

NUEVO INSTRUMENTAL—UN SISMÓMETRO VERTICAL  
CON SUSPENSIÓN MAGNÉTICA

NEW INSTRUMENTS—A VERTICAL SEISMOMETER  
WITH MAGNETIC SUSPENSION

RESUMEN

ABSTRACT

Los sismómetros verticales están basados en sistemas de péndulos compuestos por una masa suspendida de resortes metálicos de diferentes tipos para eliminar la disimetría de los movimientos oscilatorios. A veces se añade algún tipo de diafragma circular elástico que funciona como transductor, ocasionalmente reducido a tres láminas elásticas o hilos, como en los sismómetros del tipo Benioff.

Por medio de un análisis matemático de sismómetros de resorte se encontró que si la constante del resorte es grande, el sistema funciona como un acelerógrafo mientras que si la constante es pequeña, el sistema puede usarse para medir desplazamientos.

Después de algunas consideraciones prácticas sobre la construcción de sismómetros verticales y sobre propiedades de resortes metálicos, se presenta un tratamiento matemático de su manipulación y aplicaciones. Para obtener una interpretación acertada de los sismogramas deben introducirse algunas correcciones que compensen las variaciones del campo magnético como se describe en el texto.

Vertical seismometers are based on pendulum systems made of a mass hanging from metallic springs of different types to eliminate the dissymmetry of oscillatory movements. At times, some sort of elastic circular diaphragm is added to function as a transducer, occasionally reduced to three elastic plates or threads, as in the Benioff type seismometers.

Through a mathematical analysis of spring seismometers it has been found that if the spring constant is large, the system functions as an accelerograph, while if the constant is small the system may be used to measure displacements.

After some practical considerations of the construction of vertical seismometers and of properties of metallic spring, a mathematical treatment of their handling and applications is given. In order to obtain an accurate interpretation of seismograms, some corrections accounting for variations of the magnetic field should be introduced as described in the text.

Todos los sismómetros verticales utilizados hoy en estaciones sísmológicas y en trabajos de prospección se basan en sistemas pendulares compuestos por una masa suspendida de un resorte helicoidal ordinario (sismógrafo Wiechert) o de un resorte de longitud inicial nula (sismógrafo La Coste), con objeto de eliminar la disimetría del movimiento oscilante; a veces tienen algún tipo de diafragma elástico circular en cuyo centro se coloca la masa pendular que funciona al mismo tiempo como transductor, al igual de muchos sismómetros usados en trabajos de prospección. El diafragma puede quedar reducido a solamente tres filamentos o láminas elásticas formando ángulos de  $120^\circ$  entre sí, como en los sismógrafos del tipo Benioff, en que dos o tres de estos "diafragmas" hacen que la masa solo se mueva a lo largo del eje central del cilindro (Fig. 1).

All vertical seismometers now utilized in seismological stations and suverying work are based on pendulum systems made of a mass suspended from an ordinary helicoidal spring (Wiechert seismograph), or of an initially non-elongated spring (La Coste seismograph) to eliminate the dissymmetry of oscillating movements; at times, some sort of elastic circular diaphragm holding the pendular mass in its center is added to act as a transducer like in many seismometers utilized for surveying work. The diaphragm may be reduced to only three filaments or elastic plates forming angles of  $120^\circ$  among them, like in the Benioff type seismographs, in which two or three of these "diaphragms" force the mass to move only along the central axis of the cylinder (Fig. 1).

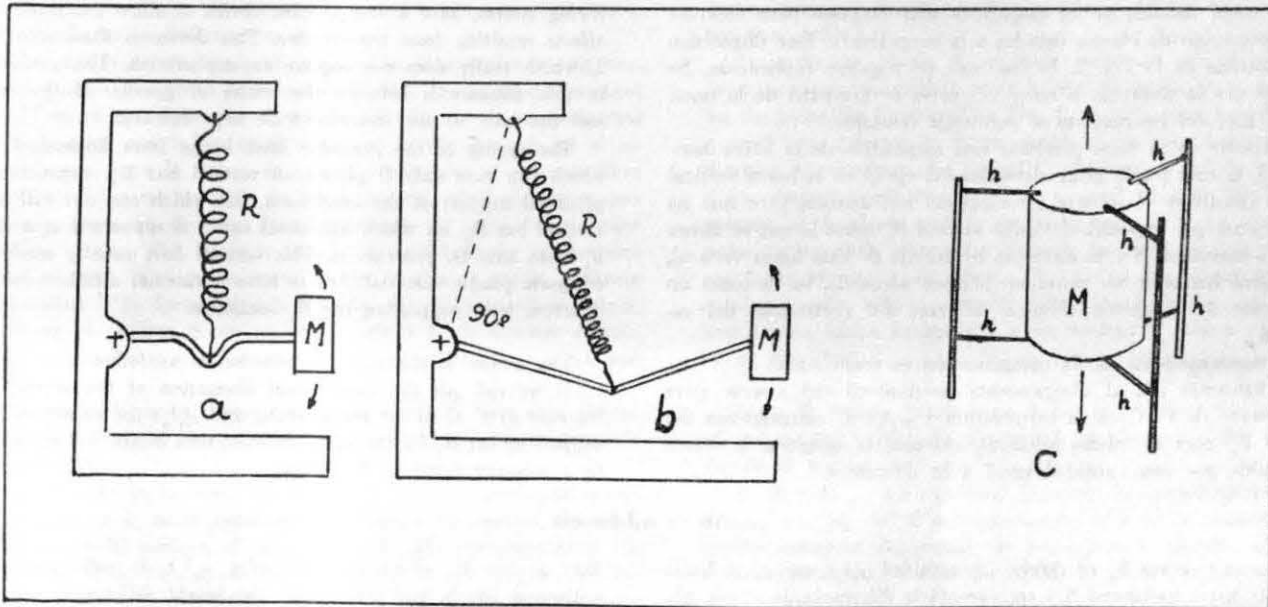


Fig. 1—Sismómetros verticales:  
a) Suspensión ordinaria, sistema Wiechert,  
b) Suspensión con resorte de longitud inicial nula, sistema La Coste,  
c) "Diafragma" doble con tres hilos o láminas, sistema Benioff.  
Las flechas indican la dirección del movimiento.

Fig. 1—Vertical seismometers:  
a) Ordinary suspension, Wiechert system,  
b) Spring suspension with initial non-clougated longitude, La Coste system,  
c) Double "diaporagm" with three threads or plates, Benioff system.  
Arrows indicate direction of movement.

El tratamiento matemático de los sismómetros que utilizan resortes es muy sencillo y una versión simplificada ha sido dada por el autor hace ya algunos años (Merino y Coronado, J., 1955). Se demuestra fácilmente que si la constante del resorte es grande, el instrumento funcionará como acelerógrafo mientras que si la constante es pequeña trabajará como medidor de desplazamientos.

Los sismómetros verticales que utilizan resortes tienen algunos inconvenientes:

- a) la construcción de resortes de longitud inicial nula no es sencilla;
- b) los alargamientos debidos al aumento de temperatura ocasionan desplazamientos de la masa pendular, con el consiguiente corrimiento del cero en los registros, y
- c) tales péndulos son tanto más sensibles a variaciones de la presión atmosférica cuanto más delicada sea la suspensión, es decir, cuanto más pequeña sea la constante del resorte.

La sensibilidad a variaciones de la presión atmosférica no se puede corregir en los aparatos mecánicos dotados de grandes masas. Afortunadamente este tipo de sismógrafo está siendo abandonado con rapidez por todas las estaciones sismológicas importantes del mundo. En los instrumentos modernos, cuyo registro es fotográfico o electromagnético y cuyas masas no exceden sino rara vez de algunas decenas de kilogramos, el sismómetro se coloca en una caja con empques completamente herméticos, con el fin de mantener en su interior una presión constante. Los cables eléctricos del transductor salen de la caja por medio de enchufes sellados contra la acción de la presión atmosférica.

La anulación de efectos debidos a variaciones de la temperatura se intentaba en los antiguos aparatos sujetando la suspensión a una parrilla constituida por gruesas barras de diferentes metales (usualmente hierro y zinc) con diversos coeficientes de dilatación térmica. Esta parrilla es semejante a las usadas en los viejos relojes de péndulo y se mantiene a longitud constante si sus elementos dilatables se han calculado con exactitud. Sin embargo, el sistema funcionaba mal a pesar de todo, como lo sabe cualquier sismólogo que no sea muy joven y a quien le haya tocado trabajar con los antiguos aparatos verticales del sistema Wiechert.

Actualmente algunos sismómetros, entre ellos los de sistema Press-Ewing, están dotados de un dispositivo muy elegante para efectuar la compensación de efectos debidos a la temperatura. Este dispositivo está ilustrado en la Fig. 2, la cual casi no requiere explicación. Se trata de que la distancia  $h$  entre el centro de gravedad de la masa  $M$  y la base del instrumento se mantenga constante.

El resorte de la masa pendular está suspendido de la barra horizontal  $S$ , la cual puede girar alrededor del eje  $O$  en la barra vertical  $B_1$  que constituye el soporte principal del instrumento, pero que no puede caerse por impedirlo la barra vertical  $B_2$  sobre la que se apoya la barra horizontal  $S$  a la distancia  $b_2$  del eje  $O$ . Esta barra vertical, usualmente hecha de un material plástico adecuado, ha de tener un coeficiente de dilatación térmica diferente del coeficiente del soporte  $B_1$ .

El funcionamiento de la compensación es como sigue:

Si llamamos  $\alpha_1 t$  al alargamiento longitudinal del resorte para un aumento de  $t^\circ C$  en la temperatura y  $\alpha_2 l_2 t$  al alargamiento del soporte  $B_2$  para el mismo aumento, entonces la distancia  $h$  estará disminuida por una cantidad igual a la diferencia.

$$\Delta h = \alpha_2 l_2 t - \alpha_1 t \quad (a)$$

Pero, como la barra  $B_2$  se alarga una cantidad  $\alpha_2 l_2 t$ , empujará hacia arriba la barra horizontal  $S$  y compensará la diferencia de altura  $\Delta h$ .

Si, como hemos supuesto en (a), el alargamiento lineal del resorte es menor que el del soporte  $B_1$  y el de la barra lo es también por semejanza de triángulos se tiene que

$$\frac{OA_1}{\alpha_1 - \alpha_2} = \frac{OA}{\alpha_1 - \alpha}$$

The mathematical treatment of seismometers utilizing springs is very simple, and a simplified version has been given by the author many years ago (Merino y Coronado, J., 1955). It is easily shown that if the spring constant is large, the instrument will work like an accelerograph while if the constant is small it will work like a displacement measurement device.

The vertical seismometers utilizing springs have several inconveniences:

- a) Construction of initially non-elongated springs is not simple;
- b) Elongations resulting from temperature increase originate displacements of the pendulum mass, with a correlative displacement of the zero in the graphs, and,
- c) Such pendulum are very sensitive to variations of atmospheric pressure because of the delicateness of their suspension, i.e. the more so as the spring constant becomes smaller.

The sensitivity to variations of atmospheric pressure can not be corrected in mechanical instruments with great masses. Fortunately, this type of seismographs is being rapidly abandoned in all important seismological stations in the world. In modern instruments, with photographic or electromagnetic recording devices, and with masses exceeding only seldom some tens of kilograms, the seismometer is encased in a tightly packed box in order to maintain a constant pressure in its interior. The electric cables from the transductor come out from the box by means of switches sealed against the action of atmospheric pressure.

In ancient instruments the elimination of effects due to variations in temperature was attempted by subjecting the suspension from a grid made of thick bars of different metals (usually iron and zinc) with diverse coefficients of thermal expansion. This grid is entirely similar to those used in old pendulum clocks, and is maintained at a constant elongation if its expansion elements have been calculated with exactitude. However, in spite of precautions the system did not work well as not very young seismologists know if they have worked with the old vertical instruments of the Wiechert system.

At present, some seismometers, among them those of the Press-Ewing system, have a very elegant device to allow compensations of effects resulting from temperature. This device is illustrated in Fig. 2, which really does not require an explanation. The problem lies in that distance  $h$  between the center of gravity of the mass  $M$  and the base of the instrument be kept constant.

The spring of the pendular mass hangs from horizontal bar  $S$ , which can turn axis  $O$  placed on vertical bar  $B_1$ , constituting the principal support of the instrument, but which can not fall because vertical bar  $B_2$ , on which horizontal bar  $S$  is supported at a distance  $b_2$  from axis  $O$ , prevents it. This vertical bar, usually made of an adequate plastic material, has to have a thermal dilation coefficient different from supporting bar  $B_1$  coefficient.

The action of thermal compensation is as follows:

If we call  $\alpha_1 t$  the longitudinal elongation of the spring for an increase of  $t^\circ C$  in the temperature, and  $\alpha_2 l_2 t$  the elongation of the supporting bar  $B_2$  for the same increase, then distance  $h$  will diminish by a quantity equal to difference.

But, as bar  $B_2$  elongates a quantity  $\alpha_2 l_2 t$ , it will push upward horizontal bar  $S$ , and compensate the height difference  $\Delta h$ .

If, as we have assumed in (a), the linear elongation of the spring is smaller than that of supporting bar  $B_1$  and that the bar elongation is also smaller, then, by similitude of triangles, we have

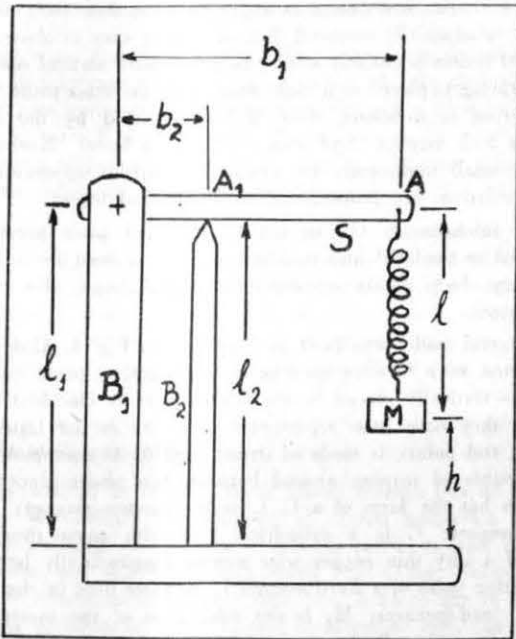


Fig. 2—Un sistema moderno de compensación por temperatura.  
Fig. 2—Modern temperature compensated system.

ecuación que permite calcular todo el dispositivo y en la cual

- $a_1 = \alpha_1 l_1 t$  alargamiento del soporte  $B_1$ ;
- $a_2 = \alpha_2 l_2 t$  alargamiento de la barra  $B_2$ ;
- $a = \alpha t$  alargamiento lineal del resorte;
- OA = distancia entre el eje O y el punto de suspensión del resorte;
- $OA_1$  = distancia entre el eje O y el punto en que la barra  $B_2$  soporta a la barra horizontal S.

En la ecuación (b) no se ha tomado en cuenta el alargamiento de la barra horizontal S, cosa por lo demás muy fácil de hacer, pero esta corrección carece de importancia práctica si en la construcción de dicha barra se utiliza acero invar.

Con objeto de disminuir al mínimo los inconvenientes anteriormente citados, construyó el autor un modelo de sismómetro vertical basado en el principio que ilustra la Fig. 3: una barra horizontal B puede girar con fulcro en O mediante un eje montado en el soporte S que tiene la forma de una C mayúscula; el extremo libre de la barra soporta un imán de barra colocado verticalmente a una pequeña distancia de otro imán semejante, de modo que ambos trabajen en repulsión, es decir, con los polos del mismo nombre frente al otro; la distancia entre los dos imanes se regula mediante los tornillos TT; frente al polo superior del imán móvil se coloca, sujeta en el soporte S, un carrete o bobina C de muchas vueltas, cuyas terminales a a se conectan a un galvanómetro o a un amplificador.

El índice P, que se mueve frente a la escala E, sirve para ajustar la horizontalidad del sistema móvil, acortando o alargando la distancia del imán fijo.

Si (B+M) es la masa combinada de la barra horizontal y del imán móvil y k es la constante para tomar en cuenta, el centro de gravedad del sistema, el momento k (B+M) con respecto al eje de giro O ha de equilibrarse por  $k_1 m m_1 / y^2$ , donde m y  $m_1$  son los valores de los polos magnéticos, y es una distancia y  $k_1$  una constante de proporcionalidad para tomar en cuenta las unidades escogidas.

Cualquier fuerza aplicada al imán móvil desequilibrará el sistema y es obvio que éste constituye una especie de balanza muy sensible a las variaciones de aceleración de la gravedad, o sea un gravímetro. Por demás está decir que se presentan algunas dificultades de construcción que impiden el uso de un instrumento semejante como

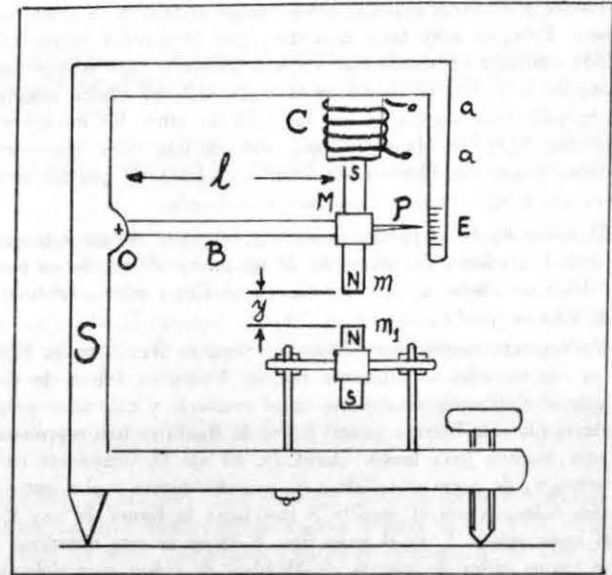


Fig. 3—Primer modelo de sismómetro vertical con suspensión magnética construido por el autor.

Fig. 3—First model of vertical seismometer with magnetic suspension built by the author.

an equation which allows calculation of the whole device, where

- $a_1 = \alpha_1 l_1 t$ , elongation of supporting bar  $B_1$ ;
- $a_2 = \alpha_2 l_2 t$ , elongation of supporting bar  $B_2$ ;
- $a = \alpha t$ , linear elongation of the spring;
- OA = distance between axis O and the spring hanging point;
- $OA_1$  = distance between axis O and the point in which bar  $B_2$  supports horizontal bar S.

In equation (b), the elongation of horizontal bar S has not being considered, a fact very easily accomplished, although this correction has no practical importance if invar steel has been used in the construction of the bar.

In order to obtain a minimal reduction of above-mentioned inconveniences, the author made a vertical seismometer model based on the principle illustrated in Fig. 3; a horizontal bar B may turn around with fulcrum in O by means of an axis mounted on pivot S which has the form of a capital C; the free end of the bar supports a bar magnet vertically placed at a small distance from a similar magnet, so that both work by repulsing each other, i.e. with identical poles facing each other; the distance between the two magnets is regulated by means of screws TT; facing the upper pole of the moving magnet, held by supporting bar S, is located a bobbin C, with many turns whose terminals a a are connected with a galvanometer or an amplifier.

Index P, moving before scale E, serves to adjust the horizontality of the moving system, by shortening or elongating the distance of the fixed magnet.

If (B+M) is the combined mass of the horizontal bar and the moving magnet, and K is a constant to be held in consideration, the gravity center of the system, the momentum k (B+M) with respect to the gyre-axis O has to be balanced by  $k_1 m m_1 / y^2$ , where m y  $m_1$  are the values of the magnetic poles, y is a distance, and  $k_1$  is a constant of proportionality to hold in consideration for the selected units.

Any force applied to the moving magnet will disrupt the system's balance, and it is obvious that it constitutes a kind of very sensitive magnet to variations of gravity acceleration, i.e. a gravimeter. Needless to say, some difficulties of construction act to prevent the



gravímetro y mientras esas dificultades no se resuelvan de modo satisfactorio. Pero, es muy fácil demostrar que el sistema propuesto es en todo similar a un sismómetro vertical ordinario cuyo resorte forma un ángulo recto con el puntal de la masa, sólo que dicho resorte es ficticio pues está constituido por la repulsión entre los imanes y no sigue una "Ley de Hooke" lineal, aun cuando para movimientos pequeños pueda considerarse sin error apreciable ya que las desviaciones son proporcionales a las fuerzas aplicadas.

El fulcro en O no puede ser un simple pivote porque está sujeto a efecto de torsión y de volteo: ha de ser un eje de acero con puntas muy bien templadas que se apoyen en zócalos cónicos, también de acero bien templado.

Un segundo modelo fue construido como se ilustra en la Fig. 4. En su construcción se utilizaron imanes Alnico en forma de C, de los que se consiguen usualmente en el comercio y colocados perpendicularmente a la barra o puntal B (en la figura se han representado de otra manera para mayor claridad). El eje O, con puntas en los extremos, es de acero templado a su máxima dureza y gira entre dos zócalos colocado en el soporte S que tiene la forma de una C.  $I_1$  es el imán móvil;  $I_2$  es el imán fijo; C es un carrete cilíndrico que tiene varios miles de vueltas de alambre de cobre muy delgado y que se mueve longitudinalmente entre los polos concéntricos de un imán fijo  $I_3$  de los utilizados en la construcción de altoparlantes;  $M_1$  es la masa total del sistema móvil, constituido por el puntal B, el imán móvil, el carrete y el índice P que se mueve frente a la escala fija E que sirve para ajustar el instrumento;  $M_2$  es un contrapeso que se coloca a la distancia  $L_2$ , ya reducida para tomar en cuenta el centro de gravedad del contrapeso y de la barra que lo sujeta;  $L_1$  es la distancia entre el eje de giro O y el centro de gravedad del sistema de masas constituido por ( $M_1+B+C+P$ ).

Para operar el instrumento se necesita que

$$L_1 (M_1 + B + C + P) > L_2 M_2 \quad (c)$$

donde se equilibra la diferencia de momento moviendo el imán fijo  $I_2$  hasta que el índice P indique la horizontalidad de la barra B. Una vez obtenida esta condición, el funcionamiento del instrumento como acelerómetro es obvio: sus ecuaciones de movimiento son tan conocidas que no necesitan explicación.

use of a similar instrument as a gravimeter unless such difficulties are not satisfactorily removed. But, it is very easy to show that the proposed system is entirely similar to an ordinary vertical seismometer whose spring is placed at a right angle with the mass pivot, although that spring is fictitious, since it is constituted by the repulsion between both magnets, and does not follow a linear "Hooke's Law", even if small movements are considered without appreciable error since deviations are proportional to the applied forces.

The fulcrum in O can not be a simple pivot because it is subjected to torsional and turn-over effects; it must be a steel axis with very sharp points supported by conical bases, also of a very strong steel.

A second model was built as illustrated in Fig. 4. Alnico magnet in form of a C were used in its construction, using commercial elements vertically placed on the bar or pivot B (for better understanding they have been represented otherwise in the figure). Axis O, with end points, is made of strong steel to its maximum strength and capable of turning around between two pivots placed on bar S which has the form of a C.  $I_1$  is the moving magnet;  $I_2$  is the fixed magnet; C is a cylindrical coil with some thousands of turns of a very thin copper wire moving longitudinally between the concentric poles of a fixed magnet  $I_3$ , as those used in the construction of loud-speakers;  $M_1$  is the total mass of the moving system made up of a pivot B, the moving magnet, the spool, and the index P that moves in front of the fixed scale E serving to adjust the instrument;  $M_2$  is a counter-weight placed at distance  $L_2$ , already reduced to account for the gravity center of the counter-weight and the fixing bar,  $L_1$  is the distance between gyre-axis O and the gravity center of the system of masses constituted by ( $M_1+B+C+P$ ).

To operate the instrument there is need that

where difference in momentum is balanced by moving the fixed magnet  $I_2$  until index P marks the horizontality of bar B. When this condition is reached, it is obvious that the instrument functions as an accelerometer, and since its equations of movement are so well known there is no need of further explanation.

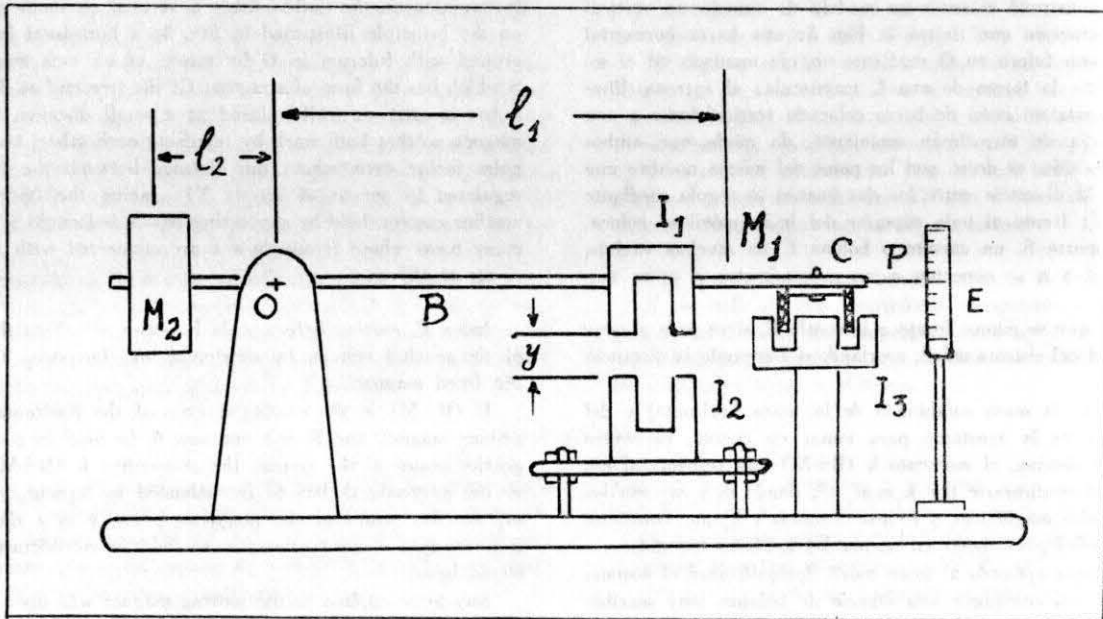


Fig. 4—Segundo modelo de sismómetro vertical con suspensión magnética. El prototipo definitivo tiene pocas diferencias con éste.

Fig. 4—Second model of vertical seismometer with magnetic suspension. The ultimate prototype has little differences with this.

CORRECCIONES APLICADAS AL SISMOMETRO CON SUSPENSION MAGNETICA

**CORRECCIONES POR TEMPERATURA.** Las variaciones de un campo magnético tan intenso como el que se utiliza en este caso son despreciables para variaciones de temperatura del orden de unos 10° C. Haciendo la barra B de acero invar, las variaciones de momento son prácticamente despreciables, de modo que la diferencia entre ellos se mantiene constante sin error apreciable.

**CORRECCIÓN POR PRESIÓN ATMOSFÉRICA.** Si se construyen las masas móviles a uno y otro lado del eje O de tal manera que sus volúmenes estén en tal relación que  $V_1 L_1 = V_2 L_2$ , las variaciones de momento a la derecha y a la izquierda del eje serán iguales y de signo contrario; el sistema permanecerá en equilibrio en lo que respecta a las variaciones de la presión atmosférica cuya acción no necesita corrección. Esta condición es fácil de llenar encerrando los imanes y el contrapeso en cajas de material plástico adecuado, selladas de modo conveniente.

**ENVEJECIMIENTO DE IMANES.** De la misma manera que un resorte envejece y se modifica su constante, el campo magnético de los imanes que trabajan en repulsión se debilita con el tiempo. En este caso la parte que soporta el imán móvil bajará por acción de la gravedad. Si acercamos entonces el imán fijo, la barra que lo soporta recobrará la horizontalidad, con lo cual la fuerza de repulsión tendrá de nuevo su valor primitivo y para movimientos pequeños, el sismómetro se comportará como al principio y no será necesaria una nueva calibración.

**ACCIONES EXTERNAS.** El sismómetro vertical con suspensión magnética puede ser sensible a los campos magnéticos exteriores, sobre todo si son de cierta intensidad. Este inconveniente se reduce a una cantidad despreciable rodeando el instrumento con un blindaje magnético, es decir, metiéndolo dentro de una caja de lámina de acero para transformadores.

OTRAS FORMAS DE CONSTRUCCION DEL INSTRUMENTO

La Fig. 5 muestra otras posibles formas de construcción para sismómetros verticales con suspensión magnética. En una de ellas

CORRECTIONS APPLIED TO THE MAGNETIC SUSPENSION SEISMOMETER

**CORRECTION OF TEMPERATURE.** Variations of such an intense magnetic field as that used in this case are negligible for temperature variations of the order of some 10° C. If bar B is made of invar steel, the momentum variations are practically negligible so that the differences between both is maintained constant without appreciable error.

**CORRECTION OF ATMOSPHERIC PRESSURE.** If the moving masses on both sides of axis O are built in such way that their relations are  $V_1 L_1 = V_2 L_2$  the momentum variations to the right and the left of the axis will be identical and of contrary sign; the system will be kept in balance with respect to variations of atmospheric pressure, whose action does not need any correction. This condition is easy to attain by encasing the magnet and the counter-weight in adequate plastic boxes conveniently packed.

**AGEING OF MAGNET.** The magnetic field of magnets working in repulsion becomes weaker in the course of time in the same manner as springs do with modifications of their constant S. In this case, the part supporting the moving magnet will descend by gravity action. If the fixed magnet is then approached, the supporting bar will recover its horizontality and give back its primitive value to the force of repulsion, and for small movements the seismometer will act as in the beginning making unnecessary a new calibration.

**EXTERNAL ACTIONS.** The vertical seismometer with magnetic suspension may be sensitive to external magnetic fields, specially if they are somewhat intense. This inconvenience may be reduced to a negligible quantity by surrounding the instrument with a magnetic shield, i.e., by packing it inside a box of steel plate as those used for transformers.

OTHER FORMS OF CONSTRUCTION OF THE INSTRUMENT

Fig. 5 indicates other possible forms of construction of vertical seismometers with magnetic suspension. In one of them the magnet

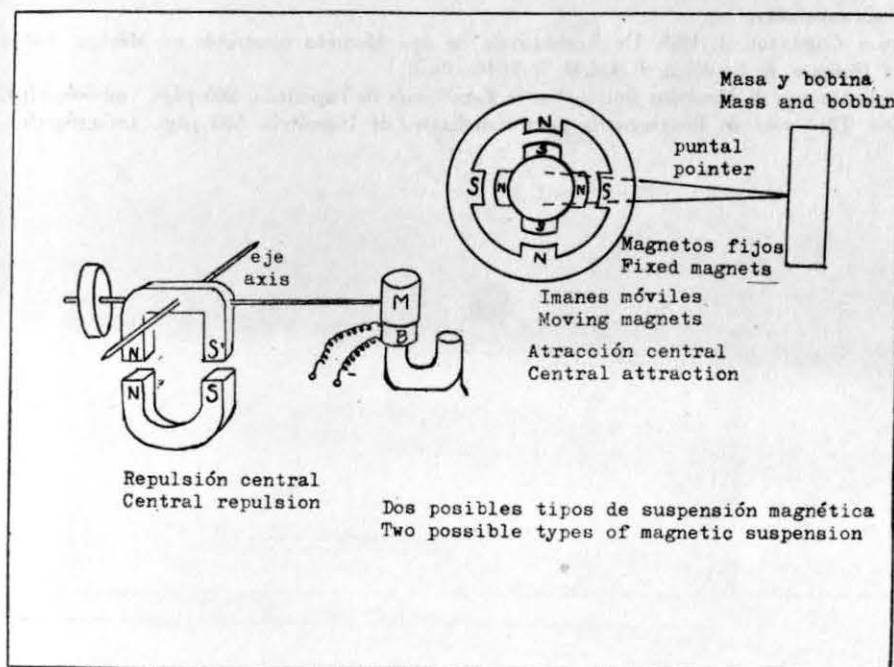


Fig. 5—Otras posibilidades de construcción de un instrumento de suspensión magnética, con los imanes en el centro.

Fig. 5—Other possibilities for making magnetic suspension instruments; magnets are in the center.



los imanes trabajan en atracción y no en repulsión. El principio del funcionamiento es, sin embargo, el mismo: las ecuaciones de movimiento y de equilibrio tienen la misma forma y solamente cambian algunos signos.

Los aparatos del tipo descrito tienen muchas ventajas sobre los sismómetros ordinarios de resorte, pero tienen una limitación: los movimientos muy fuertes pueden llegar a hacer que se peguen los imanes, que se salgan de su mutuo campo de acción o que se desajuste seriamente el instrumento. Eso, después de todo, ocurre con casi todos los tipos de sismómetro.

#### SISTEMA DE REGISTRO

Cualquier tipo de registro es susceptible de utilizarse con instrumentos como el descrito, menos el mecánico directo sobre papel ahumado. Los amplificadores transistorizados ofrecen posibilidades prácticamente ilimitadas, así como la posibilidad de utilizar galvanómetros registradores con tinta sobre papel. La habilidad del constructor puede resolver el problema del modo más conveniente y económico en cada caso.

#### AGRADECIMIENTOS

El autor quiere hacer patente aquí su agradecimiento a sus colaboradores Eduardo Salyano y José Rosales Muñoz, quienes participaron entusiasta y activamente en la solución de los largos y tediosos cálculos y experimentos previos a la construcción de los modelos que se han presentado en las líneas anteriores.

J. MERINO Y CORONADO.

Instituto de Geofísica, U.N.A.M.

will work in attraction, and not in repulsion. However, they are built on the same principle because the equations of movement and balance have the same form and only some signs will change.

The instruments just described have many advantage on the ordinary spring seismometers, but they have one limitation: very strong movements may cause the magnet to join, to come out from their mutual field of action, or to seriously disadjust the instrument. After all, that may also occur to all types of seismometers.

#### RECORDING SYSTEMS

Any type of recording is susceptible of being used with instruments as the one described, except that directly mechanical on smoked paper. The transistorized amplifier practically offer unlimited possibilities, as well as the possibility of utilizing recording galvanometers with ink on paper. The constructor's ability may solve the problem in the most convenient and economic way in each case.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The author would like to express his thanks to his collaborators Eduardo Salyano and José Rosales Muñoz, both of whom actively and enthusiastically participated in the solution of the long and tedious calculations and experiments previous to the construction of models presented in the preceding lines.

J. MERINO Y CORONADO.

Institute of Geophysics, N.A.U.M.

#### BIBLIOGRAFIA

- DUCLAUX, Mme. F. 1960. *Seismométrie Théorique*. París (Gauthier Villars), 1 vol.  
 EWING, M. & F. PRESS. 1953. Further Study of Atmospheric Pressure Fluctuations recorded on Seismographs. *Trans. American Geophys. Union*, No. 1, pág. 34.  
 GRENET, G. 1941. L'Influence du Ressort de Suspension sur le Fonctionnement des Seismographes Verticaux. *C. R. Acad. Sci. (París)*, t. 213, pág. 246.  
 KIRNOS, D. P. 1955. Problemas de Sismología Instrumental. *Trudy Geofiz. Inst. CCCP*, No. 27 (trad. española).  
 MERINO Y CORONADO, J. 1955. Un Acelerógrafo de tipo Montaña construido en México. *Anales del Instituto de Geofísica, U.N.A.M.*, 1:78-99, ilustr.  
 — 1964. Apuntes de Mecánica Racional para Estudiantes de Ingeniería. 200 págs. (mimeógrafo).  
 — 1964. Elementos de Electrometría para Estudiantes de Ingeniería. 500 págs. (mimeógrafo).

#### BIBLIOGRAPHY

- DUCLAUX, Mme. F. 1960. *Seismométrie Théorique*. París (Gauthier Villars), 1 vol.  
 EWING, M. & F. PRESS. 1953. Further Study of Atmospheric Pressure Fluctuations recorded on Seismographs. *Trans. American Geophys. Union*, No. 1, pág. 34.  
 GRENET, G. 1941. L'Influence du Ressort de Suspension sur le Fonctionnement des Seismographes Verticaux. *C. R. Acad. Sci. (París)*, t. 213, pág. 246.  
 KIRNOS, D. P. 1955. Problemas de Sismología Instrumental. *Trudy Geofiz. Inst. CCCP*, No. 27 (trad. española).  
 MERINO Y CORONADO, J. 1955. Un Acelerógrafo de tipo Montaña construido en México. *Anales del Instituto de Geofísica, U.N.A.M.*, 1:78-99, ilustr.  
 — 1964. Apuntes de Mecánica Racional para Estudiantes de Ingeniería. 200 págs. (mimeógrafo).  
 — 1964. Elementos de Electrometría para Estudiantes de Ingeniería. 500 págs. (mimeógrafo).