

Si detener es difícil o si se duda del éxito de un efecto, los movimientos del terreno pueden detenerse disminuyendo el ángulo de la pendiente o construyendo barreras artificiales, tales como muros de retención pesados o bien hileras de pilares a través del material que está en movimiento.

Son aconsejables en algunos casos las anclas o las banderillas espaciadas adecuadamente, si el material de la pendiente es roca estratificada o intensamente fracturada.

## Capítulo IV

# GEOLOGIA ESTRUCTURAL

## TECTONICA

La Geología Estructural es la rama de la Geología que se encarga de estudiar las formas producto de la deformación, del fraqueamiento o de yacimiento de las masas de roca, como cuerpos geológicos.

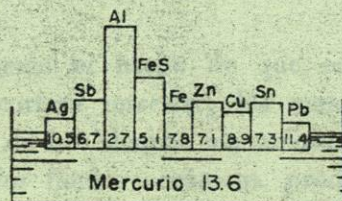
La Tectónica por su parte estudia los orígenes, esfuerzos y procesos que en la corteza terrestre han dado lugar a la formación de las estructuras geológicas.

Los fenómenos de magmatismo y metamorfismo de los orógenos (actividad de las fuerzas del interior de la Tierra) ponen de manifiesto que la actividad tectónica puede llegar hasta profundidades muy grandes.

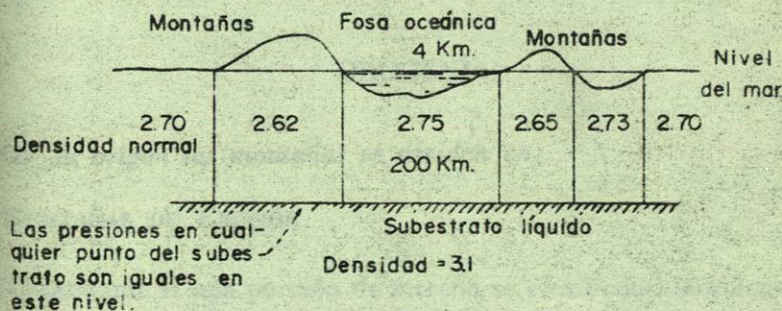
Es todavía objeto de amplia discusión cuál es la naturaleza de las fuerzas que dan impulso al complicado mecanismo con-



Los números representan las densidades



Los números representan las densidades



Teoría de la Isostasia

tructivo de un fenómeno orogénico y como consecuencia es origen de teorías radicalmente diferentes.

### TEORIA DE LA ISOSTASIA

La Teoría de la Isostasia se basa en la idea de que existe un estado de equilibrio entre grandes bloques de la corteza terrestre, tales como montañas, planicies y mesetas por un lado y los fondos oceánicos por otro. Esta condición de equilibrio es debida a que las montañas están compuestas por rocas relativamente ligeras mientras que en las cuencas oceánicas están integradas por rocas más pesadas.

Se supone que a una cierta profundidad debajo de la corteza, existe una capa de compensación isostática constituida por materiales en estado fluido o semifluido.

Teniendo en cuenta el hecho de que existe una división en bloques de la corteza terrestre, las masas de materiales que son erosionadas de los bloques montañosos y depositadas en las planicies y en los fondos oceánicos, producen un desequilibrio isostático que obliga a emerger a las masas continentales y a hundirse más a los fondos oceánicos.

### OROGENIA

*Por su origen las montañas se dividen en:*

#### MONTAÑAS DE EROSIÓN

Se sabe que si una porción de terreno se eleva considerablemente sobre el nivel del mar, es erosionada; si la erosión ha sido

grande, los valles son muy profundos y las áreas sin erosionar permanecen como montañas.

### MONTAÑAS DE INTRUSIONES

Gran parte del magma que se eleva del interior de la Tierra, no alcanza la superficie, sino que se solidifica cerca de ella y forma "intrusiones"; estas intrusiones se ven sólo cuando la erosión remueve las rocas que las cubren. Después de que los conos de volcanes extintos han sido destruidos por la erosión, los viejos conductos que llevan el magma a la superficie quedan expuestos y como son de material muy resistente, soportan más la erosión que sus alrededores y constituyen elevaciones prominentes, generalmente en forma de agujas.

### MONTAÑAS DE BLOQUE O DE FALLA

Son formadas por grandes fallas, de tal manera que un bloque se eleva o permanece elevado, mientras que el otro baja considerablemente.

### MONTAÑAS PLEGADAS

Las intensas presiones pliegan algunas fajas de la corteza formando anticlinales y sinclinales; originalmente cada anticlinal es una gran montaña y cada sinclinal es un valle.

### MONTAÑAS COMPLEJAS

Son debidas a varias causas que actúan en conjunto o sucesivamente en una misma zona.

## SISMOS

Los temblores se originan por disturbios más o menos localizados que se producen en o debajo de la corteza terrestre, cuando grandes masas de roca sufren un súbito desplazamiento por falla o por fracturamiento, debido a esfuerzos intensos y continuados que actúan por largo tiempo, hasta que van más allá del límite de deformación elástica de las rocas.

La teoría de la isostasia explica en una forma satisfactoria los procesos geológicos que posteriormente producen los movimientos tectónicos, que comúnmente dan lugar a los temblores de tierra. Por el concepto de la isostasia los temblores no siguen una periodicidad, pero la existencia de los sismos, mientras se produzca la erosión de materiales y su transporte al mar, es inevitable.

Los temblores también pueden ser producidos por fenómenos volcánicos, que generalmente afectan áreas más reducidas y que indirectamente también tienen relación con procesos erosivos e isostáticos.

### Foco

A grandes distancias el lugar de origen de un temblor puede ser considerado como producido en un punto, que generalmente se localiza debajo de la corteza terrestre; a ese punto se le llama FOCO o HIPOCENTRO. Al punto que se encuentra verticalmente sobre el foco, en la superficie terrestre, se le llama EPICENTRO. De acuerdo con la posición del foco se acostumbra dividir los sismos en tres tipos:

1. Los que tienen su foco a más de 300 Km. de profundidad, son temblores de foco profundo.

2. Los que tienen su foco de 60 a 300 Km. se llaman de foco intermedio.
3. Aquellos cuyo foco se encuentra a menos de 60 Km. de profundidad se llaman temblores de foco poco profundo.

#### LOCALIZACIÓN DE FAJAS SÍSMICAS

Gutenberg y Richter han mostrado que la distribución de los focos sísmicos coincide con la del volcanismo y se encuentra en zonas definidas, localizándose las más importantes en la forma siguiente:

- a) La faja del Circumpacífico, a lo largo de todas las costas del Océano Pacífico. Son de los tres tipos de profundidad y van de intensos a suaves.
- b) Faja Mediterránea y Transasiática (hasta la India); son someros e intermedios en profundidad.
- c) Eje del Atlántico Medio (del Ártico al Antártico), a lo largo de un meridiano, son suaves o moderados.
- d) Eje del Oriente Africano; menos activa, poco profundos y media a baja intensidad.

#### ESCALA DE INTENSIDADES

Una de las escalas más ampliamente usadas para clasificar la importancia de los sismos es la de Mercalli, la cual clasifica la intensidad de los temblores más o menos subjetivamente, dándoles un grado de acuerdo con números que van del 1 al 12.

Para el número 1 corresponde "No se siente sino bajo circunstancias muy favorables". Para el número 12 "Total destrucción de las construcciones".

Es obvio que una escala de este tipo solamente puede ser considerada cuando el epicentro se encuentra cerca de zonas habitadas y aún así no puede ser precisa.

Las escalas de intensidad como la de Richter, basadas en amplitudes instrumentales, son mucho más satisfactorias para propósitos estadísticos y científicos.

Los sismos se transmiten gracias a las propiedades elásticas de las rocas, en forma de ondas.

#### ONDAS LONGITUDINALES

Son aquellas en que la dirección del desplazamiento de una partícula es la misma ( $0^\circ$  a  $180^\circ$ ) que la dirección de propagación de la onda. También se les conoce como ondas compresionales.

#### ONDAS TRANSVERSALES

Las partículas se desplazan dentro del medio transmisor en dirección normal a la de propagación de las ondas. También se les conoce con el nombre de ondas de esfuerzo cortante.

#### ONDAS RAYLEIGH

Las ondas llamadas de Rayleigh viajan exclusivamente a lo largo de la superficie libre de los sólidos elásticos y el movi-

miento de las partículas, siempre en un plano vertical, es elíptico y retrógrado. La amplitud del movimiento decrece exponencialmente con la profundidad.

### ONDAS LOVE

Son ondas superficiales que se observan únicamente cuando se tiene una capa de baja velocidad sobre un medio en el cual las ondas elásticas tienen una mayor velocidad. Se propagan por múltiples reflexiones.

Las ondas que llevan mayor cantidad de energía, son las transversales, por lo que son las más peligrosas.

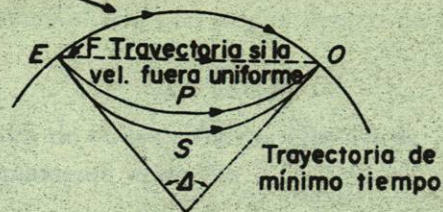
Velocidad de Propagación de las ondas en diferentes medios, en metros por segundo:

Material	Prof.	Longitudinales	Transversales
Granito	0 m	5 000	3 000
Basalto		18 300	—
Arenisca		1 500 a 5 000	—
Aluvión		3 000	—
Aluvión	2 200 m	5 000	—
Arcillas		2 000	—

### TEMBORES EN MÉXICO

La zona epicentral principal en donde se originan los sismos que afectan el territorio mexicano, se encuentra en la zona comprendida por los Estados de Oaxaca, Guerrero y el Pacífico; también se originan sismos de cierta intensidad en la zona

Trayectoria de las ondas de superficie.

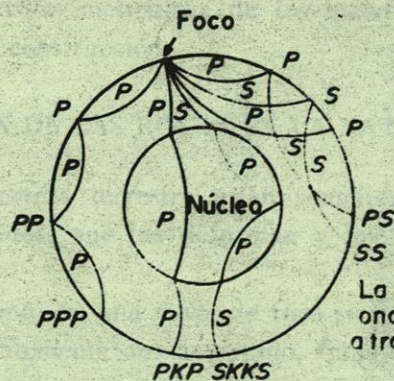


E = Epicentro  
F = Foco  
O = Estación  
Δ = Angulo epicentral

Trayectorias hacia la estación de las ondas superficiales y de mínimo tiempo (PyS) de un temblor con foco superficial.

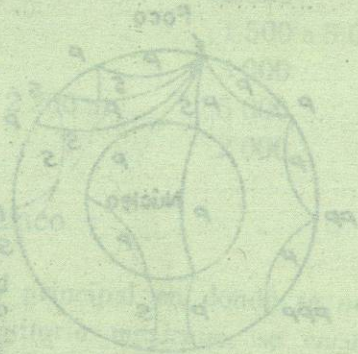


Sismograma de un temblor que se efectuó a 10.000 Km. registrados en un sismógrafo horizontal en Berkeley el 25 de Nov. de 1941.



La letra K representa ondas con trayectorias a través del núcleo.

Trayectorias de diferentes tipos de ondas a través de la tierra.



del Golfo de México y en el Caribe. En la Cuenca de México se producen varios sismos al día con origen dentro de la misma cuenca.

La forma en que un tren de ondas sísmicas afecta a la estructura de un edificio, es sumamente compleja.

El fenómeno de la resonancia (suma de las intensidades de oscilación debido a que exista una relación entre el período de las ondas y las características de vibración de la estructura) es un factor de importancia definitiva en los daños que puede causar un temblor, pero su previsión, por requerir la integración de un número muy alto de variables, es prácticamente imposible.

Se han ideado modelos a escala que se ponen a vibrar pero los resultados obtenidos no han sido completamente satisfactorios.

Es de recomendarse para evitar en lo posible los peligros que provocan los sismos, hacer un cálculo cuidadoso de las estructuras y una supervisión meticulosa de los materiales y de las especificaciones de construcción.

#### DEFORMACION DE LAS ROCAS EN LA NATURALEZA

Las rocas de la corteza terrestre están sometidas a esfuerzos intensos y prolongados, que las deforman y las fracturan.

Cualquier rompimiento en una masa de roca se define como una fractura independientemente de su tamaño. Cuando una serie de fracturas es más o menos continua y parece formar un conjunto bien definido, las fracturas se describen como un sistema. Si las

masas de roca a cada lado de una fractura han sufrido un desplazamiento, se dice que es una falla; tales desplazamientos pueden ser muy variables, desde unos centímetros hasta varios kilómetros. Cuando se encuentran varias fallas muy cerca unas de otras y generalmente paralelas, la zona resultante es llamada zona de esfuerzo cortante o de falla. Si el plano de fractura se abre por la separación de los bloques de roca, se dice que es una diaclasa.

Si la fractura no muestra aparentemente ningún desplazamiento, se trata de una junta. El término fisura usualmente se emplea para designar fracturas muy pequeñas.

Los esfuerzos de tensión son los principales responsables en lo que se refiere a las grandes fracturas. Esos esfuerzos de tensión son a menudo el resultado de una disminución de volumen debido a:

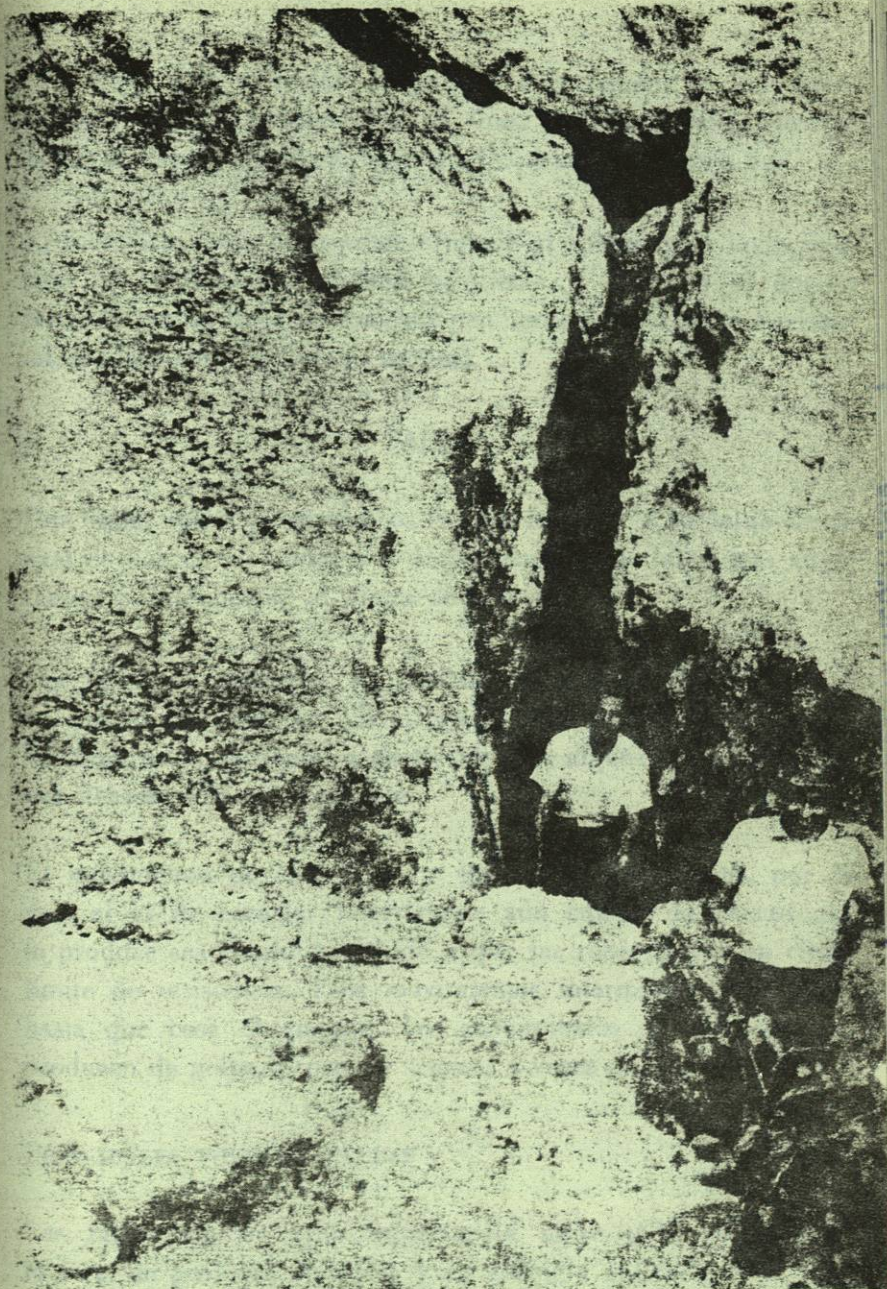
1. Disminución de temperatura.
2. Pérdida de humedad en los suelos y en algunas rocas.
3. También puede ser producida por una recristalización.

Frecuentemente los esfuerzos de tensión se combinan con los de compresión; un ejemplo característico es la estructura columnar del basalto.

El agrietamiento en lodos es causado por desecación.

#### ACTITUD. RUMBO Y ECHADO

Para determinar la posición de una capa en el campo, el ingeniero debe medir el rumbo y el echado.



Diaclasa o "abta" en calizas. Estado de Morelos.

El rumbo es la dirección de una línea horizontal de una capa, o sea el ángulo formado por la línea de intersección entre el plano de capa y un plano horizontal con la línea Norte Sur.

El echado se mide perpendicularmente al rumbo y es la inclinación de la línea de máxima pendiente, o bien, es el ángulo formado por la línea de máxima pendiente con un plano horizontal, medido sobre un plano vertical.

### FALLAS

Una falla, como ya se indicó, es una fractura a lo largo de la cual ha habido movimiento o desplazamiento de las masas adyacentes, paralelamente al plano de fractura.

Las fallas se presentan en sedimentos consolidados y a veces en los no consolidados. Se originan por esfuerzos de tensión, de compresión, cortante, o de torsión. En algunas ocasiones pueden deberse a falta de soporte.

El movimiento de una falla, o sea su desplazamiento, por lo general es de carácter intermitente aún cuando la fuerza que lo produce sea continua, debido a que las rocas tienen un cierto límite de resistencia. Esos movimientos intermitentes continúan hasta que cesa el empuje. Los movimientos de falla que se producen de golpe, provocan sismos, a veces de gran intensidad.

### PRINCIPALES TIPOS DE FALLAS

Las fallas son de gran importancia sobre todo en geología minera, en geología petrolera y en geología aplicada.