

rremoto. Además, como el segundo reloj continúa su marcha después de la primera sacudida durante un espacio de tiempo suficientemente largo, verbigracia, una hora, la tira de papel sigue desenrollándose, dispuesta á anotar los trazos que uno ú otro lápiz deje en ella á cada nueva sacudida, si es que ocurren.

Réstanos describir los aparatos motores ó avisadores, y el modo cómo reciben y transmiten los movimientos seísmicos.

El encargado de la indicación de los movimientos verticales se compone de una hélice metálica, de alambre de latón por ejemplo, suspendida de la punta de un muelle. Esta hélice lleva en su extremo inferior un cono de cobre ó de platino cuya punta llega, pero sin tocarla (1); á la superficie de un baño de mercurio contenido en una pequeña cubeta de hierro. Apenas sobreviene una sacudida vertical, la superficie del mercurio y el punto de suspensión de la hélice se levantan ó bajan á la par, y la distancia de la punta del cono al mercurio subsistiría invariable, si el péndulo fuese rígido; mas como la elasticidad del muelle y de la hélice hace que ésta oscile, la punta de platino se pone en contacto con el metal líquido. Este contacto cierra el circuito de una pila que anima al electroimán correspondiente, y ocasiona los movimientos que antes hemos descrito al hablar del anotador del seismógrafo.

Para indicar y anotar las sacudidas horizontales, se hace uso de un sistema de cuatro tubos de vidrio encorbados en U, que contienen mercurio, y están situados con independencia unos de otros en los cuatro planos principales de orientación: Norte-Sur, Este-Oeste, Noroeste-Sudeste y Nordeste-Sudoeste. Cualquiera movimiento ondulatorio que ocurra en una ú otra de estas direcciones, producirá una oscilación del mercurio en el tubo correspondiente. En uno de los brazos verticales del tubo, un alambre de hierro penetra en el mercurio y en el otro está colocado el extremo de un alambre de platino á muy corta distancia de la superficie del líquido, de suerte que la más leve oscilación produce el contacto del mercurio y del platino. Este contacto cierra el circuito de la pila; la corriente atrae al electroimán que, como hemos visto, para uno de los relojes, pone en marcha al otro y hace trazar al lápiz negro el trazo que indica que ha habido una sacudida seísmica horizontal. Falta sólo marcar la dirección, lo cual se consigue con un mecanismo muy sencillo, análogo al del barómetro de cuadrante. En el mercurio del tubo hay un pequeño flotador de marfil, cuyo hilo de suspensión está enrollado en una polea en el centro de la cual va fija la aguja de un cuadrante. Un contrapeso más pesado que el flotador impide que la aguja vuelva al cero de la graduación del cuadrante cuando alguna sacudida la ha desviado de él. En vista de la amplitud del arco recorrido por la aguja se puede hasta cierto punto apreciar la amplitud ó la intensidad de la oscilación. La dirección de la ondulación no siempre tiene efecto en uno de los cuatro azimuts en que están situados los tubos del aparato; pero si es intermedia á dos de ellos, claro está que los afectará á uno y otro simultáneamente, aunque de una manera menos marcada. En este caso, las agujas de los dos cuadrantes se desviarán al mismo tiempo y se sabrá en qué ángulo ha ocurrido la ondulación.

El seismógrafo de Palmieri funciona desde 1856 en el Observatorio del Vesubio, donde anota las más leves trepidaciones del suelo del célebre volcán, con tanta frecuencia agitado. En la Universidad de Nápoles hay instalado otro seismógrafo. Aunque ambos aparatos están situados á tan corta distancia, no siempre dan las mismas indicacio-

(1) Para hacer constante esta reducida distancia (1 á 2 milímetros), el profesor Palmieri ha adoptado un sistema de compensación á propósito para anular los efectos de la temperatura, sistema discurrido por M. du Moncel para su regulador electro-solar.

nes, según se desprende de las siguientes líneas escritas por el ilustrado director del Observatorio del Vesubio.

“Las indicaciones del seismógrafo preceden en algunos días á las sacudidas remotas, y cuando éstas sobrevienen, casi siempre se queda tranquilo; habiendo sucedido muchas veces que se han propagado hasta Nápoles las sacudidas ocurridas en la Basilicata ó en Calabria, de modo que no tan sólo las marcara el seismógrafo de la Universidad sino que se sintieran en todas partes, sin que en el seismógrafo del Vesubio influyeran absolutamente nada. Muchas personas han creído que las grandes y numerosas cavidades subterráneas tenían la propiedad de debilitar las sacudidas, y se cuenta que Pozzuoli ha tomado su nombre de los muchos pozos que allí se abrieron en otro tiempo como preservativo de los terremotos; ¿acaso será esta la razón de que el Vesubio, tan sujeto á sufrir los efectos del fuego que encierra en su seno, es muy poco á propósito para transmitir las sacudidas procedentes de un centro remoto?,”

El señor Malvasia de Boloña ha ideado un seismógrafo avisador que anuncia las sacudidas con la caída de una bola metálica que penetra en un tubo y luego baja el gatillo de un arma de fuego ó bien detiene el movimiento de un péndulo. Esta bola está mantenida en equilibrio inestable, sobre la punta que lleva la cúspide de un casquete hemisférico de ocho canales, orientadas con arreglo á los puntos cardinales. Cuando ocurre una sacudida en el sentido de una de estas ocho direcciones, se rompe el equilibrio; la bola que estaba sujeta ligeramente por la punta de un cono suspendido sobre ella, se escapa, sigue la canal correspondiente y cae en un plano inclinado para ir á parar al punto más bajo en la abertura del tubo de que acabamos de hablar. Como se ve, hay cierta analogía entre este seismógrafo y el que habían inventado los chinos del siglo segundo.

Otro sabio italiano, el señor Mansini, ha inventado un avisador seismográfico, en el que también se marcan las sacudidas con la caída de una bola, pero sólo las verticales.

Describiremos por último el seismógrafo que funciona en el Observatorio meteorológico de Velletri y en otras muchas ciudades de Italia. Ha sido inventado por el distinguido director de este Observatorio, J. Galli. He aquí en pocas palabras el principio y el mecanismo de este seismógrafo.

Las sacudidas seísmicas verticales quedan marcadas en él por el intermedio de una hélice suspendida en un muelle y terminada en una pesa, como en el aparato Palmieri; las oscilaciones de la hélice se transmiten por una palanca articulada muy ligera á una delgada aguja, suspendida á su vez, por un cabello, del extremo de la palanca. Cuando una sacudida pone la aguja en movimiento, la punta de ésta traza en una hoja de papel dada de negro líneas blancas cuyas dimensiones son proporcionales á la amplitud de las oscilaciones ó á la intensidad de la conmoción.

Las ondulaciones en sentido horizontal comunican su movimiento á unas largas varillas verticales que pueden oscilar en todos los azimuts. Dos de estas varillas están fijadas en unas copitas de piedra dura que descansan en los remates de unas columnas puestas sobre una peana. Dos anillas metálicas de algún peso, sujetas á cada copita con tiras de latón, mantienen las varillas en posición vertical, mientras la peana que las soporta está en reposo; mas estas anillas hacen las veces de péndulos cónicos y oscilan tan luego como una sacudida les hace perder su equilibrio, siendo el plano de sus oscilaciones paralelo al del movimiento ondulatorio seísmico. Las dos varillas oscilan también y sus extremos trazan curvas semejantes á las que describe un punto cual-

quiera de cada anilla, pero amplificadas en razón de la longitud de cada varilla comparada con la distancia del plano de cada anilla á su punto de suspensión ó al remate de la columna que la sostiene. Falta ver cómo se anotan estos movimientos de oscilación.

Con este objeto, una de las varillas lleva en su extremo superior un marco muy ligero cubierto de una hoja de papel dada de negro de humo. El plano de este papel se mueve como la varilla, y quedan marcados en él los trazos hechos por un estilete fijo á una palanca sostenida por una columna metálica y cuya punta se pone á beneplácito en contacto con la hoja de papel. Las curvas trazadas por el estilete en el papel ennegrecido indican hasta los menores cambios de dirección y de intensidad de las corrientes seísmicas, viniendo á ser un testimonio de ellas trazado por un agente inconsciente, pero que no puede fallar. En la figura 178 reproducimos un testimonio de este género. Las curvas, por tan extraordinaria y complicada manera entrecruzadas, son las que trazó el seismógrafo en el Observatorio de Manila, á las 12 y 40 minutos del 18 de julio de 1880, durante los 70 segundos que se sintieron las sacudidas que tantos estragos causaron en la misma Manila en aquel nefasto día (1).

La segunda varilla vertical lleva un espejito convexo de plata bruñida, en el que se puede observar con un antejo el punto luminoso que refleja, punto que permanece en reposo mientras no ocurre ningún movimiento, pero que oscila tan luego como la más leve conmoción agita la varilla. Hay una tercera varilla, metálica y flexible, fija á la peana de mármol y que no oscila sino en virtud de la elasticidad de flexión, de suerte que su extremo permanece siempre rigurosamente en el plano de las ondas seísmicas, y por consiguiente, es más propia que las dos primeras para marcar la verdadera dirección de las sacudidas. Lleva asimismo un ligero cuadro ennegrecido, que sigue todos sus movimientos, y en el cual se apoya la punta flexible de un estilete fijo, el cual traza en la superficie del papel curvas que representan en todas sus fases los movimientos seísmicos en dirección y en intensidad.

En la peana del seismógrafo está instalado un reloj, cuyo péndulo lo detiene un brazo de palanca que actúa en el preciso momento en que comienza un terremoto, y de este modo se sabe la hora exacta en que ocurre el fenómeno. La caída de un cono metálico que descansa por su base menor en un disco horizontal es la que produce el movimiento del brazo de palanca en cuestión; además el cono cae en una anilla que lleva en su circunferencia las divisiones de la rosa de vientos, y queda descansando en la anilla en una dirección que es la misma de la sacudida seísmica, indicando así el punto del horizonte de donde llega la onda.

El seismómetro que acabamos de describir funciona perfectamente, según se asegura, y marca las más leves ondulaciones. Sus reducidas dimensiones, que permiten colocarle bajo un fanal de 60 á 70 centímetros de altura, al abrigo de los movimientos del aire, hacen muy cómodo su uso.

En estos últimos veinte años se dedican los observadores sobre todo á tomar nota de las más débiles trepidaciones del suelo, de las que, pasando desapercibidas del público á causa de su misma tenuidad y de que no producen ninguna perturbación aparente, ni accidente alguno sensible, han recibido el nombre de *microseísmicas*. Estas observaciones son más numerosas en Italia que en otra parte, por la sencilla razón de que el suelo de la península está agitado con más frecuencia. Tan sólo en el año 1873,

(1) El temblor de tierra que en aquella época asoló las islas Filipinas duró nada menos que siete días, desde la noche del 14 al 15 de julio hasta el 22. La sacudida más fuerte, que es la representada en nuestro diagrama, fué la del día 18.

el P. Bertelli ha hecho 5.500 observaciones "en péndulos suspendidos libremente y observados en muchos azimuts con microscopios fijos." Al comunicar M. Abbadie á la Academia de Ciencias los resultados de estas observaciones hechas en Florencia, recuerda las que él mismo emprendió anteriormente con el propio objeto, "por medio, dice, de una especie de péndulo óptico, es decir, de la reflexión de un punto fijo en una cubeta de mercurio situada á 10 metros más abajo. Reflejada desde allí un tanto fuera de la vertical, observábase la imagen de este punto en distancia y en azimut con un mi-

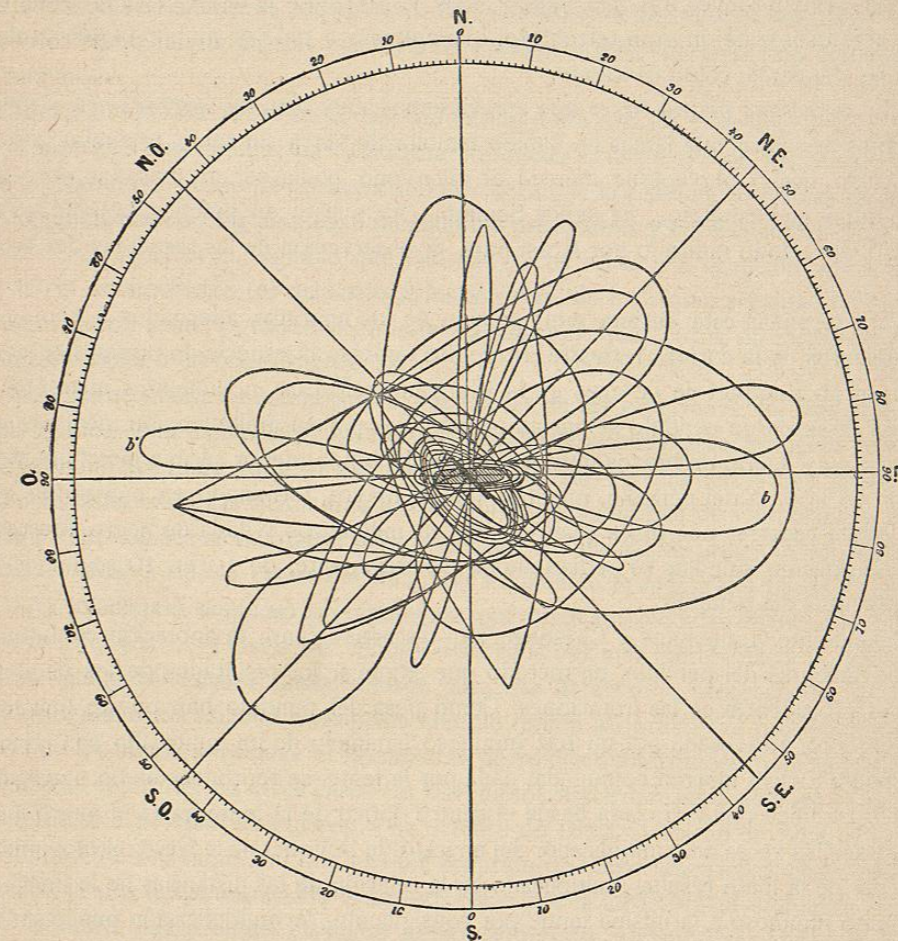


Fig. 178. — Curvas del seismógrafo del Observatorio de Manila, trazadas el 18 de julio de 1880, durante el terremoto de las islas Filipinas

croscopio provisto de un micrómetro." Este último método no está sujeto á las objeciones que se han hecho contra el uso de péndulos microseísmicos; pero lo que prueba que las observaciones del P. Bertelli no pueden atribuirse á la acción de las corrientes de aire ni de los movimientos térmicos, es su concordancia ó simultaneidad con las que por su parte hacían los señores Malvasia en Bolonia y Rossi en Roma. Este último observaba péndulos suspendidos en las grutas de Rocca di Papa en condiciones excepcionales de tranquilidad y estabilidad: el 14 de enero notó allí oscilaciones del péndulo tan fuertes que se percibían á la simple vista, y precisamente á la misma hora se observaban otras iguales en Florencia y en Bolonia.

Este mismo Rossi ha creído posible aplicar el micrófono á los estudios seísmicos.

“Todo el mundo conoce, dice, el ruido subterráneo (*rombo*) que acompaña y que á veces precede á los temblores de tierra: con mucha frecuencia se está oyendo este ruido sin notar ninguna sacudida; pues así como tenemos terremotos microscópicos, es muy fundado suponer que también haya ruidos microfónicos. Y en efecto, podría citar casos en que se ha observado este ruido microfónico en condiciones excepcionales. He hecho ya mención del efecto notado en Lima cuando el célebre terremoto de 1824, en ocasión en que hallándose Vidaura prisionero en una cueva silenciosa, pudo observar tres días seguidos leves fragores subterráneos. Estos ruidos le hicieron comprender que eran precursores de un gran terremoto, que anunció á todo el mundo y que produjo terribles desastres, como es sabido.

„El *micrófono* podría hacer que apreciásemos muy bien los *microrombi*, y quizás logremos descubrir que jamás ha habido temblor de tierra sin ruido preliminar, y que este ruido, hecho perceptible merced al micrófono, podía ser un avisador del terremoto antes que estallase.„ El señor Semmola ha puesto en práctica, aunque sin resultado, el método indicado por Rossi para la observación de las sacudidas del Vesubio (1).

Para terminar esta sucinta enumeración de los aparatos adecuados á anotar los movimientos de la corteza terrestre, citaremos también la especie de mecanismo adoptado por M. Bouquet de la Grye en la isla Campbell. Los movimientos aparentes de la pesa de un largo péndulo se hacían perceptibles por su multiplicación mediante una palanca muy ligera, de brazos muy desiguales. El brazo menor recibía directamente la acción de la pesa del péndulo, mientras que el mayor, terminado en una punta muy fina, podía recorrer una placa cuadrículada en milímetros y dada de negro. Merced á otro mecanismo singular se podían anotar eléctricamente, de 10 en 10 segundos, los movimientos del péndulo.

Finalmente, Lallemand y Chesneau han discurrido, para la anotación continua de los movimientos del péndulo, un método que exime á los resultados de los pequeños errores procedentes de las frotaciones. Como pesa del péndulo han puesto una lente convergente, atravesada por un haz luminoso emanado de un punto fijo con relación al péndulo y cuya imagen conjugada, dada por la lente, se reproduce en un papel fotográfico. La línea recta, trazada desde el centro óptico de la lente hasta el punto luminoso, hace las veces del multiplicador del aparato de Bouquet de la Grye; el movimiento aparente de la lente resulta multiplicado en la relación de las distancias de la imagen y del punto luminoso á la misma lente; por consiguiente, la multiplicación puede ser tan grande como se quiera. Dichos ingenieros han estudiado la realización práctica de este método y la instalación en pozos de mina de largos péndulos basados en este principio, y como el aparato anotador así como el foco luminoso se colocan fuera del pozo, se evita toda molestia á la vez que todo riesgo en el manejo de los aparatos.

(1) Posteriormente, las observaciones de Rossi en el Lacio, de Palmieri en el Vesubio y de Malvasia en Bolonia han conseguido patentizar los ruidos microfónicos que acompañan á las más leves oscilaciones del suelo. “Tan pronto son estremecimientos (*fremeti*) como explosiones (*scoppi*). Estas resuenan aisladas unas veces, y otras tan seguidas como fuego graneado. A veces los ruidos son de un sonido metálico como el de las campanas; otras profundos y casi ahogados (*cupi*). Se ha observado además que el seismógrafo marcaba sacudidas irregulares cuando los ruidos parecían descargas de fusilería, al paso que indicaba sacudidas ondulatorias cuando había estremecimientos. Por lo demás, estos ruidos y estas sacudidas microscópicas son más frecuentes y tienen una extensión perimétrica mucho mayor en los días que preceden á las grandes sacudidas, hasta el punto de que, algunas horas antes de éstas, parecen ligeros terremotos.„ (*Estudio sobre los temblores de tierra*, por el profesor Cordenons, de Padua.)

VII

LEYES DE LOS TERREMOTOS: SUS RELACIONES CON LOS FENÓMENOS CÓSMICOS, METEOROLÓGICOS, ETC.

¿Cuál ó cuáles son las causas de los terremotos? Antes de exponer las hipótesis que se han hecho acerca de este asunto, conviene dilucidar si entre los fenómenos seísmicos y los demás fenómenos naturales median relaciones constantes, si hay leyes de las cuales se pueda inferir alguna conexión de causa á efecto y deducir una teoría de los terremotos.

Como se trata de manifestaciones que parten de la corteza terrestre, lo propio que los fenómenos eruptivos, se ha debido naturalmente considerar que los temblores de tierra dimanen de la misma causa física ó mecánica que la actividad volcánica de la cual son los obligados acompañantes, á menudo los precursores y á veces los efectos. Y en realidad, ya dejamos consignado que las más de las veces una erupción volcánica va precedida de sacudimientos del suelo en las cercanías de los cráteres y que la explosión misma se suele sentir á grandes distancias del punto en que ocurre, en forma de vibraciones del suelo ó de ondas marítimas.

A veces se notan las conmociones precursoras de las erupciones volcánicas mucho tiempo antes de la explosión, y así sucedió cuando la primera gran erupción histórica del Vesubio, en el año 79 de nuestra era. Hemos visto ya que diez y seis años antes, unas violentas sacudidas arruinaron las ciudades circunvecinas de Herculano y Pompeya, y que después se mitigaron para comenzar de nuevo, al principio débiles, pero terribles la víspera de la catástrofe final. La formidable erupción del 16 de diciembre de 1631 se anunció también, primeramente por algunas sacudidas leves en las inmediaciones del volcán, y luego por conmociones cada vez más fuertes hasta la noche del 16. Las sacudidas duraron hasta la tarde para irse debilitando progresivamente hasta el mes de marzo de 1632. La erupción que dió origen al Jorullo fué precedida de tres meses de sacudidas continuas acompañadas de ruidos subterráneos parecidos á truenos. Por el contrario, en otros casos los terremotos aguardan para estallar el instante mismo de la explosión. Cuando en 8 de octubre de 1822, el volcán de Java, el Gelungung, salió de su letargo con una terrible erupción de barro y agua hirviendo, ninguna sacudida previa había anunciado el suceso; “mas por la tarde, en el momento en que salió del cráter una columna de humo negro, sintiéronse violentas sacudidas al mismo tiempo que un estampido subterráneo, nacido en el volcán. Las oscilaciones del suelo eran tan fuertes, que muchos habitantes cayeron derribados confusamente. Cuando la erupción cesó de pronto al rayar el día, los temblores de tierra cesaron también, siguiendo un período de reposo que duró cuatro días, hasta el momento en que en la tarde del 12 de octubre empezó de nuevo la erupción acompañada de formidables oscilaciones.„ Por último, otras veces el terremoto es posterior á la erupción volcánica, como sucedió en el Japón en 1822. El volcán Sheramino, que entró en erupción el 8 de agosto, no ejerció reacción alguna hasta el 18, ó sea diez días después, en el suelo de las comarcas vecinas, puesto que entonces se sintió una fuerte sacudida seísmica en Yokohama y en Tokio. Fácil nos sería multiplicar estos ejemplos.

Por lo demás, no puede caber duda alguna sobre la razón de estas concordancias entre la actividad volcánica y los terremotos. La misma causa que ocasiona la erupción en un momento dado, es decir, la salida violenta de las materias, lavas, barro,