

CALIBRADOR DIGITAL DE SENSORES SÍSMICOS

Cisneros Christian, Marcillo Omar, Enriquez Wilson
Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional

RESUMEN

Para la determinación de movimientos sísmicos, básicamente existen dos métodos. El primero se basa en el principio de inercia, donde, el sensor es el geófono de péndulo; el segundo se basa en la deformación de una pequeña parte de la tierra y el geófono de tensión es el sensor.

Los geófonos utilizados por el Departamento de geofísica de la Escuela Politécnica Nacional, se basan en el primer método para la determinación de movimientos, donde el sensor, es el geófono de péndulo con transducción electromagnética.

Los geófonos de péndulo consisten esencialmente de una masa inercial suspendida por elementos elásticos dentro de una armadura rígida. Ante el paso de ondas sísmicas, se altera el equilibrio relativo de la armadura, y la inercia de la masa reacciona contra las fuerzas transmitidas a través de la suspensión, produciéndose un movimiento relativo entre la masa y la armadura. Estos movimientos relativos son detectados y amplificados por sistemas mecánicos, mecánico-ópticos y electrónicos.

SENSORES SÍSMICOS (GEÓFONOS)

De forma general los geófonos de péndulo utilizados por el Departamento de Geofísica de la EPN tendrán una salida proporcional a la velocidad relativa de sus elementos.

Podemos decir que la mayoría de sistemas de medición se pueden dividir en tres partes:

Etapa detectora-transductora, la cual detecta la variable física y efectúa una transformación, ya sea mecánica o eléctrica para convertir la

señal a una forma más manejable. Generalizando el concepto, un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro, y en la gran mayoría de los casos, la variable física se transforma en una señal eléctrica, ya que ésta es la forma de señal más fácilmente medible.

La etapa intermedia, la cual modifica la señal que proviene del transductor, ya sea por amplificación, filtrado u otros medios para tener una salida deseable.

Una etapa final o terminal, en la cual se indica, graba o controla la variable que va hacer medida.

TIPOS DE SENSORES SÍSMICOS

Los sensores sísmicos se clasifican en base a la respuesta de frecuencia que éstos tengan, y se clasifican en tres clases:

Corto periodo.- Este tipo de sismómetro esta caracterizado por tener una respuesta en velocidad normalmente plana en el rango de frecuencia entre 1 y 50 Hz (donde se sitúa la sismología de corto periodo). Su respuesta en frecuencia y sobre todo su rango dinámico hace a este tipo de instrumento ideal para el estudio de sismicidad local de magnitud moderada a baja, pero no para energías grandes, pues se suele producir la saturación mecánica del instrumento (señal fuera del rango de trabajo del sensor).

Dentro del mercado de este tipo de sismómetros podemos diferenciar al menos dos tipos de sensores, los denominados sismómetros de prospección y los sismómetros estándar de aplicación para el estudio de microterremotos.

ccisneros@igepn.edu.ec
omarcillo@igepn.edu.ec
wenriquez@igepn.edu.ec

Banda ancha.- Aunque en la mayoría de las situaciones el contenido de frecuencias de las señales volcánicas se centra en el denominado corto periodo, hay casos en los que existen señales a menor frecuencia que 1Hz, por ejemplo, señales asociadas con movimientos generados por cámaras magmáticas, grandes terremotos asociados a erupciones, etc.

De movimiento fuerte.- Utilizados para detectar movimientos de mediano o fuerte magnitud, no resulta ser una necesidad habitual el registro en aceleración de las señales sísmicas en volcanes, sobre todo porque la energía que se pone en juego es, en comparación con situaciones tectónicas, mucho menor, por lo que los niveles de aceleración del suelo están en los umbrales de detectabilidad de este tipo de instrumentos. Por tanto, el uso de sensores de movimiento fuerte (acelerógrafos) no resulta ser una práctica muy extendida en la sismología volcánica.

ESTRUCTURA DE UN SENSOR SÍSMICO L4C

El geófono de péndulo está formado por una estructura sólida, cuya base contiene un imán permanente para generar un campo magnético constante. El péndulo es la parte móvil y está formado por una masa sísmica con una bobina, unidas a la estructura del sensor a través de un resorte.

El movimiento relativo del péndulo dentro del campo magnético constante, generado por un electroimán, se mide en la mayoría de casos a través de un sensor de velocidad, el cual convierte la energía mecánica proveniente de las ondas sísmicas en señal eléctrica. La figura 1 muestra en forma esquemática éste sensor.

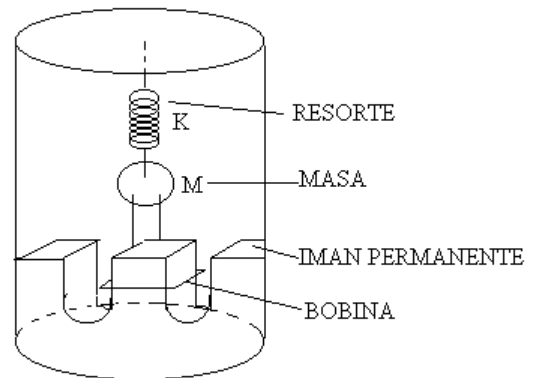


Figura 1. Estructura de un geófono L4C.

el amortiguamiento magnético depende de la resistencia externa equivalente D . En la figura 2 se presenta el circuito deseado para el funcionamiento del geófono, con un amortiguamiento determinado por la resistencia D .

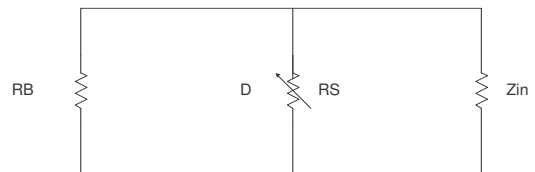


Figura 2. Diagrama circuital que presenta el geófono con amortiguamiento determinado por la resistencia D .

En la figura 3 se observa la forma de respuesta que se espera obtener cuando a la masa del geófono se le da una posición inicial $Z(0)$ y se le deja oscilar,

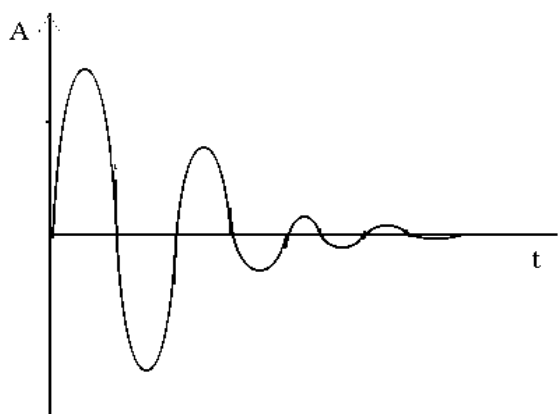


Figura 3. Respuesta del Geófono a una excitación eléctrica externa.

Determinando los valores cuando ocurren los picos máximos y los mínimos de la señal de salida, se puede obtener el coeficiente de amortiguamiento β , así:

Despejando β :

$$\beta = \left[\left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Definiendo el decremento logarítmico:

$$\lambda = \frac{\beta\pi}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

Este β es justamente el coeficiente de amortiguamiento del geófono. Esto quiere decir que se calcula el coeficiente de amortiguamiento de acuerdo a las condiciones propias de cada geófono.

EQUIPO CALIBRADOR

Para conocer completamente el comportamiento de un geófono modelado como un sistema oscilante es preciso conocer su coeficiente de amortiguamiento, transducción, frecuencia natural, etc. La calibración de un geófono permite determinar estos parámetros. Además una vez establecidos estos pueden ser modificados a conveniencia mediante elementos externos.

La modificación de los parámetros permite ubicar al sensor en un rango de trabajo determinado a la necesidad del estudio a realizar y las condiciones del fenómeno a medir. Por tanto la calibración de un geófono debería ser una práctica regular en los sistemas basados en estos sensores.

Se desarrolló un equipo digital (esquemático Figura 4) e implementó un protocolo para la calibración de geófonos. El método que utiliza el equipo de calibración es el Release Current Test que utiliza el Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S.G.S.) En Merlo Park (Fisher, 1976), el cual sintetizando consiste en aplicar un pulso eléctrico a la masa del geófono, repetidas veces. Con una resistencia en paralelo, variando su valor respectivamente, obteniendo cada vez las tres

amplitudes que siguen al pulso forzado por la carga. Con estos datos encontraremos el coeficiente de amortiguamiento propio de cada geófono, la transducción, la impedancia de salida equivalente entre otras.

El sistema cuenta con una tarjeta de conversión y pre análisis basada en tecnología de microcontroladores PICmicrocontrollers, los algoritmos de pre análisis se han podido implementar dentro este gracias a la versatilidad de los compiladores de lenguaje C para sistemas cerrados, el análisis final y presentación de resultados se lo realiza a través de un programa (samiCALIBRADOR), desarrollado en ambiente visual, el software permite visualizar los datos, resultados y modificar los parámetros atendiendo a los requerimientos de las redes sismológicas.

El equipo presenta una gran estabilidad y una precisión del 95%, en los resultados obtenidos. Estas características se derivan del sistema automático de pre análisis (algoritmo Marcillo-Cisneros de determinación de puntos extremos para sistemas cerrados), la utilización de un conversor sigma-delta AD7710 (Analog Devices) para la etapa de conversión y una resistencia digital AD7376A50 (Analog Devices) para la variación de impedancia de entrada.

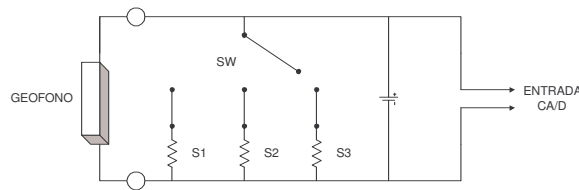


Figura 4. Diagrama circuital equivalente de pulso eléctrico al geófono

METODOLOGÍA

Sobre esta base, el método a utilizar será el Current Release Test que utiliza el GEOLOGICAL SURVEY (U.S.G.S.) En Menlo Park (Fisher, 1976), el cual sintetizando consiste en aplicar un pulso eléctrico a la masa M del geófono, repetidas veces. Primero directamente con el Shunt abierto, luego con una resistencia en paralelo, variando su valor respectivamente, los cuales para nuestro caso son de 40KΩ, 30KΩ y 26.1 KΩ , obteniendo cada vez las tres amplitudes que siguen al pulso forzado por la carga.

El método original de Fischer está diseñado para calcular la resistencia Rs que un geófono de características conocidas, se acople a un preamplificador de impedancia de entrada Zin también conocida, de tal manera que se consiga un coeficiente de amortiguamiento determinado.

Debido a que en la actualidad la red de sismógrafos del Departamento de Geofísica ya se halla instalado es necesario implementar el proceso inverso, o sea, con una resistencia Rs, una impedancia de entrada al amplificador Zin y características conocidas del geófono, hallar el coeficiente de amortiguamiento que posee.

Para lo cual presentamos los siguientes pasos a seguir:

Dados:

- RB = Resistencia de la bobina del geófono.
- RSi = Resistencia de test.
- A1n, A2n, A3n = Amplitudes de la respuesta del geófono al Test.
- Zin = Impedancia de entrada del amplificador.
- Rs = Resistencia Shunt.

Obtener:

β = Amortiguamiento deseado.

Usaremos: Decremento logarítmico obtenido en la ecuación 20.

$$\lambda = Ln \frac{A_{1n} + A_{2n}}{A_{2n} + A_{3n}}$$

$$\beta_n = \frac{1}{\sqrt{\pi^2 / \lambda_n^2 + 1}}$$

- Primera prueba: shunt abierto: β_0
- Segunda prueba: con RS1: 20 K $\beta_1 = \beta - \beta_0$
- Tercera prueba: con RS2: 15K $\beta_2 = \beta - \beta_0$
- Cuarta prueba: con 13.3 K $\beta_3 = \beta - \beta_0$

Con estos valores de β_i se puede encontrar un Γ promedio, ya que como se vio en la ecuación 14, Γ es función de la resistencia de la bobina más la resistencia shunt resultante que se le coloque, en caso Rsi, por lo que:

$$\Gamma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \beta_i (RB + RS_i)$$

$$D = \frac{Rs * Zin}{Rs + Zin}$$

Por lo tanto, β :

$$\beta = \beta_0 + \frac{\Gamma_{av}}{RB + D}$$

Este será el método que se seguirá para la realización del sistema automático de

XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

calibración del geófono. En base a las ecuaciones planteadas se elaborará el programa que se encargara del proceso, el cual se indicará más adelante.

Mediante éste tratamiento matemático de la respuesta del sensor luego de la excitación, se puede determinar el factor de amortiguamiento, la transducción, frecuencia natural del geófono entre otras características.

El calibrador digital de geófonos tiene como elemento principal un microcontrolador PIC16F870 (Microchip) mismo que maneja la operación del conversor análogo digital AD7710 (Analog Devices), la resistencia digital AD7376A50 (Analog Devices), la comunicación

serial con un computador y además se encarga de realizar el algoritmo de pre-análisis. El pulso de calibración activado por el microcontrolador es de 1s. y 1.5V.

El algoritmo que se ha implementado dentro del microcontrolador se encarga de identificar los picos de la señal luego del pulso de corriente, este algoritmo se ha implementado atendiendo a la pequeña cantidad de memoria requerida. El sistema de digitalización es tipo sigma-delta y la tasa de muestreo es de 100Hz.

El esquema electrónico del calibrador digital se presenta en la Figura 5

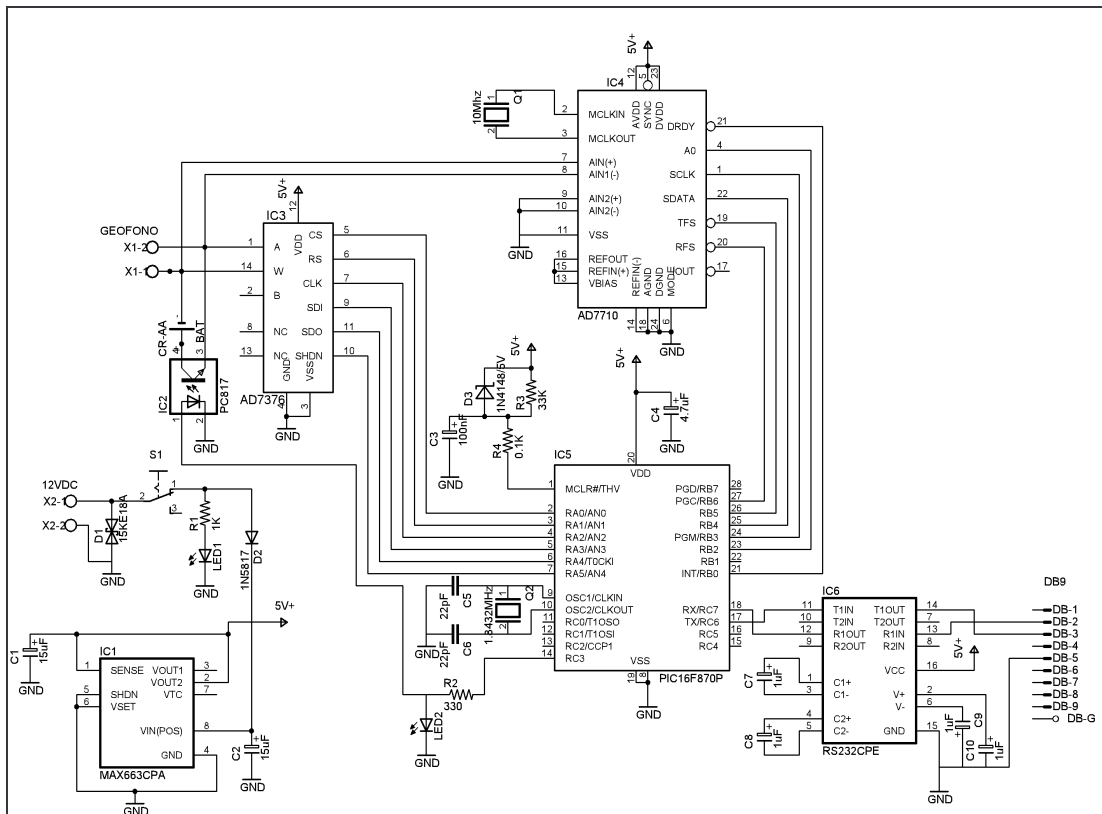


Figura 5. Esquema del Calibrador Digital de geófonos

El protocolo que se implementó, consiste en realizar 10 corridas de calibración para cada sensor y determinar el valor promedio de los valores de resistencia que se obtienen.

ALGORITMO MARCILLO-CISNEROS

El presente algoritmo determina puntos extremos en secuencias de datos cuando la cantidad de información no permite el almacenamiento y se requiere análisis en tiempo real.

El algoritmo empieza encontrando un punto de cambio de signo luego determina la dirección de incremento de la secuencia de datos; en el siguiente paso se comparara el ultimo valor adquirido con el ultimo mayor, el lazo principal

termina cuando el algoritmo detecta otro cambio de signo, y un valor máximo se ha determinado dentro de dos puntos de cambio de signo.

La implementación de este algoritmo en el sistema calibrador permitió realizar el pre-análisis en tiempo real. La Figura 6 muestra la implementación del algoritmo en lenguaje C mediante la función maxmin, esta permite la determinación de tres puntos extremas.

```
void maxmin(char numpru) // función de determinación de
valores
{
    // máximos o mínimos en tiempo real
    /*Determinación de inicio de secuencia positiva o negativa*/
    if( (datanue>valmed)&&(dataant<valmed) ) bancero=1;
    if( (datanue<valmed)&&(dataant>valmed) ) bancero=0;
    if(bancero==1) //comparación del valor máximo
    {
        // guardado con el nuevo valor
        if(datanue>maxpos) maxpos=datanue;
        bancero2=1; }
    if(bancero==0) //comparación del valor mínimo
    {
        // guardado con el nuevo valor
        if(datanue<minpos) minpos=datanue;
        bancero3=1;}
    if(bancero2==1 & bancero==0 )
    {
        //cambio de secuencia de positiva a
        bancero2=0; // negativa y determinación del valor
        maxpos=valmed; //máximo guardado
        numext=numext+1; }
    if(bancero3==1 & bancero==1 )
    {
        //cambio de secuencia de negativa a
        bancero3=0; //positiva y determinación del valor
        minpos=valmed; //mínimo guardado
        numext=numext+1;} }
```

Figura 6. Implementación del algoritmo Marcillo-Cisneros en lenguaje C, la función maxmin() determina 3 puntos extremos en una secuencia sísmica; *datanue* es el último valor ingresado, *dataant* es el valor anterior.

CONCLUSIONES

- El equipo presenta las facilidades necesarias al usuario por su rendimiento, bajo consumo y bajo costo, ya que va acorde al desarrollo

tecnológico del Departamento de Geofísica de la EPN y del país.

- El desarrollo de la tecnología de microcontroladores con memoria flash ha facilitado el desarrollo de sistemas cerrados, ya

XIX Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica

que se han disminuido el número de componentes y el hardware para estos sistemas se ha reducido considerablemente en tamaño. Además la utilización de compiladores de lenguajes de alto y medio nivel (Basic, C, java) para microcontroladores, ha permitido el desarrollo de algoritmos complejos por la facilidad de su programación.

- El algoritmo implementado en este equipo permite un análisis completamente automático. La autonomía del proceso, la rapidez de la calibración y la precisión de

los resultados permite eliminar los errores de apreciación y no solo realizar una calibración sino un conjunto de estas lo que permite hacer estadísticas de los datos obtenidos, mejorando así los resultados.

- Se recomienda que la calibración de geófonos se la realice cada 3 meses, siendo esta necesaria para saber que el geófono funcione de acuerdo a las especificaciones del fabricante o al menos cada año.

BIBLIOGRAFÍA

Ibáñez, Godoy (1997): "Apuntes de Sismología Volcánica", Universidad de Granada.

Ortiz, Ramón, A.García, M. Astiz (2001): "Instrumentación en Volcanología", Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote.

Ortiz, Ramón (1994): "Instrumentación en Volcanología 1", Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Sercel Service Manual, "Model L4C Low Frequency Geophone".

Kinematics Service Manual (1990): "Operating Instructions For Model SS1 Ranger Seismometer Kinemetrics.

BIOGRAFÍAS

Christian Rafael Cisneros Mera



Nació en Quito el 14 de Abril de 1977, curso sus estudios secundarios en el Colegio Nacional "Sucre". Sus estudios superiores los realizo en la Escuela Politécnica Nacional en la Escuela de Tecnología, obteniendo el título de Tecnólogo en Electrónica y Telecomunicaciones.

Ha asistido a cursos, seminarios y congresos, Experiencia Laboral, actualmente labora como técnico investigador en el Departamento de Geofísica de la EPN desde el 10 de Abril del 2000.

Wilson Leonel Enríquez López.



Nació el 8 de febrero de 1962 en Tulcán Ecuador, sus estudios secundarios los realizó en el Instituto Superior Bolívar, los superiores en la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Eléctrica (Telecomunicaciones) donde se graduó de Ingeniero en Electrónica y

Telecomunicaciones. Sus estudios de postgrado los realizó en la Universidad de Cantabria España obteniendo el Título de Magíster en Ingeniería de Comunicaciones en 1997. Otros cursos realizados en Geological Survey USA Washington en Instrumentación Electrónica, Universidad de Hawaii en Técnicas de Monitoreo, Ciudad de Panamá, Panamá en Instrumentación de bajo costo, etc, ha presentado trabajos en Brasil, Colombia USA, etc. Actualmente se desempeña como Jefe del Área técnica del Departamento de Geofísica de la E.P.N. y profesor principal de la Escuela Politécnica Nacional Área de Telecomunicaciones.

Omar Eduardo Marcillo Lara



Nació en Quito el 6 de Septiembre de 1977. Sus estudios secundarios los hizo en el colegio “La Salle”, sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional en el Departamento de Física, obtuvo su título como Físico en el 2003. Ha trabajado como asistente en el Observatorio Astronómico de Quito desde Enero del 1999 hasta Enero del 2000.

También realizó un período de entrenamiento acerca de sensores laser en el Lund laser Center. Lund – Suecia, entre Enero y Febrero del 2003. Participó como invitado en el workshop del Abdus Salam, Centro Internacional de Física Teórica. Trieste – Italia, entre Noviembre y Diciembre del 2002. Desde Junio 2002 trabaja como investigador en el Departamento de Geofísica de la Escuela Politécnica Nacional y realiza desarrollo de hardware y software orientado al monitoreo volcánico. Actualmente trabaja en proyecto pionero usando nuevas tecnologías en el desarrollo de equipos para monitoreo volcánico en base al infrasonido, conjuntamente con investigadores de la Universidad de Harvard y la Universidad de New Hampshire.