiva. Con condiciones de compensación completa en A y B, e incompleta en C.

1-2, molasa (1, gruesa; 2, fina); 3-5, rocas de la etapa anteorogénica de desarrollo (3, débiles; 4, resistentes; 5, muy resistentes); 6, superficie de denudación de la orogenia temprana; 7, fallas; 8, líneas auxiliares (a, de generalización; b, para unir las bases locales de denudación).

Fig. 35. Esquemas de la construcción zonal del relieve de un anticlinal en

crecimiento: A, detalles de la construcción de zonas locales y valles; B, C, D, características de la estructura del relieve en un flanco del pliegue en desarrollo: B, anticlinal simétrico, C, asimétrico, D, asimétrico complicado por fallas. 1, núcleo coronado del anticlinal; 2, gradas coronadas; 3, rellano rebajado entre las gradas; 4-5, piedemonte: 4, alto, 5, bajo; 6-7 planicies de nivel de base con disección variable; 6, significativa, 7, moderada y débil; 8, fallas. I-IV, zonas: I, montañosa, II-III, piedemonte, IV, planicies.

Fig. 36. Carácter del desarrollo conerosivo del relieve de un anticlinal en gradas: A, aspecto general de uno de los pliegues intradepresionales de la cuenca intramontana de Fergan; B, esquema de los tipos principales de valles que disecan a las estructuras en levantamiento. A: 1, parteaguas de las gradas anticlinales; 2, collados, 3-5, valles fluviales jóvenes, de arroyos que siguen los cauces antiguos: 3, consecuentes, 5, subsecuentes, 4, vallecillos nacientes, 6, valles transversales epigenéticos; 7-8, valles antecedentes: 7, migrantes con cauces sinuosos, 8, fijos en gargantas. B, I-VII, distintos tipos de valles; 1-4, estadios del levantamiento del pliegue.

Fig. 37. Correlación geomorfológica de las terrazas de acumulación en las vertientes de levantamientos de diversas edades, con expresión variable en el relieve: I, elevaciones erosivo-denudatorias, II, elevaciones erosivo-acumulativas, III, elevaciones erosivo-acumulativas con el zócalo sedimentario cubierto, IV-V, elevaciones acumulativas: IV, con expresión en el relieve, V, sin expresión en el relieve; 1-5, sedimentos cuaternarios (de más jóvenes a más antiguos); 6, sedimentos neogénicos correspondientes al inicio del levantamiento; 7, rocas deformadas antes del levantamiento; 8, terrazas de erosión-acumulación formadas en el periodo de levantamiento; 9, superficie erosivo-denudatoria correspondiente al principio del levantamiento; 10 fragmentos de la superficie del relieve coronado.

Fig. 38. Construcción de conos de deyección en zonas donde se desarrollan en forma conerosiva elevaciones tipo anticlinal, cubiertos por sedimentos cuater

narios: 1-3, cortes erosivos de distintas profundidades; 4, ramificación de las corrientes; 5, corrientes divagantes; 6, corrientes subterráneas que en la superficie se marcan por formas de sufusión; 7, cauces de las corrientes atrofiadas; 8, pequeños depósitos salinos; 9, sedimentos de tipo takir, facies de estancamiento; 10-12, intensidad variable en el crecimiento del levantamiento en el relieve: 10, significativa, 11, moderada, 12, débil; 13, eje de los pliegues y dirección del hundimiento; 14, fallas activas.

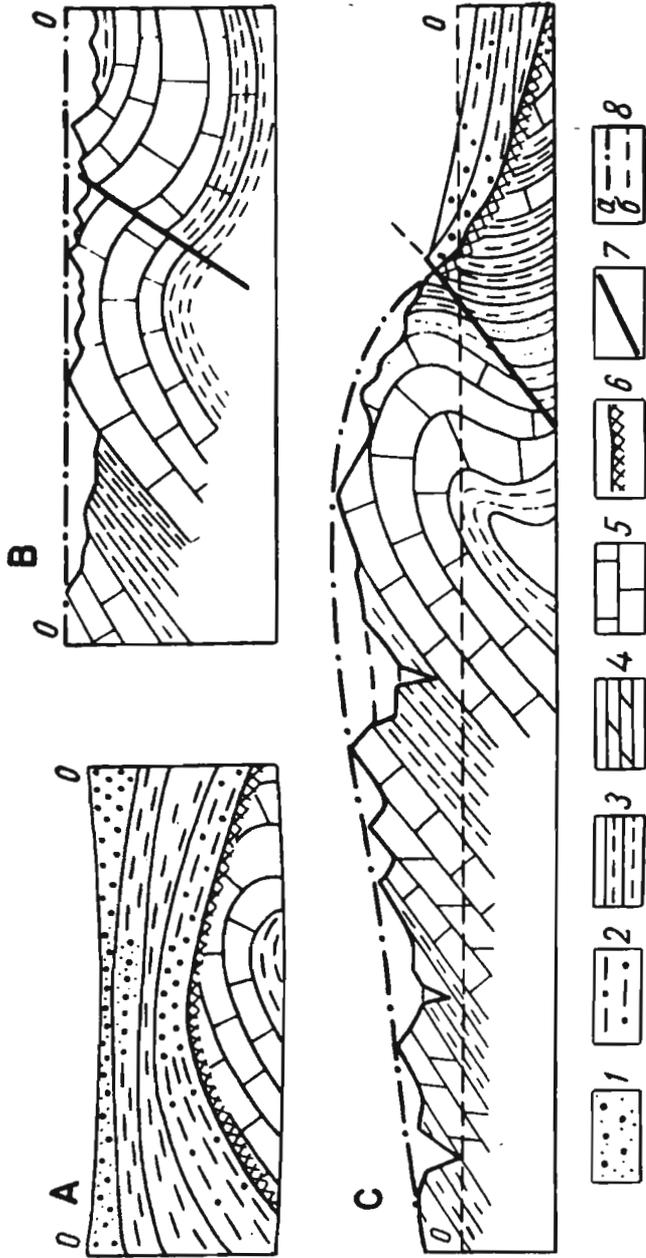


Fig. 34

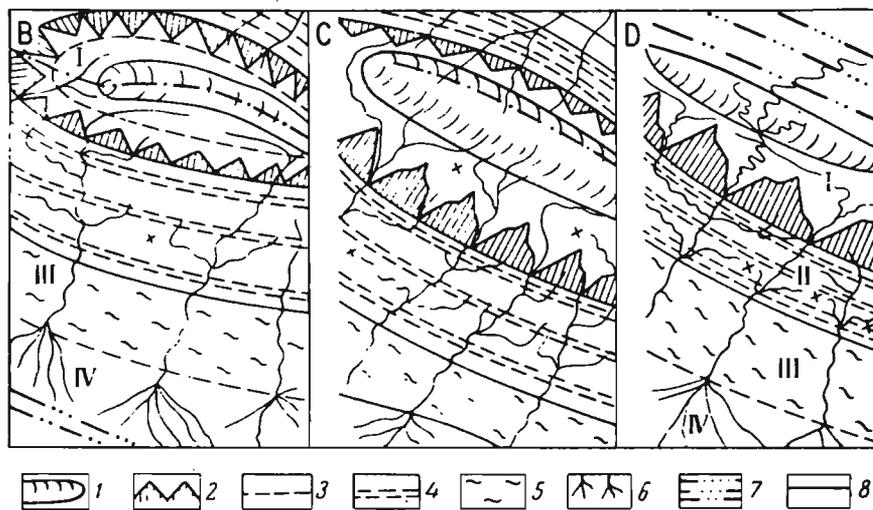


Fig. 35

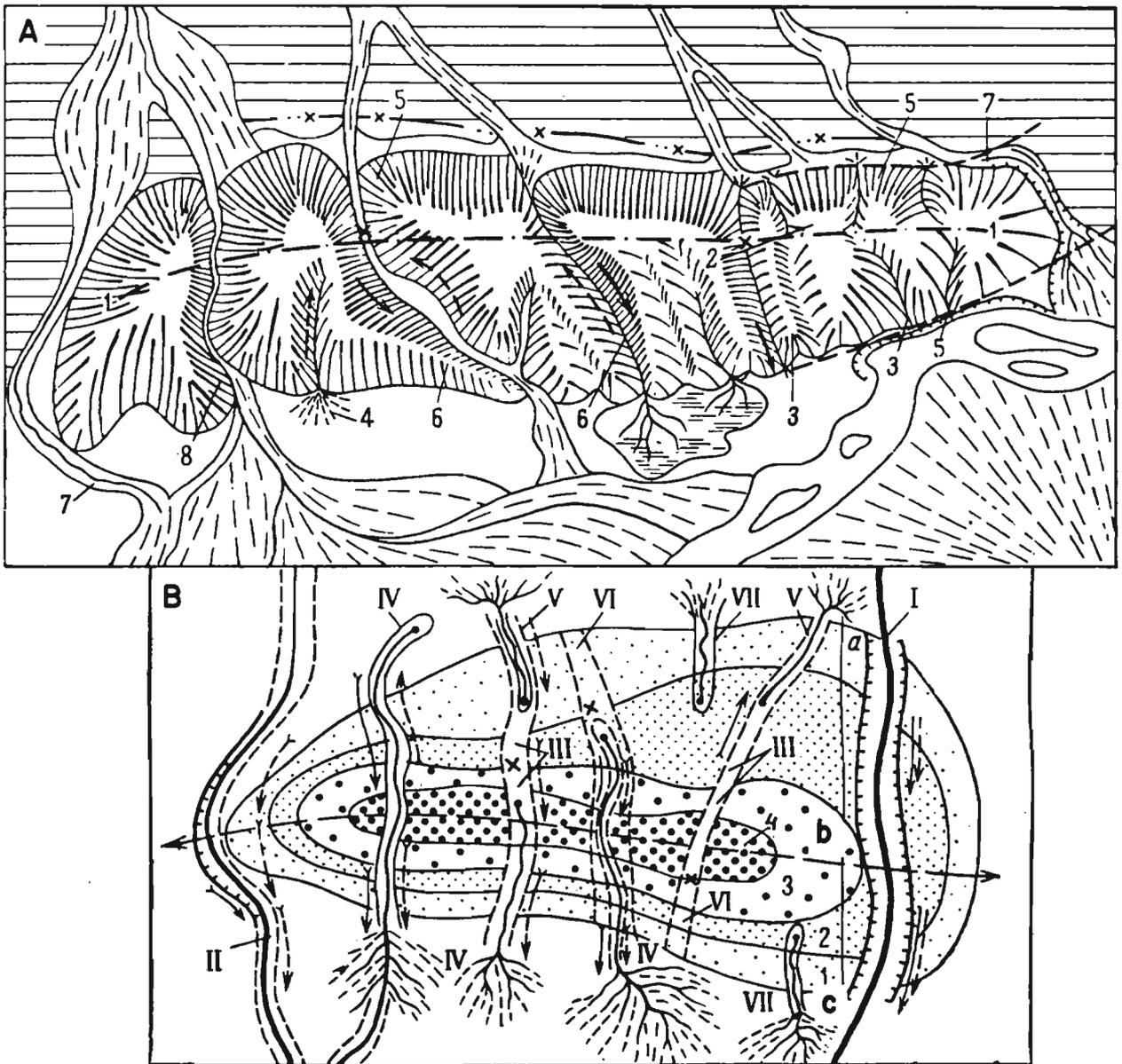


Fig. 36

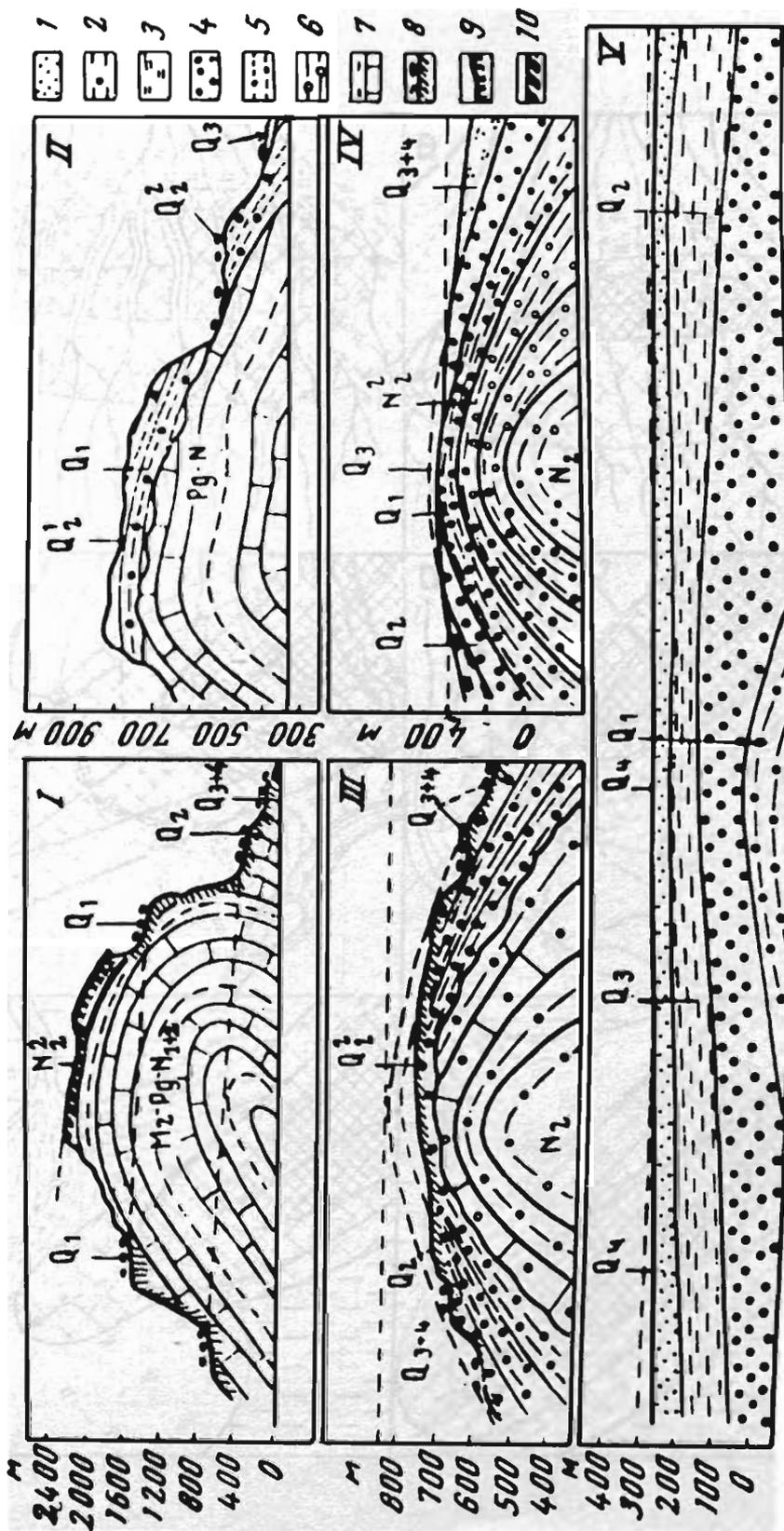


Fig. 37

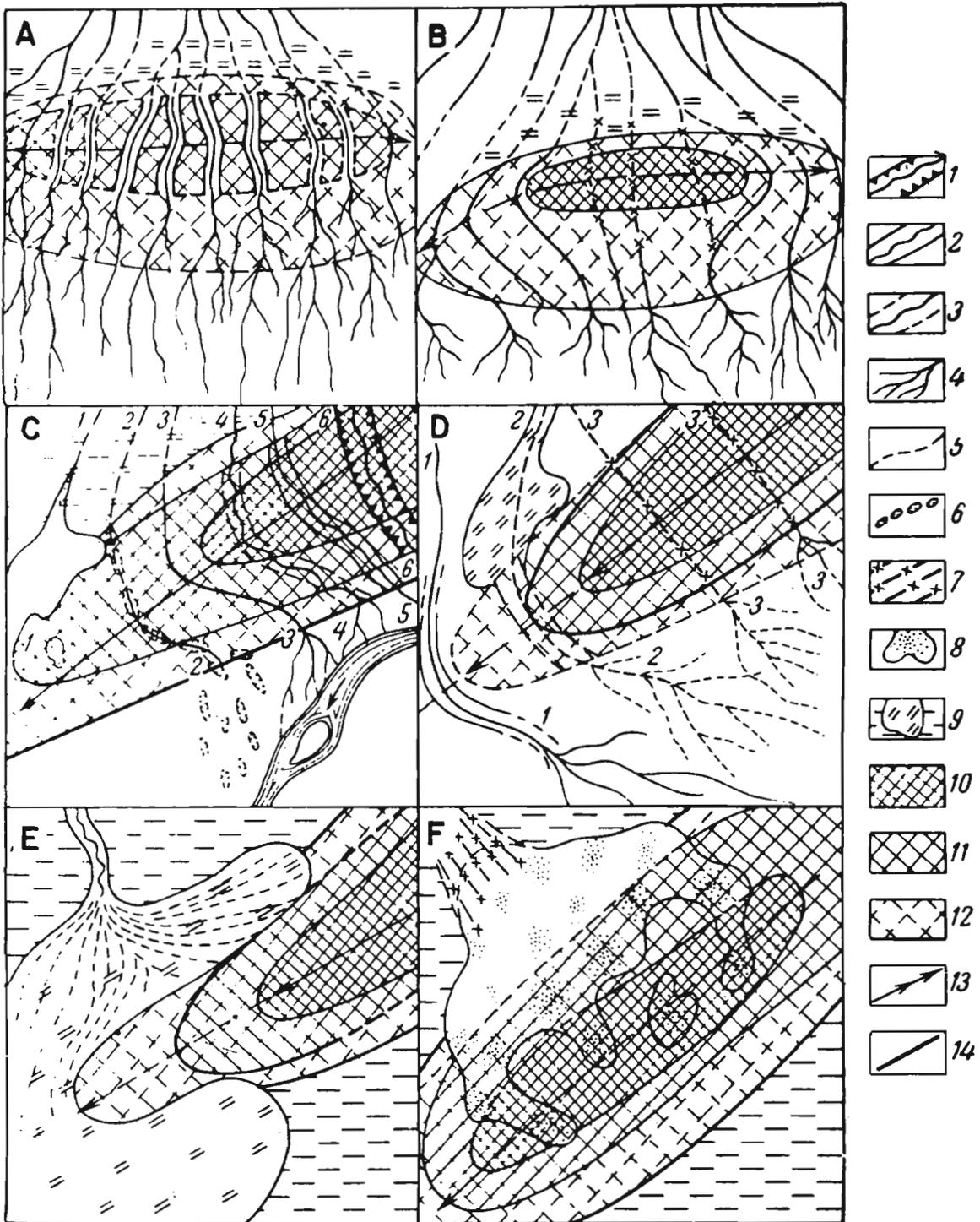


Fig. 38

DECIMOQUINTA CONFERENCIA.

ESTUDIO DE LOS LEVANTAMIENTOS MODERNOS EN EL LITORAL Y LA PLATAFORMA CONTINENTAL.

1. En todos los países montañosos pericontinentales, los contrafuertes de las cadenas: el piedemonte y las elevaciones intradepresionales, tienen relación genética con el plano estructural de las partes periféricas de los sistemas montañosos. Las planicies litorales de nivel de base de los países montañosos, en lo que a esto se refiere, no son una excepción. Además, la estructura de la plataforma continental, en grado considerable, está en función de los mismos factores, o sea que ella, en su aspecto geológico, es una continuación ininterrumpida de la planicie de nivel de base.

La línea de costa separa a la tierra y al mar, y en este umbral se conjugan los procesos terrestres y marinos. Los procesos de abrasión y acumulación marina de la plataforma dependen, asimismo, de la dirección y la velocidad de los movimientos tectónicos. Por eso se producen cambios en el desarrollo de levantamientos locales. Por ello es necesario aplicar los métodos geomorfológicos en combinación con los geológicos y geofísicos. Para el estudio de zonas profundas se recomienda el sondeo sísmico (hasta 3-5 km); el sísmico-acústico (de 1 a 2 km) y el acústico, para pruebas en los cuerpos superiores (hasta 300 m.). Los perfiles geofísicos deben trazarse simultáneamente al estudio del relieve del fondo del mar.

2. El contorno real del continente lo determina el margen exterior de la plataforma continental. Esto es básico para interpretar la construcción tectónico estructural del relieve submarino. Por eso es necesario iniciar el análisis de la costa y de la plataforma continental después del estudio del desarrollo moderno de las estructuras del relieve contiguas al continente, para lo cual se recomienda diferenciar los principales sistemas activos de levantamiento y las depresiones de la parte continental y buscar su continuación en la zona litoral. Aquí el carácter de los movimientos modernos, que se determinan por los estudios de las terrazas marinas, las antiguas líneas de

costa y los deltas fluviales y estuarios. Las líneas de costa pueden ser neutrales, de levantamiento y de hundimiento.

3. Las líneas de costa neutrales pueden corresponder a una situación estática en condiciones de tranquilidad tectónica. Pero en las zonas orogénicas las costas neutrales con frecuencia corresponden a un equilibrio dinámico entre el crecimiento de formas estructurales de diverso signo y orden, en combinación con las variaciones eustáticas del nivel del mar.

Las costas de levantamiento provocan una alteración del perfil de equilibrio. Cuando aumenta la pendiente, en la parte superior de la costa se activa la abrasión (por encima de la zona de equilibrio dinámico), así como el acarreo de material hacia el mar, yendo a formar una terraza subacuática acumulativa de compensación o una serie de terrazas por abajo de la zona de equilibrio dinámico.

En las costas de hundimiento, en donde hay una compensación general en la superficie de la línea de costa, predomina el acarreo de materiales hacia el continente, y en las partes limítrofes de la plataforma continental la formación de superficies jóvenes de abrasión. Las condiciones generales del equilibrio dinámico varían según las costas compuestas por materiales variables (cantos, guijarros, gravas, arenas), pero los cambios locales en la composición de estos clásticos puede estar condicionada por el desarrollo de formas estructurales positivas o negativas.

Cuando existen costas profundas de pendientes abruptas, los levantamientos locales activos permiten la formación escalonada de terrazas de abrasión. En condiciones de costas de playas los levantamientos locales provocan la formación de terrazas de abrasión y, con más frecuencia, de abrasión-acumulación, y en la zona de la línea de costa la sucesiva formación de terraplenes y barras.

4. El desarrollo de los procesos de abrasión y acumulación, hasta la actualidad, así como las formas correspondientes, son testigos de la tendencia al hundimiento o levantamiento durante el pleistoceno y el holoceno. Hay que dar

atención principal a las formas del relieve de acumulación hipertrófica (barras, bancos submarinos y subaéreos), cuyos signos indirectos son los cambios en la configuración de las costas, en plano, y sus deformaciones.

5. En las zonas de la línea de costa y de la plataforma continental se pueden reconocer formas estructurales positivas dentro de una zona de hundimiento. Por ejemplo, en la plataforma continental de Cuba se extienden amplias zonas de levantamientos relativos que quedan comprendidos dentro de zonas anticlinales de hundimiento, como el sistema de elevaciones de Pinar del Río; otras zonas de levantamiento relativo, con buena expresión en el relieve de la plataforma continental, es el anticlinal de Tell-Atlas que se eleva a 200 m sobre las planicies submarinas de Túnez, cuya configuración se determina por las isobatas. Entre las formas estructurales de más altos órdenes de la plataforma continental, las cúpulas salinas se pueden cartografiar con facilidad; por ejemplo, en el estrecho de Ormuz, en el Golfo Pérsico, y otros más. Así, la concordancia de los planos estructurales de las planicies de piedemonte subaéreas y submarinas, es uno de los principales criterios auxiliares en la búsqueda e interpretación de levantamientos submarinos locales; así mismo hay que considerar las condiciones favorables y desfavorables de conservación del relieve tectónico-estructural de la plataforma continental, ya que en ella pueden influir considerablemente los depósitos de los deltas de los grandes ríos, los que pueden enmascarar los débiles levantamientos locales en desarrollo; por ejemplo, en la parte costera del golfo de Bengala, donde los ríos Ganges y Bramaputra depositan aproximadamente 900 millones de toneladas de sedimentos al año.

6. Se recomienda hacer el estudio de la plataforma continental, en el siguiente orden:

a) Estudio e interpretación de fotografías aéreas y cartas topográficas. Este material puede utilizarse principalmente en zonas de la línea de costa y aguas poco profundas. Las cartas con isobatas deben ser complementadas con datos de mediciones con base en el material del análisis morfoestructural de las zonas

límites.

b) A partir del ajuste de las cartas del relieve pueden elaborarse cartas de pendientes y series de perfiles longitudinales y transversales a la zona costera. Los perfiles longitudinales se trazan sobre la superficie de terrazas de la misma edad, en la costa, en la parte litoral de la plataforma continental, así como en la superficie de la margen exterior de la misma. Los perfiles transversales se trazan paralelos a las irregularidades de la superficie de la plataforma continental (sobre las aristas).

NOTA. Gran importancia tienen los domos salinos y los volcanes de lodo que, con frecuencia, van acompañados de estructuras petrolíferas.

c) Por datos obtenidos de sondeo geológico, por los perfiles geofísicos, y considerando la estructura geológica de las partes contiguas del continente, se elaboran cartas de espesores y facies de la plataforma continental y se comparan con la orografía. En caso de formas azonales y sedimentos, es importante aclarar el origen del material más grueso. El análisis comparativo del relieve y la sedimentación deben llevarse a cabo en dos direcciones: horizontal y vertical. Como resultado de la elaboración de materiales auxiliares los datos se pasan a la carta definitiva, diferenciando en ella zonas de levantamientos locales favorables para perforaciones de exploración.

DECIMOSEXTA CONFERENCIA.

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO DE DISLOCACIONES DISYUNTIVAS, CON EXPRESIÓN EN EL RELIEVE.

1. En los estudios de geomorfología aplicada a la construcción de obras hidrotécnicas y de crecimiento de ciudades, es de utilidad la subdivisión de las deformaciones disyuntivas, con desplazamiento moderno o sin él. Una ruptura sin desplazamiento produce fisuras y zonas de debilidad, así como todos los tipos de fallas inactivas. En la época actual estas últimas pueden estar representadas por lineamientos negativos: porciones debilitadas, modeladas por una erosión diferencial, o lineamientos positivos, si las fallas han sido rellenadas por rocas más resistentes (Fig. 39). Si las superficies de fallas inactivas separan cuerpos de rocas con considerables diferencias en cuanto a su resistencia, en un corte de denudación determinado la falla inactiva puede determinar temporalmente una configuración en escalones, correspondientes a las rocas más resistentes, independientemente de las antiguas direcciones de los movimientos a lo largo de la superficie de la falla.

2.- Entre las grietas o fisuras que presentan mayor interés práctico están las de distensión con cizallamiento, mismas que permiten la circulación de las aguas por gravedad. Así, las grietas preparan selectivamente un medio adecuado a la erosión, determinando formas independientes en las laderas rocosas agrietadas. Las grietas de distensión con desarrollo activo, hasta cierto grado determinan un campo actual de tensión en cada parte dada. Estas grietas generalmente son rectilíneas y se repiten sucesivamente; así, controlan la dirección de los ríos en algunas partes de los valles (Fig. 39).

3. Cuando dos sistemas de grietas de distintas edades se intersectan, se produce un fenómeno de "refracción" o cambio en la dirección del sistema de grietas (Fig. 40). Este sistema se puede producir con desplazamiento o sin él, o sea, corrimiento de una grieta sobre otra (Fig. 40). Estos dos sistemas

pueden dar combinaciones variables.

4. Según la intensidad del desplazamiento, las fallas activas pueden dividirse en: de pequeña amplitud, de traslado con compensación y con desplazamiento considerable. Las grandes superficies de falla, principalmente las de tipo normal, son modeladas por los ríos, en tal forma, que casi quedan fijadas al relieve. En el caso de fallas inversas activas y fallas inversas de corrimiento con echado fuerte, se presentan correlaciones más complejas en relación con los levantamientos locales del flanco recumbente en la zona de la falla (Fig. 41). Los desplazamientos locales horizontales generalmente se combinan con los verticales. Determinar los desplazamientos horizontales modernos sólo por datos geomorfológicos, en particular la deformación de los ríos, puede ser erróneo; esto es, que la expresión exterior de este fenómeno es idéntica a la refracción con desplazamiento (Fig. 40).

5. En función de la extensión de las fracturas, los ríos pueden ser subsecuentes, resecuentes y compuestos. En el último caso, el valle cavado por el río se sitúa en la zona principal de debilidad de fracturas con desplazamiento; esto es, un valle de falla intersectado por otras fallas que delimitan bloques con elevaciones e inclinaciones variables (Fig. 42). En este caso aparecen cambios locales característicos en la morfología de los valles, tales como la construcción de terrazas y sedimentos fluviales en el fondo del valle. Este caso muy común se ilustra en la Fig. 42.

6. En la naturaleza se observan conjugaciones complejas de flexiones y fallas; así, durante el proceso de desarrollo de la flexión (pliegues y arcos meganticlinales), en las partes expuestas a mayores esfuerzos se forman nuevas rupturas y continúa el desarrollo de las antiguas. En lo que se refiere a las condiciones lito-estructurales y el carácter de las fracturas, las zonas de menor resistencia empiezan a ser trabajadas por los ríos. Así, queda fijo en el relieve un sistema de fallas en las rocas muy debilitadas, con predominio de la distorsión. Se puede señalar que los siguientes sistemas característicos

de fallas y grietas, que se desarrollan en una flexión en actividad, son modelados por la erosión.

7. Las fracturas son el resultado más importante de la ruptura. En la superficie se expresan como zonas de debilidad, frecuentemente a gran profundidad (cortical y manto superior). Las fracturas profundas pueden delimitar regiones con distintos regímenes tectónicos de duración de uno o más periodos geológicos. En los sistemas montañosos relacionados con el plano orogénico, pueden reconocerse fracturas transorogénicas longitudinales y transversales. En el piso estructural superior éstas marcan zonas con complicaciones locales de redes de fallas, expresadas por el magmatismo: series de pequeñas intrusiones, o vulcanismo. Las fracturas delimitan y componen grandes estructuras orogénicas positivas y negativas, provocando un cambio sucesivo en la configuración de éstas (Fig. 44). Ya que las fracturas son zonas donde se intersectan sistemas longitudinales y transversales relacionados con mineralizaciones y yacimientos minerales, vulcanismo e incremento de la sismicidad, su estudio tiene interés práctico.

* * * * *

Explicación a las figuras.

Fig. 39. Tipos diversos de grietas formadoras del relieve, y su modelado por la denudación planar (A) y la erosión (B-H).

Fig. 40. "Refracción" de la dirección de los ríos al intersectarse diversos tipos de grietas.

Tipos de cambios espaciales: A, simples, primarios, sin cambio en su dirección original; I, idéntico; II, paralelo desplazado; B, compuesto, primario con cambios en la dirección; III, sin desplazamiento; IV, con desplazamiento; C, multidireccional con desplazamiento paralelo (de repetición múltiple); D, multidireccional con "resbalamiento" con diversos cambios en la dirección.

Fig. 41. Zonas de fallas y valles fluviales.

A-D, Perfiles esquemáticos de partes de la base de los valles A'D', bloques diagramáticos de su posterior distensión por erosión; 1-2, aluvión (1, en el valle fluvial, 2, en la zona de la falla); 3, rocas precuaternarias; 4, fracturas con desplazamiento; 5, zonas con incremento en la fractura (dirección de migración de los valles a partir de la falla principal).

Fig. 42. Morfología de los valles y actividad geológica de los ríos en las zonas de las fallas activas (A-G, en planta; A'G', sección longitudinal).

1, macizo montañoso cortado por los ríos; 2, zona de denudación planar, 3, fenómeno de bifurcación de cauces y ramificación de afluentes de los conos de deyección, en las partes de descarga; 4, profundización local de los ríos y los valles con rasgos de garganta; 5, litofacies de estancamiento del aluvión de montaña (en los esquemas A-E); 6-7, litofacies de estancamiento (6, próximas a un aluvión transitorio normal, relativamente grueso; 7, sedimentos lacustre aluviales propios de medios de reducción en la velocidad de la corriente, en capas finas, con interrupciones temporales; 8-9, litofacies de descarga (8, sedimentos gruesos mal clasificados, con abundancia de bloques locales, 9, tipo transicional a un aluvión de materiales más finos).

Partes: I, estancamiento; II, levantamiento; III, descarga.

Fig. 43. Esquema de la disección horizontal en pliegues y megapliegues, en función de la litología.

A-B, construcción homogénea y predominio de fallas (A, longitudinales, B, transversales); C-D, alternancia de rocas plegadas, estables e inestables, de diversa composición (C, blandas; D, coronadas). 1, meganticlinales y anticlinales; 2, fracturas con desplazamiento; 3, zona de incremento de grietas; 4, zonas de influencia de inclinaciones nacientes en la corteza terrestre al ampliarse los pliegues en el proceso de levantamiento; 5-6, valles (5, sobre fracturas; 6, entre gradas).

Fig. 44. Esquemas A-I, cambios típicos en la configuración de las cuencas de los valles y en las elevaciones de los sistemas montañosos en las partes de

intersección de fracturas transorogénicas. 1, partes fuertemente levantadas; 2-3, con menor levantamiento; 4-5, cuencas montañosas (4, laderas, 5, fondos); 6, zonas de fracturas transorogénicas; 7, fracturas marginales; 8, quebradas y collados; 9-10, valles fluviales: 9, controlados por fallas; 10, condicionados a profundización local.

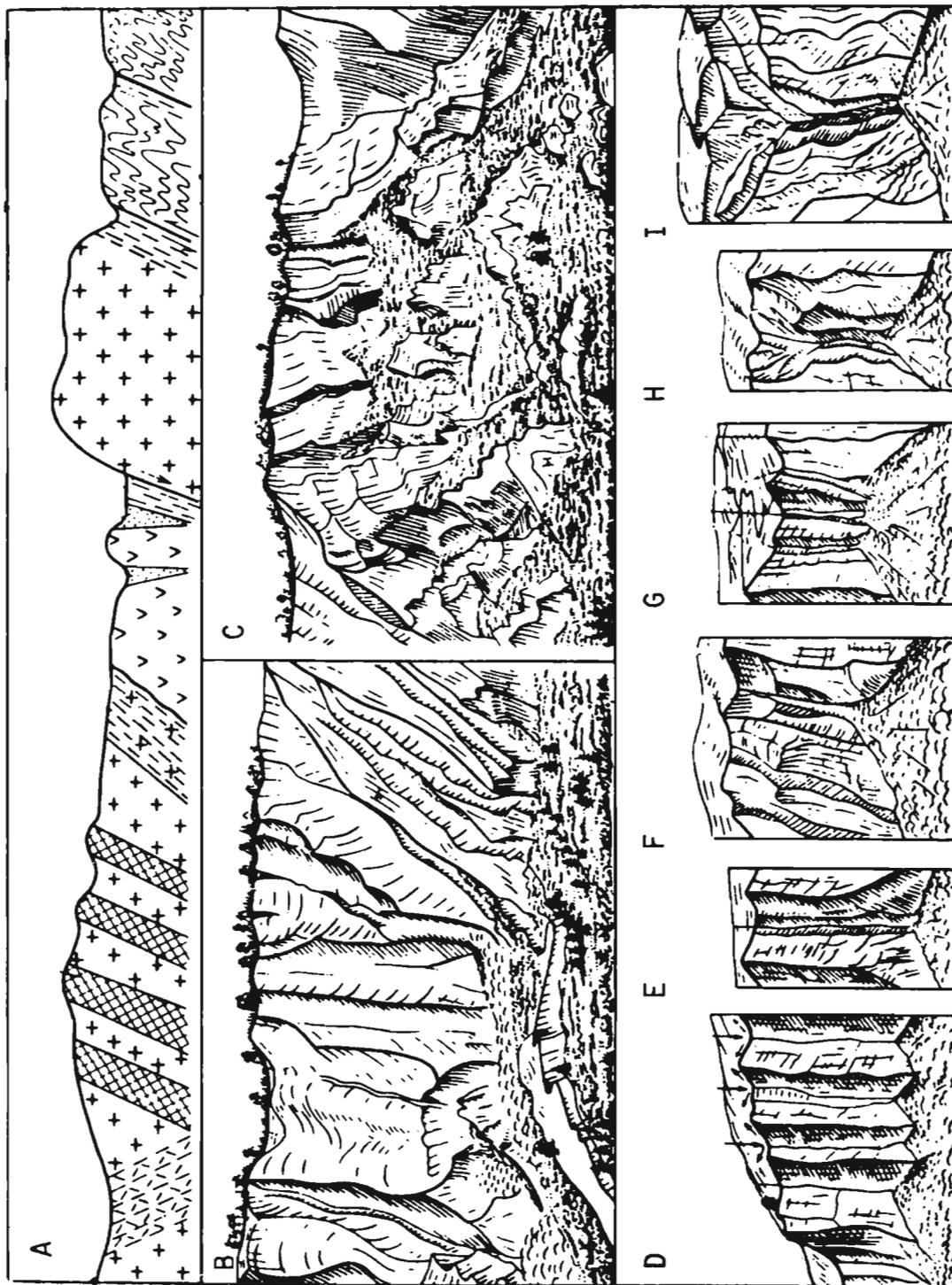


Fig. 39

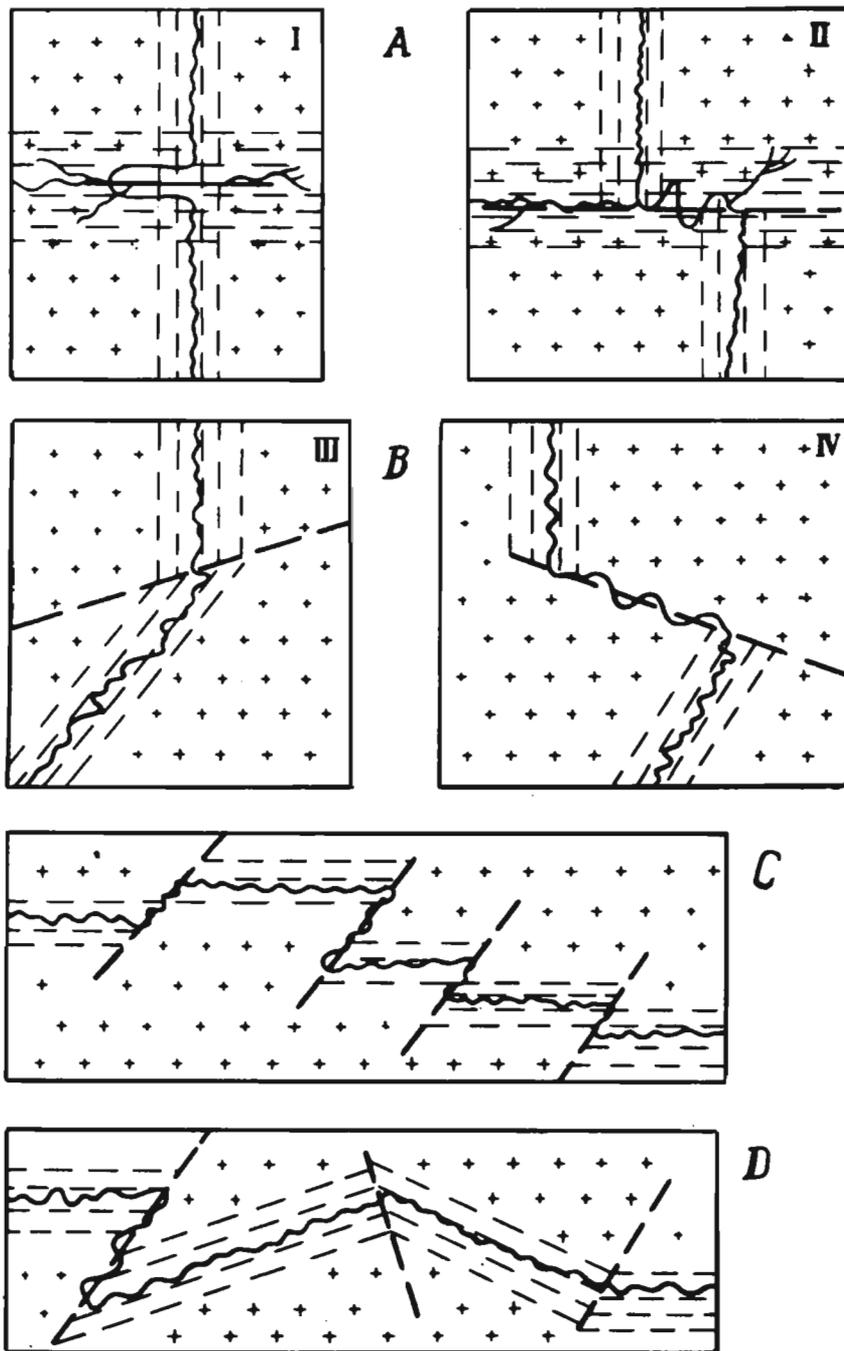


Fig. 40

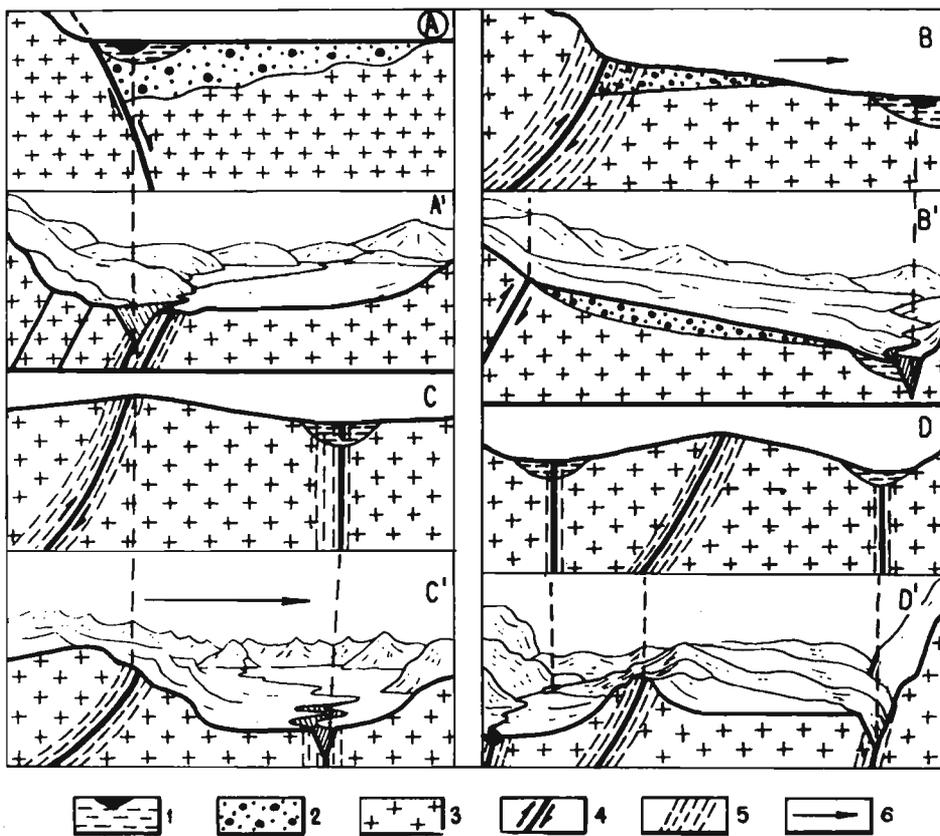


Fig. 41

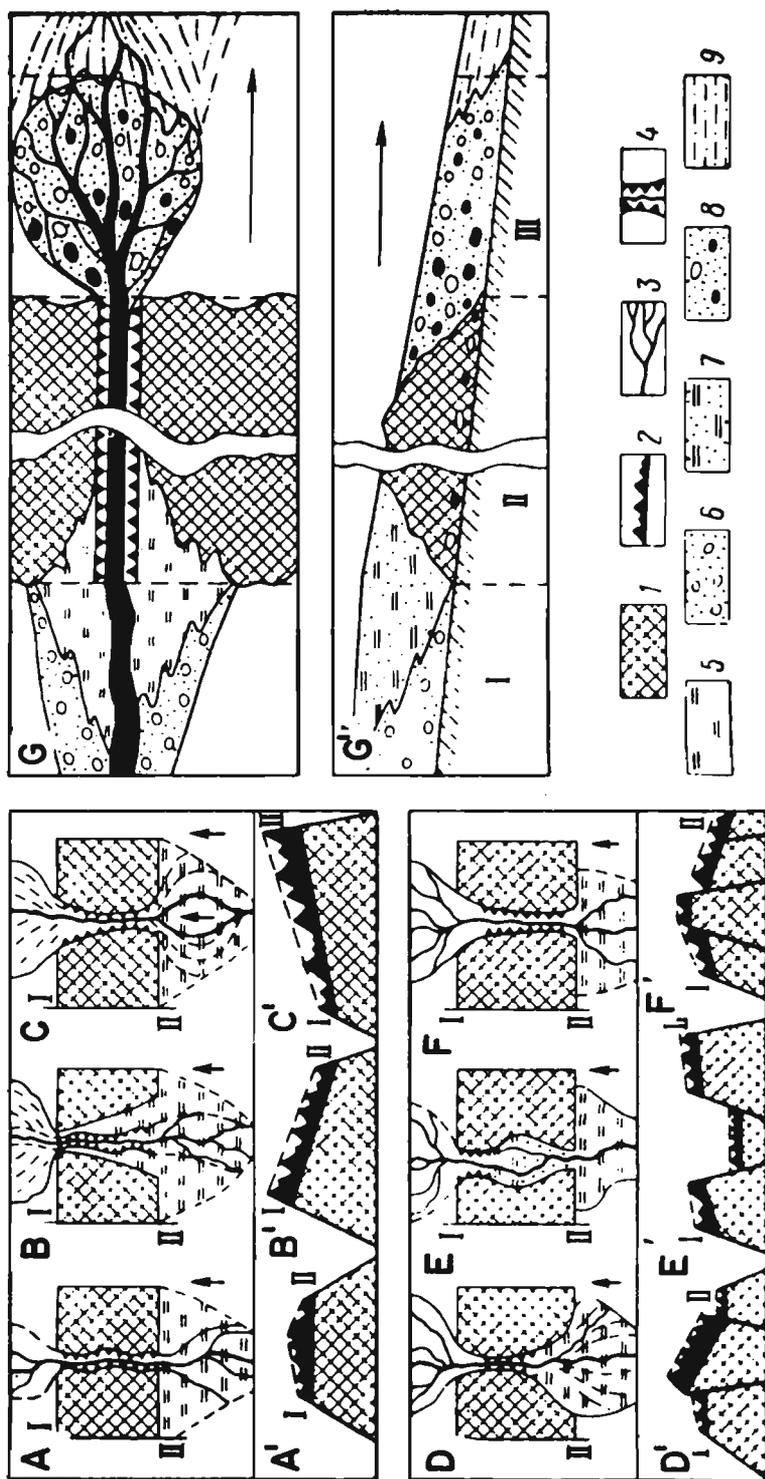


Fig. 42

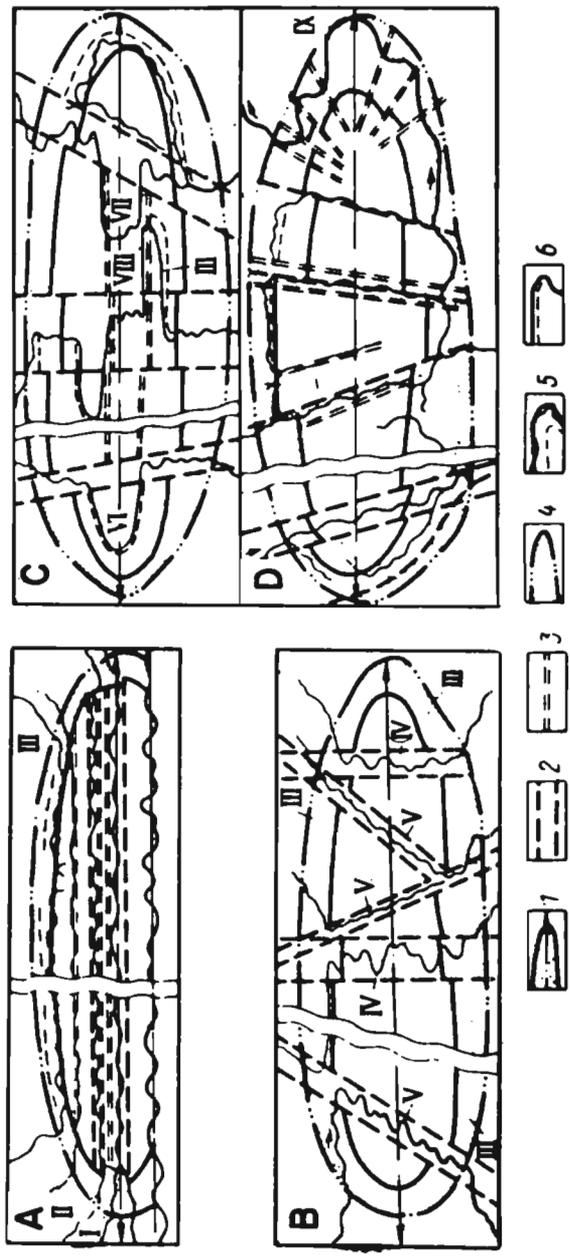


Fig. 43

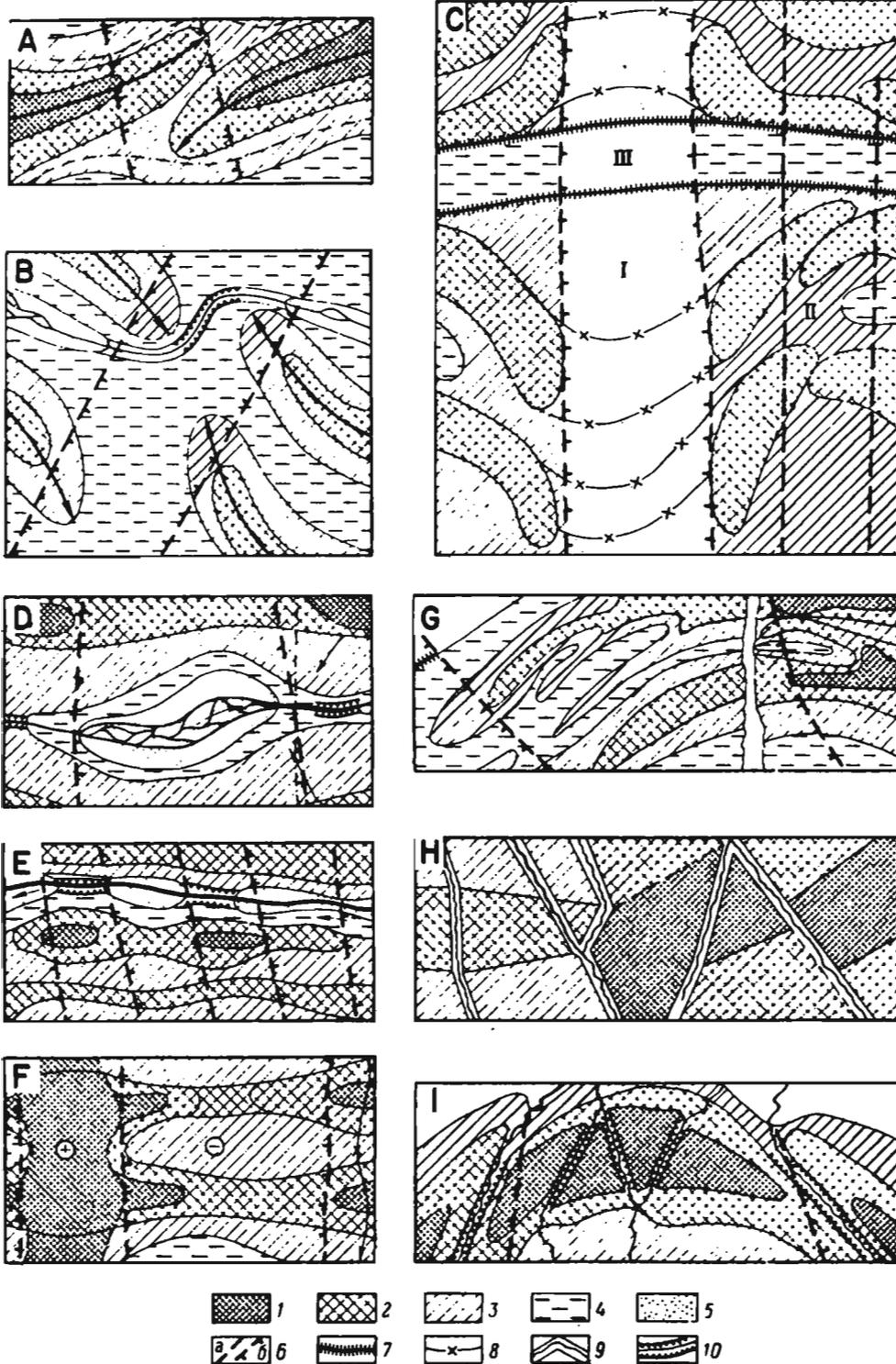


Fig. 44

DECIMOSEPTIMA CONFERENCIA.

C O N C L U S I O N E S

En este apartado sobre el curso en su parte teórica y práctica, pretendemos mencionar los principales trabajos que trataron de resolver, en conjunto, el profesor y los alumnos.

Las dieciséis conferencias solamente permitieron exponer los principios básicos de la geomorfología estructural, así como demostrar con ejemplos sus posibles aplicaciones en la búsqueda de placeres y yacimientos minerales, ingeniería geológica, geohidrología y otras ramas de la geología y la geografía física.

En las sesiones de laboratorio se pretendió aplicar al país montañoso mexicano la teoría expuesta, trabajando con material proporcionado por los alumnos, según sus propios intereses científicos.

El material geológico y topográfico con que los alumnos trabajaron el análisis morfoestructural, abarcó las siguientes regiones:

Problema No. 1. Mineralización in situ.

Este tema abarcó las siguientes regiones:

1. Extremo sur de la península de la Baja California.
2. Yacimientos de Pachuca, frente norte de la cuenca de México.
3. Yacimientos de Taxco.

En los dos primeros, la autora dirigió personalmente el trabajo de reconocimiento en el campo; en el tercero el trabajo fue realizado por el grupo de estudiantes "Brigada Balsas", bajo la asesoría de la autora. El material de campo procesado por la autora quedó a disposición de los alumnos; por lo que a continuación se exponen únicamente las conclusiones (sin ilustraciones) obtenidas.

1. Extremo sur de la península de la Baja California.

El trabajo de campo y el de gabinete fue realizado por la doctora N. P. Kostenko, con la activa colaboración de Valentina Sumin de Portilla y Miguel Franco. El trabajo realizado fue el siguiente:

- a) Elaboración e interpretación ligada de una serie de perfiles longitudinales y transversales, como base para la elaboración de una carta paleogeomorfológica a escalas 1:500 000 y 1:250 000.
- b) Delimitación de los umbrales de los pilares principales (modelados por la erosión), así como de todo el sistema de disección horizontal que representa las zonas más importantes de debilidad estructural y de afallamiento.
- c) Texto redactado sobre las condiciones principales de la moderna construcción estructural de esta región.

Para la parte que se estudió de la península de la Baja California se estableció una dirección meridional para las formas estructurales orogénicas del levantamiento principal: la sierra de Victoria y otras secundarias al oriente, así como las cuencas que separan las cadenas.

Se identificaron dos principales sistemas de fractura que afectan a las elevaciones y depresiones principales. El primero es un sistema de fracturas ortogonales ligado al desarrollo de estructuras orogénicas meridionales; las fracturas tienen orientación meridional, subparalela y paralela. Estas afectan y limitan a las principales cadenas montañosas tectónicas y a las planicies depresionales. Este sistema orogénico, esencialmente cenozoico, de fracturas ortogonales, puede reconocerse en la estructura de la plataforma continental y en el talud continental.

El segundo sistema de fracturas diagonales es más antiguo, posiblemente del cretácico tardío-cenozoico temprano. Este está íntimamente relacionado con la mineralización poliometálica de la región. Al interpretar los lineamientos quedó establecido que las partes más favorables son aquellas en donde se intersectan fracturas de orientación noreste y noroeste (se indican en la carta de campo). Con estos puntos de intersección están relacionados yacimientos ya conocidos y trabajados. Asimismo, se señala una serie de estructu

ras análogas.

El plan estructural orogénico del extremo sur de la Baja California se diferencia notablemente del plan orogénico de toda la parte central y norte de la península. Para explicar esto se puede proponer la influencia de un proceso perioceánico de formación de montañas (al sur, en las regiones contiguas del Océano Pacífico), sobre la estructura del extremo sur de la península, con una posible relación genética entre los levantamientos de la Baja California y los del Océano Pacífico en la zona de su aproximación.

En las vertientes de la sierra de Victoria y sus elevaciones contiguas se reconocen escalones regionales erosivo-denudatorios. Estos permiten determinar la dirección del moderno desarrollo de levantamientos y hundimientos, y su caracterización cuantitativa (ver en los perfiles compuestos los cortes regionales limítrofes correspondientes al método propuesto).

Los sistemas de fracturas relacionados con los datos de mineralización in situ, permiten recomendar una serie de superficies con perspectivas de yacimientos de placer de oro; esto es, a lo largo del frente occidental de la sierra de Victoria y dos partes más dentro de los umbrales de la cuenca que se extiende a lo largo del frente occidental de la misma (ver la carta de trabajo en el campo).

Estos primeros intentos con el propósito de realizar un análisis morfoestructural del extremo sur de la península de Baja California, permiten considerar este material, nuevo y útil, para su posterior aprovechamiento en trabajos prácticos y científicos.

El material es resultado de las investigaciones de colaboradores científicos del Instituto de Geología de la UNAM; quienes deseen consultarlo pueden dirigirse al Dr. Carlos Arredondo.

2. Yacimientos de Pachuca.

Estos yacimientos han sido estudiados hace mucho tiempo y con mucho de-

talle. El estudio de reconocimiento del relieve montañoso, así como el trabajo de gabinete permiten reconocer grandes estructuras orogénicas de tipo de bloques abovedados, delimitados por sistemas de fallas activas. Todas las estructuras pertenecen a un importante levantamiento orogénico de orientación subparalela, dentro del grandioso sistema volcánico transversal mexicano, al norte de la cuenca de México.

Dentro de los límites de la región estudiada se reconocen tres bloques de levantamiento con una estructura compleja: el occidental, el central y el oriental. Estos bloques están separados por depresiones tipo graben, levantadas a diversas alturas. El levantamiento mayor en la etapa cenozoica de formación de montañas lo sufrió el bloque de Pachuca (no menos de 3 500 m.) Esto lo indica la diferencia de alturas de las antiguas superficies condenatorias que, aproximadamente, corresponden a los parteaguas de éstos tres bloques de levantamiento. Las diferentes velocidades de levantamiento de la estructura orogénica permiten considerar que las fallas que limitan y afectan el bloque central, con las que está relacionado el vulcanismo, representan formas favorables para que se infiltren desde la profundidad soluciones neumatolíticas e hidrotermales.

La comparación de datos sobre la mineralización in situ, y las zonas de fractura interpretadas, permiten reconocer situaciones estructurales análogas como las más favorables para futuros trabajos de exploración minera.

El trabajo de gabinete, complemento del de campo, fue realizado por la Dra. Kostenko con la colaboración activa de Julio Vélez y José Lugo. El trabajo puede consultarse con Julio Vélez en el CANNR (Consejo de Recursos Naturales no Renovables).

3. Yacimientos de Taxco.

Esta región fue estudiada en gabinete con base en un conjunto de perfiles geológico-geomorfológicos trazados sobre la carta que cubre la región. La correlación entre etapas regionales de disección demostró (al igual que en

Pachuca) la presencia de bloques abovedados, de levantamiento orogénico, de carácter heredado y con desarrollo durante el cuaternario.

La mineralización está condicionada a zonas de intersección de fallas que siguen direcciones determinadas, con venas de actividad durante el cenozoico, a lo largo de la superficie de desplazamiento y con manifestaciones de vulcanismo. Como en Pachuca, las mineralizaciones mayores están controladas por sistemas de grietas apoyados sobre las zonas principales de fracturas orogénicas en actividad. En el transcurso de las prácticas de laboratorio, la brigada de trabajo dirigida por María Campa pudo elaborar una red de perfiles e interpretar en ellos los cortes regionales de diversas edades y los sistemas modernos de fractura. Este trabajo preliminar permitirá establecer una relación entre las estructuras de diversos territorios, lo que simplificará sustancialmente la labor de varios investigadores. El trabajo de interpretación se puede consultar con María Campa, en PEMEX.

Problema No. 2.

Una serie de trabajos de laboratorio estuvieron ligados a la búsqueda y aprovechamiento racional de los recursos acuíferos tanto superficiales como subterráneos, para dotación de agua, irrigación y otros objetivos prácticos. Estos problemas se resolvieron por el método de elaboración de cartas paleogeomorfológicas de distintas regiones de la República Mexicana*, que se diferencian entre sí por sus características orográficas y climáticas. En relación con el temario del curso, se propuso a los investigadores elaborar una carta paleogeomorfológica, para reconocer las principales etapas de disección de las regiones estudiadas y la subdivisión (con base en esta carta) de las principales provincias hidrológicas de alimentación y desagüe. Lamentablemente, la insuficiente cantidad de prácticas de laboratorio impidió ter-

*Los trabajos de elaboración de cartas se iniciaron, pero, en general, no se terminaron por falta de tiempo y de práctica de los alumnos. Pero se establecieron las bases de la idea de análisis del relieve con un método novedoso, y la utilización de materiales geológicos y cartográficos.

minar en octubre de 1975 las cartas iniciadas. Pero en la parte del trabajo ya realizado se aprecian con claridad las principales cuencas acuíferas y la transformación de la red fluvial en el proceso de crecimiento de las elevaciones.

Se puede consultar uno de estos bosquejos, con Enrique Valencia de la compañía "Geotecsa".

Problemas Nos. 3 y 4.

Respecto a la dotación de agua se presentaron dos problemas: de tierras para el pastoreo y de desarrollo agrícola en regiones semiáridas. Para estos casos conviene elaborar cartas paleogeomorfológicas a partir de cartas topográficas y edafológicas. Este material permite proyectar la captación de aguas subterráneas y superficiales, por identificación de los valles antiguos y las hondonadas que se interpretan con claridad en los perfiles y en las cartas paleogeomorfológicas. Dichos valles representan un desagüe natural de las aguas subterráneas, y actualmente en el pie de esas vertientes antiguas en las que con frecuencia se desarrollan arroyos y escorrentías de importancia local.

La comparación, en plano, de corrientes en valles antiguos y parteaguas, con la red fluvial actual, permite diferenciar con mayor exactitud provincias de alimentación de las aguas subterráneas. Para el control de la configuración de cartas paleogeomorfológicas en localidades con disección débil, es conveniente la elaboración de series de perfiles con exageración de la escala vertical, en relación con la horizontal, del orden de 1:5, 1:8, 1:10. Estos, comparados con el geológico a escala 1:1, permite apreciar con mayor claridad la estructura del relieve.

Como ejemplo de solución a este tipo de problema se puede citar el trabajo realizado por Raquel Guzmán (Colegio de Geografía), quien para la región estudiada elaboró una serie de perfiles con exageración de 8 a 10 veces. Su región de trabajo es muy interesante de ser analizada por el método propuesto.

Problema No. 5. Análisis del relieve en estudios geotécnicos para el desarrollo urbano.

En este campo mencionaremos la carta paleogeomorfológica de la cuenca de México, trabajo llevado a cabo por Rubén López Recéndez asesorado por N.P. Kostenko. En esta carta indican las partes más jóvenes de levantamiento con desarrollo, dentro de los umbrales de la planicie de la cuenca. Potencialmente estos levantamientos son incipientes en el relieve y representan un peligro por los problemas sísmicos y volcánicos a que pueden dar lugar. También influyen en la disposición de las corrientes superficiales, así como en la profundidad de las aguas y las corrientes subterráneas.

La carta paleogeomorfológica de la cuenca de México ofrece datos complementarios sobre la actividad de los procesos en las vertientes, configuración de las zonas de desagüe al pie de ellas y la erosión en las cabeceras de los valles. Por esto la carta paleogeomorfológica de la cuenca de México se puede recomendar para decidir algunos problemas relacionados con la urbanización y el crecimiento de la ciudad de México y sus alrededores, principalmente con base en condiciones orogénicas.

Problemas Nos. 6 y 7. Análisis del relieve en la construcción de obras hidrotécnicas.

Gran significado tienen los análisis paleogeomorfológicos y morfoestructurales en los reconocimientos de ingeniería geológica, para construcción de puertos, obras marinas y submarinas (No. 6) y construcciones hidrotécnicas tales como presas, diques, etc.

La posibilidad de pronosticar el desarrollo del relieve submarino fue indicado en una serie de cartas de interpretación de la geomorfología de la plataforma continental; en concreto las zonas costeras de Cuba, así como en las zonas costeras de la península de Baja California y otras regiones de la República Mexicana (a escala 1:2 500 000). Así, en las regiones costeras del Océano Pacífico se establece con exactitud la relación existente entre los focos sísmicos profundos con los sistemas de fracturas transversales, rela-

cionados con los umbrales de las estructuras de los continentes. En el Golfo de México se establece la presencia de la prolongación submarina de algunos sistemas de levantamiento en la costa a lo largo de la planicie de la cuenca Tampico Misantla.

El problema No. 7 se refiere a la aplicación del método de análisis morfoestructural, para evaluar los movimientos modernos y contemporáneos en la región del río Grijalva, donde se construye la presa de Chicoasén. En los casos de sistemas montañosos jóvenes y activos, cortados por profundos cañones, siempre es necesario el análisis morfoestructural.

Lamentablemente, la visita a la región de Chicoasén fue muy corta y limitado el tiempo posterior para procesar el material. Los datos geológicos y geomorfológicos obtenidos permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

Del estudio de la zona de Chicoasén se deduce que ésta sufrió un intenso levantamiento durante el pleistoceno. En el holoceno el levantamiento fue disecado a profundidad por el río Grijalva y sus principales afluentes, actuando en forma selectiva, a lo largo, zonas de debilidad y los sistemas de fractura. La región estudiada sufrió un plegamiento durante el terciario, que hoy está inactivo. En el relieve actual se reconocen tres pilares con estructura de pliegue-bloque (ver los perfiles compuestos geológico-geomorfológicos).

En el esquema geomorfológico se representan tres pilares: central, norte y oriental, separados por cuencas-valle en forma de grábenes, de los afluentes del Grijalva. Este río principal corta a profundidad los tres pilares, en dirección norte sur aproximadamente. En correspondencia con la máxima intensidad del levantamiento el corte más profundo se produjo en el pilar central que es el que presenta el mayor levantamiento tectónico y mayor grado de destrucción, lo que lo hace poco favorable para la construcción de cortinas, aunque precisamente es el lugar donde se está construyendo porque lo estrecho del cañón en esta parte permite almacenar la máxima cantidad de agua con la menor erogación económica.

El estudio de la disección en sentido vertical determina un rápido incremento en la velocidad de levantamiento a partir del pleistoceno medio, que se incrementó hacia el pleistoceno tardío y continúa en la época actual. Esto se deduce por una brusca reducción en la amplitud del valle, lo que no es posible explicarse sólo por factores litoestructurales.

Este incremento de levantamiento en los tres pilares tuvo valores propios en cada uno y, por ello, fue acompañado por desplazamientos diversos del valle. Esto se reconoce al comparar la serie de perfiles geológico-geomorfológicos transversales elaborados con el método expuesto.

En la parte más baja del valle se reconoce un brusco estrechamiento del valle en V (garganta), hasta formar en las calizas fracturadas un angosto cañón con paredes completamente verticales. Tal estructura provocó que el río adquiriera un cauce encajonado, de fondo fijo, cesando la erosión lateral. Esto disminuye el peligro de que el río sea desplazado hacia las paredes del cañón, con las consecuentes deformaciones que podría sufrir la cortina. En sí, el grado tan grande de fractura que presentan las paredes representa un riesgo para su estabilidad, en relación con la filtración y resistencia de las calizas. Por eso es recomendable cartografiar la región de la presa y los sistemas de fallas y grietas en desarrollo, principalmente en lo que se refiere a las que son formadoras del relieve, o sea las que se expresan por repeticiones múltiples. Al incrementarse una carga estas grietas pueden provocar deslizamientos (corrimientos tectónico-estructurales). Estos fenómenos pueden producirse por temblores, ya que esta región es de alta sismicidad.

Es recomendable hacer una comparación entre los epifocos registrados en los últimos años y los sistemas de afallamiento interpretados en la carta morfoestructural, con su conjunto de perfiles, lo que puede permitir diferenciar grietas activas e inactivas. Las primeras son las que representan mayor peligro en función de la sismicidad, pero la situación real puede ser evaluada sólo después de la elaboración y comparación de cartas sísmicas, neotectónicas y geomorfológicas.

Todos los datos preliminares se encuentran disponibles con Ricardo Riva Palacio (CFE, Tuxtla Gutiérrez, Chis.) y con Jesús Alberro (Instituto de Ingeniería, UNAM).

* * * * *

Este resumen no abarca todos los ejemplos de aplicación práctica del método de cartografía geomorfológico-estructural que fue ensayado en las prácticas de laboratorio. Lamentablemente, hay que decir que el curso impartido permitió poner al día solamente a los institutos de Geología y Geografía, en cuanto a la posibilidad de utilizar este método novedoso.

Los análisis de ejemplos concretos y los trabajos de campo en México permiten recomendar que se impartan cursos de geomorfología estructural en las carreras de geología y geografía, y se enfatice en lo que se refiere a prácticas de laboratorio. En esto es deseable utilizar materiales que representen objeto de trabajos escolares, tesis profesionales y materiales de investigación de los cursos de maestría.

La autora aprovecha la ocasión para expresar su profundo agradecimiento a los exalumnos del curso, por sus múltiples atenciones y su buena voluntad de colegas para aceptar el difícil método expuesto. Al mismo tiempo les deseo muchos éxitos en el futuro.

Deseo expresar una vez más mi agradecimiento a Carlos Arredondo Martínez, atento y preciso traductor simultáneo de las conferencias; al coordinador del curso, Rubén López Recéndez, magnífico organizador y científico; a María Teresa Gutiérrez de MacGregor, digna directora del Instituto de Geografía, por la admirable hospitalidad dispensada y por haber facilitado la ininterrupción del trabajo, con beneplácito de la autora.

Profesor,
Doctor en Ciencias Geológico-Mineralógicas,
Natalia Petrovna Kostenko.

Universidad Estatal de Moscú "Lomonosov", 1975.

GLOSARIO

1) Morfoestructural. Sinónimo de geomorfológico-estructurales.

2) País montañoso: relieve complejo y elevado en cuya estructura entran algunos sistemas montañosos, mismos que se caracterizan por sus propiedades estructurales, por sus rasgos externos e incluso -algunas veces- por su edad.

Sistema montañoso: serie de elevaciones en el relieve, más o menos alargadas, a veces unidas en grupos montañosos, separadas por depresiones intermontanas y valles fluviales. Los sistemas montañosos se pueden localizar aislados, aunque con más frecuencia se agrupan en países montañosos.

Cadena montañosa: estructura del relieve consistente en elevaciones alineadas en un eje expresado claramente por una línea de parteaguas a lo largo de la cual se agrupan las mayores alturas. En la cadena montañosa se reconocen dos vertientes con frecuencia asimétricas. En su estructura se encuentran, en diverso grado, elementos menores: macizos, gradas, cimas aisladas. Algunas cadenas montañosas forman los sistemas montañosos.

3) Denudación: conjunto de procesos que provocan la remoción de los productos del intemperismo, con la consiguiente acumulación de superficies cuya inclinación es menor al ángulo límite de un talud, para el desplazamiento de materiales. La intensidad de la denudación está en función de la intensidad y orientación de los movimientos tectónicos modernos, el clima y la resistencia de las rocas a la intemperización. En el último de estos casos la denudación se denomina diferencial. En la literatura geológica norteamericana se utiliza muy poco el término denudación; en su lugar se emplea el término erosión. Asimismo empleamos el término erosión, entendiéndolo por ello lo que en la literatura norteamericana es la erosión fluvial.

4: Neogeo (Stille, 1944): segundo gran estadio geológico (tectónico) de desarrollo de la Tierra, que abarca el precámbrico superior (algonkiano superior), el paleozoico, el mesozoico y el cenozoico.

5) Se utiliza en esta traducción el término parteaguas, que ya es del dominio

general, aunque el vocablo correcto debiera ser línea divisoria de las aguas.

6) Denudación lineal: la que se realiza en una dirección determinada; sus agentes son las corrientes fluviales, los glaciares y otros (no debe confundirse con erosión vertical). En sí, la denudación puede ser lineal y superficial o planar. Esta última no se lleva a cabo en una dirección fija (lavado superficial, desplazamientos gravitacionales, trabajo de los glaciares y el viento).

7) Principalmente en la geomorfología y la neotectónica se utilizan los términos movimientos tectónicos modernos y recientes o actuales. Los actuales son aquellos que se han producido en los últimos seis mil años. Los modernos son los que se han producido durante el neógeno y el antropógeno, mismos que han transformado sustancialmente el relieve y que en su mayor parte conservan la tendencia principal durante la época reciente.

8) Lecho mayor: parte del fondo de un valle que se cubre por las aguas durante las avenidas. Sinónimos: planicie aluvial, planicie de inundación, terraza de avenidas.

9) Neotectónica: parte de la geotectónica que estudia los procesos tectónicos modernos que han originado los rasgos principales del relieve actual. La edad de los procesos neotectónicos es considerada por la mayoría de los investigadores como neogénica-antropogénica. Algunas veces el límite inferior es trasladado hasta el jurásico o principios del cenozoico; algunos se inclinan a considerar como límite inferior la base del oligoceno, el mioceno o el cuaternario; por último, otros lo consideran de edad que varía en diversas regiones.

10) Las facies de estancamiento y las de descarga son un tipo de macrofacies aluviales que se forman en los valles montañosos debido a un retraso de la erosión vertical, por la presencia de un levantamiento tectónico local en el valle, que obstaculiza a la corriente.

Las facies de descarga se forman en los cauces de la cuenca superior del río, al encontrar como obstáculo un levantamiento tectónico local, lo que provoca una disminución en la velocidad de la corriente y la depositación de su carga. Estos

depósitos están representados principalmente por materiales gruesos mal pulidos. Corriente abajo se produce otro levantamiento local, lo que provoca el ensanchamiento del cauce y la disminución en su pendiente en la que se depositan en mayor cantidad los materiales más finos de las facies de estancamiento.

11) Garganta: angosto valle montañoso que en sección transversal forma un ángulo agudo. En la garganta —a diferencia del cañón y el estrecho— no todo el fondo está ocupado por el cauce. Sinónimo: valle en V.

12) Corona: se refiere a una capa de roca resistente que cubre a otra poco resistente a la intemperización, produciendo una denudación diferencial.

13) En un perfil montañoso se reconoce un relieve en escalones con dos elementos: la pared, o sea la porción de mayor inclinación, y el rellano, que se refiere a la superficie subhorizontal.

14) La autora, al referirse al ciclo orogénico reconoce tres etapas de desarrollo: a) anteorogénica, b) preorogénica y c) orogénica.

15) Corteza de intemperismo: material formado en la parte superior de la litósfera como resultado de la transformación, en un medio continental, de las rocas magmáticas, metamórficas y sedimentarias, bajo la influencia del intemperismo. Se forma principalmente en zonas de infiltración y aereación, creciendo por abajo de su límite sólo en condiciones muy favorables para la filtración, a profundidad, de las aguas superficiales.

16) Quionosfera: capa de la atmósfera en cuyo interior es posible un balance positivo, constante, de las precipitaciones atmosféricas sólidas. Presenta un aspecto de nubosidad, su límite inferior es irregular y al tocar el continente forma la línea de las nieves permanentes.