

# Los Temblores o Movimientos Sísmicos <sup>(1)</sup>

POR

Juan Olsacher

---

Una exposición de este tema requiere como antecedente previo el recuerdo del camino que ha seguido el espíritu humano para llegar al conocimiento actualmente vigente de la estructura de la tierra y que es útil para la explicación de aquellos fenómenos.

La geología es una ciencia joven que ha conseguido independencia y personería en tiempos relativamente recientes, aunque en todo tiempo la curiosidad del hombre haya estado despierta por conocer el origen y la naturaleza del suelo que sirve de asiento a su vida. Es recién a principios del siglo pasado que se formula una verdadera teoría geológica y cuyo principal representante fué Cuvier. Esta teoría basada sobre el principio de que en épocas pasadas ocurrieron grandes cataclismos que alteraron sucesivamente y en forma fundamental la faz de la tierra y las faunas y las floras que la habitaron, tenía inconvenientes tan grandes que no subsistió mucho tiempo, pues debió dejar paso a una nueva corriente de ideas que significaba una reacción a ese modo de ver. La nueva teoría, llamada del actualismo, ganó terreno y desalojó a la del catastrofismo y en esencia sostenía que los factores que han modificado el aspecto del globo han sido los mismos que conocemos en la actualidad y que la magnitud de aquellas transformaciones tan radicales se explican por los prolongados períodos de tiempo en que actuaron aquellos. La nueva teoría no bastó para

---

(1) El presente trabajo fué leído en la conferencia organizada por la Sociedad Científica Argentina en Córdoba con fecha 25 de Octubre de 1934. Su objeto era divulgar una síntesis del estado actual de la sismología.

explicar todos los problemas que se presentaban y complicaban con el progreso de las investigaciones geológicas y del exagerado actualismo hubo que retornar en cierto modo a un catastrofismo discreto y que era la teoría de la contracción de la tierra, cuyo defensor más ilustre fué Eduardo Suess, destinada a explicar la evolución de la corteza de la tierra y el origen de las cadenas de montañas que la atraviesan. Las investigaciones modernas demostraron la imposibilidad de un arrugamiento de la corteza de la tierra por su enfriamiento paulatino.

Los progresos de la geofísica, entretanto, llegaron a adquirir tal importancia, que fueron el fundamento de una verdadera revolución de ideas — a la que se asocia el nombre de Alfredo Wegener principalmente — que constituye una concepción fundamentalmente distinta de los anteriores, y que es la consecuencia de los progresos de la investigación sistemática de los meteoritos, de la interpretación exacta de la propagación de las ondas sísmicas y de las determinaciones de la densidad de la tierra.

Los cálculos de la masa y densidad de la tierra nos llevan al resultado de que su densidad media es de 5.5. Como la densidad de las rocas que conocemos de las partes accesibles a nuestra observación varía entre 2 y 3, es necesario admitir forzosamente que las partes internas de la tierra deben estar constituidas por materias mucho más pesadas que aquellas y cuya densidad ha de ser superior a 5.5. En ellas predominarán naturalmente los metales como el hierro que interviene en gran escala en la constitución de los cuerpos celestes como lo ha revelado el estudio de los meteoritos y que está extraordinariamente difundido en la corteza terrestre. Su densidad por otra parte, corresponde a la que resulta como valor medio de la densidad de la tierra.

Si partimos del valor del aplastamiento de la tierra se llega igualmente al resultado de que el centro de la tierra debe estar ocupado necesariamente por un núcleo pesado, de densidad alrededor de 8, rodeado de una envoltura rocosa de densidad inferior.

Exactamente a las mismas conclusiones llevan las observaciones sismométricas. Las ondas sísmicas se transmiten a través de la corteza de la tierra atravesando, en los grandes terremotos, hasta su centro. La velocidad de las ondas sísmicas aumenta con la

profundidad de las capas atravesadas y de los valores calculados pueden deducirse los coeficientes de elasticidad de las materias que forman la tierra y así se llega a la conclusión de que en la masa del globo existen tres elementos esenciales diferenciados por variaciones bruscas de densidad y separados por superficies de discontinuidad que se hacen sentir en la propagación de dichas ondas.

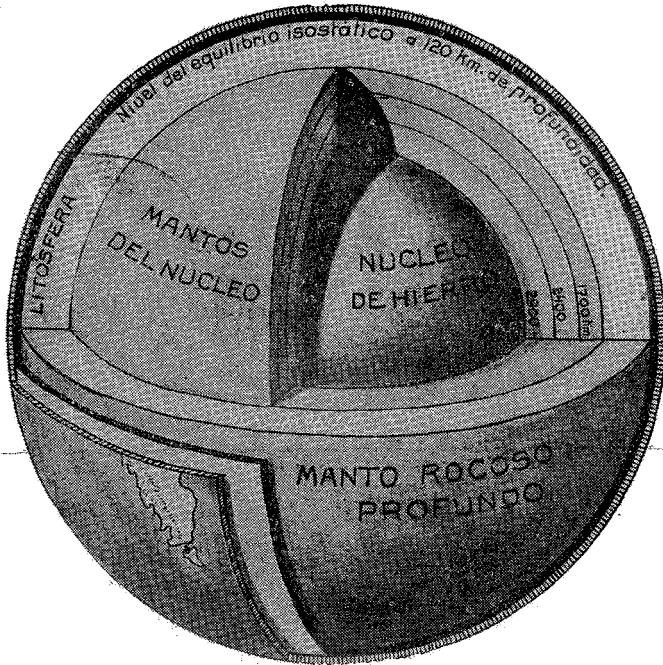


Figura 1

Todas estas observaciones, elaboradas en diversos terrenos y partiendo de distintos puntos de vista, han conducido al siguiente cuadro de la composición de la tierra, aceptado generalmente en la actualidad, y al cual se asocian los nombres de Dana, Wiechert, Linck, Geiger, Gutenberg y Sieberg. (Fig. 1)

Si partimos del centro de la tierra hacia la superficie tenemos:

1º. El centro de la tierra, en el cual reina una presión de

1.5 a 3 millones de atmósferas y una temperatura de 3 a 4 mil grados.

2°. El núcleo central de hierro, cuya composición probable es la siguiente:

- 84 a 92 % de hierro
- 6 a 10 % de níquel
- 2 a 6 % de carbono, fósforo, cobalto y platino.

Este núcleo es de una rigidez muy superior a la del acero y su densidad es de 9.6. El volumen es de 175 mil millones de kilómetros cúbicos y el peso de 1.685 trillones de toneladas.

3°. La zona de los mantos del núcleo. Está compuesta por una mezcla de silicatos de metales o bien de sulfuros y óxidos metalíferos con una proporción de un 70 % de sulfuro de hierro. Está constituida por una sucesión de capas alternantes no conociéndose la naturaleza de las más profundas. La densidad es de 4.6, el volumen de 404 mil millones de kilómetros cúbicos y el peso de 2.582 trillones de toneladas.

4°. El manto rocoso, cuyo volumen es de 504 mil millones de kilómetros cúbicos y el peso de 1714 trillones de toneladas. Está dividido en dos partes que se distinguen en la siguiente forma, de acuerdo a las sugerencias de Suess:

El basamento de los continentes está constituido por un grupo de rocas cuyos representantes más difundidos son el granito y el gneis. En ellas predominan dos elementos químicos: el silicio y el aluminio y por esta circunstancia se habla de "sial" (Si Al). La otra parte está constituida por rocas pesadas caracterizadas por dos elementos químicos: el silicio y el magnesio. De la misma forma se habla de "sima".

El sial forma masas rígidas independientes entre sí que flotan sobre el basamento universal de sima. Los espacios libres entre las porciones de sial están ocupados por el agua de los océanos. Esa circunstancia ha sido comparada a la de los témpanos de hielo que flotan en el agua, teniendo en cuenta naturalmente que la movilidad de éstos es incomparablemente superior a la de los bloques siálicos o continentales sobre el fundamento de sima. Esos bloques formaron en un principio un escudo único que se fractu-

ró después en los actuales continentes que animados de una marcha a la deriva se separaron mutuamente ocupando sus actuales posiciones .

Hemos llegado así a tener una idea de la estructura de nuestro planeta y que nos será muy útil para comprender los fenómenos sísmicos como lo veremos en su lugar.

## LOS TEMBLORES O MOVIMIENTOS SÍSMICOS

Los temblores o movimientos sísmicos son convulsiones de la corteza terrestre producidas por una causa natural y cuyo foco se encuentra en el interior de la tierra.

El concepto moderno de la estructura de la tierra, logrado por la geofísica, acepta de que es un cuerpo rígido y elástico en el que todas las vibraciones producidas en su seno se transmiten en todas las direcciones. El foco de la conmoción — cuya causa examinaremos más adelante — se llama el “hipocentro” del temblor y en realidad no es casi nunca un punto geométrico, sino que su forma es irregular de acuerdo a las circunstancias locales. La ~~conmoción desencadena resistencias dentro del complejo de rocas,~~ traducidas en vibraciones u ondas de elasticidad, y que son la consecuencia de la oposición de la materia a modificar su volumen y su forma.

Las primeras ondas producidas mueven las diversas partículas de la materia en el sentido de su propagación y se llaman por eso “longitudinales”. Son las ondas más rápidas y por eso primeras en llegar a la superficie (undae primae, u ondas P). Son ondas determinadas por la resistencia de la materia al cambio de su volumen mientras que las que se oponen al cambio de su forma hacen vibrar las partículas en un sentido normal a la dirección de propagación del rayo sísmico y se llaman por eso “transversales”. Estas ondas más lentas, por el carácter de su movimiento, llegan a la superficie después que las longitudinales. Por eso se habla también de undae secundae u ondas S.

El punto de la superficie al que primero llegan las ondas sísmicas y que naturalmente es el colocado normalmente sobre el hipocentro es el llamado “epicentro” del temblor. (Fig. 2)

Al llegar a la superficie de la tierra las dos vibraciones, ondas longitudinales y transversales, sufren un acoplamiento que engendra una tercera clase de ondas, las llamadas “superficiales” y también “*undae lungae*” (ondas L) porque su período de oscilación es mayor que el de las anteriores.

Estas ondas superficiales se propagan sobre la superficie de la tierra a partir del epicentro y con un movimiento de energía decreciente. Todos los puntos que han sido tocados simultánea-

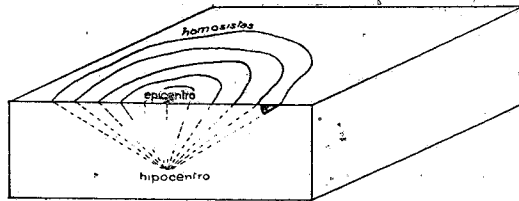


Figura 2

mente por una onda sísmica pueden unirse con curvas que reciben el nombre de “homosistas” y que revelan la forma de la propagación del temblor y la extensión del campo que ha afectado. La forma de las homosistas depende de la forma del hipocentro y de la constitución geológica de la zona convulsionada. Las homosistas son circulares cuando dicha zona es de constitución geológica homogénea pero como esto ocurre raras veces ellas tienen contornos irregulares en lo que tienen ingerencia las heterogeneidades de la estructura geológica y la existencia de líneas tectónicas, es decir, de perturbaciones en la continuidad de los complejos de rocas.

En virtud de las grandes presiones que reinan en el interior de la tierra aumentan hacia la profundidad la densidad y la elasticidad de las rocas y con ellas la velocidad de propagación de las ondas sísmicas que las atraviesan. Los rayos sísmicos en la profundidad no son por esa causa líneas rectas sino torcidas y las superficies de las homosistas no son esféricas y concéntricas sino que van adquiriendo una excentricidad y forma distinta de aquella y que aumentan con la profundidad.

En el epicentro mismo la sacudida es sentida como un movimiento precedente normalmente desde la profundidad. A medi-

da que nos alejamos de ese punto la ondulación se aparta de esa posición y forma con el plano de la superficie de la tierra un ángulo que va disminuyendo gradualmente y que se denomina el “ángulo de emergencia”.

La ciencia sismológica antigua ignorando esas circunstancias distinguía dos clases de terremotos: los “subsultorios” y los “ondulatorios”. En los primeros, el movimiento ascendía normalmente desde el hipocentro. Es por eso que en el terremoto de Río Bamba en 1797 los cadáveres fueron proyectados en el espacio a muchos centenares de pies. Un testigo del terremoto de Avezzano, dijo: “nos sentimos de pronto derribados al suelo como por puñetazos de manos invisibles y luego parecía que la tierra como un monstruo despertado de pronto trataba de arrojar sobre el firmamento lanzando rugidos espantosos”.

En los terremotos ondulatorios, en cambio, los objetos son desviados de su posición e inclinados hacia el horizonte.

Las explicaciones anteriores nos permiten darnos cuenta claramente de que los terremotos subsultorios y ondulatorios son movimientos de la misma naturaleza y originados por una causa común, dependiendo su producción de las posiciones de las regiones afectadas con respecto del epicentro. Un mismo terremoto es subsultorio en el epicentro y ondulatorio en las zonas alejadas de ese punto.

La sismología antigua también admitía una tercera clase de temblores, los rotatorios, fundándose en que en ciertas regiones convulsionadas algunos obeliseos y monumentos sufrieron movimientos de rotación. Se creyó que la concurrencia de ondulaciones precedentes de diversas direcciones producía como resultante un movimiento de rotación. Más tarde, se comprobó que sufrían rotaciones únicamente aquellos cuerpos cuyo centro de gravedad no coincidía con su punto de fijación en el suelo.

## LOS SISMOGRAFOS

En el epicentro y regiones inmediatas a él las sacudidas sísmicas adquieren una intensidad mayor y esa zona se llama “pleistosista”. Con un alejamiento creciente a partir del epicentro la intensidad del movimiento se reduce proporcionalmente hasta llegar

dular muy grande lo mismo que una masa de peso considerable para no ser perceptible por el hombre siendo sensible únicamente para instrumentos muy susceptibles y que se han construido para la investigación exacta de la naturaleza y propagación de las ondas sísmicas. Son los llamados sismógrafos que tienen por función el registro continuo de las vibraciones que se sienten en el lugar de observación con anotación simultánea del tiempo. Los sismoscopios denuncian los temblores mediante la caída de cuerpos y su importancia ha decaído mucho.

Los sismógrafos en esencia son péndulos de un peso muy elevado y que pueden desplazarse en una sola dirección. Están dotados de dispositivos que permiten registrar sus oscilaciones en una banda de papel animada de un movimiento uniforme. Se los ubica en lugares protegidos de las vibraciones producidas por el tráfico u otras causas artificiales.

Como para la interpretación de los temblores es útil conocer las componentes horizontal y vertical de los movimientos se han construido dos tipos de sismógrafos: el horizontal y el vertical.

### El sismógrafo horizontal

Está constituido por un péndulo vertical que oscila alrededor de un eje horizontal. Tiene el inconveniente de que para el registro de vibraciones muy grandes se necesitaría una longitud pen-

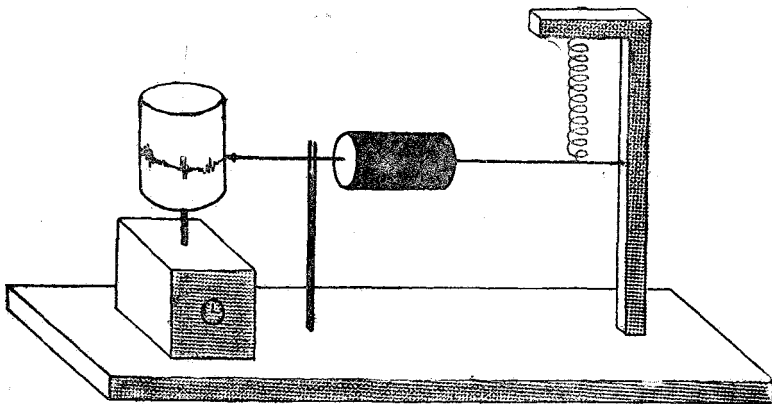


Figura 3



ra evitar las resistencias de inercia y de frotamiento. El péndulo vertical de Vicentini tiene una longitud de  $10 \frac{1}{2}$  metros y una masa de 400 kilogramos.

Todos esos inconvenientes de los sismógrafos horizontales han sido vencidos en el sismógrafo pendular astático de Wiechert, que es un péndulo invertido, de una masa de 1.200 kilogramos y que descansa sobre un punto de apoyo sobre el cual oscila. (Fig. 3)

### El sismógrafo vertical

El sismógrafo vertical está destinado al registro de la componente vertical o cenital del movimiento. La masa pendular realiza

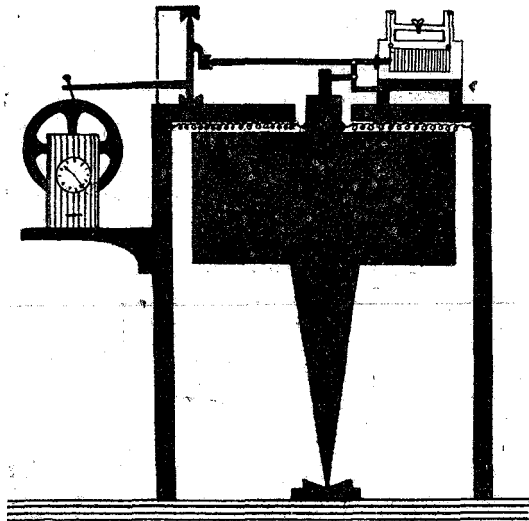


Figura 4

un movimiento vertical lo que es posible mediante un resorte en espiral de que está provisto. El proceso del registro es el mismo del sismógrafo vertical. (Fig. 4)

### EL SISMOGRAMA Y LA DISTANCIA EPICENTRAL

El gráfico registrado por el sismómetro se llama "sismograma" y está caracterizado por una serie de pulsaciones muy com-

plejas y fáciles de explicar si se recuerda el proceso de propagación del temblor. Las diversas ondas producidas en el movimiento sísmico, deformadas por las interferencias y reflexiones que sufren en el camino, contribuyen a hacer más complicado aún ese diagrama cuya interpretación exige una gran pericia y experiencia.

Ya vimos que la resistencia opuesta por la materia de la corteza terrestre al ser conmovida se traducía en tres clases de ondas (las primeras y segundas precursoras y las superficiales). Es por eso que en un sismograma pueden distinguirse las siguientes fases: (Figs. 5 y 6)

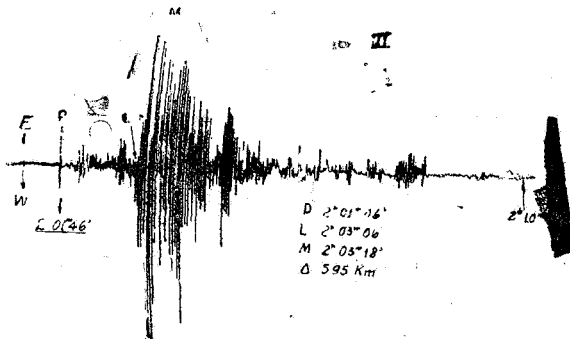


Figura 5

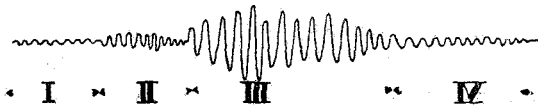


Figura 6

- I - II primera prefase — Ondas P
- II - III segunda prefase — Ondas S
- IV ondas superficiales (fase principal) — Ondas L
- V fase final (coda).

La nitidez con que se distinguen estas diversas fases en un sismograma depende de la distancia en que se encuentra el observatorio con respecto del epicentro. Cuando esa distancia es reducida las fases pueden acumularse en tal forma que muchas veces es imposible distinguirlas entre sí. La longitud del sismogra-

ma y la diferenciación de sus fases depende de la lejanía del foco del temblor lo cual es una consecuencia lógica de las diferencias de velocidad de propagación de las diversas ondas y que aumentan relativamente mientras más largo sea el trayecto recorrido. Esta comprobación ha servido de base para el cálculo de la distancia epicentral a partir de las diferencias de tiempo registrados en los simogramas y correspondientes a sus diversas fases. Entre las reglas propuestas se destacan por su sencillez las fórmulas de Laska:

Si designamos con P, S y L los tiempos de recepción de las ondas P, S y L respectivamente y con  $\Delta$  la distancia epicentral, las reglas de Laska tienen la siguiente expresión:

$$1^{\circ} \quad \Delta \text{ megámetros } (1) = (S-P) \text{ minutos} - 1$$

$$2^{\circ} \quad \Delta \text{ megámetros} = \left( \frac{L-P}{3} \right) \text{ minutos}$$

El procedimiento de determinar el epicentro con los datos de simogramas obtenidos en una estación y correspondientes a las tres componentes del movimiento, da en la práctica valores aproximados. Si se dispone de valores obtenidos por diversas estaciones no es difícil ubicar la posición geográfica del epicentro que queda fijado por la intersección de los círculos que se trazan haciendo centro en cada estación y cuyos radios son las correspondientes distancias epicentrales. Es claro que influirá favorablemente en la exactitud de los cálculos el mayor número posible de datos disponibles.

## LA PROFUNDIDAD DEL HIPOCENTRO

Al considerar los terremotos subsultorios y ondulatorios de la vieja sismología vimos que la intensidad de un temblor depende de la ubicación del lugar que se considere con respecto del hipocentro.

La profundidad del hipocentro influye igualmente en la intensidad de las sacudidas sísmicas. Mientras más superficial sea ese punto tanto más reducida será la extensión del área convulsio-

(1) Un megámetro equivale a 1000 kilómetros.

nada pero tanto mayores serán los efectos destructores del temblor. El interés que encierra el conocimiento de la profundidad del hipocentro para la investigación de la naturaleza de los movimientos sísmicos justifica los esfuerzos realizados para tratar de establecer un método que permita su determinación sin que se haya logrado encontrarlo hasta ahora.

El ensayo más antiguo corresponde a Mallet, en 1862, quien partió de la base de que las grietas de los muros de las construcciones eran normales a la dirección del rayo sísmico (Fig. 7). Otros sismó-

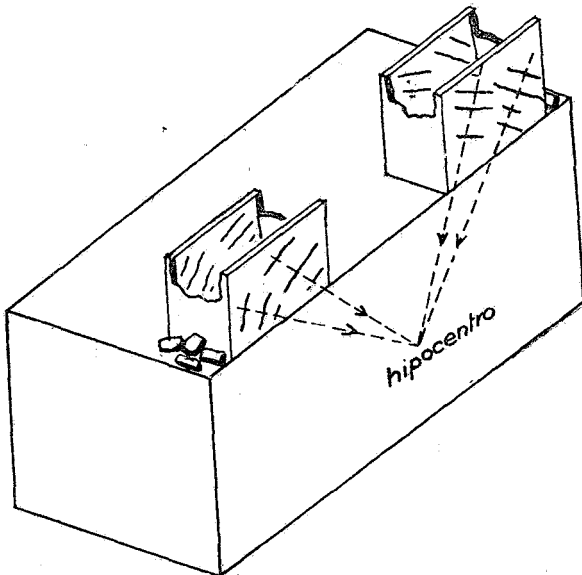


Figura 7

logos aplicaron en diversas oportunidades ese método pero los resultados obtenidos fueron tan contradictorios que ha debido ser desechado. Falb quiso determinar la profundidad hipocentral fundándose en la diferencia de la velocidad de propagación del ruido sísmico y de la sacudida; no tuvo éxito, como tampoco lo tuvieron los métodos de varios sismólogos (Dutton y otros) que se apoyaban en las observaciones de la intensidad de las sacudidas.

Todos los cálculos efectuados hasta ahora conducen a resultados que a veces discrepan notablemente entre sí para un mismo terremoto y hacen creer que los hipocentros no pasan de profun-

tidades mayores de algunas decenas de kilómetros y seguramente las máximas han de encontrarse en el nivel del equilibrio isostático, a 120 kilómetros de profundidad, que separa la litósfera del manto rocoso profundo, según lo vimos oportunamente.

### LOS EFECTOS, LA FRECUENCIA Y LA INTENSIDAD DE LOS TEMBLORES

Los temblores son considerados con justicia como el fenómeno natural de consecuencias más terribles para el hombre ya que sobrepasan en mucho las de cualquier otro. Así, las erupciones que sepultaron Pompeya y Herculano produjeron un número de víctimas calculado en 25.000 almas y la de Mont-Pelé, en la Martinica en 1901, de 29.000. En cambio, el terremoto de Messina de 1915 costó la vida a 200.000 personas y el del Japón en 1923 a más de 300.000.

No hay que olvidar que los efectos de un terremoto dependen no solamente de su intensidad sino también del grado de cultura de la región convulsionada y es por eso que con el progreso de la civilización los estragos de los terremotos aumentan proporcionalmente.

Es interesante conocer la frecuencia con que ocurren los temblores. En Italia, en el curso del año 1873 se registraron 725 temblores, en 1876, 1276 y entre 1891 y 1910 se registraron 9538, es decir, 290 temblores por año. Más frecuentes son aún en la costa pacífica de Sud-América; Lima ha sufrido desde su fundación diez terremotos destructores. En Tokio se registraron en un período de 24 años, 2170 temblores, esto es, uno cada cuatro días.

Montessus de Ballore ha calculado una producción anual, término medio, de 80.000 temblores, entre grandes y pequeños, es decir, 9 temblores por hora en distintos puntos de la tierra, y Humbolt sostuvo que ésta se encuentra constantemente en movimiento en algún punto de su superficie.

Entre los efectos más frecuentes de los temblores figuran las grietas y fracturas del suelo que por lo general corren recta y paralelamente formando sistemas y suelen tener las consecuencias más diversas tales como la perturbación del régimen del agua sub-

terránea y de los manantiales, grandes hundimientos o levantamientos del terreno que pueden provocar hasta deslizamientos de partes de la corteza con las consiguientes modificaciones de su topografía.

Respecto de los efectos sobre las construcciones artificiales, en las escalas de intensidades que veremos a continuación pueden apreciarse la diversidad de los mismos y la magnitud que pueden adquirir.

Otras manifestaciones son los ruidos sísmicos que suelen anteceder a la sacudida del suelo y que según Milne obedecen a vibraciones muy finas y muy rápidas de las partículas que componen la corteza terrestre, y producidas por el frotamiento de complejos de rocas a lo largo de fallas. Parece que los ruidos sísmicos y los temblores son dos fenómenos independientes, pues se conocen casos de temblores que no han estado acompañados de esas manifestaciones y el fenómeno inverso, ruidos subterráneos sin temblores, también ha sido observado.

Algunas veces los temblores han estado acompañados de fenómenos luminosos que deben atribuirse a descargas de la electricidad que produce el frotamiento de los objetos sacudidos con la superficie del suelo en que están apoyados.

Para la reconstrucción exacta del campo afectado por un terremoto y de la magnitud y naturaleza de éste, sería indispensable una distribución de un gran número de estaciones sismográficas que lo registran, pero como ello no es posible se ha recurrido al procedimiento de establecer escalas empíricas que se basan en la percepción de las personas que han presenciado el movimiento.

De las varias escalas propuestas la más aceptada es la de los sismólogos italianos Mercalli y Cancani, modificada por Sieberg, y que consta de doce grados de intensidad creciente:

- Grado I. *Temblor imperceptible*, que solo es apreciado por los instrumentos de los observatorios.
- Grado II. *Temblor muy ligero*, sentido solamente por personas muy nerviosas y que se encuentran en reposo.
- Grado III. *Temblor ligero*, parecido a la trepidación que produce el paso de un carruaje. Pocas son las personas que pueden apreciarlo inmediatamente.

- Grado IV. *Tembloz mediano*, es percibido casi únicamente en el interior de las casas. Se oye la vibración de los cristales y el crujido de las puertas y ventanas. Se advierte el movimiento de los líquidos en los recipientes y las lámparas colgadas oscilan ligeramente.
- Grado V. *Tembloz algo fuerte*, los muebles oscilan y las personas sentadas o acostadas tienen la sensación del movimiento. Hasta en la calle, en medio de la agitación de la vida de las ciudades, se advierte que ha pasado un temblor. Las campanas pequeñas pueden sonar y se derraman los líquidos de las vasijas. Se rompen cristales de puertas y ventanas y las piezas de loza y vajillas chocan entre sí y se destrozan.
- Grado VI. *Tembloz fuerte*, el pánico se apodera de las personas y muchas huyen. Se caen los cuadros de las paredes, y algunos muebles. Se producen pequeños desperfectos en los edificios.
- Grado VII *Tembloz muy fuerte*, las campanas tocan violentamente, los árboles se agitan y los desperfectos de los edificios llegan a ser tan serios que o son fuertemente agrietados o parcialmente destruidos.
- Grado VIII *Tembloz ruinoso*, los árboles oscilan fuertemente lo mismo que los postes telegráficos. Las columnas y monumentos se caen o tuercen. Se presentan grietas en el suelo y todos los edificios sufren considerablemente.
- Grado IX *Tembloz destructor*, todos los edificios sufren y se convierten en inhabitables en mayor o menor grado, según la solidez de la construcción.
- Grado X *Tembloz muy destructor*, ondula el pavimento de las calles y se producen grandes grietas en el suelo. El agua de muchos pozos se seca y en cambio surge en otros lugares. Los edificios más resistentes sufren considerablemente.
- Grado XI *Tembloz catástrofe*, se derumban puentes metálicos y caen edificios muy sólidos. La destrucción es general y hasta se producen deslizamientos de terrenos.
- Grado XII *Tembloz gran catástrofe*, no resiste ninguna obra hu

mana. El relieve del suelo sufre también los efectos y hasta algunos ríos desvían su curso.

Esta escala en forma de cuestionarios es repartida por las oficinas sismológicas en las diversas localidades de las zonas afectadas por un terremoto y con las informaciones suministradas es posible entonces dibujar las isosistas con una precisión bastante aproximada para lo cual se unen con curvas todos los puntos correspondientes a un mismo grado de la escala.

### EL ORIGEN DE LOS TEMBLORES

De la consideración estadística de la distribución de los temblores sobre la superficie de la tierra se deduce que no constituyen un fenómeno uniformemente esparcido sobre ella y así se conocen diferencias notables entre regiones donde son raros o desconocidos y otras donde son habituales.

Se llama *sismicidad* el grado de frecuencia e intensidad de los temblores que conmueven una región determinada y según ella Montessus de Ballore distingue: *regiones asísmicas*, donde los temblores son escasos o desconocidos; *regimes penesísmicas*, donde son poco frecuentes y *regiones sísmicas* donde son corrientes e intensos. Las regiones sísmicas de la tierra están distribuidas según las fajas caracterizadas por grandes movimientos orogénicos y por su actitud volcánica. A ellas pertenecen principalmente los bordes del Pacífico, los países meridionales de Europa y el Asia Menor. En cambio, a las regiones penesísmicas corresponden regiones como los Montes Urales, los Alpes variscico-armoricanos, los Apalaches y las fosas tectónicas del Africa y a las asísmicas, el norte de Europa y de América, la parte oriental de Sudamérica y el interior del Africa y Australia.

Hemos considerado ya a grandes rasgos el mecanismo del temblor, la forma de su propagación, sus efectos y su distribución general sobre la tierra y nos toca ahora indagar el origen que lo produce.

Ya pusimos de manifiesto la íntima relación que existe entre las líneas sísmicas y las líneas tectónicas que permite no reconocer más las viejas ideas que atribuían los temblores a la acción exclu-



siva de las lavas y vapores que al ascender de la tierra la conmovían al atravesarla. Hay que admitir que la causa de los temblores reside en procesos ligados a la estructura de la corteza de la tierra.

Corresponde a Eduardo Suess el mérito de haber formulado una explicación satisfactoria del origen de los temblores y analimos todas las clasificaciones ensayadas la más racional es la de R. Hörnes quien divide los temblores de acuerdo a su origen en:

1. temblores de hundimiento.
2. temblores volcánicos.
3. temblores tectónicos.

#### *1. Los temblores de hundimiento*

Están determinados por la existencia de grandes espacios vacíos en la corteza de la tierra y que han sido producidos por la desaparición de rocas solubles en el agua, tales como el yeso, las sales o las calizas. El techo de esos huecos llega a ceder y se hundan las capas superiores con las consiguientes sacudidas que se extienden por lo general a un área restringida. Esos temblores tienen un carácter central acentuado y sus efectos pueden llegar a ser considerables aunque siempre de orden local.

#### *2. Los temblores volcánicos*

Estos temblores son una consecuencia de las explosiones que acompañan las erupciones de volcanes activos. Su área de sacudimiento es también limitado y sus efectos generalmente reducidos no suelen ser percibidos por los observatorios algo distantes.

Otros temblores pertenecientes a esta categoría reconocen una causa distinta pues son producidos por la intrusión de masas en estado ígneo-fluido en la corteza terrestre y es así que ciertos temblores suelen estar precedidos por grandes perturbaciones magnéticas que culminan en la región epicentral y que hay que atribuir a desplazamientos de ese magma intratélúrico.

#### *3. Los temblores tectónicos*

A este grupo pertenece la inmensa mayoría de los temblores y todos aquellos que abarcan un área extensa. Están en estrecha

relación con los procesos tectónicos que son una consecuencia de las tensiones que se originan en la corteza de la tierra y que se resuelven a grandes facturas de ella a lo largo de las que se mueven los diversos bloques que han resultado de esa división. Esos deslizamientos de complejos de rocas a lo largo de fallas, que no necesitan ser recientes pues pueden ser muy antiguas, son causa de temblores y es por eso que entre la formación de dislocaciones de la corteza y la producción de temblores existe una relación estrecha. Los movimientos que originan los temblores resuelven las tensiones existentes de la región afectada la que no se reintegra inmediata-

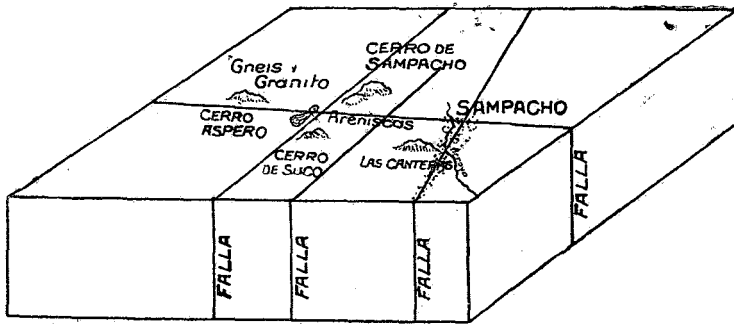


Figura 8

mente al equilibrio sino que es sacudida por otras vibraciones sucesivas cuya magnitud se va reduciendo paulatinamente hasta que la calma se restablece definitivamente. Otras veces las tensiones vuelven a desatarse originando una nueva serie de temblores.

Todo esto permite comprender fácilmente por qué las líneas sísmicas coinciden nítidamente con las grandes líneas tectónicas y por qué aparte de las regiones de gran sismicidad los temblores aparecen corrientemente en lugares afectados por la existencia de líneas de fractura. (Fig. 8)

De acuerdo a las ideas de Alfredo Wegener la sismicidad es una consecuencia de las dislocaciones que sufre el bloque de sial y que están acompañadas de resbalamientos de los diversos trozos que se traducen en temblores.

## LA PREDICCIÓN DE LOS TEMBLORES

La ignorancia en que se han encontrado los geólogos del pasado con respecto a las causas que producen los temblores y la magnitud de los perjuicios que producen determinaron a muchos hombres de ciencia a establecer posibles relaciones entre los sismos y otros fenómenos naturales que tendrían la gran utilidad práctica de poder prever a tiempo su producción.

Es una vieja cuestión y que aún no ha sido resuelta la de las pretendidas relaciones entre la frecuencia sísmica y las posiciones relativas de la luna y del sol con respecto de la tierra. Perry y Falb, los principales defensores de esas relaciones, sostenían que así como aquellos astros producen las mareas en los océanos, así también debían producir otras mareas en el magma del interior de la tierra que se manifestarían en forma de temblores. Las leyes de Perrey son las siguientes:

- 1°. Son más frecuentes en luna nueva y llena (sicigias) que en los cuartos (cuadraturas).
- 2°. Son más frecuentes cuando la luna está más próxima a la tierra (perigeo), que cuando está más retirada de ella (apogeo).
- 3°. Son más frecuentes cuando la luna está en meridiano del lugar que cuando está en el horizonte.

Estas ideas han sido rechazadas por otros sismólogos y así Otto Klotz afirma: “la influencia de la luna o del sol, juntas o aisladamente, al producir la diferencia de tensión sobre la tierra no es suficiente para iniciar o desencadenar un terremoto”.

Igualmente se han querido establecer relaciones en el sentido de que los terremotos son más frecuentes en verano que en invierno y de noche que de día, pero también han sido negadas por la experiencia.

Al parecer, existe una relación entre temblores y aumentos de presiones barométricas y algunos sismólogos han querido ver en estas presiones la causa de ciertos temblores ya que al hacerse sentir sobre terrenos poco estables determinarían tensiones que se resolverían en conmociones sísmicas.

Muchas personas pretenden anticipar los temblores fundándose en que su producción suele coincidir con las conjunciones astrales. Se sabe que anualmente ocurren alrededor de cien conjunciones y por la estadística de los temblores se deduce que cada once días, término medio, se registra un terremoto violento en algún lugar del mundo. Es así que no es improbable que uno de estos coincida con alguna conjunción astral sin que ambos fenómenos estén relacionados entre sí.

Al ocuparme de la frecuencia de los temblores dijimos que se calculaba en 80.000 el número de los que se producían anualmente en la tierra; es decir, 9 temblores por hora. Este resultado de la estadística demuestra que no es difícil elaborar coincidencias de temblores con cualquier fenómeno natural de frecuencia periódica y a ello se debe la abundancia de ensayos en ese sentido. Los profetas de temblores pueden predecir con algún éxito la producción de temblores siempre que no aspiren a establecerlo con precisión para un lugar y fecha determinados. Lo positivo hasta ahora es de que ninguna profecía de esta naturaleza ha logrado ahorrar a la humanidad las consecuencias de una catástrofe sísmica.

Lo que acabamos de decir no significa negar la posibilidad de que la sismología — que ha adquirido paulatinamente la categoría de una ciencia exacta — llegue algún día a encontrar las verdaderas relaciones existentes entre los movimientos sísmicos y causas de orden general, cuya existencia sería pueril negar ya que es sabido que aquellos suelen presentarse con cierta simultaneidad en lugares apartados de la tierra que ninguna vinculación tienen entre sí. Y, en efecto, se entrevé que los desplazamientos de masas que se producen en el interior de la tierra, revelados por cambios de latitud de puntos de su superficie, deben producir una desviación de la posición del eje de la tierra, que estaría asociada a la producción de movimientos sísmicos. Los progresos de las mediciones gravimétricas, que se operan lentamente, arrojarán luz sobre este problema y es muy posible que por este camino se llegue al establecimiento de alguna ley que permita la predicción de temblores.

Por ahora la ciencia solo puede indicar las partes de la tierra que son susceptibles de ser sacudidas y en las cuales hay que

prevenirse y entre tanto la técnica ha encontrado el procedimiento de conjurar los efectos de destructores de los terremotos mediante las construcciones antisísmicas. No está lejano el día, seguramente, en que la sismología resuelva los enigmas que la preocupan y que tanta importancia tienen para la vida humana en muchas regiones de la tierra.

JUAN OLSACHER

Córdoba, Octubre de 1934.

### EXPLICACION DE LAS FIGURAS

- Fig. 1. La constitución de la tierra, según A. Sieberg.
- Fig. 2. Diagrama demostrativo de la disposición del epicentro, hipocentro y curvas homosistas. , ángulo de emergencia de los rayos sísmicos.
- Fig. 3. Esquema de un sismógrafo horizontal.
- Fig. 4. Esquema de un sismómetro vertical astático de Wiechert. (Prov. de Córdoba)
- Fig. 5. Sismograma del terremoto de Sampacho, del 10 de Junio de 1934, registrado en el Observatorio de Villa Ortúzar (Buenos Aires).
- Fig. 6. Sismograma ideal, según Omori.
- Fig. 7. Diagrama que muestra el método de Mallet para la determinación de la profundidad del hipocentro.
- Fig. 8. Diagrama de la estructura geológica de Sampacho (Córdoba) y afectada por el terremoto del 10 de Junio de 1934.