

---

## II

### SEISMOGRAFOS

---

En el presente capítulo vamos a describir cada uno de los seismógrafos instalados en la Estación Seismológica Central y en las que componen la Red, con objeto de dar a conocer esta clase de instrumentos, su funcionamiento y algunas leyes que los rigen.

Para esto vamos a tomar los datos que vienen en los catálogos de los constructores, algunas teorías simplificadas de los autores y las observaciones que de ellos se han hecho por quienes los conocen y manejan.

Los seismógrafos se construyen para probar que un punto o masa de nuestra tierra se mueve en cualquiera dirección por poco tiempo o continuamente. Así, pues, se llama *seismógrafo* al instrumento que nos da una representación gráfica del temblor de tierra. No nos ocuparemos en estos momentos de las causas de los movimientos, sino de la manera como se registran. Esto sería muy fácil, si pudiéramos fijar un punto en el espacio, independiente de la tierra, enfrente del primer punto. Los movimientos del primer punto o de la primera masa se podrían fijar entonces por medio de medidas, observaciones o registros. Pero como no es posible encontrar una masa inmóvil en el espacio que circunda a la tierra, se establece este punto o masa artificialmente, con cierta clase de instrumentos, es decir, con los péndulos horizontales, verticales y astáticos, colgando un peso de manera que quede tan independiente de la tierra, cuanto sea posible. Sin rozamiento no se puede suspender ningún peso; por esto recibirá cada peso suspendido los movimientos del suelo por la unión de éste con el apoyo del péndulo y hará simultáneamente con éstos sus movimientos oscilatorios. Los péndulos registradores ópticos, registran sin rozamiento; los de registro mecánico carecen de esta ventaja y hay que tener en cuenta los puntos de rozamiento, por pequeños e insignificantes que nos parezcan.

El seismógrafo moderno es un aparato de precisión, y por consiguiente, antes de utilizarlo, debe hacerse un estudio previo de sus constantes características.

El Sr. Manuel Navarro Neumann, al hablar de los seismógrafos horizontales, dice lo siguiente: «Cualquiera que sea el tipo a que pertenezca uno de estos seismógrafos, podemos considerarlo, siguiendo el dictamen Wiechert, como un péndulo ordinario o vertical, de cuya masa saliese hacia abajo una varilla capaz de señalar trazos sobre una banda de papel, arrastrada por un motor de relojería. Si llamamos  $L$  a la longitud del péndulo, o sea a la distancia que media entre su punto de suspensión y el centro de gravedad de la masa  $M$ ,  $J$  a la longitud total del aparato, o

sea a la distancia que media entre el punto de suspensión S y el extremo inscriptor del sismógrafo, cualquiera que sea su disposición,  $T_0$  al período pendular y A al aumento, tendremos que:

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

y aproximadamente, en el sistema métrico, por diferenciarse poco  $\pi$  y  $\sqrt{g}$ :

$$T_0 = 2 \sqrt{\frac{L}{g}} \quad A = \frac{J}{L}, \quad L = \left(\frac{T_0}{2}\right)^2$$

La sensibilidad de un péndulo se expresa en función del número de milímetros y fracciones de milímetro que mide en el gráfico (diagrama) una desviación de la masa equivalente a  $1''$ , y como el arco de un segundo vale  $\frac{1}{206,265}$  de radiante, tendremos que a cada milímetro de desviación corresponden unos 206 metros de longitud pendular equivalente. Así, una desviación de  $10^{\text{mm}}$ . por  $1''$  en el gráfico de un sismógrafo, cuyo período  $T_0$  fuese de 10 segundos, y L, por tanto,

$$\text{de 25 metros} = \left(\frac{10}{2}\right)^2$$

nos dará de longitud total:  $J = 206 \times 10 = 2,060$  metros, y tendrá por aumento inicial

$$A = \frac{2060}{25} = 82 \text{ veces, próximamente.}$$

Estas cifras, en unión de otras, de las que nos ocuparemos en su lugar, suelen denominarse CONSTANTES.

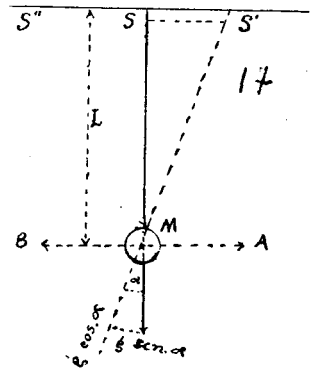
En el péndulo, al producirse un movimiento del suelo, y por consiguiente, de la suspensión, aparato multiplicador, receptor, etc., la masa, en virtud de su considerable inercia, ha de permanecer inmóvil, por lo que se le da el nombre de *masa estacionaria*, pero esto sólo acaece con movimientos muy rápidos o lentos y de pequeña amplitud y marcado disincronismo con el período pendular, de no existir circunstancias especiales. De lo contrario, los rozamientos inevitables en sus conexiones con la banda receptora, y aun sólo los inherentes a la suspensión, le hacen oscilar con su propio período, a semejanza de una plomada o de la péndola de un reloj, y esta oscilación que transforma una simple desviación de la vertical en un senoide, con decremento de ordinario bastante pequeño, de estar el instrumento bien construido, basta para viciar los gráficos, que suelen presentar máximos y mínimos, debidos, en gran parte, y a veces todos, a la concurrencia de impulsos de la masa, puesta en movimiento y del suelo.

De ser éste rítmico, la ecuación representativa de estos movimientos combinados, sería:  $y = \text{sen. } x + \text{sen. } nx$ .

El principio de la masa estacionaria nos lo hará ver el adjunto esquema, en el cual tenemos una masa M suspendida de un punto S a una distancia L. Si el punto S se traslada a S' con gran rapidez, y lo mismo a S'', después de haber pasado por su antigua posición o de reposo S, la masa M, en virtud de su inercia, no habrá tenido tiempo de moverse hacia S atraída por la acción de la gravedad,

con la fuerza  $M$ . sen.  $\alpha$ , cuando el movimiento se verifica hacia  $S''$ , actuando entonces dicha fuerza en sentido contrario. Esto, como dejamos apuntado, es excepcional, y lo demuestra también la práctica diaria en muchas estaciones sismológicas, y más palpablemente aún las clásicas experiencias del Príncipe Galitzin.

Figurémonos un péndulo dispuesto de tal manera, que no pueda oscilar más que en un plano, como un péndulo de reloj, y que inscribe sus movimientos sobre un cilindro receptor con su motor de relojería situado, como el péndulo, con su suspensión, sobre una plataforma únicamente movable en sentido horizontal, y en el plano de oscilación antedicho, gracias a un mecanismo especial, y que del techo del recinto donde se verifiquen las experiencias, penda una varilla rígida, perfectamente sujeta al mismo, de manera que se pueda suponer inmóvil, y que esté provista del mecanismo conveniente para inscribir sobre el mismo receptor que el péndulo, con la separación conveniente, para evitar los choques.



Si movemos la plataforma, rítmicamente o no, mientras gira el cilindro provisto de su banda receptora, es indudable que el gráfico que trace el extremo inscriptor de la varilla rígida sujeta al techo, será la exacta representación del movimiento de la plataforma, a la manera que lo sería de los de nuestra mano izquierda el gráfico trazado por un lápiz, tenido inmóvil por la mano derecha y apoyado convenientemente sobre un papel blanco, si moviésemos éste con la dicha mano izquierda. En cambio, el gráfico inscrito por el péndulo será, digámoslo así, la *traducción* más o menos fiel de los verdaderos movimientos de la plataforma.

Las siguientes curvas, reproducidas de la magistral Memoria del Príncipe Galitzin, de que nos ocupamos (*Zur Methodik der seismometrischen Beobachtungen*), nos ahorrará la discusión. En ellas la curva interna es fiel trazado del movimiento impreso a la plataforma movable, puesto que es el del estilete inscriptor sujeto a la varilla pendiente del techo; la otra es la inscrita por el péndulo en las condiciones indicadas. Las correspondientes a las dos primeras series de curvas están obtenidas con el péndulo libre; las de la restante, hallándose éste provisto de un mecanismo adecuado que le impida entrar en franca oscilación, esto es, de un *amortiguador* que obligue a su masa a que realmente actúe de estacionaria. Si el péndulo carece del amortiguamiento conveniente, vemos que cuando el desincronismo entre el período propio del movimiento y el del péndulo es considerable, su gráfico guarda cierto parecido con la realidad, aquí representada fielmente por el gráfico de la varilla fija; que cuando uno de los dichos períodos es factor del otro o se le parece, presenta el sismograma máximos periódicos que no existen, efecto de la resonancia, a la vez que resulta falseado el período del movimiento; y por último, que traza más bien una caricatura de éste, que no una copia fiel, cuando se trata de sacudidas irregulares. Este es el único caso en el cual también falla un péndulo convenientemente amortiguado, aunque mucho menos, como lo demuestra claramente el gráfico correspondiente. En los demás se nota la perfecta semejanza de ambas curvas, sin más diferencia esencial que la debida al retraso de la trazada por el péndulo, retraso, por otra parte, calculable con gran exactitud, y del cual se tiene cuenta en los estudios un poco delicados.

Ese amortiguamiento o apagamiento se obtiene utilizando la resistencia del

aire dentro de un espacio cerrado, o la de un líquido viscoso o, finalmente, la de un campo magnético.

El gráfico puede trazarse o sobre papel blanco empleando tinta de anilina y unas plumas más o menos análogas a las de los meteorógrafos Richard, o también sobre papel blanco, pero recubierto de una tenue capa de negro de humo, la que *arranca* a su paso, dejando un surco blanco sobre fondo negro un estilete apropiado. Como a la banda, ya en forma de *anillo sin fin*, ya simplemente sujeta y arrollada sobre la generatriz de un cilindro que gira, la hace avanzar de continuo un mecanismo de relojería, el trazo (de color o blanco) resultará una línea recta, si nada agítase al sismógrafo, y en el caso contrario dará una representación gráfica más o menos fiel del movimiento. De ordinario el cilindro avanza al mismo tiempo que gira, resultando helizoidal el trazado, con lo que se ahorran muchas bandas, siendo esto común a los sismogramas o gráficos obtenidos, tanto con los péndulos antedichos o de *registro mecánico*, como los de *registro magneto-fotográfico* y puramente *fotográfico*.

El registro mecánico exige masas considerables, capaces de dominar con su inercia los muy notables rozamientos que se originan tanto en las conexiones de la masa con su suspensión y el mecanismo multiplicador-inscriptor, como entre el estilete o la pluma y la banda receptora, muy superior a los demás en instrumentos bien contruidos. (Esto se comprueba haciendo oscilar libremente a un péndulo sin amortiguador y con la pluma o estilete levantado, o por el contrario, descansando sobre la banda receptora; a igualdad de desviaciones iniciales, se parará mucho antes en el segundo caso).

Las masas de estos péndulos son muy de ordinario de 1,000 y aun más kilogramos, y suelen exceder de 100 en los modelos siquiera medianos, por lo que se les llama *pesados*, por contraposición a los fotográficos o *ligeros*, cuyas masas rara vez pasan de algún kilogramo. Las de los magneto-fotográficos son de 7 a 14 kilogramos.

Salvo rarísimas excepciones, los sismógrafos han de registrar terremotos las más de las veces insensibles en la localidad donde se hallan instalados y de los sensibles sólo los débiles y medianos, esto es, movimientos cuya amplitud verdadera por excepción llegue a un milímetro y con gran frecuencia no pasa de alguna  $\mu$  o fracción de ésta y cuyos períodos oscilen entre algunas décimas de segundo y un minuto o algo más. Importa, pues, que no sólo el receptor mueva la banda con la velocidad indicada antes, con objeto de que se puedan separar bien unas ondas de otras, y apreciar sus períodos, así como el tiempo, o momento preciso en el cual se inscribieron, sino que también sea el aumento suficiente para que la representación gráfica de las dichas ondas resulte claramente visible, y, a ser posible, también mensurable.

En todos los péndulos, aumento y período dependen de varios factores, como lo son dimensiones, disposiciones de las piezas, esmero mayor o menor en la construcción, etc., y en los de inscripción mecánica, en particular del peso de la masa.

En todo péndulo es indispensable que la fuerza con la masa desviada de su posición de reposo tiende a volver a la misma, sea suficiente para vencer la resistencia que le oponen los rozamientos, esto es:  $M \sin. \alpha > r$ , fórmula que se trans-

formaría en:  $M \text{ sen. } a + f(\varphi) > r$ , en el caso en que con resortes apropiados se auxilie o modifique, más o menos, la acción de la gravedad. De no verificarse, la masa se quedará en cualquier punto en el que se le deje, y el péndulo resultará *labil*, defecto gravísimo que importa evitar a todo trance, pues bastaría para inutilizar al sismógrafo, de no ser la dicha cualidad efecto de un amortiguamiento llevado hasta los límites de la aperiodicidad, pues en ese caso pudiera resultar ventajosa.

La fuerza de restitución en los péndulos de inscripción mecánica, se halla en razón directa del peso de la masa e inversa de la longitud del péndulo simple que tuviese el mismo período, y del cuadrado del aumento. Si este último lo expresamos en veces, la masa en gramos y la longitud pendular en centímetros, la siguiente fórmula dará en *ergs* la fuerza de restitución.

$$F_r = \frac{Mg}{A^2 L}$$

La ventaja principal del registro mecánico sobre papel ennegrecido estriba en la extrema finura de los trazos cuyo grosor puede reducirse a un par de centésimas de milímetro fácilmente, resultando todavía bien aparentes si las bandas se prepararon con esmero y estilete inscriptor, se apoya lo suficiente (medio miligramo de presión basta con creces). Esa tenuidad permite separar las ondas muy rápidas unas de otras, con velocidades relativamente moderadas en el receptor y también clisés fotográficos capaces de soportar útilmente ampliaciones muy considerables. Además, resulta muy económico, pero tiene en su pasivo el ahumado y fijado ulterior de las bandas con un barniz apropiado, operaciones un tanto entretenidas y no muy pulcras.

El péndulo horizontal fué inventado en 1820 por Hengler.

*Componente Vertical.*— Forman parte de las *componentes verticales*, nombre que se les da a los sismógrafos dispuestos para su estudio, uno o más muelles a los que tiende una masa, la cual actúa no sólo cuando la tierra se agita, que es precisamente lo que se pretende registrar, sino también según los cambios que sufran el muelle o los muelles en función de las variaciones térmicas. A este grave defecto ha tratado de remediar el inventor del último *invar*, Dr. C. E. Guillaume, con otra aleación a la que llama N S P, cuya elasticidad apenas varía con cambios muy notables de temperatura.

Si suspendemos la masa del muelle directamente y llamamos E a la elongación o estiramiento que experimenta el tal muelle, tendremos:

$$T_0 = 2 \pi \sqrt{\frac{E}{g}} = 2 \sqrt{E}$$

lo que indica haría falta un estiramiento enorme para obtener un período razonable, dado que uno, más bien pequeño, como lo es 6 segundos, exige 9, dado que

$$6 = 2 \sqrt{9}$$

y no es necesario perder el tiempo en demostrar los gravísimos inconvenientes, ya que no la imposibilidad de manejar tan disformes aparatos.

Valiéndose de artificios apropiados, como lo son muelles de acción antagonista, masas más pequeñas que la verdadera y situadas muy por encima del centro de

gravidad de ésta, mientras que la suspensión de la misma se hace bastante por abajo del dicho centro, etc., se consigue elevar bastante el período, aunque sea muy difícil pasar de los 13 segundos de las de Galitzin, que son las que hoy lo tienen más largo. Como el estiramiento del muelle helizoidal de estos magníficos instrumentos, de irreprochable construcción, es de unos 36 centímetros, y el período antes indicado equivale a unos 42 metros, el valor del *astasiado* resulta de  $\frac{42}{0.36} = 117$  veces. Uno de 5 a 8 y aun 10 veces, lo hemos conseguido fácilmente con un modelo muy pequeño (Sismographe Cartuja a composante verticale, modele de demonstration, Cosmos, 5 Dic. 1912, p. 635-636, fig. 1) y de construcción poco cuidada, esto es, en condiciones más bien desfavorables.

La mayor parte de las componentes verticales se hallan integradas por uno o más muelles helizoidales. En éstos la elasticidad puesta en juego es casi exclusivamente la de torsión, expresándose el estirado  $E$  del muelle bajo la acción de la masa  $M$  por la fórmula:

$$E = \frac{2LR^2M}{\pi r^4G}$$

en el cual  $G$  expresa el coeficiente de rigidez, (módulo de resbalamiento, 2º módulo de Young o  $E_2$ ,  $\mu$  en la notación de Lamé, coeficiente igual a  $\frac{32\gamma}{\pi}$  ( $\gamma$  o sea el coeficiente de torsión o de Coulomb),  $L$  la longitud total del resorte,  $R$  el radio del cilindro formado por las espiras de la hélice y  $r$  el del alambre que las forma.

Digamos aquí de paso que del valor del estirado de un muelle, expresado por la fórmula anterior, se puede deducir el valor de  $E_1$  o  $E$ , primer módulo de Young, o simplemente módulo de Young del muelle ensayado en función de su módulo de contracción transversal,  $\delta$  o coeficiente de Poisson, dado que:  $E = 2 E_2 (1 + \delta)$ ,  $E_2 = G$  (calculado en kilogramos por milímetro cuadrado y multiplicado por  $9,8 \times 10^7$ , para reducirlo al sistema C G S) y que el valor de  $\delta$  crece en los metales con el templado y el paso por el laminador o por la hilera, y vale en los mismos 0,3 aproximadamente (de 0,25 a 0,40).

Los muelles de acero Krupp empleados en las componentes verticales Wiechert, pesan 8 kilogramos cada uno, y el grosor del alambre es de 14 milímetros, lo que, con una densidad de unos 8,0, nos da:

$$L = \frac{8000 \times 10}{\pi \times 0,49 \times 8} = 6500 \text{ milímetros.}$$

De estos descontaremos 200 por los ganchos terminales, que no participan de la torsión, y nos quedará  $L' = 6300$  y con esta,  $E = 360$ ,  $R = 100$ ,  $M = 180$  kilogramos, tendremos:

$$G = \frac{6300 \times 2 \times 100^2 \times 160}{\pi 7^4 \times 360} = 7500, E_2 = 7,4 \times 10^{11}, \gamma = 7,3 \times 10^{10}$$

y con  $\delta = 0,3$ ,  $E_1 = 1,92 \times 10^{11}$  C G S, cifra comprendida entre los 18 y los . . . .  $20,4 \times 10^{11}$  asignados también al acero por Amagat y Everett, y con mayor razón entre los 17,5 y  $20,7 \times 10^{11}$  deducidos por el Profesor Oddone con su esclerómetro.

Las desviaciones de origen técnico de la línea de reposo en los gráficos de las componentes verticales se expresan por la fórmula  $D = AC \left[ \left( \frac{T}{2\pi} \right) \frac{2}{g} \right]$ , en la cual  $C$  es el coeficiente técnico de elasticidad del muelle utilizado y  $A$  el aumento, fórmula que resulta, simplificando:  $D = JC$ , siendo  $J$  la longitud total del péndulo equivalente, habida razón del susodicho aumento.

La variación de  $1^\circ$  en el componente vertical Wiechert de 1,300 kilogramos con siete segundos de período y 160 veces de aumento, si careciese de la compensación adecuada, produciría una desviación de 70 centímetros en el gráfico, según este sabio sismólogo (Das Institut f. Geophysic. . . . , 176.) y como el alargamiento de cada uno de los 8 muelles que sostienen la masa es de 36 centímetros, resulta como coeficiente térmico de los mismos  $3,5 \times 10^2$  centímetros, esto es, que un grado centígrado de aumento o disminución en la temperatura de los muelles equivale a un aumento o disminución de 156 gramos en el peso de la masa.

Se ha tratado de corregir este grave defecto de los muelles por medio de compensaciones bi-metálicas (hierro y zinc en los Wiechert) dispuestas exactamente al revés que las varillas de acero y latón de las péndolas de algunos relojes, puesto que el fin de éstas es el de mantener igual, a ser posible, la longitud pendular, cualquiera que sea la temperatura reinante, y las rejillas compensadoras de las componentes verticales deberían alargarse o acortarse en iguales proporciones, pero en sentido inverso de los muelles, para que la altura del centro de gravedad de la masa permanezca invariable y no se presenten más desviaciones que las producidas por los movimientos del suelo. Fuerza es confesar que esto sólo se consigue muy imperfectamente, lo que obliga a colocar estos instrumentos en locales subterráneos o semi-subterráneos, donde los cambios de temperatura apenas llegan a  $0,1^\circ$  al día, de no tratarse de alguno muy poco sensible, como lo es la componente vertical Vicentini, con la cual, cambios de temperatura bastante mayores, aun de algunos grados, resultan tolerables.

En este instrumento (G. Vicentini e G. Pacher, Microsismógrafo per la componente verticale, B. d. S. S. It., V. 33-58, l. II. fig. 6.) la elasticidad puesta en juego es la de flexión, y consta de una lámina de acero muy elástica (muelle para wagones) de  $1\frac{1}{2}$  metros de largo por 7, 5 centímetros de anchura, y espesor decreciente de 1,0 a 0,7 centímetros; sin carga este muelle presenta una fuerte concavidad hacia arriba y se halla sujeta por su extremidad más delgada, y gracias a una robusta pieza de hierro, al mismo pilar donde pende el microsismógrafo del mismo autor. En la otra extremidad se enfile una pesa cilíndrica de plomo de unos 50 kilogramos, bajo cuya acción debe quedar horizontal la superficie superior del muelle. Dos palancas, una de ellas acodada y vertical, simplemente multiplicadora, y otra horizontal, a la vez multiplicadora-inscriptora, completan esta componente vertical que inscribe sus gráficos sobre la misma banda que lo hacen las componentes horizontales. Su período completo oscila entre 0,8 y 1,3 segundos, y su aumento varía entre 80 y 200, careciendo de amortiguador y resultando muy poco sensible, no sólo por la pequeñez de su período, sino también por otros defectos, algunos de los cuales nos parecen fáciles de corregir.

Mucho más potentes son las componentes verticales Wiechert, tanto gran modelo ya citado, como pequeño modelo, con masa de 80 kilogramos, aunque todavía estén muy lejos de constituir un *desideratum*. Sobre todo, por su exajerada y nociva sensibilidad térmica.»

### **Seismografos horizontales Astáticos Wiechert de 125 y 200 kilogramos**

En sus elementos el instrumento es parecido al llamado seismógrafo astático del Profesor Wiechert, con excepción de que la masa estacionaria es más pequeña, pesando de 80 a 200 kilogramos. Por consecuencia, la sensibilidad se reduce en

proporción. En lo demás es equivalente al gran instrumento en todas sus relaciones; como en la de estar provisto de amortiguador de aire.

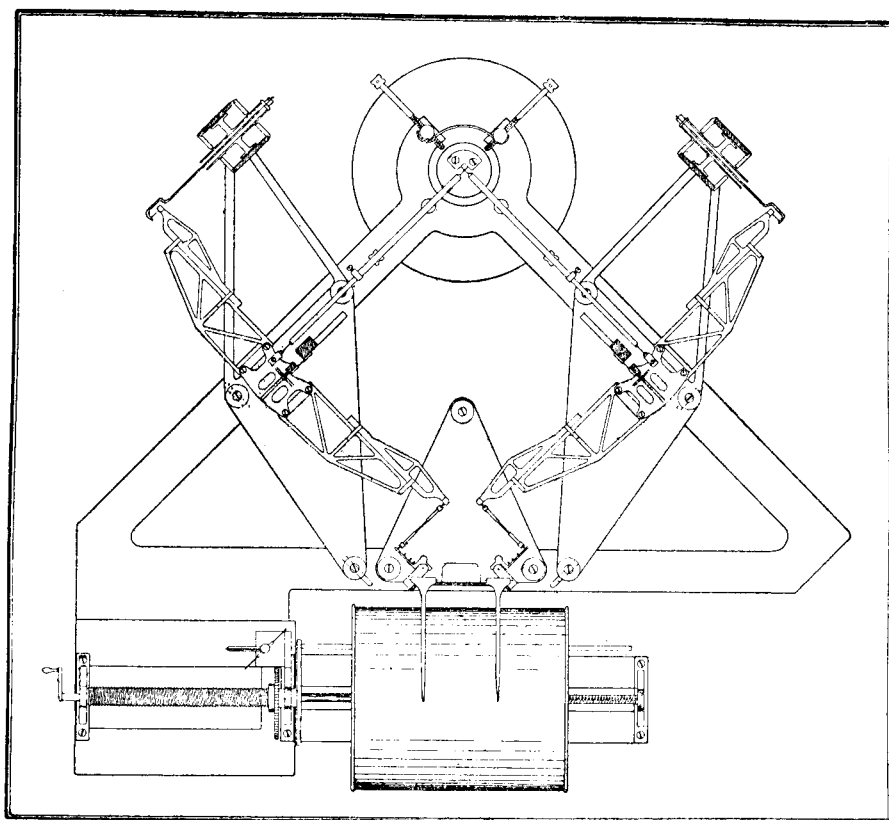
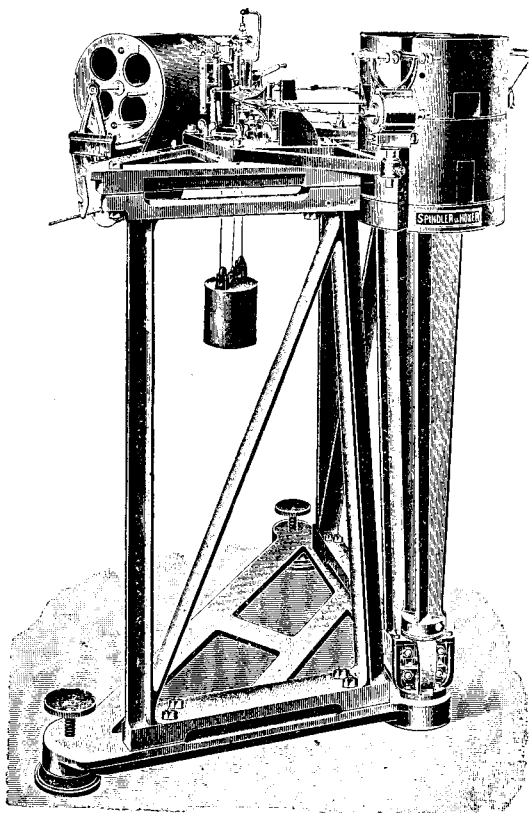
Se puede arreglar la amplificación  $V$ , de 40 a 160 veces, el período de oscilación  $T$ , de 4 a 12 segundos, la sensibilidad  $E$ , de 1 a 15 mm. por segundo de arco. El amortiguamiento es susceptible de ser puesto fuera de trabajo y es regularizable, permitiendo ser aumentado hasta la completa aperiodicidad. La fricción de las suspensiones es mínima; en el estilete se puede reducir la presión a  $\frac{1}{2}$  o 1 milígramo, por medio de un contrapeso que tiene en la parte de atrás y que corre en una fina varilla con tornillo. El estilete es de aluminio con un eje de acero que trabaja en dos chumaceras de ágata. El tiempo lo marcan los estiletes mismos por medio de resortes que se desplazan lateralmente por medio de un electro-imán.

La masa estacionaria representa un seismógrafo invertido, del cual el punto de apoyo está situado sobre el armazón y formado por un sistema de resortes de Cardán. La masa del seismógrafo se encuentra con su centro de gravedad a un metro arriba del punto de rotación, donde es retenida por las dos palancas de propulsión, de las cuales una se encuentra en dirección Norte-Sur y la otra en la dirección Este-Oeste. Las palancas o varillas de propulsión tienen la longitud suficiente (como de 25 cm.) para que sea fácil arreglar el aparato con una independencia relativa de las componentes. Cada una de las palancas de propulsión hace accionar un brazo de palanca bilateral, de aluminio, cuyo eje de rotación se ha puesto en posesión vertical. De un lado del brazo de palanca se conecta el amortiguador de aire, y del otro una punta de acero, contra la cual se apoya una pequeña palanca de impulso que hace mover la palanca inscriptora. El amortiguamiento de aire se obtiene por un pistón que se mueve en un cilindro, con un intervalo corto. Con el fin de poder regularizar el amortiguamiento, las dos cámaras de los dos lados del cilindro están unidas por una válvula ajustable. Para quitar el amortiguamiento se abren las dos cámaras, haciendo girar una placa que tiene en la parte baja. El amortiguamiento está dispuesto de tal manera, que únicamente el miembro de amortiguamiento lineal, y no el miembro cuadrático, tiene importancia en la ecuación de oscilación. La primera palanca de aluminio da un desarrollo al décuplo. Al variar en la palanca inscriptora la distancia entre la punta de la varilla de impulsión y el eje, se tiene la facilidad de variar la amplificación en los límites dados.

Todas las medidas se han tomado a fin de poder hacer todos los ajustes con la mayor facilidad; además, se ha tenido el cuidado de disponer el mecanismo inscriptor de tal manera, que los choques aun muy fuertes no puedan desarreglarlo. Según los ensayos hechos en los talleres de la casa constructora, con temblores artificiales, se ha llegado a la conclusión de que el aparato soportará aún choques de la intensidad VIII de la Escala de Rossi-Forel, sin que el registro sufra el menor desarreglo.

Los estiletes de las dos componentes hacen su trazo sobre una banda de papel que tiene una longitud normal de 90 centímetros y una anchura de 22. Se une con pegamento la banda de papel para formar un anillo, y después de haberla ennegrecido por fuera con hollín, se le coloca sobre el tambor que tiene un diámetro de 20 centímetros y se le da tensión por la parte baja por medio de un rodillo de aluminio o cartón, que tiene atravesada en su centro una varilla de latón, para servir de guía. Como rapidez en el registro normal se le ha dado al tambor una velocidad de 10 mm. por minuto, pero se puede sin dificultad darle una de 15 mm., que es muy conveniente. La banda de papel también puede tener, si se desea, doble longitud. El aparato está cubierto por una caseta de madera, cuya parte superior,





Seismógrafo Wiechert horizontal de 125 kilogramos de masa.

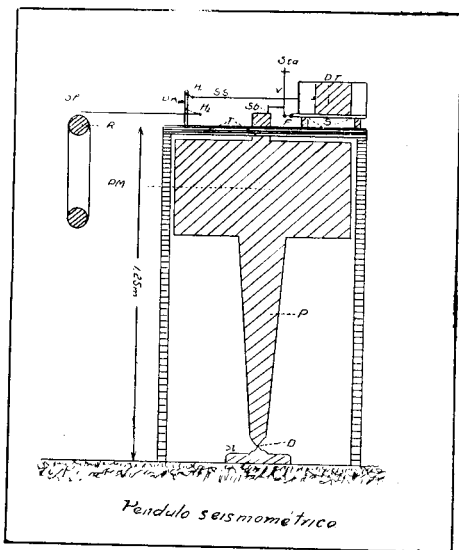
provista de cristales, se levanta para operar. Como todas las piezas están construídas por modelo, se pueden substituir en caso de ruptura.

El instrumento se monta en la superficie del suelo. Pero si éste es blando, es necesario construir un pilar o poste de betón de  $115 \times 115$  cm. y cuando menos de 50 cm. de altura, y cuya superficie estará a nivel. Como precaución para evitar algunos movimientos, es bueno aislar el poste alrededor por medio de una ranura de 3 o 4 cm.

En estos aparatos se puede variar el peso de la masa estacionaria, disminuyendo el número de platillos o de los pesos laterales adicionales, teniendo así aparatos de 80, 125 y 200 kilogramos.

### Seismógrafo horizontal de Wiechert de 1,200 kilogramos

Un tipo de seismógrafo, completamente diferente a los de otros autores, es el péndulo invertido del Dr. Wiechert, cuya sección nos presenta la figura adjunta.



La masa estacionaria P M, está compuesta de pesos adicionales en forma de sector, que se montan sobre un trompo; la masa es de hierro fundido y tiene un peso de 1,200 kilogramos. Esta masa tiene su punto de rotación en D, y está formado por una suspensión de resortes a la Cardán. Una porción del péndulo, en forma de eje, se proyecta sobre la mesa T, y la masa se conserva aproximadamente en equilibrio por medio de la varilla S b, de la varilla equilibrante S t a, y por los dos resortes horizontales F, por medio de los cuales está unida a la mesa T. Del punto V, de la varilla compensadora, se hace la conexión con el émbolo del amortiguador D T, por una parte, y por otra, con las palancas propul-

oras H<sup>1</sup> y H<sup>2</sup> del sistema de registro, por las cuales, y con el estilete S f, el movimiento de la tierra, transmitido por medio de la masa, se amplifica y cambia en un plano horizontal antes de registrarse sobre el rodillo con papel ahumado R.

En esta forma de aparato el efecto de las vibraciones naturales del período del péndulo, se han neutralizado por completo por medio del sistema de amortiguamiento, y el instrumento es llamado astático.

Los aparatos de esta clase, y que en México los destinó el Servicio Seismológico para las estaciones de Tacubaya (Central), de Mérida y Zacatecas, amplifican el movimiento 200 veces y tienen un período de 8 a 10 segundos.

Estos instrumentos se han destinado únicamente al registro de telesísmos, por su extrema sensibilidad, obteniéndose con ellos registros muy buenos.

### Péndulo horizontal de 17,000 kilogramos

En consideración a la fuerte amplificación deseada, se ha dado un peso de 17,000 kilogramos a la masa estacionaria. Esta está formada por una caldera cilíndrica de palastro, de fondo plano, de un diámetro de poco menos de 2 metros y de

una altura menor de 2 metros, la cual está llena de baritina (espato pesado). Para satisfacer a lo requerido, la caldera debe moverse libremente en posición horizontal. Para esto se ha suspendido de tres varillas de fierro de 3 centímetros de diámetro, cuya flexibilidad elástica basta para permitir la libertad del movimiento necesario; está unida a la caldera por tres salientes laterales, que los soporta a su vez, una armadura de fierro. Los movimientos correspondientes a la armadura de la masa estacionaria son recibidos por varillas de propulsión para ser transmitidos al aparato inscriptor; para conseguir esto y como punto de partida para las varillas de propulsión, un núcleo de fierro se halla en el centro de gravedad del cilindro de fierro lleno de baritina, muy sólidamente adherido al fondo y a la pared del cilindro por medio de 24 uniones.

La figura 1 muestra la varilla de propulsión de la componente norte-sur protegida por un tubo de fierro contra la carga de la baritina. Esta varilla de propulsión mueve el estilete y cuatro palancas amplifican una después de otra las desviaciones produciendo un total en el aumento de 2.200 veces.

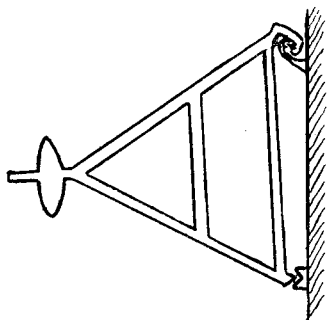
El instrumento está provisto de amortiguadores de aire y tiene un período propio de 1,5 segundos.

De estos instrumentos hay únicamente en servicio dos en el mundo, uno en la Estación Seismológica de Estrasburgo y el que se ha instalado en la Estación Central de Tacubaya. Registran movimientos de focos antipodales y su sensibilidad los hace tener siempre los estiletos en movimiento. El seismógrafo de este tipo, de la Estación de Tacubaya, registra los nortes de Veracruz y Acapulco con notable precisión. Se han obtenido con él registros verdaderamente notables, reproducidos en algunas revistas extranjeras.

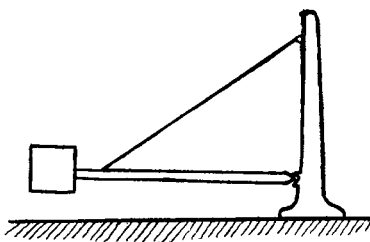
La figura número 2 nos presenta el aparato completo.

### Seismógrafos horizontales de Bosch-Omori o péndulos de Estrasburgo

Estos péndulos están basados en la oscilación de una masa alrededor de un eje horizontal o tan ligeramente inclinado, que se les ha permitido denominarlos horizontales en lugar de cónicos, cuya denominación sería más exacta.

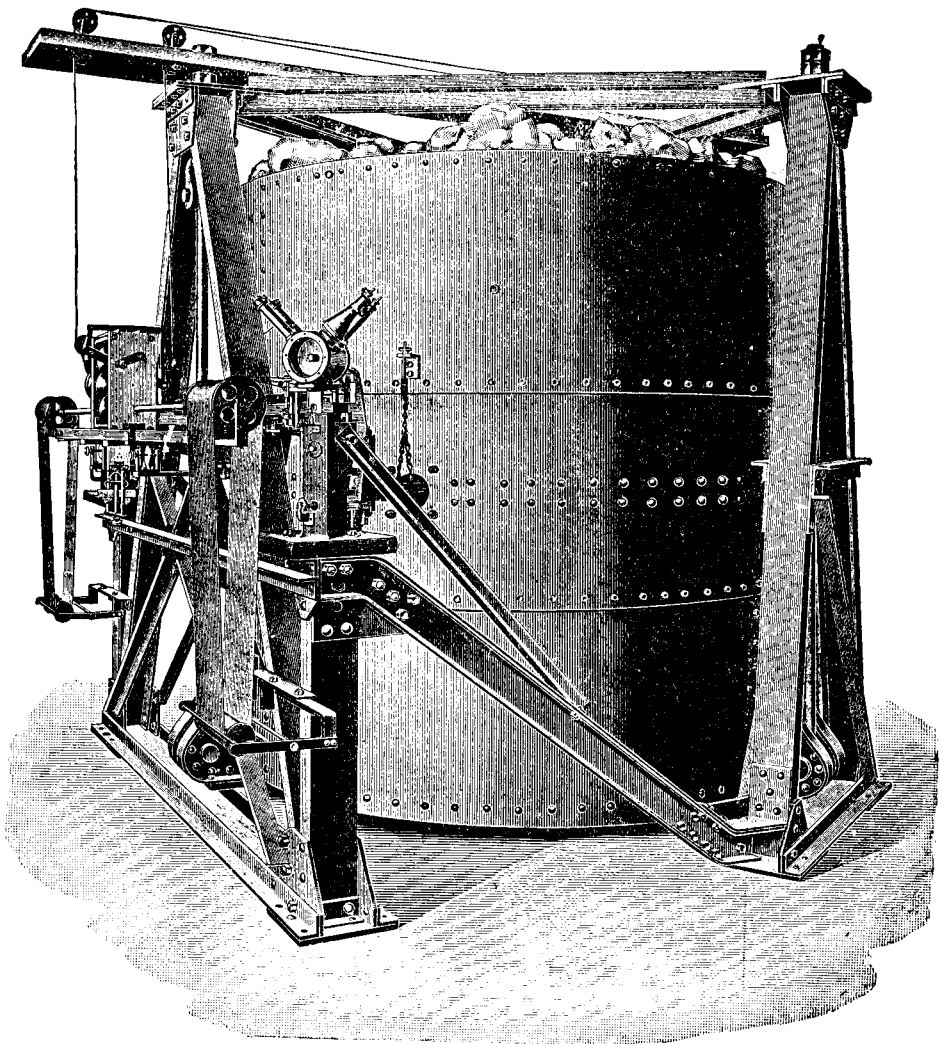
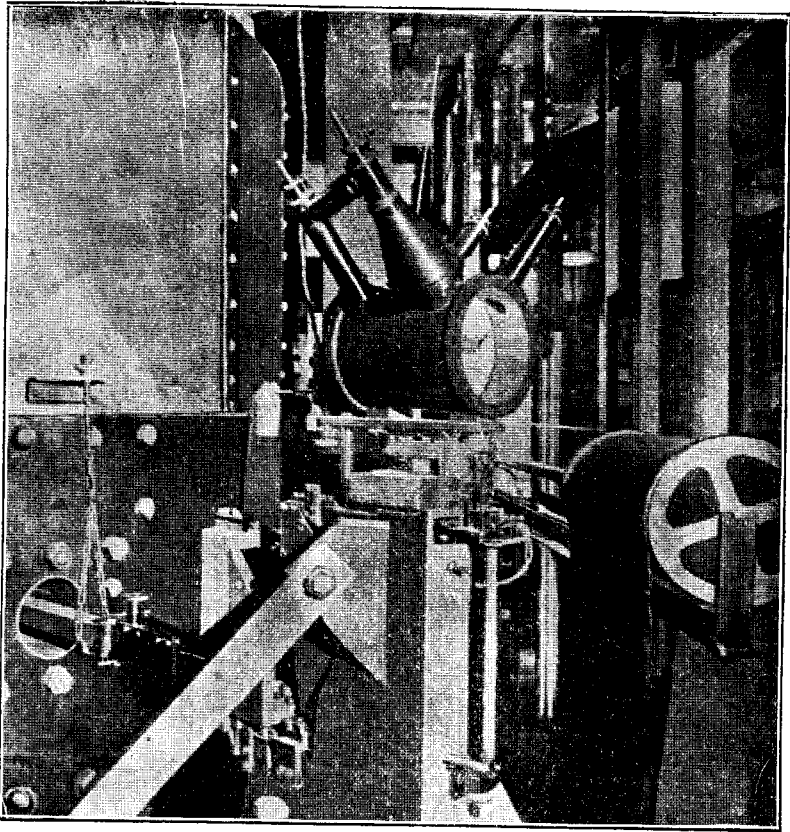


Principio del péndulo horizontal ligero.



Principio del péndulo horizontal pesado.

Supongamos una puerta, y en general todo objeto móvil alrededor de un eje inclinado o cuya verticalidad nunca llegue a estar realizada. Si en efecto, se considera uno de estos cuerpos, su equilibrio exige que estén en el plano vertical pasando por su eje. Por poco que se les desvíe tenderán a volver por una serie de oscilaciones, tanto más lentas cuanto más pequeño sea el ángulo de su eje con la vertical. Si el eje es vertical, estas oscilaciones demandarán un tiempo infinito; esto quiere



Seismógrafo Wiechert, horizontal de 17,000 kilogramos de masa.

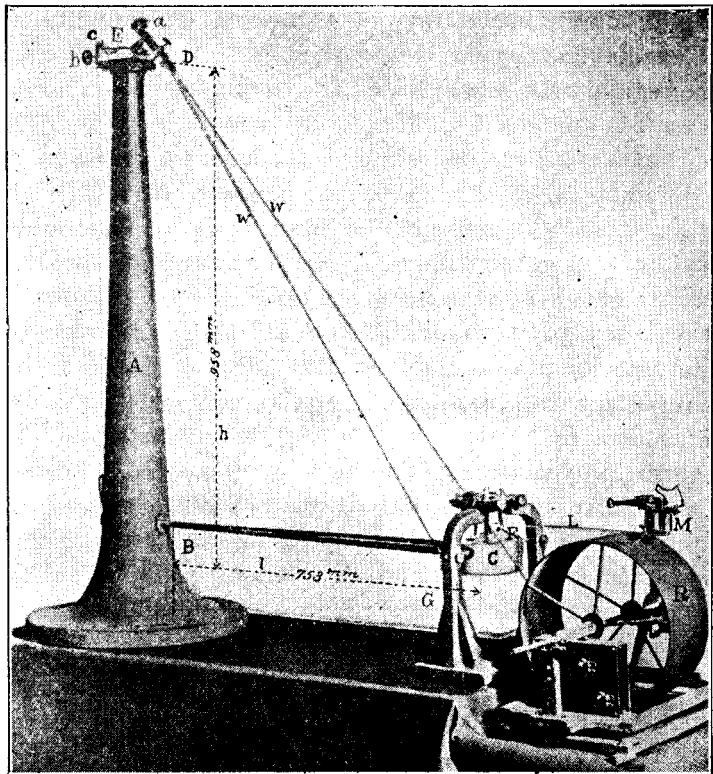
decir que en cualquier azimut el péndulo estará en un estado de equilibrio indiferente. En este último caso no podría servir como seismógrafo, pero como se pueden hacer las oscilaciones propias tan lentas como se desee disminuyendo lo bastante el ángulo del eje con la vertical, resulta que por este medio se obtendrá un sistema seismográfico, en el cual las oscilaciones perturbarán tan poco como se desee la representación gráfica del movimiento sísmico real de un punto del suelo. Dos de estos péndulos, orientados perpendicularmente el uno al otro, darán las dos componentes.

Estos péndulos horizontales, nombre que hemos convenido en darles, se dividen en pesados y ligeros; estos dos tipos corresponden a exigencias seismológicas diversas, y el mayor número de los seismógrafos modernos, actualmente en servicio, se derivan de ellos. Los primeros están constituidos por medio de una masa montada en una varilla horizontal rígida, apoyada por su extremidad opuesta a una columna vertical, y sostenida con un hilo oblicuo unido al vértice de ésta. Los péndulos ligeros están formados de un marco metálico triangular enganchado por la parte alta a la columna y simplemente apoyado sobre ella por la parte baja; la masa está colocada en el vértice del triángulo opuesto a la columna. La ventaja mayor de los péndulos horizontales consiste en que la lentitud de sus oscilaciones no depende de ningún modo de sus dimensiones, como sucede en los péndulos verticales.

Los péndulos anteriormente descritos, sirven únicamente para la determinación de los componentes horizontales y en estos principios se han basado los Bosch-Omori, cuyo funcionamiento claramente se explica en las figuras.

La masa está compuesta por un pesa cilíndrica C, unida a una varilla tubular B, la cual termina en un punto formado por un pivote de acero, en la columna A.

La varilla tiene en ese extremo una chumacera o godete de ágata. La masa está sostenida por unas bridas de alambre *w w*,



las cuales se hallan sujetas arriba por un tornillo que permite regularizar el ángulo de inclinación de la varilla que sostiene la masa.

En el rodillo o tambor R, se coloca una tira de papel ahumado, donde la palanca amplificadora L, traza los movimientos de la masa C. El tambor R tiene dos movimientos: uno de rotación y otro de translación, así es que la huella que deja el estilete sobre el papel ennegrecido es una elipsoide. Un electroimán M, marca el tiempo sobre esta huella del estilete.

### Péndulos horizontales, sistema Bosch, con amortiguador de aire y de registro fotográfico

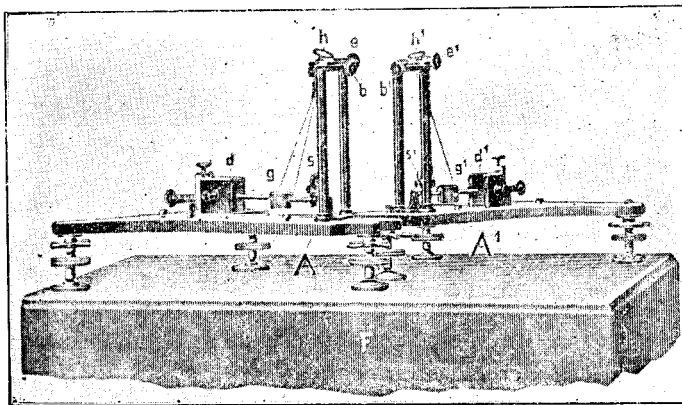
El péndulo horizontal de registro fotográfico acusa todos los movimientos del suelo, ya sea que provengan de perturbaciones sísmicas próximas o lejanas, ya que los movimientos provengan de otras causas.

Cada componente forma un instrumento aparte, y como los Bosch-Omori, ya descritos, están basados en el mismo principio, por lo que omitimos repetirlo. Las dos componentes se colocan en ángulo recto, una en dirección Norte-Sur, y la otra perpendicular a ésta, o sea en dirección Este-Oeste.

Sobre una placa horizontal, de fundición, provista de 3 tornillos nivelantes, están montadas 2 columnitas fuertemente sostenidas, de latón A y A<sup>1</sup>; se han empleado dos con el fin de evitar toda vibración. Los vértices de estas columnitas están ligados por un pequeño soporte, que permite dar tres movimientos, hacia adelante y hacia atrás, lateralmente y oblicuamente, a lo alto y a lo bajo. En este soporte se ha fijado en e<sup>1</sup>, con ayuda de una suspensión bifilar, el peso g del péndulo.

La varilla del péndulo termina en un godete cónico de ágata que se apoya contra una punta de acero. Un dispositivo de detención protege la punta durante el montaje del aparato. El péndulo se regulariza por los 3 movimientos del soporte. El movimiento hacia atrás y adelante y el movimiento lateral, permiten regularizar exactamente la posición del punto de suspensión; el movimiento de lo alto a lo bajo regulariza la sensibilidad. El péndulo se coloca horizontalmente con ayuda de una rueda dentada h y h<sup>1</sup>.

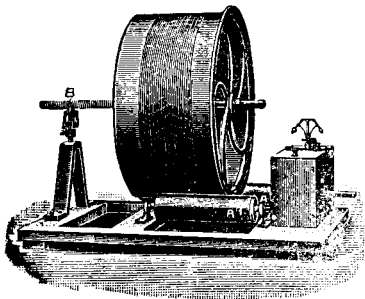
De la exactitud de las puntas, godetes y dispositivos de regularización depende la duración de las oscilaciones del péndulo. A medida que son mas lentas, el péndulo quedará más sensible. La longitud del péndulo es de 6 cm, desde la mitad del peso hasta el punto de apoyo; de allí al punto de suspensión, la distancia es el triple de la longitud anterior, o sea igual a 18 cm. La duración de una oscilación vertical es de 0,560 segundos, la de una oscilación horizontal, de 10 a 13 segundos. La masa estacionaria pesa 200 gramos. Para 4 metros de distancia, entre el aparato de registro y los péndulos, la amplificación es de 1 : 120. El espejo s está fijo en el punto de apoyo de los péndulos; se arregla en sentido vertical y horizontal para permitir proyectar exactamente sobre el rodillo de registro los puntos luminosos por el centro de la lente cilíndrica. El radio de curvatura de los espejos es de 4 metros, pero se pueden emplear espejos de dos metros de radio, siendo entonces la amplificación de cerca de 1 : 60. Esta amplificación es suficiente para poder registrar con gran exactitud los movimientos sísmicos hasta de cierta categoría o grado.



Para suprimir las oscilaciones propias del instrumento, se ha empleado un amortiguador de aire. Este está compuesto por una doble hoja de aluminio y ligada al peso del péndulo por medio de un pequeño tubo y metida en una cajita de forma cúbica. Al cerrar más o menos los orificios practicados en las paredes de esta cajita, se puede variar el amortiguamiento de las oscilaciones hasta hacerlas periódicas. Con ayuda de tornillos micrométricos, la cajita puede ser desalojada en sentido vertical y horizontal y de esta manera adaptarla a la posición del péndulo, cuando sea necesario arreglarla.

Para la circulación del aire, la cajita está provista de dos pequeños orificios que tienen una tapita móvil.

*Aparato registrador.*—El pequeño rodillo A es movido por un sistema de relojería y regularizado por un regulador de fuerza centrífuga; un segundo rodillo A<sup>1</sup>, de las mismas dimensiones, está montado independientemente del primero, sobre el mismo bastidor y gira alrededor de su eje.

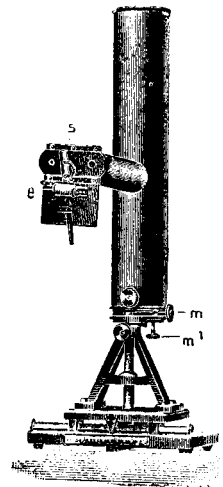


Entre estos dos rodillos está colocado un tambor grande, con un borde saliente. Del lado opuesto a este borde, el eje está provisto de paso de tornillo de 3 mm. Esta parte del eje descansa sobre dos ruedas biseladas que se meten en el paso de tornillo. El tambor tiene 90 cm. de circunferencia y descansa por un lado sobre los dos rodillos chicos, del otro descansa sobre las ruedas biseladas B. Es movido por la fricción y da una revolución completa en

una hora, desalojándose 3 mm. en la dirección de su eje. El movimiento del tambor, así como el desplazamiento axial, son completamente regulares y seguros.

Alrededor del tambor se coloca la tira de papel sensible, y se asegura por medio de un hilo metálico. El instrumento de registro está cubierto por una caja de madera que tiene en la pared delantera una ranura con una lente cilíndrica planoconvexa, la cual se halla a la altura del eje del tambor. Esta lente tiene una distancia focal de 5 cm.

La figura 3 nos presenta la lámpara eléctrica. Un pie triangular sostiene la lámpara por medio de un soporte móvil. Por medio de un tornillo *m*, se puede hacer dar a la lámpara una vuelta completa, alrededor de su eje, de manera que la abertura *S*, describe un círculo horizontal. Esta lámpara está provista de una bombilla o foco de Nerst, de corriente continua o alternativa de 220 volts, y fija en el interior de un tubo. El tornillo *m*<sup>1</sup>, sirve para colocar perpendicularmente el hilo metálico incandescente del foco. La longitud del tubo se arregla como telescopio. En su interior se halla una abertura, en el interior y en medio, una lente acromática que proyecta la imagen del hilo incandescente sobre la abertura. Por encima de esta abertura está colocado un electroimán, en combinación con el reloj de contactos. A cada minuto u hora el circuito se cierra, y el electroimán atrae una armadura que termina en una hoja de latón; ésta intercepta la luz mientras dura el contacto y de esta manera se registra el tiempo exacto.



### Seismógrafo Wiechert, vertical de 80 kilogramos

Este seismógrafo tiene gran parecido por su construcción, con el gran seismógrafo vertical del Prof. Wiechert, pero su masa estacionaria no es más que de 80 kilogramos. Como el instrumento grande tiene amortiguamiento de aire, compensación de temperatura, cualidades estáticas regularizables y una amplificación variable entre 40 y 160 veces; el período T, de vibración es susceptible de ser aumetado hasta 6 segundos.

Un brazo de palanca horizontal, del cual el eje vertical está formado por atravesañes, sostiene la masa estacionaria en el extremo opuesto del eje. En su medio la palanca está suspendida con una tensión de 160 kilogramos, por un resorte en espiral, construido de acero de 14 milímetros y cuyas vueltas tienen un diámetro de 20 centímetros. El punto de operación para obtener las cualidades estáticas se encuentra abajo del centro de gravedad. En la parte de arriba, el resorte está suspendido por una palanca que se apoya en un punto conveniente, sobre una rejilla de zinc y fierro, y que sirve para la compensación de la temperatura.  $\frac{1}{10}$  de grado de cambio de temperatura sin este sistema compensador bastará para causar una desviación de 3 centímetros. Con el fin de proteger el aparato contra la intemperie, su parte superior está encerrada en una caja, cuyas paredes dobles están rellenas de material aislante.

La palanca de la masa estacionaria está sostenida por una varilla de impulsión que parte de un brazo vertical del porta-peso y transmite el movimiento sobre la doble palanca de aluminio. Esta doble palanca, el dispositivo del estilete, el amortiguamiento y el mecanismo registrador, tienen una construcción parecida a esas mismas partes del seismógrafo horizontal, modelo chico, de Wiechert; y como en este último instrumento, todas las uniones se componen de resortes y puntas. El movimiento es convertido en horizontal, por cuatro resortes de acero, dispuestos en Cardán y que se hallan abajo del brazo de palanca que lleva el movimiento al estilete, y unidos a la armadura o bastidor del instrumento.

Como el aparato es bastante sensible a los cambios de temperatura, es indispensable montarlo en lugares donde estos cambios no sean bruscos.

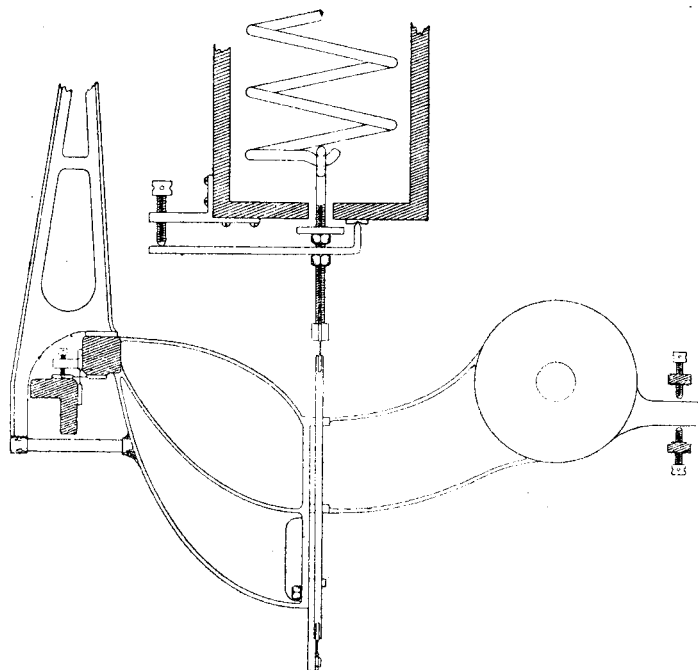
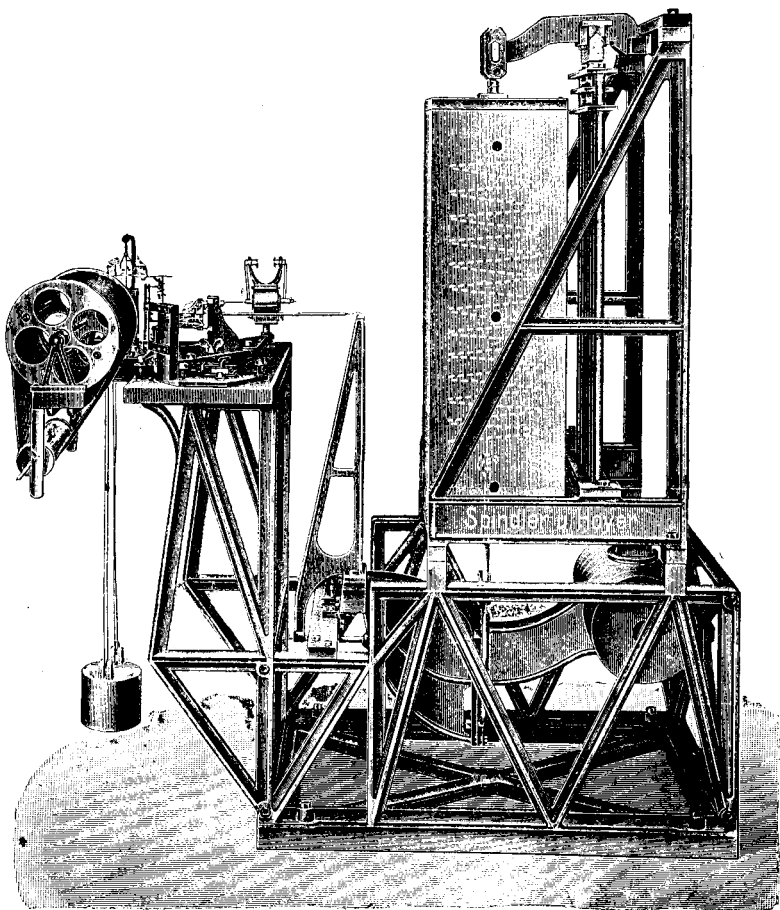
Las figuras 1 y 2 nos dan una idea perfecta de este modelo.

### Seismógrafo vertical de Wiechert de 1,300 kilogramos

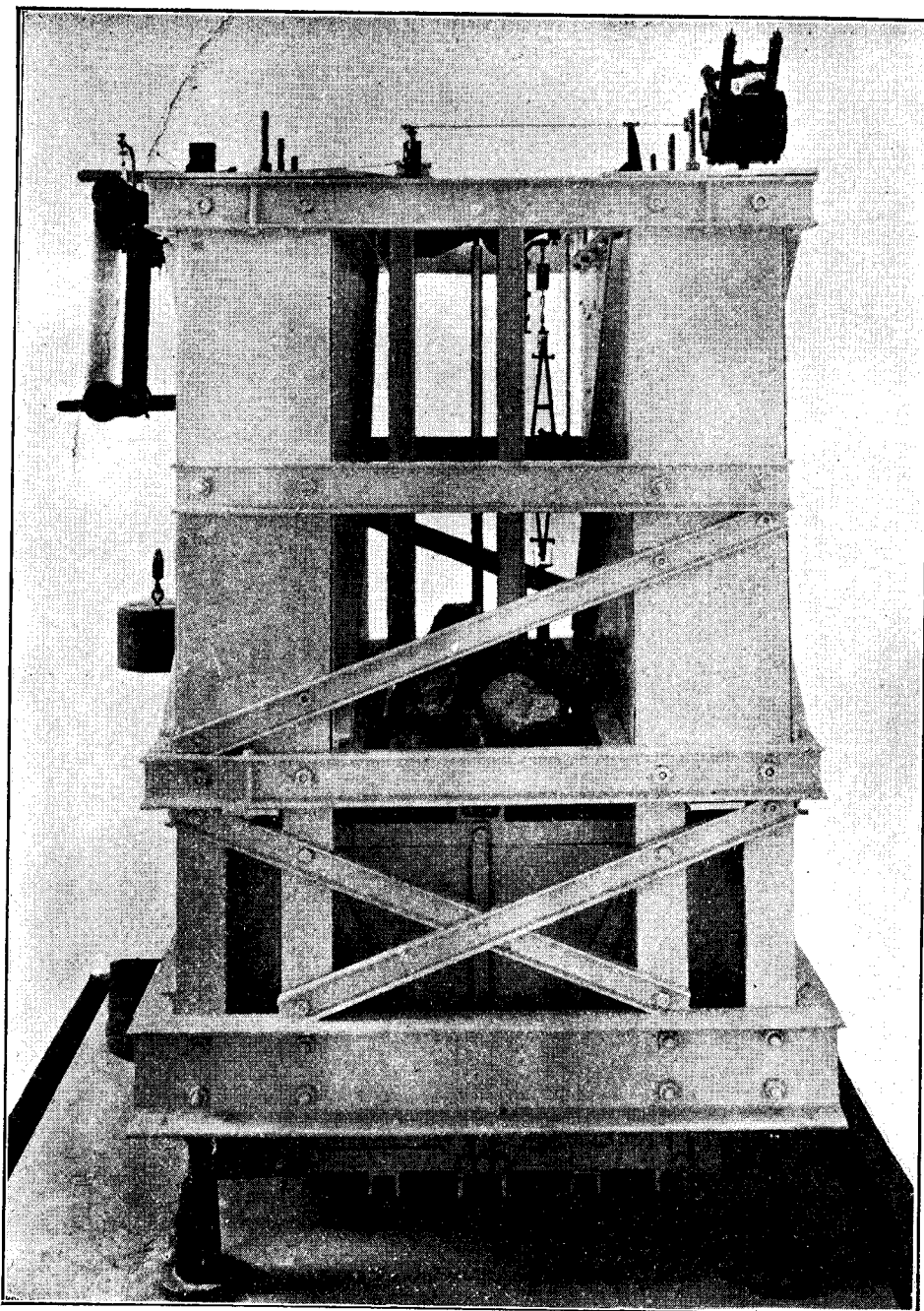
La masa estacionaria de este instrumento es de 1,300 kilogramos, tiene una amplificación de 160 veces y generalmente trabaja con un período de 4 a 7 segundos.

La masa estacionaria esta formada por una caja de lámina de fierro y que en la ilustración se ve, comprendida entre los pies o gatos que sostienen el aparato. Esta caja se halla llena de baritina y a veces para completar el peso se le añaden unos cuantos pedazos de hierro o plomo; está sostenida por 8 resortes en espiral que trabajan en grupos de 4 dentro de dos cubiertas opuestas. Para proteger estos resortes contra los cambios de temperatura y para impedir todo trastorno serio si un resorte se rompe, están reguardados en una caja o cubierta de 25 centímetros. Desde luego se reconocen estas dos cajas en la figura. Los resortes están hechos de acero de la casa Krupp con un grueso de cerca de 14 milímetros, teniendo las vuel-





Seismógrafo Wiechert, vertical de 80 kilogramos de masa.



Seismógrafo Wiechert, vertical de 1,300 kilogramos de masa.

tas un diámetro de 20 centímetros; cada resorte pesa 8 kilogramos y al estirarse bajo el peso de la carga de 160 kilogramos se alargan cerca de 36 centímetros.

Los movimientos verticales de la caja con baritina que forma la masa estacionaria, son transmitidos por una varilla de propulsión que opera en el centro de gravedad, a lo alto con ayuda de un sistema de palancas y recibidos sobre el brazo inscriptor. Una sencilla disposición permite hacer astático el sistema con el empleo de la fuerza del resorte, colocar el período de oscilación en el valor requerido, mientras el efecto final elástico de los resortes de soporte da un límite, pues no se lograría pasar de 7 segundos (correspondiendo a un «astatismo» de 30 veces).

A causa de la elasticidad de los resortes, la variación de la temperatura daría a la sensibilidad ya aplicada una desviación de cerca de 70 centímetros, y por esta razón se ha intercalado una compensación de temperatura empleando la diferencia de la expansión del fierro y del zinc.

La comparación de los registros de este aparato vertical con los del horizontal ha dado lugar a conclusiones muy notables; y aunque aquí no trataremos esto, si es preciso mencionar que el aparato vertical registra a menudo mejor los primeros indicios o temblores de los temblores a gran distancia, que aun el propio seismógrafo horizontal de 17.000 kilogramos, cuya sensibilidad es extrema y que amplifica 2,000 veces.

Una comparación de los registros comprueba de manera cierta que las ondas principales se propagan a lo largo de la superficie de la tierra.

#### **Apuntes sobre el Tromómetro de Wiechert-Mintrop para estudiar los movimientos rápidos del suelo**

Este instrumento sirve para registrar las vibraciones artificiales y movimientos rápidos del suelo, tales como los producidos por el paso de trenes, corrientes de aire, martinets, trabajos de minas, máquinas, etc. Por lo tanto, puede ser poderoso auxiliar en manos del ingeniero y del constructor.

Impropiamente se le ha dado el nombre de «seismógrafo,» por algunas personas; y si bien es cierto que registraría temblores, como cualquier seismógrafo verdadero, lo complicado de su sistema de registro, la poca duración de la película al desenrollarse, (20 minutos más o menos) y el elevado precio que tendría trabajando constantemente, como todos los seismógrafos de registro fotográfico, no permiten usarlo sino para lo que su autor lo destinó.

Las oscilaciones del suelo producidas por las grandes máquinas modernas, cuyas masas, animadas de fuertes movimientos, ya horizontales, ya verticales o trepidatorios, dan con frecuencia lugar a quejas por parte de los vecinos cuyas casas se ven sujetas a un continuo sacudimiento, molesto para las personas y muchas veces perjudicial para las construcciones, son registradas por el tromómetro. Estos movimientos del suelo pueden ser más o menos fuertes, según la naturaleza y constitución del subsuelo. Sobre un suelo compacto y duro, el efecto es débil, en tanto que las capas horizontales estratificadas, particularmente las de arena y aluvión, fácilmente vibran y se mueven. Las grandes instalaciones motrices intentan remediar estos inconvenientes, construyendo macizos de cimientos gruesos y profundos que absorben las fuerzas de aceleración transmitidas al suelo por las máquinas, o reducen la velocidad de ellas, y emplean muchas veces dispositivos costosos para compensar en parte la acción de las masas.

Pero la naturaleza de propagación de las oscilaciones cerca o lejos de las máquinas, es poco conocida; no se han hecho medidas absolutas, de suerte que la amplitud de los movimientos del suelo se ignora; por lo mismo, los peritos no tienen conocimientos para dictaminar sobre la influencia perjudicial de las oscilaciones, que, como acontece con mucha frecuencia, es grande.

Podría hacerse un estudio sobre los movimientos o vibraciones ocasionados por toda clase de máquinas, para saber cuáles de ellas pueden instalarse dentro de las ciudades sin perjuicio de las construcciones.

Pásemos a la descripción del tromómetro Wiechert-Mintrop.

La figura 1 representa una vista particular del aparato; por encima, ligado con el tromómetro por un fuelle de cámara, se encuentra el mecanismo registrador. El armazón o bastidor del instrumento es de fierro; está reforzado por placas, y reposa en tres tornillos calantes, como se ve en la figura 1, sobre una fuerte plancha de base, de fierro, de forma triangular, que debe quedar sujeta al suelo tan sólidamente como sea posible. La masa estacionaria que tiene un peso de 12 kilogramos, se compone de un cilindro de latón relleno de plomo, que descansa en una acanaladura, y a la cual se sujeta por pinzas semicirculares con mariposas. Todo el sistema está sostenido por resortes cruzados, siguiendo la disposición bien conocida del Dr. Wiechert y empleada en sus seismógrafos.

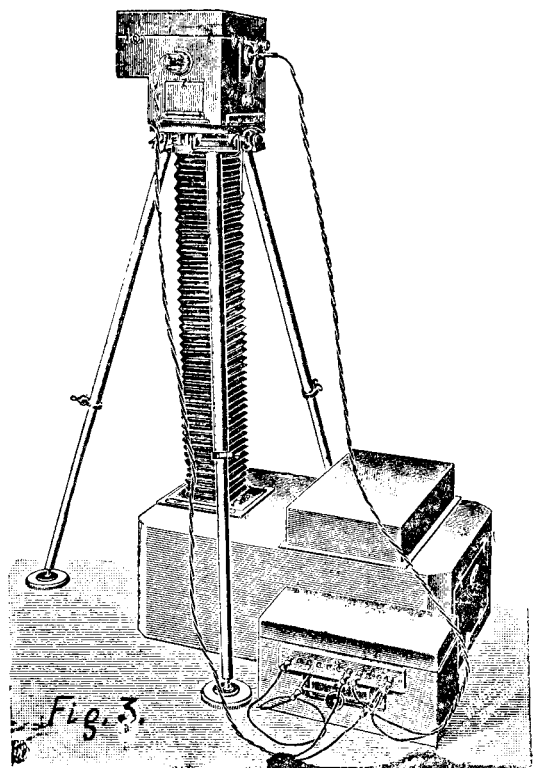
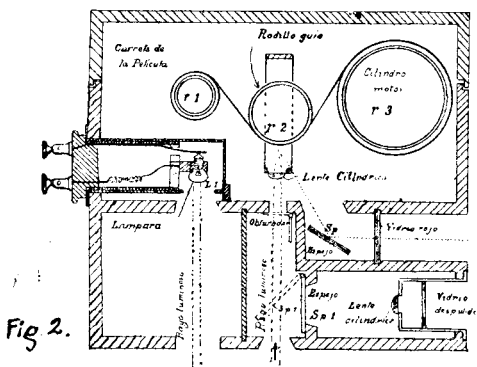
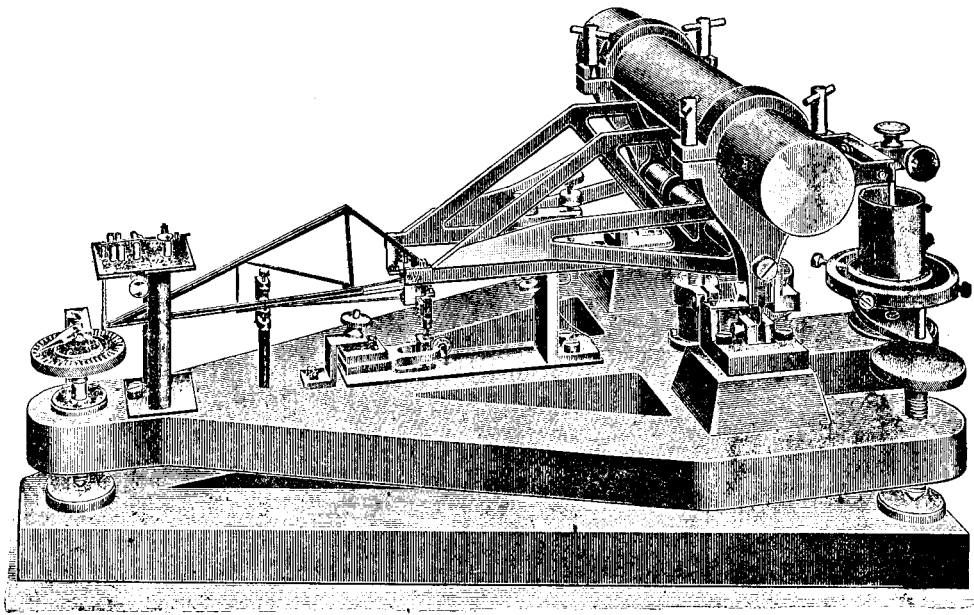
Las oscilaciones del péndulo son recibidas por los brazos y transmitidas por un doble sistema de resortes de lámina, cruzados, a la palanca de aluminio de brazos desiguales. Esta palanca se apoya sobre un resorte de lámina; de esta manera se evita todo frotamiento en las articulaciones, y además, tiene otros resortes, de lámina también, destinados a recibir las tensiones nocivas. La pequeña columna puede ser fácilmente desalojada hacia arriba.

En la figura 1 se puede ver la disposición del amortiguador. El frotamiento interior de la parafina líquida da la fuerza destinada a amortiguar, destruyendo las oscilaciones propias del péndulo. (La relación de amortiguamiento, que puede ser ejercida a voluntad, la dan la densidad del líquido que se coloque en el vaso del amortiguador y la mayor o menor inmersión del émbolo.)

El instrumento funciona como sigue: los desalojamientos del suelo, que se producen, se transmiten por la plancha de base al armazón y lo mueven en el mismo sentido. Pero la masa estacionaria permanece, desde luego, en reposo a causa de su inercia, o, en otras palabras, la masa del péndulo se mueve relativamente al armazón o bastidor, pero en sentido inverso, haciendo girar los brazos y la palanca de aluminio. El movimiento, horizontal al principio, es transformado en movimiento vertical; al mismo tiempo sufre una amplificación de 40 veces, por medio de la palanca.

La amplificación mecánica está unida a una amplificación óptica, y el movimiento vertical es transformado en el movimiento de rotación de un espejo suspendido. Este espejo reposa, por dos finos pivotes de acero, en las cápsulas de ágata de dos columnitas que descansan en una placa fija.

Una tercera punta se encuentra en la cápsula de la pequeña biela de empuje que atravesando la placa llega a la palanca. La rotación del espejo y por consecuencia la amplificación óptica pueden ser arregladas en límites bastante amplios, por una conveniente separación de las puntas. Pueden verse en la figura 1, cuatro columnas a las distancias de 5, 10, 20 y 40 mm. de la tercera punta.



La amplificación óptica es determinada, además, por la longitud del rayo luminoso: es dada por el cociente:

$$\frac{\text{camino recorrido por el rayo luminoso}}{\text{distancia entre el eje de rotación del espejo y el punto de ataque}}$$

La amplificación total es dada por el producto de la amplificación mecánica y de la amplificación óptica. En el caso presente el radio de curvatura del espejo cóncavo es de 1,000 mm.; la amplificación total del instrumento es, pues, de

$$\frac{40 \times 1,000 \times 2}{40 \text{ o } 20 \text{ o } 10 \text{ o } 5} = 2,000, 4,000, 8,000$$

y 16,000 veces.

Las cifras así calculadas no indican todavía la amplificación real del instrumento, pues será preciso aún considerar la masa resultante de la suspensión, que sea posible determinar por el cálculo o la experiencia. Un medio bastante sencillo consiste en deducir la amplificación, de la sensibilidad de inclinación observada sobre el instrumento. Si

$T_0$  es el período propio del péndulo,

$L$  su longitud equivalente, en metros,

$V$  la amplificación del indicador,

$E$  la sensibilidad de inclinación en milímetros por segundo de arco, y

$J$  la longitud del indicador equivalente en metros, se tienen las relaciones siguientes:

$$L = \left(\frac{T_0}{2}\right)^2$$

$$J = \rho E, \text{ siendo } \rho = 206'' \text{ o } 265''$$

$$V = \frac{J}{L}$$

$T_0$  está calculado en segundos.  $L$  y  $J$  en metros y  $E$ , en milímetros.

$T_0$  y  $E$  pueden observarse directamente; en el instrumento descrito, el período es igual al doble de la duración de la oscilación, o sea poco más o menos un segundo; la sensibilidad de inclinación es de 1 a 15 mm. por segundo de arco, según la amplificación.

El instrumento ha sido construido para registrar las oscilaciones del suelo de amplitud y de período determinados. (Amplitud se llama a la distancia que recorre una partícula terrestre desde su punto de reposo al medio. Período es el tiempo que invierte la partícula en una oscilación completa.)

Las constantes pueden ser elegidas de manera adecuada para el movimiento que se vaya a estudiar. Para movimientos de período muy corto, es conveniente dar al registrador una velocidad alta para poder hacer bien las medidas.

Los movimientos del punto luminoso son registrados por una película fotográfica, como en los aparatos cinematográficos. Una lámpara de 4 voltios ( $L_1$  en la figura 2) de filamento metálico recto, envía un rayo luminoso sobre el espejo cóncavo, el que lo reenvía sobre la lente cilíndrica, por el foco de la cual pasa la película fotográfica. Esta película se desenrolla de la bobina  $r_1$  (figura núm. 2) bajo el rodillo-guía y tensor  $r_2$  y va a enrollarse sobre el tambor  $r_3$ , que tiene un piñón por el cual recibe el movimiento de un sistema de relojería, cuya energía está almacenada en una fuerte cuerda de cinta de acero. Puede hacerse variar la veloci-

dad del registro de 0,5 a 100 mm. por segundo, por medio de algunas relaciones de la transmisión y por la reglamentación de la resistencia del aire, en el regulador de aspas, de manera que las más pequeñas oscilaciones puedan ser registradas. La película no se desenrollará en toda su extensión con un movimiento uniforme, porque la tensión de la cuerda disminuye gradualmente y porque las resistencias de frotamiento totales varían constantemente. Por esta razón ha sido preciso indicar con marcas especiales el tiempo.

La luz de la lámpara es enviada por un espejo cóncavo fijo sobre la misma lente cilíndrica, que recibe también el rayo luminoso móvil; de esta manera, una línea de base es proyectada sobre la película a un lado de la curva. Un cronómetro de contactos al segundo abre y cierra periódicamente el circuito de la lámpara, de manera que la línea de base queda interrumpida a intervalos regulares.

Como el registro es fotográfico, es necesario que la luz exterior no pueda penetrar. La caja-cubierta no está unida ni toca en ningún punto al péndulo y el fuelle no transmite al instrumento ninguna trepidación del movimiento de la relojería del sistema de registro. Las extremidades del tripie descansan en placas de goma.

En el interior de la caja de registro se encuentra un espejo plano giratorio  $Sp_1$  (figura 2) que está en posición vertical durante la exposición y que sirve de tapa de cerradura. Cuando el espejo ha girado  $45^\circ$ , el rayo luminoso que viene de la parte baja es desviado en ángulo recto y viene a formar un punto sobre el vidrio despulido, después de haber atravesado la lente cilíndrica. Así se pueden seguir a la simple vista los movimientos del punto luminoso sobre el vidrio despulido. Igualmente se puede, al mismo tiempo, observar y fotografiar. En efecto, al mismo tiempo que el rayo luminoso se imprime sobre la película, se refleja sobre el espejo plano  $Sp_2$ , de manera que se puede observar en el exterior a través del vidrio rojo.

El aparato registrador puede deslizarse sobre el plato del tripie, perpendicularmente al plano de oscilación del péndulo; además, el tornillo calante delantero permite a las normales del espejo tomar inclinaciones en el plano de oscilación, de manera que la posibilidad de estos dos movimientos reúnan casi las ventajas de un desalojamiento por correderas cruzadas. La manera de hallar el haz luminoso, que es difícil, aquí se hace muy rápidamente, con ayuda de un buscador de vidrio despulido que se sitúa en el lugar del tamborcito que tiene la lente cilíndrica. Hallado el punto luminoso, se quita el buscador y se coloca el rodillo antes mencionado.

El movimiento de relojería se puede manejar desde afuera. Un contador indica el número de vueltas de la bobina que enrolla la película, es decir, el desarrollo de esta última. Cuando el registro ha terminado, se enrolla la película expuesta en su carrete, de manera que entouces se puede cambiar en plena luz.

Para observaciones dilatadas, en vez de película puede prepararse una tira bastante larga de papel sensible, que ahorra la molestia de estar cambiando carretes de película. En ese caso se dará cuerda cuantas veces sea necesario.

El tromómetro es fácil de transportar y está construido como instrumento de viaje, pero puede usarse para estudios permanentes en lugar acondicionado para ello.

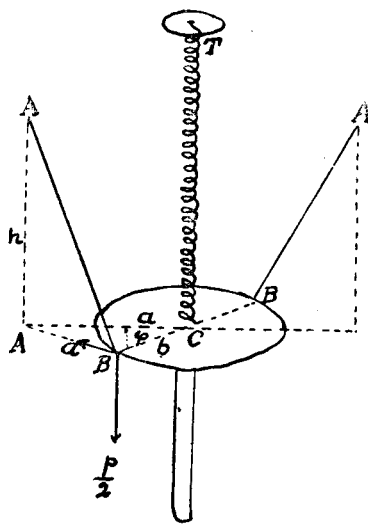
### Gravímetro Trifilar de Schmidt

El autor de este instrumento cree que se puede establecer un seismómetro sensible para la componente vertical de los movimientos del suelo, haciendo uso de la fuerza de un resorte torcido en lugar de la fuerza magnética. Experimentando la realización de esta idea, adquirió la convicción de que de hecho se puede construir tal aparato, en caso de necesidad, con poco costo, y que este aparato en una posición fija será capaz de dar una sensibilidad mayor que la necesaria, siendo el movimiento vertical lo más posible independiente del movimiento horizontal.

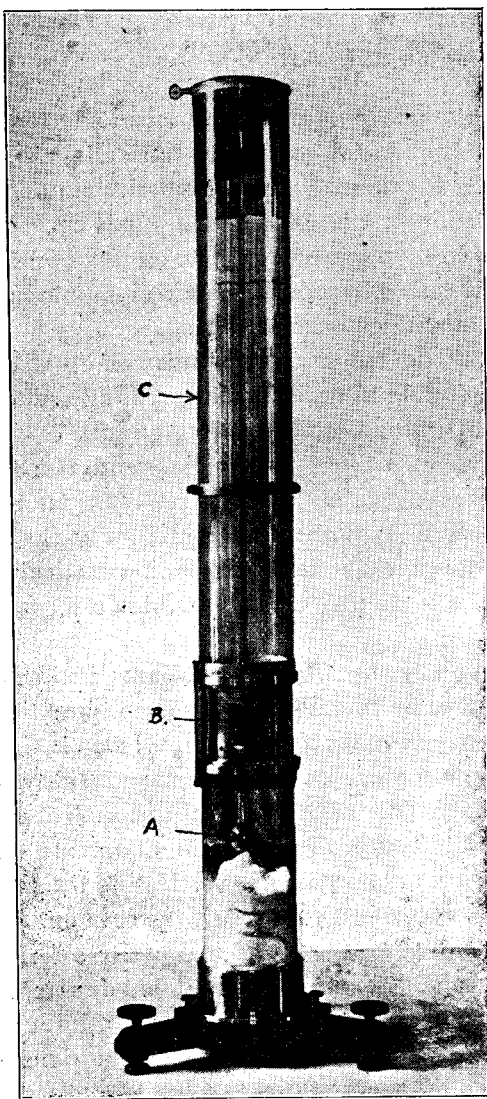
En sus principios difiere el instrumento de todos los otros seismómetros, por eso es que no determina la actitud de la sacudida ni su velocidad, sino su aceleración; además, no contiene como los otros aparatos una masa inerte que sea casi independiente de los movimientos que hay que medir y cuyo desalojamiento respecto de las masas movidas con el suelo, se tiene que medir. Al contrario, todas las partes del instrumento deben lo más posible participar del movimiento del suelo del lugar de observación; pero las variaciones de cantidad de la aceleración vertical deben notarse por medio de un azimut cambiante de una masa movable en torno de un eje vertical.

El magnetógrafo bifilar anota ya esto con una sensibilidad mediana, porque en este aparato están en equilibrio dos momentos de rotación, de los cuales uno tiene su causa en la fuerza del magnetismo terrestre (con dirección fija) y el otro la tiene en la fuerza vertical de la gravedad. El azimut variable del imán suspendido es la expresión de las condiciones variables de estas dos fuerzas en equilibrio. Si el aparato de Schmidt tuviera solamente por objeto comprobar experimentalmente que el magnetómetro bifilar debe ser sensible para la componente vertical de los sacudimientos terrestres, ya estaría por esta sola razón justificada su construcción. La particularidad de que el resorte cuya fuerza obra en lugar del magnetismo terrestre, no posea como éste un azimut determinado, y además, la posibilidad de arreglar las masas de tal manera que el momento de inercia sea reducido a un *mínimum*, permite dar a este seismómetro trifilar una sensibilidad mayor que la que tiene el otro magnetómetro.

El dibujo esquemático adjunto, cuyas dimensiones en dirección vertical son muy reducidas, y en el cual se cambió la suspensión trifilar, que prácticamente da mejor resultado, por un bifilar para que sea el dibujo más claro, enseña un disco ligero, horizontal, unido a un peso de forma cilíndrica. El sistema de espejos fijados en la parte baja del cilindro que sirve para la lectura o el registro fotográfico, no se ve en el dibujo, así como todas las partes del tripie que sirven para suspender el instrumento. El peso  $P$  está suspendido por dos diferentes suspensiones: la mayor parte del peso, por un resorte  $T C$ , de un gran número de vueltas y hecho de un alambre de acero, cuidadosamente templado, la parte menor por dos (respectivamente 3) hilos  $A B$ , que están en los puntos fijos ( $A$ ) del tripie y en los puntos ( $B$ ) de la periferia del disco que está con el peso  $P$ .







Cuando el resorte no está torcido, los hilos A B, toman posición en un plano vertical que pasa por el centro C del disco. Si se da al resorte, por rotación de la placa de torsión T de un ángulo  $\alpha$  una torsión adecuada, el disco con el peso gira un ángulo horizontal  $\varphi$  más pequeño que  $\alpha$  y tanto más pequeño cuanto más suave es el resorte elástico, es decir, cuanto más pequeño es el momento de torsión D, el cual implica una torsión de un grado del resorte al peso colgante. Se establece el equilibrio en la masa colgada entre dos momentos de torsión, uno causado por el resorte  $x = (\alpha - \varphi)$  y el otro Y, causado por la parte del peso que no está soportada por el resorte.

La fotografía nos muestra el instrumento completo, y en ella puede verse dentro del tubo de cristal C el resorte, teniendo en el punto B un espejo. La masa A es una ampolleta de cristal llena de mercurio.

A causa de lo fino de los hilos no se ve con claridad el sistema de suspensión trifilar. Cuando hay algún movimiento, el resorte trabaja en sentido vertical, pero el sistema de suspensión cambia el movimiento en horizontal, haciendo girar el espejo, que recibe el rayo luminoso de una lámpara eléctrica,

para enviarlo a un rodillo, con papel sensible, de igual manera que en los instrumentos de Bosch, fotográficos.

#### Determinación de constantes

«De acuerdo con la teoría de los seismógrafos (Véase E. Wiechert, Gerland's Beitrage zur Geophysic, vol. supplementaire I, 1902, p. 264-280, physical, Zeitschrift 1900-1901, 593-96 y 605-609), las amplitudes siguientes deben tenerse en cuenta en cuanto a su importancia:

T, L, I, E, V, R,  $r$ ,  $e$ ,

teniendo los significados siguientes:

T, período muerto del instrumento, en segundos.

L, longitud del péndulo equivalente en metros.

I, (J), longitud del indicador equivalente en metros.

E, desviación para un segundo de arco de inclinación, en mm.

V, amplificación del indicador.

$r$ , pérdida de amplitud por rozamiento del estilete, en mm.

$e$ , determinación de la relación de amortiguamiento.

Entre las diferentes amplitudes existe una relación de continuidad de manera que sólo hay por determinar 4 constantes, particularmente. Se puede admitir como bastante exacta la fórmula siguiente:

$$L = \left(\frac{T}{2}\right)^2; I = 206 E; V = \frac{I}{L};$$

por otra parte,

$$R = \frac{r \cdot 100 M}{LV^2},$$

si R representa la resistencia por frotamiento en la punta del estilete en mm. y M la masa estacionaria en kilogramos.

El período T, la sensibilidad E, la relación de amortiguamiento  $e$ , y la pérdida de amplitud por rozamiento  $r$ , se pueden determinar directamente más aún, M, cuando se desee conocer R.

1). *Determinación del período T.*—T comprende el período completo, es decir, la duración total de una doble oscilación, el tiempo de vaivén, es decir, el período durante el cual el amortiguamiento se ha interrumpido. Por consecuencia, se descarta el amortiguamiento para la componente a la cual se va a determinar el período (únicamente a esta componente), invirtiendo la palanca E (hoja I, fig. VI de las instrucciones para montar el aparato) se toca después suavemente la doble palanca de aluminio A (hoja II de las mismas instrucciones) de esta componente, y se mide el período oscilatorio por medio de un reloj de detención instantánea, observando una serie de oscilaciones. Es conveniente y exacto considerar como límites de las oscilaciones los momentos de retorno del movimiento.

Principiando, por ejemplo, la observación en el momento de regreso del lado derecho, el intervalo hasta el próximo momento de regreso dará T, el intervalo hasta el próximo momento de regreso a la derecha, T 2, y así sucesivamente. El método pone como condición que las dos componentes estén perfectamente independientes la una de la otra, de manera que la segunda componente no pueda tomar parte en las oscilaciones. Por consecuencia, esta independencia debe haber sido objeto de cuidado previo (véanse las instrucciones de montaje del aparato.) La amplitud T encontrada puede servir para determinar en seguida la amplitud L, con la ayuda de la fórmula

$$L = \left(\frac{T}{2}\right)^2$$

Encontremos, por ejemplo, para la componente Norte-Sur, T = 8,2, y para la componente Este-Oeste, T = 7,6 segundos, resultará:

$$\text{N-S: } L = 4,1^2 = 17 \text{ metros.}$$

$$\text{E-O: } L = 3,8^2 = 15 \text{ metros.}$$

2). *Determinación de la sensibilidad E.*—La determinación de la sensibilidad E, es decir, de la desviación para un segundo de arco de inclinación, se verifica de la manera más sencilla, por medio de observaciones de desviaciones, colocando pesos sobre la masa estacionaria. Sea M la masa estacionaria en kilogramos, H, la

altura de su centro de gravedad encima del centro de rotación, indicado por el sistema de resortes Cardán. El instrumento dará con

$M =$  cerca de 80,  $M =$  cerca de 125,  $M =$  cerca de 200 kilogramos.

En estos tres casos  $H =$  cerca de 86,5,  $H =$  cerca de 90,5,  $H =$  cerca de 96 cm. Los valores exactos de  $M$  y  $H$  serán dados por el constructor. Naturalmente, la persona que maneja el instrumento los podrá determinar sin dificultad; si se trata de determinar  $H$ , será conveniente encontrar para las diferentes piezas de la masa estacionaria (columna y pesos adicionales) el peso  $m$ , y la elevación  $h$ , del centro de gravedad, encima del sistema Cardán y encontrar después el centro de gravedad del peso total con ayuda de la fórmula

$$H = \frac{\Sigma m h}{M} \quad (1)$$

admitiendo que  $M$  y  $H$  sean conocidas. Se trazará sobre la línea diametral  $L, L$  de la superficie extrema superior de la masa estacionaria, adelante y atrás y con una diferencia de 20 cm., dos señales I y II, tal como se ve en la figura que está al lado. En seguida se colocará sobre I el pequeño peso  $G$ .

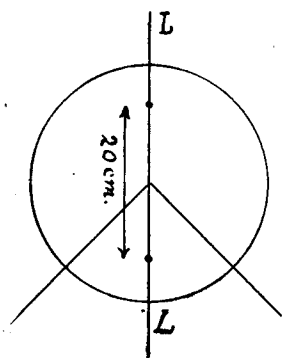


Fig. 1.

Las dos componentes indicarán entonces una desviación. Se determinará el peso en números redondos en gramos, a saber: 5 gramos o 7 gramos, de manera que la desviación sea de 5 a 7 milímetros. Este peso se empleará para continuar la determinación y todas las veces subsiguientes se hará uso del mismo.

En seguida de lo que antecede,  $G$  quedará en I. Se esperará que los dos estiletos estén en reposo y que tracen una línea recta sobre el papel ennegrecido del registrador. Después se colocará el peso  $G$  en II; las dos componentes acusarán desviaciones. Se esperará de nuevo que los dos estiletos tracen líneas rectas, para lo cual bastarán 2 o 3 minutos. Entonces se vuelve a colocar el peso

$G$  en I, esperando de nuevo el reposo de los estiletos. Después se levantará  $G$ , que servirá para la próxima determinación de la constante.

Después de haber retirado el gráfico o diagrama de esta operación, será fácil medir la desviación producida por la transposición del peso, de I a II; llámese  $a$  la transmisión medida en milímetros, en la figura que sigue. (2)

Con ayuda de  $a$ , la sensibilidad  $E$  puede ser calculada siguiendo el razonamiento siguiente: La transposición del peso  $G$ , de I a II, es decir, de 20 cm., significa un aumento de rotación de 20  $G$  (centímetros  $\times$  gramos) en la dirección de adelante hacia atrás. En la dirección de las componentes, tomándolas por separado, de las cuales la inclinación de adelante hacia atrás es de  $45^\circ$ , el momento de rotación no será más que de

$$20 G. \cos. 45^\circ = 20 G. 0,707 = 14,1 G. \quad (3)$$

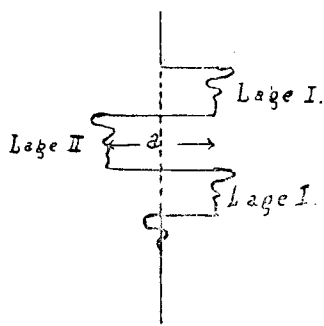


Fig. 2.

(1).  $\Sigma m h$  significa suma de momentos, pues el momento de la resultante es igual a la suma de los componentes, La letra  $\Sigma$  es símbolo de suma y se ha equivocado la  $\Sigma$  con la  $E$ .

(2).  $a =$  Range de Milne ampl =  $Lage = L$ .

(3).  $G = 10$  gr.  $D = 20$  cm. Mom. =  $70,7 \times 2 \ 441,4$ .

Este momento da la desviación  $\alpha$ . El centro de gravedad se encuentra a la altura  $H$  encima del punto de rotación; en consecuencia, el momento de rotación  $14.1 G$ , da el mismo efecto que una fuerza  $K = \frac{14.1 G}{H}$  atacando el centro de gravedad de la masa  $M$ , y tratando de moverla lateralmente. Este es precisamente el mismo efecto que si el instrumento se inclinara un ángulo

$$i = 2060 \frac{K}{M} = \frac{2900 G}{H M} \quad (1)$$

con relación a la componente y traduciendo  $i$  por segundos de arco,  $G$  por gramos,  $M$  por kilogramos,  $H$  por centímetros.  $i$  comprende también la desviación  $\alpha$ . Se obtendrá, pues:

$$E \frac{\alpha}{i} = \frac{(H M) \alpha}{G 2900}$$

siendo  $\alpha$ , medida en milímetros, con el fin de que  $E$  resulte igualmente en milímetros.

Sirviéndose siempre del mismo peso  $G$ ,  $\frac{HG}{G} 2900$  representa una constante en la cual el valor permanece siempre el mismo, de manera que para la determinación de constantes ulteriores no habrá más que conocer la amplitud  $\alpha$ . Sea, por ejemplo, para un instrumento:

$$M = 201 \text{ kg. } H = 95,8 \text{ cm.}, G = 10 \text{ g.}$$

Para Norte-Sur:  $\alpha = 8,7 \text{ mm}$ , para Este-Oeste:  $\alpha = 8,1 \text{ mm}$ . Se tendrá:

$$\frac{1}{i} = \frac{H M}{G 2900} = 0,66 \quad E = 0,66 \alpha \quad (\text{Fig. 3}).$$

$$\text{para N-S: } E = 5,7 \text{ mm. para E-O: } E = 5,3 \text{ mm.}$$

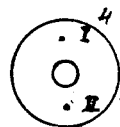


Fig. 3.

Siendo conocido  $L$ , según 1) y  $E$ , según 2) se puede determinar al lado de  $I$ , la importante constante  $V$ , «amplificación del indicador».

$$Im = 206 E_{\text{mm}}, V = \frac{I}{L}$$

El ejemplo anterior, nos dará:

Componente Norte-Sur	Componente Este-Oeste
$L = 17 \text{ metros}$	$L = 15 \text{ m.}$
$E = 5,7 \text{ mm.}$	$E = 5,3 \text{ mm.}$
$I = 1180 \text{ m.}$	$I = 1090 \text{ m.}$
$V = 70$	$V = 73$

3). *Determinación de la desviación por rozamiento  $r$ .*—Se determinará la desviación por rozamiento para cada componente por separado. Para el caso, se elige el amortiguamiento para la componente de que se trata; se toca ligeramente

(1).  $\frac{1}{i g''} = 206.000$ ; pero  $K$  es gramos y  $M$ . Kgm. para homogeneizar  $i = 206 \frac{K}{M}$

la doble palanca de aluminio y se deja al registrador que trace las oscilaciones con que se va a trabajar. De igual manera se procede con la otra componente. Cada una de estas pruebas se hará dos o tres veces. La determinación de  $r$ , tendrá lugar posteriormente, cuando el diagrama de las operaciones se haya fijado. Se verá que con ausencia del amortiguador la disminución de las oscilaciones se verificará de la siguiente manera:

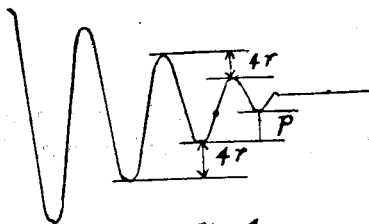


Fig. 4.

Se determina, de preferencia, con ayuda de una escala de cristal, la disminución de las desviaciones de un lado, tal y como se ve en la figura adjunta y desde luego todas las oscilaciones posteriores. La disminución dará entonces  $4r$  directamente. Es necesario tomar las últimas oscilaciones, porque durante los primeros movimientos largos, puede existir todavía cierto grado de amortiguamiento.

Sin embargo, es preciso tener cuidado de notar la disminución durante dos oscilaciones aun más acentuadas. Por consecuencia, no se podría escoger el intervalo  $\phi$ , de la figura. En razón de la relación

$$R = r \frac{1000 M}{L V^2}$$

se conocerá por  $r$ , también  $R$ , la resistencia de frotamiento en la punta del estilete. Nuestro ejemplo da:

Componente Norte-Sur

$$4r = 1 \frac{1}{2} \text{ mm.}$$

entonces  $r = \frac{3 \text{ mm.}}{8}$

y puesto que

$$\frac{1000 M}{L V^2} = 2,4$$

tendremos

$$R = 2,4$$

$$r = 0,9 \text{ mgs.}$$

Componente Este-Oeste

$$4r = 3 \text{ mm.}$$

$$r = \frac{3 \text{ mm.}}{4}$$

$$\frac{1000 M}{L V^2} = 2,5$$

$$R = 2,5$$

$$r = 1,9 \text{ mgs.}$$

La resistencia para la componente N-S será de menos de 1 mm. Esto es un buen valor y la prueba de que esta componente registra con corrección. El valor para la componente E-O de 1,9 es menos buena. No es precisamente mala, pero convendría reducir un poco la presión del estilete contra el papel, retrocediendo un poco el pequeño contrapeso, de manera que el frotamiento disminuya, poco más o menos 1 mm. La experiencia nos dará a conocer hasta qué punto se puede descender, pero teniendo en cuenta que los estiletes deberán trazar las líneas durante el temblor de tierra y que no deben alzarse.

4). *Determinación de la relación de amortiguamiento.*—Para determinar la relación de amortiguamiento  $e$ , es decir, la relación de dos desviaciones de las más grandes y sucesivas, se colocará la doble palanca de aluminio de la componente de que se trate, con el amortiguamiento cerrado y se esperará a que el estilete esté en reposo, lo cual se verificará más rápidamente que cuando el amortiguador está abierto o no unida a la palanca. El estilete pasará por la línea de reposo 2 o 3 veces.

Se procede después de igual manera con la otra componente. Después de haber fijado el diagrama, se miden las distancias  $Y_1$  e  $Y_2$  de la línea de reposo.  $Y_1 / Y_2$  dará directamente la relación de amortiguamiento  $e$ , si no existe un gran frotamiento en el estilete. Siendo el frotamiento sensible, para la determinación de  $e$ , se acude a la aplicación de la fórmula

$$e = \frac{Y_1 - r}{Y_2 + r}$$

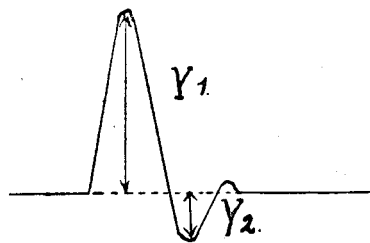


Fig. 5.

en la cual  $r$ , representa la desviación por frotamiento determinado de antemano.

Pongamos un ejemplo:

Componente Norte-Sur

$$Y_1 = 18 \text{ mm. } Y_2 = 4 \text{ mm.}$$

$$\text{y } r = \frac{3}{8} \text{ mm.} = 0,4 \text{ mm.}$$

resultará

$$e = \frac{17,6}{4,4} = 4,0$$

Componente Este-Oeste.

$$Y_1 = 25 \text{ mm. } Y_2 = 3 \text{ mm.}$$

$$r = \frac{3}{8} \text{ mm.} = 0,75 \text{ mm.}$$

$$e = \frac{24,25}{3,75} = 6,5$$

La relación de amortiguamiento  $e$ , puede variar entre  $3\frac{1}{2}$  y 8. Por consecuencia, las dos componentes trabajarán de manera satisfactoria en el ejemplo anterior. Se debe tratar de obtener  $3 = 5-6''$ .

### El Sismograma. — Generalidades. — Signos internacionales. — División en fases

POR M. NAVARRO NEUMANN

El sismograma es la representación gráfica, más o menos fiel, del movimiento del suelo en el sitio donde esté instalado el sismógrafo, pero no una copia a escala más o menos reducida del mismo movimiento, tal cual fué en el foco, ni aun siquiera en el epicentro, de hallarse éste distante. Acaece en esto algo análogo a lo que pasa con un rayo de luz dispersado por un prisma y proyectado sobre una pantalla: con el aumento de la distancia crece la longitud de la faja espectral, y lo que a la salida del prisma parecía una línea brillante (imagen de la rendija), con un borde rojo, el otro purpúreo y el centro confuso, se descompone en la cinta de innumerables matices, surcado por las rayas negras características del espectro de Fraunhofer. Así también, en lo que con el Conde de Montessus de Ballore pudiéramos llamar espectro sísmico corto, esto es, de escasa duración en el epicentro y además confuso, se diferencian con la distancia las diversas clases de ondas (que no son otra cosa más que vibraciones elásticas debidas a una ruptura o hundimiento, etc., quizá rapidísimo, vibraciones que adquieren caracteres muy diversos, tanto por los medios transmisores, como por su misma modalidad), llegando a agitar tal vez hasta  $4\frac{1}{2}$  horas los sismógrafos situados a enormes distancias, aun en el antípoda del epicentro, o anti-epicentro distante unos 20,000 kilómetros.

Por esto, fuera del interés particular que encierran los gráficos de los terremotos cercanos, los de los lejanos, obtenibles en todas partes (no así los otros), constituyen un precioso e insustituible medio de investigación sobre la rigidez,

composición, estado probable, etc., de las regiones internas de la tierra, al través de las cuales, siguiendo el símil anteriormente expuesto, se refracta el espectro sísmico. De aquí el considerable número de estaciones sismológicas situadas en sitios donde los terrenos cercanos escasean y hasta constituyen un fenómeno excepcional, entre las que precisamente figuran las más renombradas, y que nada tendrían que hacer si no se dedicasen de lleno al estudio de los telesismos, <sup>(1)</sup> con gran detrimento de los plesioseismos, <sup>(2)</sup> mucho más importantes bajo el aspecto utilitario, y el mismo público ilustrado comparte un poco las ideas de los profesionales.

Nunca, o poco menos, resultan rectos los trazos de un sismógrafo sensible, sino que presentan sinusoides más o menos regulares, bruscas desviaciones, engrosamientos, etc., que denotan que el suelo está en continua agitación. Estas desviaciones unas veces son extra-sísmicas, producidas por corrientes de aire al abrir o cerrar la vitrina que resguarde al sismógrafo, por el tránsito cercano de personas o vehículos . . . ; de origen meteórico más o menos directo y evidente, como los estremecimientos del suelo al balancearse los árboles azotados por el vendaval, la costa batida por fuerte oleaje, los bruscos cambios de presión atmosférica; . . . (estos movimientos y otros análogos, que suelen prolongarse durante horas y aún días, con notable regularidad, se denominan barocismos) o finalmente pudieran ser sísmicas, bien provengan de un terremoto local y sensible o no, bien del eco, repercusión o transmisión de otro lejano. Con buenos sismógrafos, sobre todo si están lo suficientemente amortiguados, es punto menos que imposible el confundir el gráfico de un sismo auténtico con esos movimientos parásitos, en ocasiones bastante molestos y nocivos, por enmascarar los sismos cuyos gráficos resulten muy débiles, sobre todo en sus comienzos, hoy casi lo más interesante de los mismos.

Los gráficos de los terremotos, o sismogramas, presentan trazos diferenciables los unos de los otros en atención a sus períodos y amplitudes, lo que permite agruparlos en fases, o designándose, de ordinario, los puntos más interesantes o críticos por medio de iniciales, de acuerdo con la circular dirigida a fines de 1911 a los directores de las diversas estaciones sismológicas por el Profesor O. Hecker, como Director de la Oficina Central de la Asociación Sismológica Internacional de Estrasburgo. Esas iniciales o *símbolos internacionales*, como los llama con sobrada razón el P. Federico L. Odenbach, S. J. de Cleveland (O), están tomados en su mayoría del Profesor Wiechert, y son los siguientes, a los que añadiremos su sinonimia.

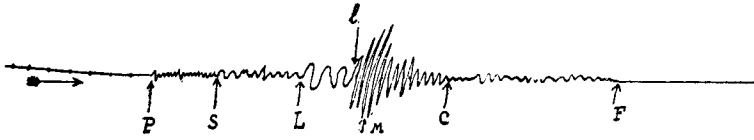
P (*undae primae*), primeros movimientos preliminares, ondas longitudinales *erster Vorlauffer*, first preliminary tremors, *primi tremiti*,  $P_1$ ,  $V_2$ , I, etc. . . ; S (*undae secundae*), segundos movimientos preliminares, ondas transversales, *zweiter Vorlauffer*, second preliminary tremors, *secondi tremiti*,  $P_2$ ,  $V_2$ , II, etc; L (*undae longae*) ondas lentas, porción principal, grandes ondas, *Hauptphase*, *lange Wellen*, long waves, onde lente, G, O,  $P_3$ , III u ondas superficiales, entre las cuales se halla el máximo verdadero M (*maximum*) o los máximos, designándose entonces estos por subíndices, a partir del que se presentara primero  $M_1$ ,  $M_2$ ; . . .  $C_1$ ,  $C_2$  . . . (*codae*), cola . . . indican los máximos secundarios registrados después de terminada la porción principal, y últimamente F (*finis*), fin, *Ende*, end, etc., indica el final claramente perceptible del movimiento.

Los signos aclaratorios de los puntos críticos antes indicados e incluidos también en la misma circular, son: i (*impetus*), (*impetu* o comienzo brusco y evidente

(1). Tele = lejos, lejano (epicentro a más de mil kilómetros).

(2). Plesios = cerca, cercano (epicentro a menos de mil kilómetros).

(de una fase (P, S, L); *e* (emersio) = comienzo menos definido y gradual y aun tal vez incierto. Usados solos indican el principio de una o más ondas, con duda de que pertenezcan a una fase dada. En el caso contrario, esto es, cuando determinan el principio de una base fija, se colocan ante el signo de ésta: *i*P, *e*L, por ejemplo. Algunas veces, sobre todo en P y aun tratándose de un solo terremoto, hay primero *e*P y varios segundos más tarde *i*P.



T (tempus) indica el valor en segundos de los períodos completos de las ondas que se analicen y  $A_n$ ,  $A_e$ ,  $A_z$ , respectivamente, las amplitudes verdaderas (reducidas de las medidas directamente en el gráfico), de las tales ondas en micras  $\mu$  o milésimas de milímetro en las tres componentes N-S, E-W y vertical o Z, amplitudes a las que precederá el signo + si la desviación medida fuese hacia el N., E. o arriba o Zenit, y el signo - si fuese en sentido contrario.  $\Delta$  indica la distancia del epicentro en kilómetros, calculada según los datos del sismograma. Un signo de interrogación = ?, colocado a continuación de un símbolo, indica duda sobre su exacta correspondencia.

Además de estos signos, que pudiéramos llamar *oficiales*, la nomenclatura Wiechert, o de Gotinga comprende otros, que son los siguientes:

El gráfico puede ser simplemente *perceptible* = I, notable = II y muy notable = III, en atención a las amplitudes registradas, y atendiendo a la distancia epicentral ser de un terremoto local, o sentido en la localidad = (domesticus), o insensible. En este último caso, si su epicentro dista menos de 1,000 kilómetros, se le designará con una *v* (vicinus); si dista más de 1,000 y menos de 5,000, con una *r* (remotus), y con una *u* (ultimus) si distase más de 5,000 kilómetros, distancias apreciadas siempre por el arco de círculo máximo que medie entre el epicentro y la estación sismológica.  $P_R P_R \dots$  = ondas longitudinales reflejadas, una, dos  $\dots$  veces.  $S_R S_R \dots$  ondas transversales reflejadas, una, dos  $\dots$  veces. PS = ondas que cambiaron su carácter y han sufrido una sola reflexión; PPS, PSS id. reflejadas dos veces; *in* (internus), *ex* (externus) = sentido en el que se verificó la reflexión; L rep 1, M rep 1, L rep 2, indican respectivamente ondas lentas o máximos que ha recorrido el camino más largo para llegar a la estación, o que vuelven segunda vez, después de un viaje de 40,000 kilómetros  $W_2$ ,  $W_3$  en la clasificación de Omori). Ultimamente el signo  $\pm$  antes de una hora, con el aditamento de una cifra cualquiera, indica los límites del error probable en la determinación de algún punto crítico de importancia.

A estos signos pudiera añadirse con el Profesor Doctor J. B. Woodworth, distinguido director de la Estación Sismológica de la Universidad de Harvard (Cambridge, Mass.) un o para designar la hora del terremoto, esto es, aquella en la que debió comenzar a sentirse en el epicentro, deducida de la distancia epicentral y de la hora inicial de P, o, en su defecto, de alguna otra onda bien definida y característica.

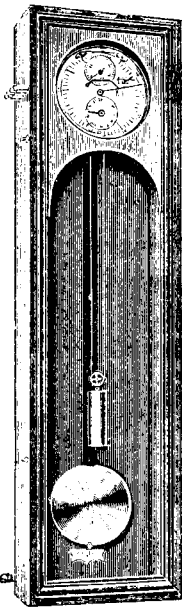
La división en fases, fácilmente factible en los sismógrafos claros, los que con buenos instrumentos apenas llegan al tercio de los registrados, resulta a veces muy



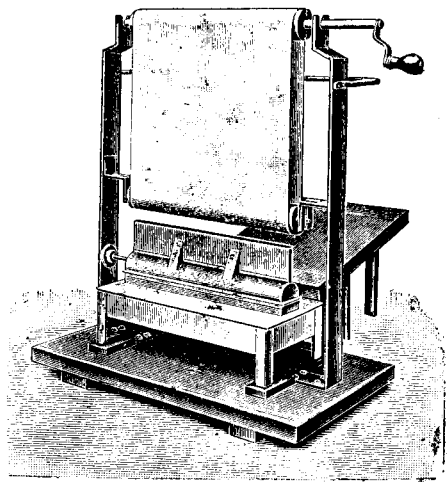
difícil y aun imposible, sobre todo si el aumento y el amortiguamiento son insuficientes y hay fuertes barosismos, bien que una sola de estas tres causas bastaría en muchos casos. Los criterios principales para determinar el comienzo de una fase son el cambio de período y de amplitud. De ordinario, en los gráficos siquiera medianos, P es fácil de determinar, S algo más difícil, y todavía más L, por lo que esta última suele darse en minutos y décimas de minuto, cuando aparecen en muy buenas condiciones, en vez de los segundos ordinariamente usados para las otras. S suele faltar o ser discutible para las distancias inferiores a 250 kilómetros, y en general, no muy claro a menos de 450 y a más de 11,000 a 12,000, ocurriendo esto último con P para las largas distancias, en las cuales, sobre todo durante el eclipse que parece experimentar entre los 12 y los 15,000 kilómetros, los reflejos de  $P_R$   $P_{R2}$  . . son, por el contrario, mucho más aparentes.

Los dos puntos críticos más importantes son P y S, puesto que no sólo nos permiten determinar la distancia epicentral con mayor precisión que los reflejos, hoy todavía imperfectamente estudiados, sino que también tal vez basten para localizar el mismo epicentro.»

\*  
\* \*



Reloj de contactos, empleado para dar la hora en los seismógrafos.



Lámpara para alumar el papel, y donde por medio de una bañadera se fijan los diagramas con un barniz de goma laca y alcohol.