

Diferencia entre sismómetros y acelerómetros (y las redes de PR)

Una red sísmica se define como un grupo de estaciones con sensores que miden el movimiento del suelo y que trabajan juntas registrando y analizando los datos. En Puerto Rico hay dos redes sísmicas para detectar, medir y procesar los movimientos del suelo debido a un terremoto. Ambas se encuentran ubicadas en el Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. Muchas veces la población y la prensa las confunde (la gente está bien, pero la prensa...). Si bien ambas redes poseen objetivos que en principio pueden parecer similares, también tienen sus diferencias. Aquí hay una breve descripción de ellas.

- La Red Sísmica de Puerto RICO (**PRSN**) está adscrita al Departamento de Geología del RUM, Físicamente se encuentra en el Edificio D.
- Comenzó a funcionar en 1974 inicialmente como parte de la Autoridad de Energía Eléctrica de PR.
- El objetivo es estudiar la Fuente del terremoto para determinar el epicentro, la magnitud, etc.
- La PRSN usa sismógrafos que registran sismos pequeños a moderados.
- Los sismógrafos se instalan sobre roca y donde no haya ruido ambiental (originada principalmente por actividades humanas).
- Las estaciones se colocan bien separadas (varios kilómetros) una de la otra y los instrumentos no se fijan al suelo.

- El Programa (o Red) de Movimiento Fuerte (**PRSMF**) está adscrita al Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura del RUM. Físicamente se encuentra en el mismo departamento.
- Si bien también comenzó en la década del 70 en 1987 pasó al Departamento de Ingeniería Civil.
- El objetivo del PRSMF es estudiar los Efectos del terremoto para examinar su consecuencia en las estructuras.
- El PRSMF usan acelerógrafos que registran las aceleraciones de terremotos moderados a grandes.
- Estos instrumentos se colocan sobre todo tipo de suelo y las estaciones se instalan en ciudades y pueblos.
- Las estaciones se colocan cercanas una de la otra (comparada con las de PRSN).
- Ambas redes tienen algunas estaciones conjuntas.

La diferencia principal entre las dos redes es el *tipo de sensores* que usan para medir el movimiento del suelo. Por lo tanto, es relevante conocerlos en más detalle.

Acelerómetros

Un **acelerómetro** es un sensor que mide la aceleración de un cuerpo, de una estructura o del suelo donde está instalado. Si bien frecuentemente se usan como sinónimos, un **acelerógrafo** consiste en un acelerómetro más otros dispositivos como una grabadora, etc.

Desde el punto de vista de la ingeniería sísmica, los acelerómetros son sensores cuya función es registrar los movimientos fuertes del suelo. Por supuesto, hay acelerómetros que se usan para muchas otras funciones, como por ejemplo los que tienen las bolsas de aire de los automóviles para detectar un impacto, los que tienen los celulares y las “laptops” que cumplen muchas funciones, etc.

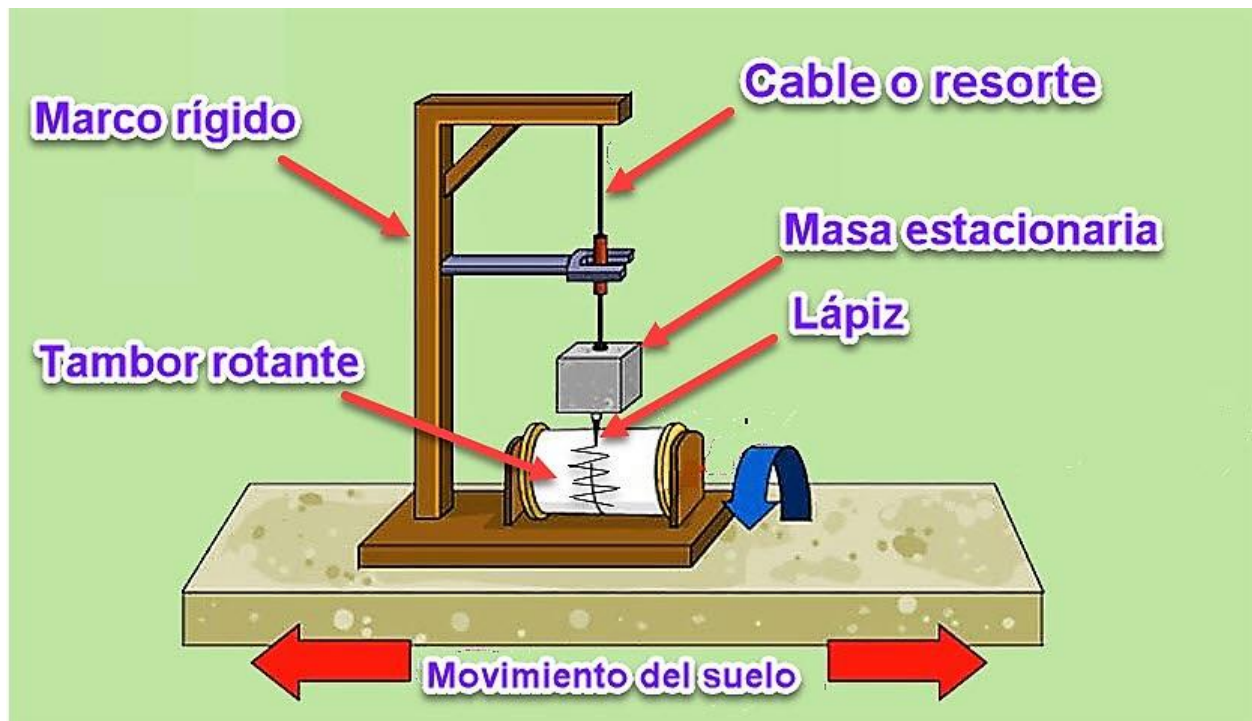
La siguiente figura muestra el concepto de un acelerómetro “mecánico” (vale decir, sin componentes electrónicos) muy rústico.

En principio, el concepto que se presentan es sencillo, pero puede ser engañoso. Cuando se mueve la base adherida al suelo, un instrumento de dibujo (un lápiz, por ejemplo) fijado a una masa graba el movimiento del terreno sobre un papel enrollado en un tambor que rota. Los primeros acelerómetros tenían físicamente un tambor con un papel enrollado.

Pero ahora comienzan los problemas. Por ejemplo:

- Para que el registro grabado en el tambor sea preciso, la masa *no debe moverse*: debe permanecer estacionaria en el espacio mientras el marco debe moverse lo mismo que el suelo.
- Lo que se registra en el papel es el desplazamiento del suelo y no la aceleración.

Estos problemas tienen solución, pero para discutirlos habría que estudiar (con ecuaciones) las vibraciones de este sistema formado por una masa rígida sostenida por un resorte (se lo conoce como un “oscilador simple”). Más adelante presentamos una solución muy usada en instrumentos modernos.



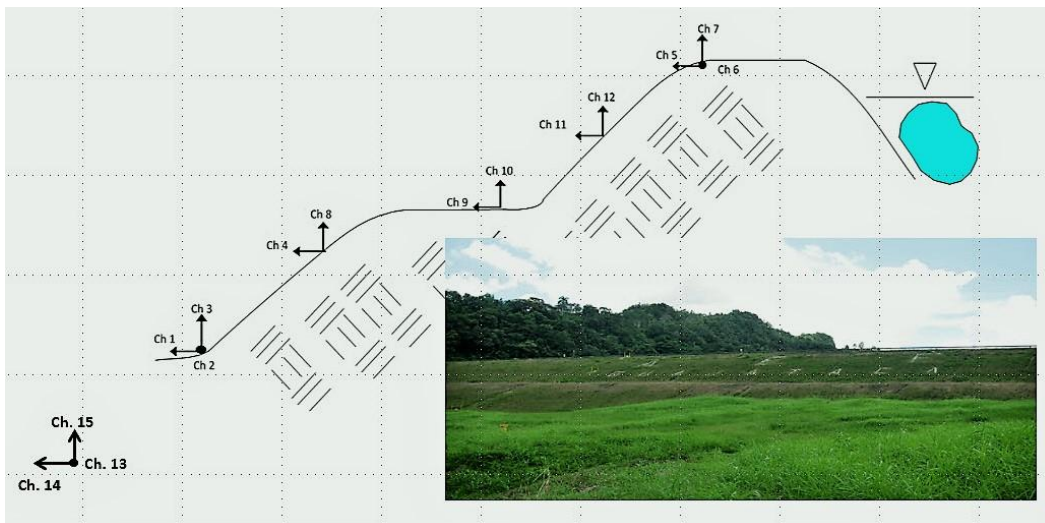
Los acelerómetros están diseñados para medir el efecto de las ondas sísmicas típicas de terremotos locales e intensos: estas tienen alta frecuencia y gran amplitud. El rango del movimiento del suelo de interés que miden los acelerómetros incluye aceleraciones que van desde 0.001 hasta 2g y frecuencias de 0 a 100 Hz. Hay instrumentos que pueden registrar niveles de hasta 4g y rangos de frecuencias más altos, pero usualmente no son necesarios niveles y rangos tan extendidos.

Las señales que son demasiado débiles para ser detectadas por un acelerómetro generalmente no causan motivo de preocupación para la integridad estructural de los edificios y otras construcciones.

Si bien en muchos casos el objetivo al instalar un acelerógrafo es medir la aceleración del suelo, algunas veces se usan para medir la respuesta de una estructura: un edificio, un puente, una represa, un tanque con sustancias peligrosas, una central eléctrica, etc. Por ejemplo, la siguiente figura muestra uno de los varios edificios instrumentados por el PRSMP: el edificio de Plaza Inmaculada Norte en Santurce, PR. Este es un edificio muy esbelto de 26 pisos con paredes estructurales construido en la década de 1990.



Esta otra figura muestra los acelerógrafos instalados por el PRSMP en la represa de tierra de Guajataca (entre San Sebastián, Quebradillas e Isabela) en un corte transversal de la estructura.



Cuando se lo usa para medir la aceleración del terreno se dice que el instrumento debe estar en “campo libre” (“free field”) o sea en lo posible alejado de las estructuras. Cuando se instalan en forma permanente no se colocan directamente sobre el suelo sino sobre una pequeña losa de fundación. Si por alguna razón no es posible alejarlos de los edificios, se suelen colocar en un lugar que cumpla lo más que se pueda con la condición de campo libre como en un estacionamiento, por ejemplo. Las siguientes figuras muestran dos ejemplos de estos casos. La estación de la izquierda está instalada en la estación de bomberos de Maricao. La de la derecha está en el estacionamiento del edificio Darlington en Mayagüez.



El registro que se obtiene con los acelerómetros se puede utilizar para mejorar el diseño de edificios resistentes a terremotos y para investigar fenómenos inducidos por sismos en los suelos como la licuefacción y los deslizamientos de tierra. Las señales que miden los acelerógrafos también se pueden procesar para obtener lo que se conoce como las propiedades dinámicas de la estructura: sus periodos naturales, amortiguamiento y modos de vibración. Estas propiedades se pueden obtener de un modelo de la estructura creado en un programa de computadoras como SAP2000, pero siempre quedan incertidumbres (por ejemplo, no se conoce bien la masa y su distribución, no se modelan los componentes no estructurales que, aunque sea menor, tienen un efecto, no se conocen bien las propiedades del material, etc.).

Debido a que estos instrumentos obviamente miden la aceleración, cuando se requiere conocer la velocidad y desplazamiento los datos grabados deben integrarse numéricamente. Usualmente esto no es un problema mayor porque el proceso de integración numérica es más robusto (menos propenso a errores) que el proceso inverso: la derivación numérica.

Los acelerómetros no son tan sensibles a los movimientos del suelo como los sismómetros, pero permanecen dentro de escala durante un terremoto fuerte, como vamos a mostrar más adelante.

A diferencia de los sismómetros que registran continuamente, los acelerómetros casi siempre se activan cuando la amplitud del movimiento sobrepasa un valor predeterminado por el usuario. Esto significa que se debe establecer inicialmente un nivel de aceleración mínimo, llamado "*nivel de disparo*" ("trigger level" en inglés) para que el sensor "despierte" e inicie el proceso de grabación.

El que los acelerógrafos no registren en forma permanente es conveniente, pero puede causar problemas. Si la estación no tiene una conexión directa a la internet, o a algún otro medio de comunicación continuo y confiable, los operadores no saben si los instrumentos están operando correctamente.

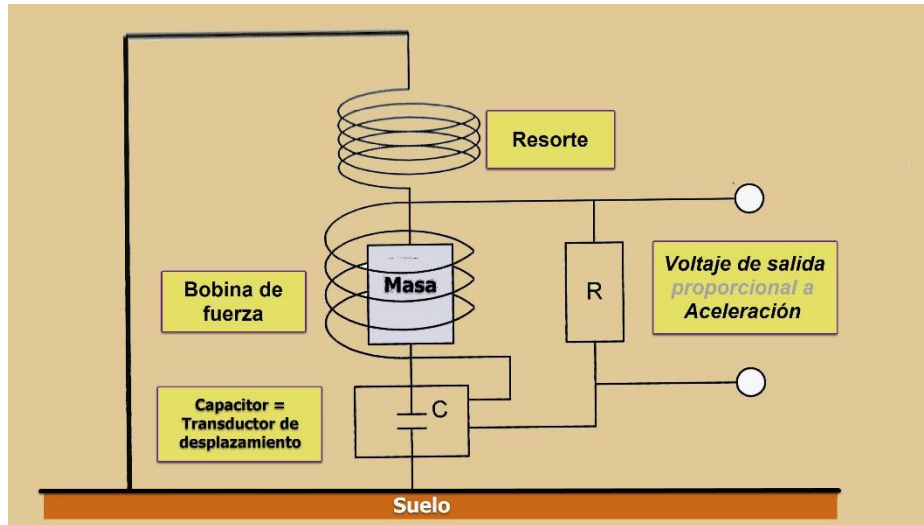
Muchas veces ha pasado que luego de un terremoto fuerte y cuando los técnicos van a recuperar los datos de los sensores que no tienen conexión directa permanente, encuentran que por diversas razones no se registró el sismo. Por ejemplo, puede ser que la batería estaba agotada, la tarjeta de memoria llena de ruido extraño, la estación fue vandalizada, etc., etc.

Lamentablemente, esto ocurrió con las estaciones del PRSMP en Guánica. Luego del sismo M6.4 del 7 de enero, los técnicos pusieron a funcionar nuevamente los instrumentos y estos registraron las réplicas fuertes, pero no el evento principal. Obviamente la solución es tener una conexión segura a la internet, usar placas solares para asistir a las baterías, tener más técnicos que periódicamente revisen las estaciones, colocarlas en lugares seguros, etc. pero no siempre se dan las condiciones para todo esto y además se requieren fondos (\$\$\$), que no es precisamente lo que sobra en las condiciones actuales.

Los acelerómetros modernos son mucho más complejos que el modelo simple que se presentó en la primera figura. Los que usa el Programa de Movimiento Fuerte son fabricados por la reconocida empresa *Kinematics* de California y son de un tipo muy usado hoy en día y que se conocen como **Acelerómetros de Fuerza Balanceada** ("Force Balanced Accelerometers" o FBA). La siguiente figura muestra un esquema de estos.

El desplazamiento del suelo se mide por medio de un capacitor C . Su capacitancia varía cuando la distancia entre la masa y el suelo cambia. Pero la masa está fija porque el capacitor le envía una corriente a la bobina ("coil") a través de una resistencia R , la cual le aplica una fuerza a la masa para que se mantenga estacionaria. Entonces el voltaje que se mide en la resistencia es directamente proporcional al desplazamiento del suelo y a través de una constante de calibración, a la aceleración.

Estos instrumentos FBA son muy eficientes y pueden medir sismos con componentes con frecuencias de hasta 100 Hz sin problemas. Cabe aclarar que un registro sísmico puede pensarse como una suma de muchas funciones senoidales, cada una con su propia frecuencia, amplitud y fase.



Sismómetros

Un **sismómetro** es un término genérico utilizado para describir un dispositivo que detecta y mide el movimiento del suelo debido a un terremoto de muy baja intensidad o que tiene un epicentro lejano (que hasta puede ser en otro país). Típicamente, la respuesta que se mide es la velocidad del suelo.

La siguiente figura muestra un sismómetro Mark similar a uno de los que tiene la Red Sísmica de Puerto Rico (por supuesto, por afuera no se puede ver nada, pero por dentro son similares al esquema de la figura anterior).

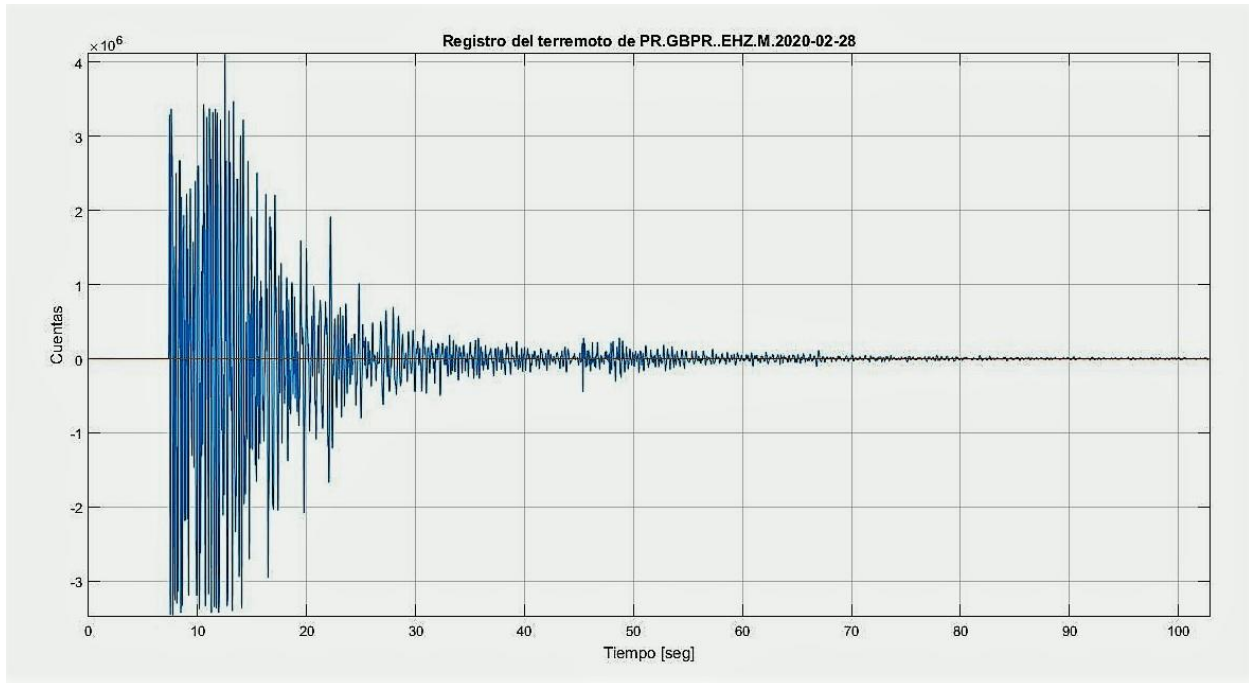


Los sismómetros son sensores muy sensibles y, por ejemplo, pueden detectar fácilmente una explosión que ocurre en una cantera a una distancia de 100 km.

Hay unos instrumentos llamados **geófonos** que también se usan para medir la velocidad del terreno. Los sismómetros se diferencian de los geófonos en que estos últimos son generalmente mucho menos sensibles y se utilizan para otras actividades. Por ejemplo, los geófonos se usan para el monitoreo y relevamiento de explosiones a corta distancia, para ensayos geofísicos con el fin de determinar las propiedades de las capas de suelo (como los ensayos "downhole" y "crosshole").

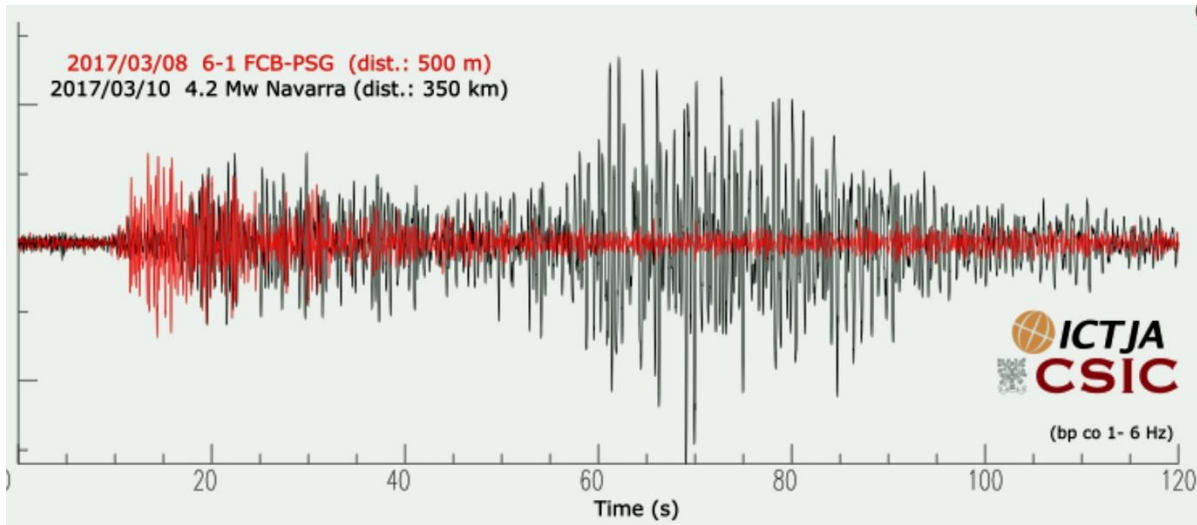
El precio que hay que pagar para poder detectar sismos lejanos y de muy baja intensidad es que los sismómetros pueden experimentar un fenómeno llamado “ *saturación* ” o “ *recorte de datos* ”. Cuando la amplitud del movimiento del suelo es grande, pueden salirse de escala, es decir no registran más a partir de una cierta amplitud. De hecho, esto puede ocurrir hasta si uno los toca con un dedo con mucha fuerza.

La siguiente figura muestra un ejemplo de la saturación (se le llama “ *data clipping* ” en inglés). La escala vertical está en “ *número de cuentas* ”: para pasarla a una unidad física se necesita conocer el factor de conversión (por ejemplo, 1g = 500,000 cuentas). Este registro fue medido en un sismómetro de la PRSN en Guánica durante una réplica en febrero del sismo M6.4.



Los sismógrafos son tan sensibles que pueden registrar, por ejemplo, las vibraciones producidas por los fanáticos en un juego de fútbol (o “ *soccer* ”). De hecho, estas situaciones se han reportado en varias ocasiones, aunque estos movimientos del suelo no debe ser rigurosamente llamados terremotos. Se dice que unos sismógrafos registraron un gol de la selección de México en su juego contra Alemania en la Copa Mundial de 2018. Por supuesto, los instrumentos no registran goles sino el movimiento de suelo por los fanáticos celebrando el gol de su selección en la plaza del Zócalo en el centro de Ciudad de México.

Durante un juego del FC Barcelona (donde juega el otro Luis Suárez), el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA) ubicado en la ciudad de Barcelona registró el siguiente movimiento del suelo (es el registro en rojo, el otro es de un verdadero sismo):



¿Tal vez esto debería llamarse un “fanamoto”? Personalmente no creo que jamás pueda ocurrir algo similar en un juego de béisbol, pero eso solo demuestra mi favoritismo...