

UN ACELEROGRAFO TIPO MONTANA CONSTRUIDO
EN MEXICO

J. Merino y Coronado

RESUMEN

The instrument for the record of strong earthquakes have to fulfill certain special conditions in order to operate successfully:

- a).- have to be strongly built;*
- b).- the static magnification has to be small,*
- c).- the paper speed has to be large;*
- d).- the operation and maintenance has to be easy and the damping should be practically linear, and*
- e).- the operation has to be independent of power line failures and time marks should be made in the record by means of any type of clock except pendulum clocks.*

Using small steady masses, the first condition is fulfilled, but that excludes the possibility of a mechanical record. Such a record can be, nevertheless made using the author's electronic recording system (or Keller's recorder as well) but the use of battery operated electronic devices makes the cost of

operation of a seismograph unduly high.

The best solution is to use a kind of photographic recording system which does not operate continuously, but which is started by the first waves arriving at the station. Starting systems of this sort are well known since the beginning of seismology.

A brief abstract of the theory of the seismograph is given, stating the necessary conditions for a pendulum to operate as accelerometer or as displacement meter.

Then the description of a modified Montana type of accelerograph is given. This instrument was built by the author following the U.S. Coast and Geodetic Survey general lines, but modifying certain vital parts (relay system, motor system, etc.) to conform to Mexican needs and restrictions.

The starter and timing devices are not new in any way: Ewing, Casselli and others used similar devices more than 30 years ago. The only new device is the use of photographic recording for an accelerograph (Intermittent recording had been used since 1888).

Accelerographs do not substitute regular seismographs: they rather complete them. The study of strong earthquakes needs the use of accelerographs, displacement meters and visual observations.

More instruments of this type will be made in a near future, to enable our Seismologists to give a better advice to Civil Engineers.

En sismología se utilizan dos tipos de equipo que, aunque en principio funcionan de modo similar, en detalles constructivos y en su operación difieren mucho: son los aparatos para el estudio de los telesismos y los aparatos para el estudio de los terremotos violentos de epifoco cercano.

Para estudiar terremotos de epifoco cercano, que son los que producen generalmente los daños en las construcciones, se requieren aparatos que reúnan condiciones especiales:

- a) de construcción robusta, a fin de que resistan sin fallar los impactos de los grandes choques;

- b) de un factor de amplificación más bien pequeño o mediano;
- c). de una velocidad de alimentación de papel bastante grande;
- d) de fácil manejo y operación y provistos de amortiguación tan lineal como sea posible, y
- e) independientes de las líneas de alimentación eléctrica y con un registro de los tiempos medianamente exacto, pero no dado por relojes de péndulo.

La primera condición se satisface utilizando masas pendulares pequeñas, pero esto casi siempre excluye la posibilidad de usar un registro mecánico, debido al factor de rozamiento que dicho tipo de registro introduce en los aparatos.

La segunda condición puede ser satisfecha con un registro mecánico solamente en el caso de que sea posible utilizar masas de algunos kilogramos, cosa que no siempre puede ser conveniente. El registro galvanométrico del tipo Galitzin, lo mismo que el de Keller o el del autor, ambos con celda fotoeléctrica, son cómodos y seguros y permiten variar la amplificación a voluntad, pero son complicados y los dos últimos requieren el uso de amplificadores electrónicos alimentados por baterías, con lo cual el costo de operación se eleva considerablemente. Queda como mejor solución el registro fotográfico ordinario.

La tercera condición implica un gasto enorme de papel, si el registro ha de ser continuo. Afortunadamente los estiletes de los sismógrafos no se saltan, por lo común, con los primeros trémores, sino durante alguna porción de la segunda fase de un terremoto, con las ondas secundarias, permitiendo así tener un medio de determinar distancias epicentrales aún cuando no se tenga todo el sismograma. Como, por otra parte, el interés del estudio de las ondas primarias, es posible operar los aparatos con registro ocasional, haciéndolos dispararse con los primeros trémores y registrando las demás etapas del sismo. Así puede darse al papel una velocidad suficientemente grande, sin necesidad de mucho gasto, ya que se utiliza papel solamente en el caso de ocurrir un terremoto.

La cuarta condición es relativamente sencilla de obtener si nos hemos ceñido a la primera. Usando amortiguamiento magnético, masas pequeñas y registro fotográfico ocasional con un mecanismo disparador adecuado, se satisfa

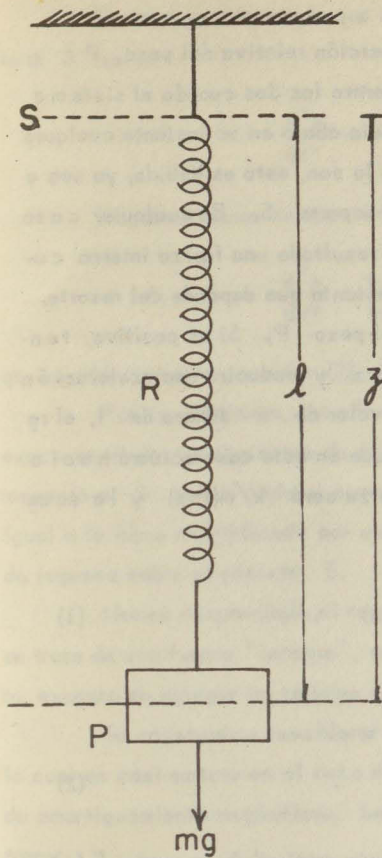


FIG. 1

pero para simplificar consideraremos solamente la componente vertical).

Supongamos (fig. 1) que del soporte S pende un resorte helicoidal R que soporta el peso P cuya masa es m .

En equilibrio, la fuerza mg de la gravedad está balanceada por la tensión del resorte que actúa hacia arriba. Suponemos que la masa del resorte es nula y que un sistema mecánico cualquiera impide al peso P moverse en cualquier

cen fácilmente las primeras cuatro condiciones.

La quinta es muy fácil de satisfacer: basta con que el mecanismo de relojería que hace avanzar el papel esté operado por una pesa, por una cuerda de reloj o por un motor eléctrico movido por una batería y en cuanto a los tiempos, no hace falta tener hora exacta: basta con que un reloj de cuerda produzca marcas cada segundo o cada medio segundo con una mediana exactitud, para tener resuelto el problema.

Interesa al ingeniero constructor conocer los períodos, las aceleraciones y los desplazamientos del suelo durante un temblor. Todo eso puede registrarse mediante un sismógrafo, pero no todos los sismógrafos sirven para dicho fin. Revivamos ligeramente el principio del sismógrafo y consideremos un aparato simple para registrar la componente vertical. (Consideraciones similares nos llevan a ecuaciones también similares para las otras dos componentes, i.e., la NS y la EW,

dirección que no sea la vertical.

Lo único que podemos observar es la posición relativa del peso P y de su soporte S y llamaremos l la distancia entre los dos cuando el sistema está en equilibrio y z a la distancia medida hacia abajo en un instante cualquiera. En equilibrio l y z son iguales. Si no lo son, esto es debido, ya sea a una fuerza aplicada a P , o a un movimiento del soporte S . En cualquier caso la tensión del resorte R , se alterará, dando por resultado una fuerza interna cuyo valor será $k(l-z)$ en la que k es una constante que depende del resorte.

Hagamos actuar una fuerza F sobre el peso P . Si es positiva, tenderá a alargar el resorte y a aumentar el valor de z y producirá una aceleración de P igual a F/m . Pero tan pronto como el valor de z difiera de l , el resorte R ejercerá una fuerza igual a $k(l-z)$ que en este caso actuará hacia arriba. La aceleración de P debida a esta fuerza será $k/m(l-z)$ y la ecuación del movimiento de P será:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = \frac{F}{m} + \frac{k}{m} (l-z) \quad . \quad (1)$$

Llamamos $z-l = \lambda$ y la ecuación será:

$$\frac{d^2 \lambda}{dt^2} + \frac{k}{m} \lambda = \frac{F}{m} \quad . \quad (2)$$

Supongamos ahora que r sea la distancia vertical de un punto "fijo", medida hacia abajo, hasta el soporte S y supongamos que el movimiento de S está dado por $r = f(t)$. La posición relativa de S y P , sea z , no depende del valor de r , ya que el origen de r es arbitrario, ni cambia si r aumenta o disminuye linealmente con el tiempo. Esto significa que si S se mueve con una velocidad constante, z no cambiará. Pero una aceleración de r afectará el valor de z y es claro que:

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = - \frac{d^2 z}{dt^2} \quad .$$

De aquí se desprende que la ecuación del movimiento de P con respecto a S será:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} = -f''(t) + \frac{k}{m}(1-z) \quad . \quad (3)$$

Hagamos, como antes, $z-1 = \lambda$ y tendremos:

$$\frac{d^2 \lambda}{dt^2} + \frac{k}{m} \lambda = -f''(t) \quad , \quad (4)$$

que es idéntica a la ecuación (2) si hacemos $f''(t)$ igual a $-F/m$.

Por consiguiente, cuando el soporte S solidario a la tierra y que sigue exactamente los movimientos de ésta, se mueve, el movimiento relativo de P con respecto a S estará dado si suponemos que sobre P actúa una fuerza exterior igual a la masa multiplicada por una aceleración de signo contrario a la que ha sido impresa sobre el soporte S.

Hemos despreciado el rozamiento, que produce amortiguación, pero como se trata de una fuerza "interna", su inclusión no cambia el resultado del rozamiento, excepto en agregar un término al miembro de la izquierda de la ecuación (4).

Se acostumbra considerar el rozamiento como proporcional a la velocidad, lo cual es casi exacto en el caso de amortiguamiento por aire y exacto en el caso de amortiguamiento magnético. Incluyendo este término, la ecuación de movimiento es:

$$\frac{d^2 \lambda}{dt^2} + 2f \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \frac{k}{m} \lambda = -f''(t) \quad . \quad (5)$$

[Si fuera posible construir un sistema suficientemente sensible para fines sísmométricos igual al de la fig. 1, pero actuando horizontalmente, tendríamos dos ecuaciones similares para las dos componentes horizontales. En realidad, el sistema descrito no se usa casi nunca en los sísmógrafos, ni aún en los verticales, excepto en el Benioff, sino que en su lugar se emplean sistemas capaces de girar alrededor de un eje. Las modificaciones necesarias en la ecuación (5) pueden hallar

se en cualquier tratado de sismología].

Observando la ecuación (5) veremos que el movimiento de la tierra (que es el mismo del soporte S) puede conocerse si se registra el movimiento del sistema peso-resorte. Recordemos que $2f$ es la aceleración de P debida al rozamiento cuando su velocidad es la unidad y que k/m es la aceleración debida a las deformaciones del resorte R cuando el peso P se desplaza de su posición de equilibrio, la unidad de distancia. Del mismo modo, k da la medida de la manera en la cual el peso P está sujeto al soporte S, medida que tiene un límite $k = 0$ cuando la sujeción se hace menos y menos rígida. En la práctica k nunca vale cero, aunque en algunos aparatos puede hacerse muy pequeña en ciertos casos.

Si hacemos f muy pequeña, tendremos aproximadamente:

$$\frac{d^2\lambda}{dt^2} = -f''(t) = -\frac{d^2f(t)}{dt^2} \quad (6)$$

Es obvio que al principiar un temblor, $\lambda = \frac{d\lambda}{dt} = 0$ y de aquí, integrando (6) tendremos que:

$$\lambda = -f(t) \quad (7)$$

lo que significa que el movimiento del peso P es exactamente opuesto al movimiento del soporte S solidario a la tierra.

Si las condiciones anteriores pudieran realizarse, tendríamos un sismógrafo perfecto para el registro de telesismos. En realidad, los sismógrafos para trabajos telesísmicos se proyectan para acercarse en lo posible a las condiciones dichas, en las cuales k es pequeña.

Volvamos a la ecuación (5) y supongamos que k es muy grande, tal como es el caso de los sismógrafos para registrar temblores de epifoco cercano, de modo que los demás términos de la izquierda puedan desprejarse. En este caso tendremos que:

$$\frac{k}{m} \lambda = -f''(t) \quad (8)$$

condición muy importante, que nos muestra que λ es estrictamente proporcional a la aceleración del soporte S con signo contrario. Un aparato que trabajar a en estas condiciones sería un acelerógrafo ideal.

Desgraciadamente no es posible realizar del todo en la práctica las condiciones prescritas en (6), (7) y (8), pero se trata de aproximarse a ellas todo lo posible para que, al trabajar con los instrumentos, las correcciones necesarias sean despreciables.

Para saber hasta qué punto un instrumento dado llena las condiciones previstas en (6) y (8), es necesario resolver la ecuación (5), suponiendo que $f''(t)$ tiene alguna forma integrable. Efectivamente, en cualquier texto de ecuaciones diferenciales y en tratados de sismología teórica, se halla la solución, que es una función armónica simple del tiempo. Los resultados indican que, si no hay amortiguamiento, el sistema pendular oscilará con oscilaciones aproximadamente armónicas simples, de período T_0 determinadas por el valor de m/k . Suponemos que el término de la derecha es una función armónica simple de período T .

Si T_0 (período propio del instrumento) es mucho mayor que R (período del movimiento del suelo) nos aproximamos a las condiciones de la ecuación (6), mientras que si el período del suelo T es mucho mayor que T_0 (período del instrumento) nos acercamos a las condiciones de la ecuación (8).

En la práctica, si $T_0 \geq 10T$, tendremos un medidor de desplazamientos, mientras que si $T \geq 10T_0$, el aparato funcionará como acelerómetro. En ambos casos las correcciones a introducir son pequeñas y pueden despreciarse en los trabajos ordinarios de la sismología.

Usualmente los telesismos tienen períodos por lo general grandes, del orden de más de tres o cuatro segundos, mientras que los temblores de epicentro cercano tienen períodos cortos, de uno y medio segundos, o menos (en el caso de los segundos, el movimiento es además bastante irregular, pero es necesario suponerlo armónico para simplificar los cálculos). Conociendo esas características, parecería lógico usar acelerómetros para registrar telesismos y medidores de desplazamientos para el estudio de los terremotos cercanos.

La práctica actual es precisamente lo inverso de lo anterior, por razones

obvias: en un telesismo, amplitudes del orden de 1 mm. pueden considerarse como grandes. Si el período es de 20 segundos, como es usual en las últimas fases del sismo, el valor de la aceleración es del orden de 10^{-4} mm/seg². Un aparato con esta sensibilidad sería muy difícil de construir y de operar.

En cambio, haciendo la constante k grande y el período muy corto, digamos del orden de 0.1 segundos, un acelerómetro resulta el instrumento ideal para el registro de los temblores fuertes y destructores. Como, por otra parte, al ingeniero le interesa conocer las aceleraciones a que está sometido un edificio durante un temblor, la construcción de acelerógrafos para el estudio de los sismos fuertes reviste grande importancia.

Han sido proyectados y construídos muchos tipos de aparatos adecuados para el estudio de los macrosismos. El U.S.Coast & Geodetic Survey tiene un modelo de acelerógrafo, llamado tipo Montana, que es excelente. El principio de su construcción es debido a Wenner y ha sido modificado para llenar las necesidades de la ingeniería, más bien que las de la sismología. El Cap.Roberts, de la oficina citada, bondadosamente facilitó al Instituto de Geofísica todos los planos necesarios para la construcción de un aparato, así como algunas piezas cuya construcción en México habría sido difícil o habría requerido considerable tiempo. El Director del Instituto, ingeniero Ricardo Monges López, encargó al autor dirigir la construcción, instalación y ajuste de un tal aparato. Varios del mismo modelo hay instalados ya en los Estados Unidos, Chile y otros países de la América del Sur y al menos en dos lugares de América Central. No podíamos en México permanecer a la zaga y así fué cómo iniciamos la construcción del aparato, contando para ello con los servicios del excelente mecánico del Instituto, señor Indalecio Gómez y de sus dos ayudantes.

Más tarde construiremos otros acelerógrafos del tipo Montana, modificados por nosotros para adaptarse mejor a nuestras condiciones. Así completaremos el equipo de la red sismológica nacional.

Los acelerógrafos *no* substituyen a los sismógrafos usuales, ni debe esperarse de ellos otra cosa que la medida de las aceleraciones de los temblores más fuertes. Su utilidad reside en el hecho de que permiten estudiar las característi-

cas de dichos sismos y no debe sorprender que estén ajustados para registrar solamente aquellos temblores cuya intensidad sea igual o superior a la cuarta de la escala de Mercalli, con lo cual muchos temblores que la población siente, por ser de intensidad III de la misma escala, no serán registrados por el aparato. Esto no es una falla: adrede se ajustan los acelerógrafos para trabajar en las condiciones dichas, ya que careciendo de interés para el ingeniero constructor el estudio de los sismos cuya intensidad es pequeña, no se justifica gastar en ellos una buena cantidad de papel fotográfico que, por lo demás, es bastante caro.

Es posible que algunos temblores de intensidad III hagan saltar los estíletes de los aparatos de Tacubaya y, sin embargo, no disparen el nuevo acelerógrafo, pero eso carece de importancia desde el punto de vista de la ingeniería sísmológica. Y en cuanto a la sismología pura, no se pierde gran cosa cuando tal ocurra.

El autor tuvo que hacer algunas modificaciones al diseño original del acelerógrafo Tipo Montana, con lo cual nuestro aparato ya no es un Montana auténtico. Pero su funcionamiento y los resultados que se obtengan con él serán prácticamente los mismos.

Las características del nuevo aparato, ya en servicio, son las siguientes:

Acelerómetros: Hay tres, uno por componente, montados sobre una placa que puede quitarse con facilidad de la base general del instrumento. Los soportes para los acelerómetros fueron modificados en tal forma, que es posible en unos cuantos segundos cambiar la unidad pendular de uno cualquiera, o de los tres, sin remover los imanes de amortiguamiento. Esto se hizo con el fin de poder utilizar a voluntad el tipo de pivote y resorte helicoidal, o el tipo unifilar de acelerómetro. El acelerómetro de pivote y resorte helicoidal consta (fig.2) de un eje de bronce con puntas de acero, que puede girar apoyado en dos zócalos de rubí o zafiro y al cual está soldada una pieza en forma de una C rectangular que constituye la masa del péndulo y forma con el eje una espira cerrada. A este último está pegado un espejito cóncavo de unos 50 cm. de distancia focal.

Todo el péndulo pesa alrededor de 5 gramos y la fuerza de restitución

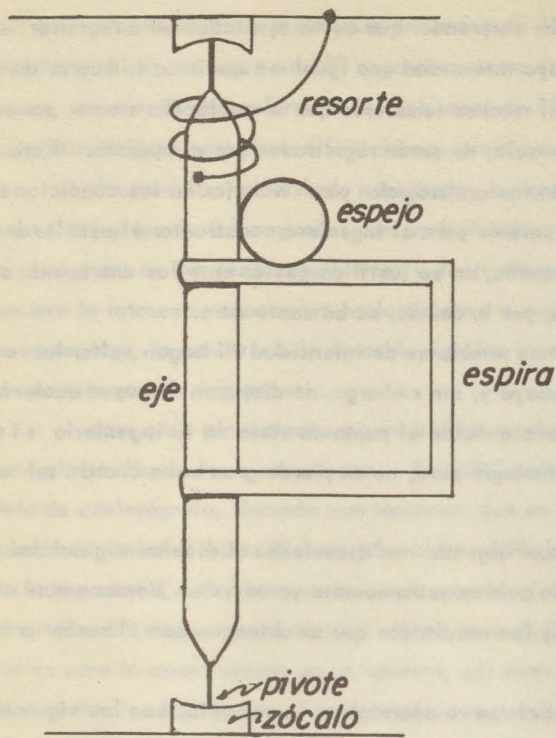


FIG. 2

ta a 1/10 seg. o cosa así, ya que los períodos de los temblores cercanos a México son del orden del segundo. El ajuste final del período propio del péndulo será de terminado por la práctica.

En los acelerómetros unifilares (fig. 3) el eje pendular al cual está soldada la espira, no termina en pivotes de acero, sino que es hueco y por él pasa, sujeto con unas cuñas, un hilo de bronce fosforoso de diámetro adecuado y aplanado -

está dada por un resorte helicoidal de bronce fosforoso, de forma tal que la constante del resorte sea muy grande. Modificando la longitud del mismo puede ajustarse el período pendular entre 1/5 y 1/20 de segundo.

La espira cerrada gira entre las piezas polares de un poderoso imán de Alnico, que provee el amortiguamiento lineal. Este es ajustable mediante un "shunt" de hierro dulce que se puede desplazar frente a dichas piezas mediante un tornillo de cremallera. Usualmente se utiliza el amortiguamiento crítico y el período pendular se ajusta

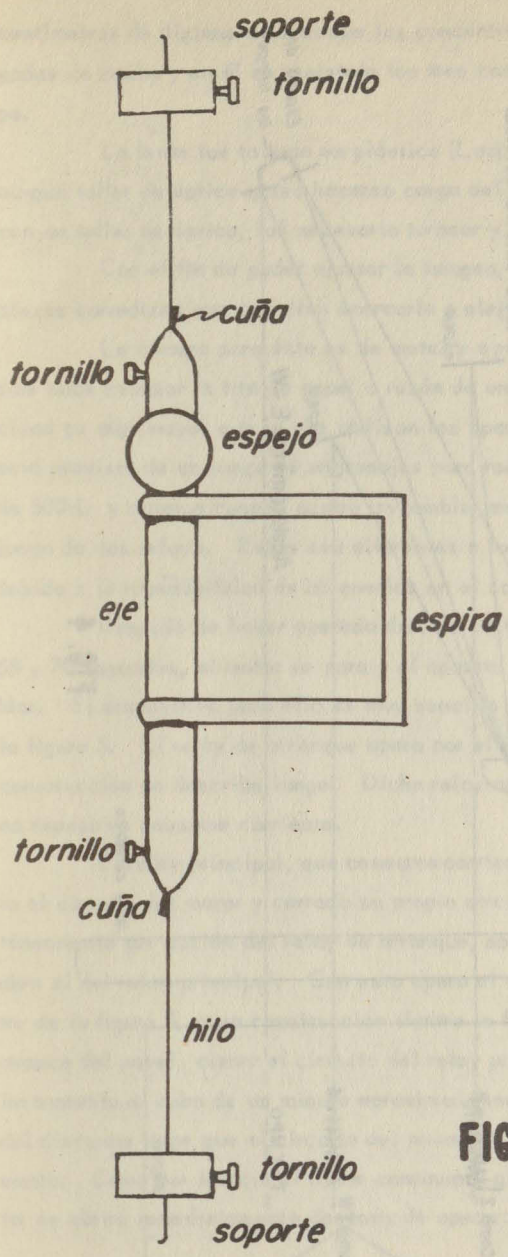


FIG. 3

un 10%, el cual provee la fuerza de res titución al trabajar tendido entre dos soportes de tornillo, sujeto a una tensión que es el 66%, o sean $2/3$ de la tensión de ruptura. El amortiguamiento se lleva a cabo del mismo modo que en los aceleró metros del tipo de pivote y resorte helicoidal, con lo cual solamente es necesario cambiar el péndulo para usar uno u otro tipo, segun se ha dicho ya.

Registro: El registro es ocasional, sobre papel fotográfico. Una lamparilla de 6 voltios, provista de un reóstato para regular su luminosidad, proyecta su luz sobre una rendija, la cual a su vez ilumina los espejos de los acelerómetros y del aparato de los tiempos. Estos envían los rayos reflejados (fig. 4) a una lente cilíndrica de 2.5

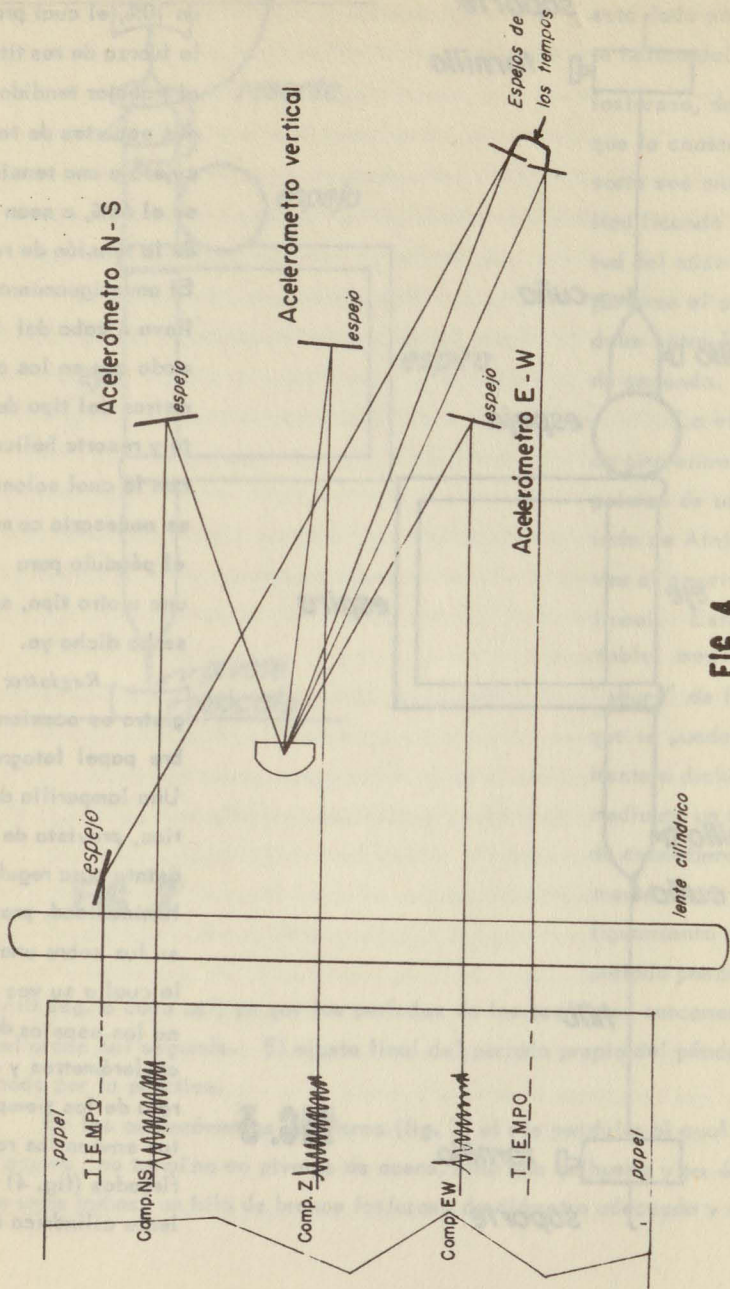


FIG. 4

centímetros de distancia focal que los concentra en el papel. Este tiene 12 pulgadas de ancho y en él se registran las tres componentes, más tres marcas de tiempo.

La lente fué tallada en plástico (Lucita) en lugar de vidrio, debido a que ningún taller de óptica quiso hacerse cargo del trabajo. No contando el Instituto con un taller de óptica, fué necesario torneear y tallar la lente en un material suave.

Con el fin de poder ajustar la imagen, la lente está montada sobre dos piezas corredizas que permiten acercarla o alejarla del papel.

La cámara para éste es de metal y a prueba de luz. Un motor de 12 voltios hace avanzar la tira de papel a razón de unos 70 cm. por minuto. Esta velocidad es algo mayor que la que utilizan los aparatos norteamericanos. El motor está provisto de un juego de engranajes para reducir la velocidad en la proporción de 500:1 y arranca cuando ocurre un temblor mediante un par de disparadores y un juego de dos relays. Estos son diferentes a los que indican los planos originales, debido a la imposibilidad de obtenerlos en el comercio.

Después de haber operado durante un tiempo que puede ajustarse entre 55 y 70 segundos, el motor se para y el aparato queda listo para registrar otro temblor. El dispositivo para ello es muy sencillo y en su principio está ilustrado en la figura 5. El relay de arranque opera por el juego de disparadores D, cuya construcción se describe luego. Dicho relay abre el circuito al recibir energía y en reposo no consume corriente.

El relay principal, que consume corriente todo el tiempo, mantiene abierto el circuito del motor y cerrado su propio circuito. Pero al abrirse éste momentáneamente por acción del relay de arranque, se cierra el circuito del motor y se abre el del relay principal. Con esto opera el acelerógrafo, hasta que el disyuntor de la figura 5, cuya construcción ilustra la figura 6, operado por el cilindro de avance del papel, cierra el circuito del relay principal deteniendo la marcha del instrumento al cabo de un minuto aproximadamente. La forma de los contactos del disyuntor hace que el circuito del mismo se cierre solamente en el último momento. Como por inercia el motor continuará girando algunas vueltas, el disyuntor se abrirá inmediatamente después de operar: si aún continúa temblando, el re

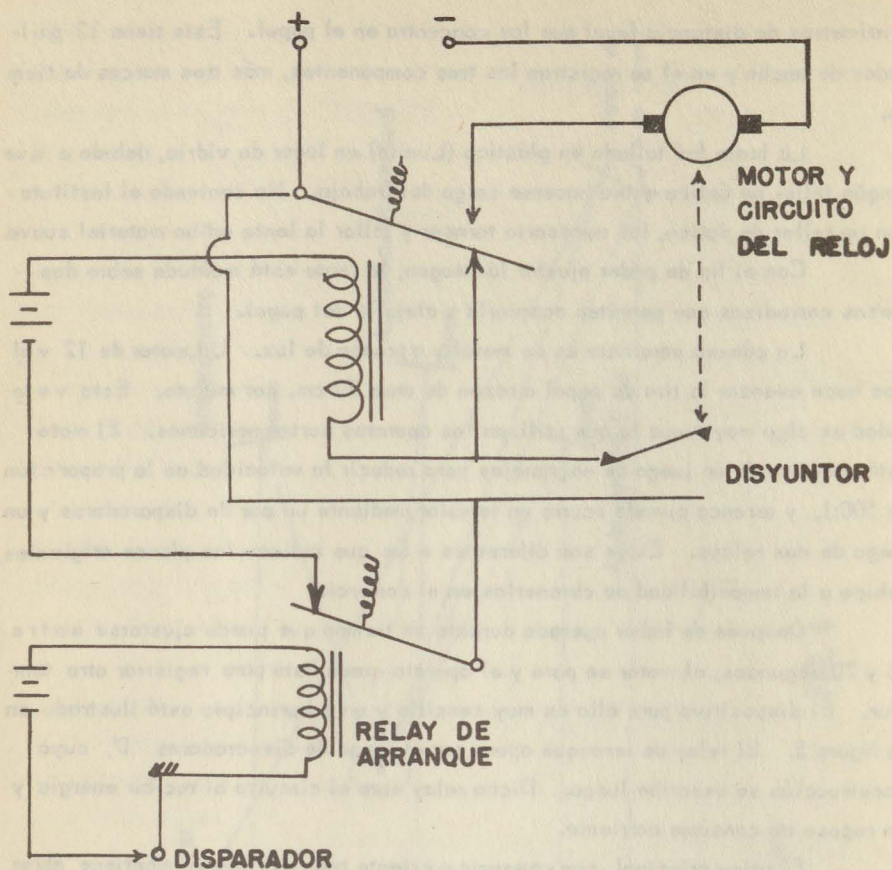


FIG. 5

lay de arranque, operado por los disparadores, tendrá abierto el circuito del relay principal, con lo cual el aparato operará durante otro minuto.

La rueda con 10 piezas triangulares que operan el disyuntor, tiene una pieza más, que opera un juego de contactos semejante, pero que trabaja a la inversa, es decir, abriéndose en lugar de cerrándose. En esta forma, después de haber operado diez veces (o menos, si la posición inicial de la rueda del disyuntor es diferente) este último juego de contactos corta definitivamente la corriente

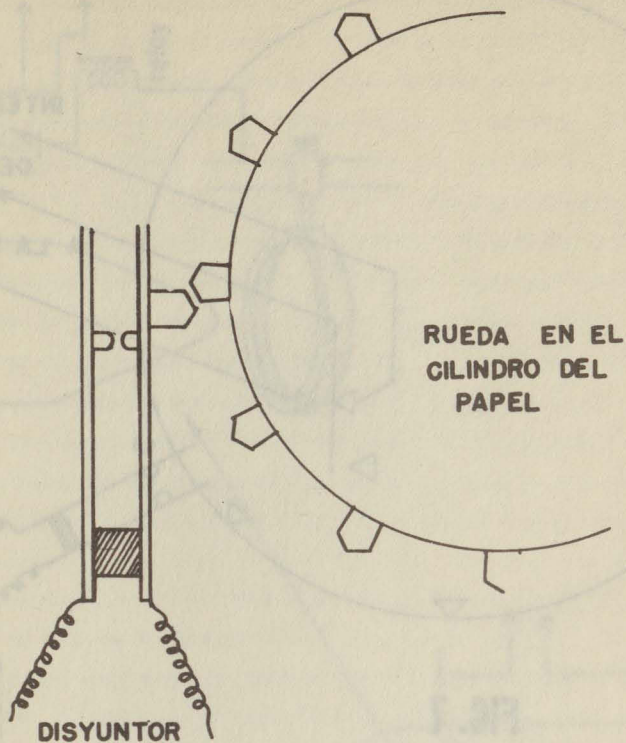


FIG. 6

te y pone en circuito una lamparilla que avisa que el aparato está fuera de servicio. Esto se hace porque con los rollos de papel usuales en el comercio, no es posible operar el aparato más de unas siete veces (fig. 7). Los disparadores pueden accionar un relay exterior al aparato, en paralelo con el relay de arranque, el cual hace operar un timbre de alarma, una lamparilla de aviso, o un contador que indica el número de veces que trabajó el acelerógrafo.

Necesariamente se pierden en los registros los primeros trémores y no es posible indicar la llegada de las ondas P y por lo tanto, no se puede calcular distancia epicentral alguna con el acelerógrafo. Esto carece de importancia, ya que se trata de un aparato para uso de la ingeniería sísmológica. Los da

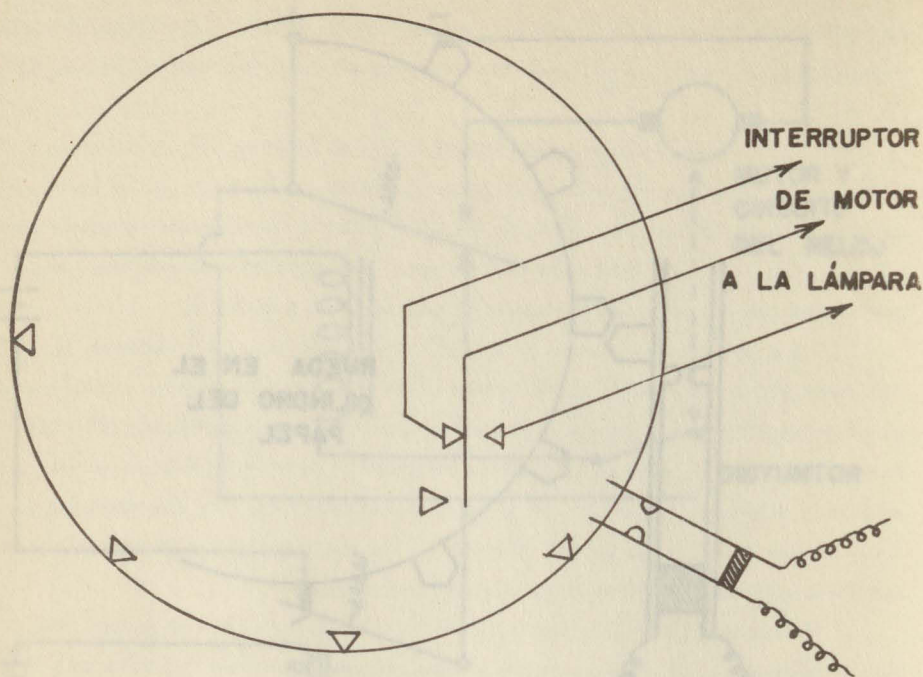


FIG. 7

ñes producidos por un temblor ocurren siempre después de unos dos segundos de la llegada de las ondas primarias y para entonces ya el motor está trabajando a la velocidad de régimen.

Disparadores: Poco o nada nuevo u original hay en ellos y cualquier sismólogo de los "de la vieja guardia" conoce perfectamente esos dispositivos, que fueron muy usuales en los primeros días de la sismología. La única innovación está en el uso de amortiguación por glicerina o aceite en los dos disparadores y en el empleo de acoplamiento por viscosidad de aceite en el vertical, según el conocido sistema de McComb-Romberg.

La figura 8 ilustra el disparador vertical. El soporte S sostiene la varilla o barra B del péndulo, suspendida por un delgado alambre de bronce fos

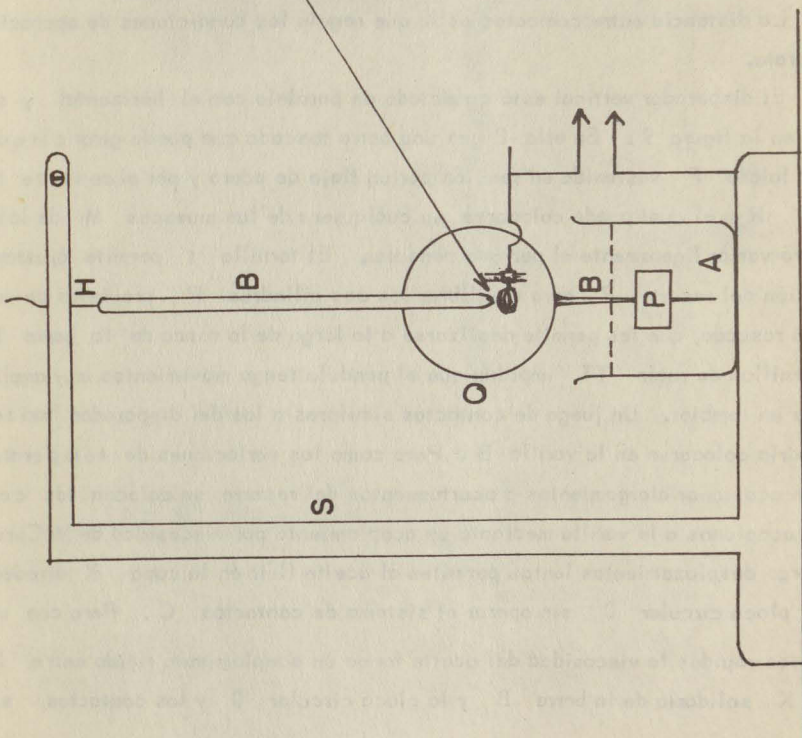
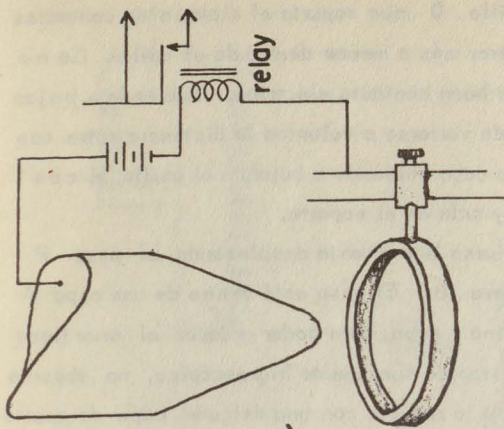


FIG. 8

fosoro y está cortada en dos por el anillo O que soporta el sistema de contactos C formado por un cono que puede entrar más o menos dentro de un anillo. Cono y anillo son de plata, para asegurar un buen contacto eléctrico. Subiendo o bajando el hilo de bronce fosforoso H puede variarse a voluntad la distancia entre contactos. Un ajuste más fino se lleva a cabo subiendo o bajando el anillo, el cual está montado en un tornillo que entra y sale en el soporte.

El período pendular puede variarse ligeramente desplazando el peso P a lo largo de la parte roscada de la barra B . El peso está dentro de una copa A que se llena con una mezcla de glicerina y agua, para poder graduar el amortiguamiento. A fin de que la glicerina, sustancia sumamente higroscópica, no absorba humedad y se vuelva menos viscosa, se la recubre con una delgada capa de aceite delgado. Puede regularse al amortiguamiento usando una mezcla de kerosén y aceite grueso, pero la viscosidad no es tan fácil de ajustar con glicerina.

La distancia entre contactos es la que regula las condiciones de operación del aparato.

El disparador vertical está conectado en paralelo con el horizontal y se ilustra en la figura 9. En ella B es una barra roscada que puede girar alrededor del fulcro F sostenida en tensión por un fleje de acero y por el resorte helicoidal R , el cual puede colocarse en cualquiera de las muescas M de la barra para variar ligeramente el período pendular. El tornillo t permite ajustar la tensión del resorte R para equilibrar los dos cilindros P , provistos de un agujero roscado, que les permite deslizarse a lo largo de la rosca de la barra B . Los tornillos de retén TT impiden que el péndulo tenga movimientos muy amplios durante un temblor. Un juego de contactos similares a los del disparador horizontal podría colocarse en la varilla B . Pero como las variaciones de temperatura podrían ocasionar alargamientos o acortamientos del resorte, se colocan los contactos acoplados a la varilla mediante un acoplamiento por viscosidad de McComb Romberg: desplazamientos lentos permiten al aceite fluir en la capa K alrededor de la placa circular O sin operar el sistema de contactos C . Pero con movimientos rápidos la viscosidad del aceite forma un acoplamiento rígido entre la copa K solidaria de la barra B y la placa circular O y los contactos s e

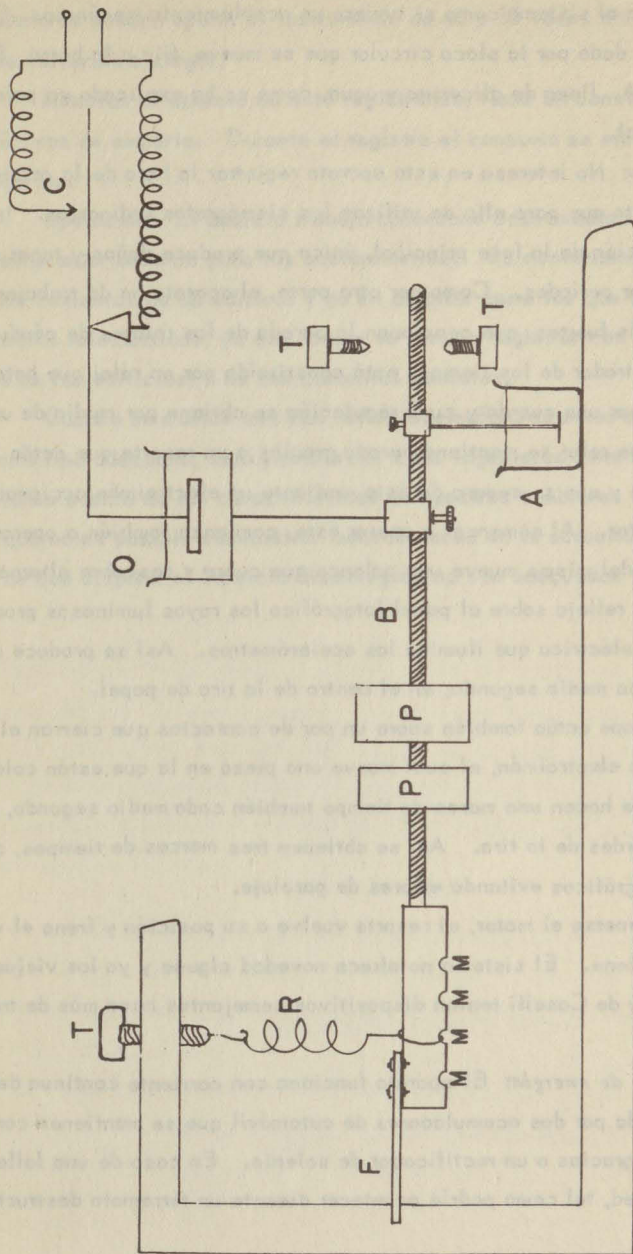


FIG. 9

cierran, operando el sistema como si tuviera un acoplamiento mecánico. El amortiguamiento está dado por la placa circular que se mueve, fija a la barra B, dentro de la copa A, llena de glicerina y agua, como se ha explicado ya para el disparador horizontal.

Tiempo: No interesa en este aparato registrar la hora de la ocurrencia de un temblor, puesto que para ello se utilizan los sismógrafos ordinarios. Interesa saber la duración de la fase principal, única que produce daños y tener un medio para computar períodos. Como por otra parte, el aparato ha de trabajar durante los sismos más fuertes, que ocasionan la parada de los relojes de péndulo, el mecanismo registrador de los tiempos está constituido por un reloj que bate segundos, accionado por una cuerda y cuya regulación se obtiene por medio de una muelle espiral. Este reloj se mantiene parado gracias a un resorte que actúa como freno del volante y que se separa de éste mediante un electroimán accionado en paralelo con el motor. Al comenzar a operar éste, comienza también a operar el reloj. El escape del mismo mueve una palanca que cubre y descubre alternativamente un espejo que refleja sobre el papel fotográfico los rayos luminosos procedentes de la lamparilla eléctrica que ilumina los acelerómetros. Así se produce una marca de tiempo cada medio segundo, en el centro de la tira de papel.

El escape actúa también sobre un par de contactos que cierran el circuito de un pequeño electroimán, el cual mueve una pieza en la que están colocados dos espejitos que hacen una marca de tiempo también cada medio segundo, en cada uno de los bordes de la tira. Así se obtienen tres marcas de tiempos, que permiten medir las gráficas evitando errores de paralaje.

Al detenerse el motor, el resorte vuelve a su posición y frena el volante y el reloj se detiene. El sistema no ofrece novedad alguna y ya los viejos aparatos de Ewing y de Caselli tenían dispositivos semejantes hace más de treinta años.

Fuente de energía: El aparato funciona con corriente continua de 12 voltios, suministrada por dos acumuladores de automóvil que se mantienen constantemente cargados gracias a un rectificador de selenio. En caso de una falla de la corriente de la red, tal como podría acontecer durante un terremoto destructor, los

acumuladores pueden operar el instrumento de 40 a 50 veces antes de que fuera necesario volverlos a cargar.

Mientras el aparato no está registrando, tiene un consumo constante de dos décimas de amperio. Durante el registro el consumo se eleva a cerca de cinco amperios.

Operación: El aparato trabaja ciñéndose casi exactamente a las ecuaciones dadas anteriormente para los acelerómetros. Es conveniente instalarlo *pegado a los cimientos de un edificio* y no en un pilar como los que se construyen para aparatos telesísmicos, ya que lo que se intenta registrar con él son las *aceleraciones de los edificios*, o de los cimientos de éstos.

Quando se cuente con una red de acelerógrafos como el descrito, o de algún otro tipo adecuado, será posible dar a los ingenieros constructores útiles indicaciones acerca de las características de nuestros temblores fuertes, características que no es posible suministrar muchas veces en la actualidad, porque los aparatos de que dispone el Servicio Sismológico no son adecuados para dicho fin.