



Instituto Politécnico Nacional.

Escuela Superior de Cómputo.



**Práctica #1.**  
**“Sensor Sísmico (Geófono)”.**

Integrantes:

- Frías Mercado Carlos Elliot – 2016630119.
- Gómez Ramírez Oswaldo – 2016630149.
- Hernández Castro Karla Beatriz – 2016630173.

Grupo:  
3CM4

Fecha de entrega:  
5 de septiembre 2018

Profesor:  
Ing. Juan Carlos Téllez Barrera.

# PRÁCTICA #1

## “Sensor Sísmico (Geófono)”

### Introducción:

#### Aspectos generales de un sensor sísmico

El sensor sísmico es un instrumento para medir el movimiento del suelo cuando su estabilidad ha sido perturbada por una fuerza física. El sensor sísmico (sismómetro o geófono) debe suministrar una variable física cinemática relacionada con el movimiento del suelo (desplazamiento, velocidad o aceleración). Obtiene la información por medio de transductores que transforman las magnitudes físicas a medir, como el movimiento, a señales eléctricas equivalentes.

Se basa en el principio de inercia de los cuerpos, como sabemos este principio nos dice que todos los cuerpos tienen una resistencia al movimiento o a variar su velocidad. Así, el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a la posición de una masa suspendida por un elemento que le permita permanecer en reposo por algunos instantes con respecto al suelo. El mecanismo consiste usualmente en una masa suspendida de un resorte atado a un soporte acoplado al suelo, cuando el soporte se sacude al paso de las ondas sísmicas, la inercia de la masa hace que ésta permanezca un instante en el mismo sitio de reposo. Posteriormente cuando la masa sale del reposo, tiende a oscilar. Sin embargo, ya que esta oscilación posterior del péndulo no refleja el verdadero movimiento del suelo, es necesario amortiguarla.

Modificando la posición del resorte, la pesa y la base; los sismógrafos pueden registrar movimientos en todas direcciones. Los sismómetros comúnmente registran movimientos de muchas y diferentes fuentes naturales; como también aquellas causadas por el hombre; por ejemplo movimientos de los árboles a causa del viento, olas golpeando las playas, y ruidos de autos y grandes camiones.

Esos instrumentos sensorios deben cubrir un amplio rango dinámico, los movimientos más pequeños del suelo pueden llegar a ser tan sólo de unas décima de nanómetros, mientras que la ruptura de una falla puede ocasionar desplazamientos de una decena de metros (un rango dinámico de  $10/10^{-10} = 10^{11}$ ). Cada temblor produce diferentes tipos de vibraciones u ondas sísmicas que viajan a través del interior de la Tierra con diferentes velocidades. Esta variabilidad dinámica, representa un rango demasiado amplio para cubrir con un sensor de construcción estándar. Es por ello que la banda de frecuencia para estudios sismológicos se considera que oscila en un rango de 0,00001 Hz hasta 1000 Hz.

Algunos rangos típicos de frecuencias generadas por diferentes fuentes sísmicas se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1: Frecuencias típicas generadas por fuentes sísmicas

| Tipo de señal   | Frecuencia [Hz]  |
|---|------------------|
| Mareas terrestres   | 0.00001 - 0.0001 |
| Oscilaciones libres de la Tierra, terremotos                  | 0.0001 - 0.001   |
| Ondas superficiales, terremotos                               | 0.001 - 0.01     |
| Ondas superficiales, ondas $P$ y $S$ , terremotos con $M > 6$ | 0.01 - 0.1       |
| Ondas $P$ y $S$ , terremotos con $M > 2$                      | 0.1 - 10         |
| Ondas $P$ y $S$ , terremotos con $M < 2$                      | 10 - 1000        |

El rango es el campo de medida para cualquier número de valores que siempre deben estar entre un límite superior e inferior según las especificaciones del instrumento, así que para nuestro sensor sísmico es necesario elegir un rango de frecuencias con las que trabajaremos, despreciando las que queden fuera. Para nuestro análisis consideraremos las frecuencias dentro del rango [0.1 - 1000] que corresponden a terremotos o sismos considerablemente fuertes.

#### Información relevante para el desarrollo de la práctica

Como el funcionamiento de un altavoz se basa en el movimiento relativo de una bobina respecto de un imán, se puede utilizar para detectar las vibraciones del suelo. Estas vibraciones mueven la bobina respecto del imán, produciendo una *diferencia de potencial* entre los conectores de la bobina. Para construir nuestro geófono, se utilizó un “woofer” (altavoz para sonidos de **baja frecuencia**) ya que estos altavoces están especialmente diseñados para trabajar bien a bajas frecuencias, y las ondas sísmicas, por supuesto, son vibraciones de baja frecuencia.

Además de esto los sismógrafos emplean un sistema de **amplificación** para producir registros que puedan ser analizados, por lo que la señal eléctrica obtenida por nuestro sensor deberá ser amplificada (Primera etapa de amplificación)

Otra consideración importante es que debido al rango de frecuencias seleccionado y a la naturaleza de las ondas sísmicas es necesario el utilizar un **filtro pasa bajas** que como su nombre lo indica, permite el paso de las frecuencias bajas y restringe las frecuencias altas. Sin importar las frecuencias que entren, solo saldrán las frecuencias que permita éste filtro.

## Desarrollo Experimental:

Para poder desarrollar el geófono y obtener una aplicación, es necesario que la señal obtenida a través de nuestro sensor se procese mediante diferentes etapas, las cuales son: la implementación del sensor sísmico, el filtrado de la señal, la amplificación de la señal y una aplicación la cual será el empleo de un vúmetro de leds que nos ayudará a visualizar la intensidad de la señal obtenida a través del sensor sísmico.

### **Procedimiento experimental 1.- Implementación del sensor sísmico.**

#### - Explique la construcción de su "Sensor Sísmico (Geófono):

Los materiales para la construcción de nuestro geófono casero serán los siguientes:

- ◆ Bocina automotriz.
- ◆ Tubo de papel.
- ◆ Resorte.
- ◆ Madera.
- ◆ Bornes de conexión.
- ◆ Armellas.
- ◆ Cable flexible de audífonos.

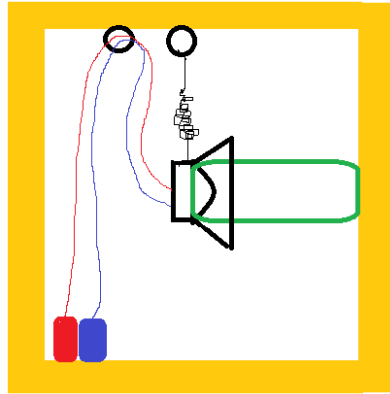
La realización de nuestro geófono cuenta con cuatro partes fundamentales físicas que son necesarias para que nuestro sensor funcione correctamente, estas cuatro partes son: la bocina, el resorte, la base fija al suelo, la masa.

Iniciamos revisando la parte fundamental del sensor: la bocina. Debemos observar que nuestra bocina tenga un desplazamiento considerable al tocar el filtro cubre polvo; esto es con el propósito de visualizar que no es necesario un movimiento muy brusco para que nuestra bobina se mueva y tenga una mayor sensibilidad nuestro sensor. Del tamaño de la bocina dependerán las siguientes etapas. Después de considerar que nuestra bocina esté bien, necesitamos soldar a las terminales de este cable para poder conectarlo a los bornes, para no aumentar más peso se decidió que estos cables tenían que ser livianos y flexibles, lo que no afectaría a nuestra masa.

La base fija al suelo, debe ser estable y rígida, esta se realizó con madera y haciendo una especie de cuadro entre ellas, pegando las maderas entre sí, y además uniéndola con tornillos para conseguir una estructura muchísimo más fuerte. En esta base pondremos dos argollas, una de ellas será para colgar el resorte que sostendrá nuestra bocina y la otra la usaremos para pasar por ahí los cables que nos ayudaran a conectar la bocina con los bornes de conexión.

Para poder construir este sensor es necesario encontrar el punto de equilibrio de la bocina porque es ahí en donde se va a colgar; este punto de equilibrio se va a lograr porque de ahí vamos a sujetar la tercera parte importante el resorte, este será el que una a la base fija con nuestra bocina mediante la suspensión de este último. Es necesario que encontremos este punto de equilibrio para que nuestro sensor sea lo más preciso posible. Encontrándolo procederemos a colgarlo de la argolla y pasando los cables por la otra argolla y los soldamos con nuestros bornes.

Finalmente, para terminar nuestro sensor de sismos, es necesario que nuestra bocina reciba un impulso al moverse nuestra base fija y esto lo vamos a lograr pegando un tubo de papel a nuestra bocina, en específico en la capa protectora y a la base de madera, la forma en que debemos pegarlo es apenas rozando estas dos superficies con el fin nuevamente de no aportar otro tipo de fuerza a nuestro sensor.



*Ilustración 1. Geófono.*

*Diseño y construcción.*



- Explique su funcionamiento.

El funcionamiento del geófono es convertir las vibraciones en señales eléctricas mediante una bobina que se va a desplazar respecto a un imán, produciendo una tensión eléctrica en el extremo de nuestra bobina, como las perturbaciones sísmicas mueven al compás el movimiento del suelo, por lo tanto nuestra base de madera fija va a desplazarse igualmente con el movimiento del suelo, mientras que la bobina va a permanecer inmóvil, por lo tanto, dentro del geófono vamos a verificar la ley de inducción electromagnética de Faraday que nos va a describir la relación entre la corriente cambiante que va a fluir a través de nuestro conductor y el campo magnético que lo perturba. Conforme el movimiento sea con mayor fuerza, la señal que obtengamos a la salida de nuestro geófono será mayor.



*Ilustración 2. Geófono con base móvil.*

- Dibuje un esquema de conexión para realizar la primera medición.

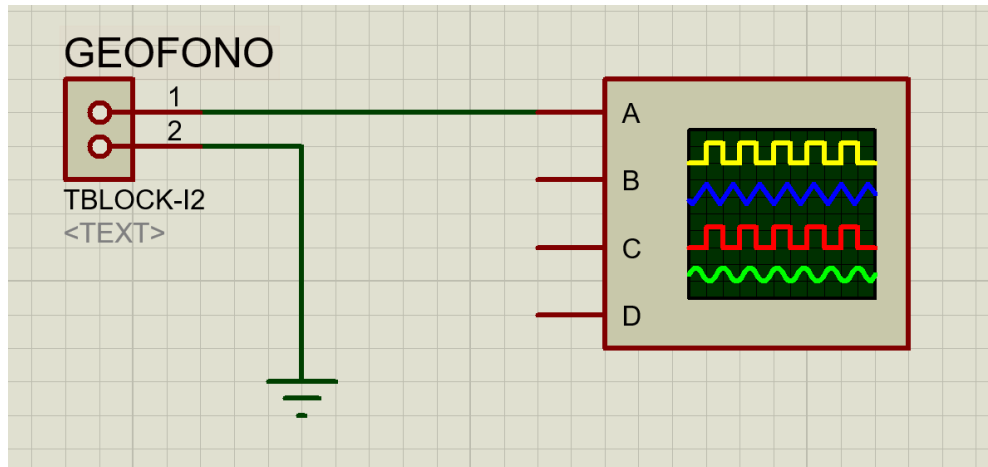


Ilustración 3. Esquema de salida del geófono primera fase.

Nota: la salida del sensor geófono se considera con una salida de dos bornes.

- Mida la oscilación máxima con el osciloscopio (Valor Vpp) e indíquela con unidades, respaldar la medición con la captura de pantalla e indique los parámetros de ajuste del osciloscopio (base de tiempo, volts por división, acoplamiento de señal), recuerde que la medición es simulando el movimiento con el cajón de prueba.

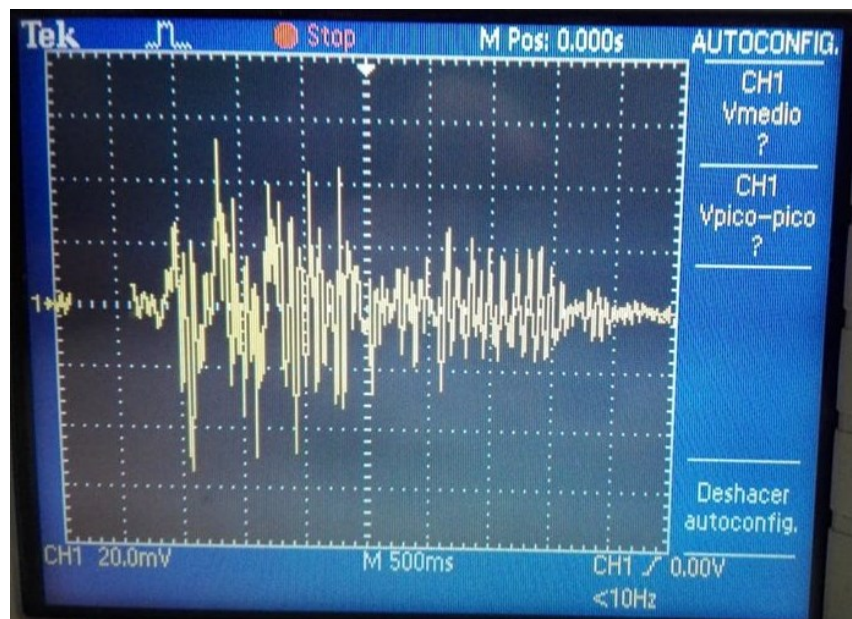


Ilustración 4. Salida del geófono en el osciloscopio

| VALOR VPP | BASE DE TIEMPO | VOLTS POR DIVISIÓN | ACOPLAMIENTO DE SEÑAL | SONDA |
|-----------|----------------|--------------------|-----------------------|-------|
| 109mV     | 500ms/div      | 20.0mV/div         | CC                    | 1X    |



## Procedimiento experimental 2.- Filtrado de señal. (filtro pasa baja)

Después de la primera etapa de obtención de una señal eléctrica a partir de nuestro sensor, vamos a colocar un buffer el cual nos sirve para adaptar la impedancia de la señal obtenida; esto es para transferir una tensión de nuestro primer circuito que tiene un nivel de salida con una alta impedancia, a una segunda salida con la misma tensión, pero con baja impedancia.

NOTA: En todos los circuitos se empleará el amplificador operacional 741 con + 12 V, - 12 V de alimentación.

Esto se obtiene con el siguiente esquema:

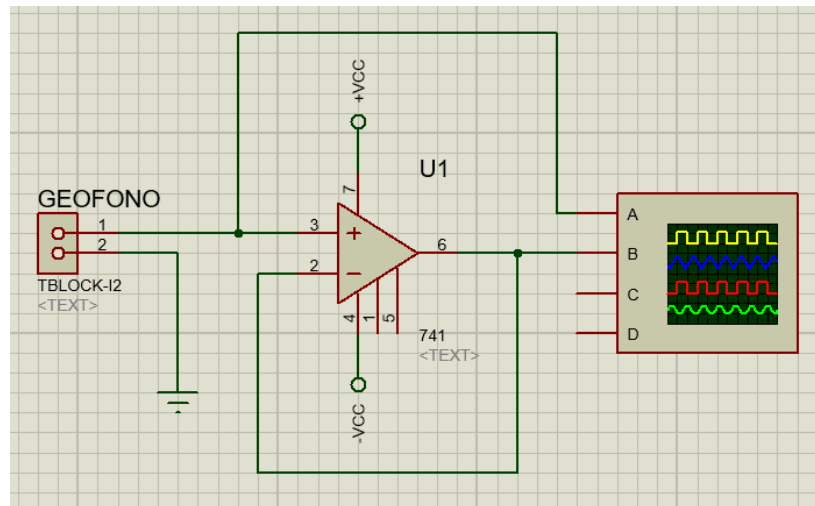


Ilustración 5. Esquema de salida del geófono con buffer.

Comparando las dos señales en donde el canal 1 corresponde a la salida directa del sensor y el canal 2 al voltaje obtenido después del buffer, notamos que estos dos son iguales.

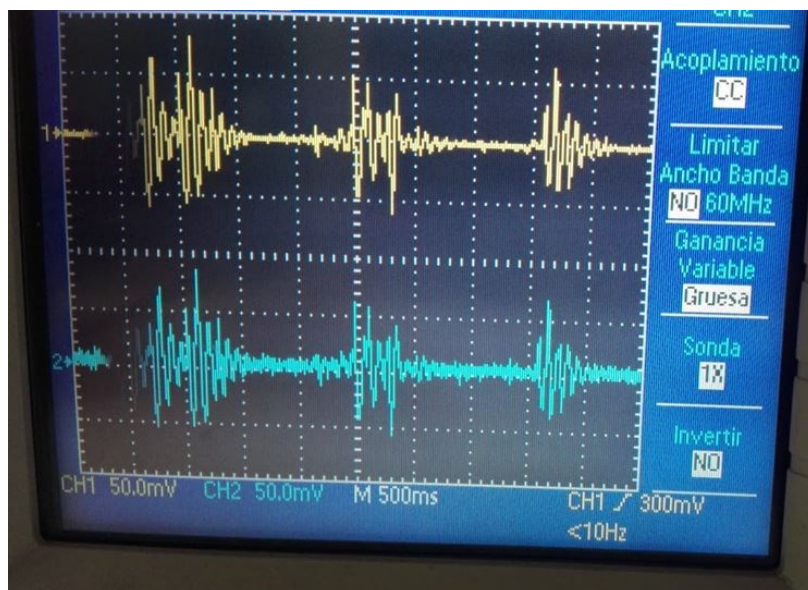


Ilustración 6. Comparación de dos canales antes y después del buffer.

- De acuerdo con la teoría sísmica investigada elija el rango de frecuencias adecuado para realizar la medición de sismos, explique porque es la adecuada, esta será la frecuencia de corte para el filtro a diseñar.

| FRECUENCIA DE CORTE: |
|----------------------|
| 10 Hz                |

Esta frecuencia de corte se basó en que queremos despreciar ondas producidas por movimiento superficiales, por lo tanto, de acuerdo con la teoría sísmica tenemos la siguiente tabla:

| FRECUENCIA (Hz) | TIPO DE MEDIDA                    |
|-----------------|-----------------------------------|
| 0.1-10          | Ondas P y S; terremotos con M > 2 |
| 10-1000         | Ondas P y S; terremotos con M < 2 |

Entonces el filtro que vamos a utilizar para nuestra frecuencia de corte va a ser un filtro pasa bajas no inversor de primer orden, en donde los filtros pasa bajas son aquellos que introducen muy poca atenuación a las frecuencias que son menores que la frecuencia de corte, y en cambio las frecuencias que son mayores a la de corte son atenuadas fuertemente. Además de tener este filtro vamos a realizar una primera etapa de amplificación en donde tendremos una ganancia igual a 10.

Esto se va a realizar con el siguiente circuito:

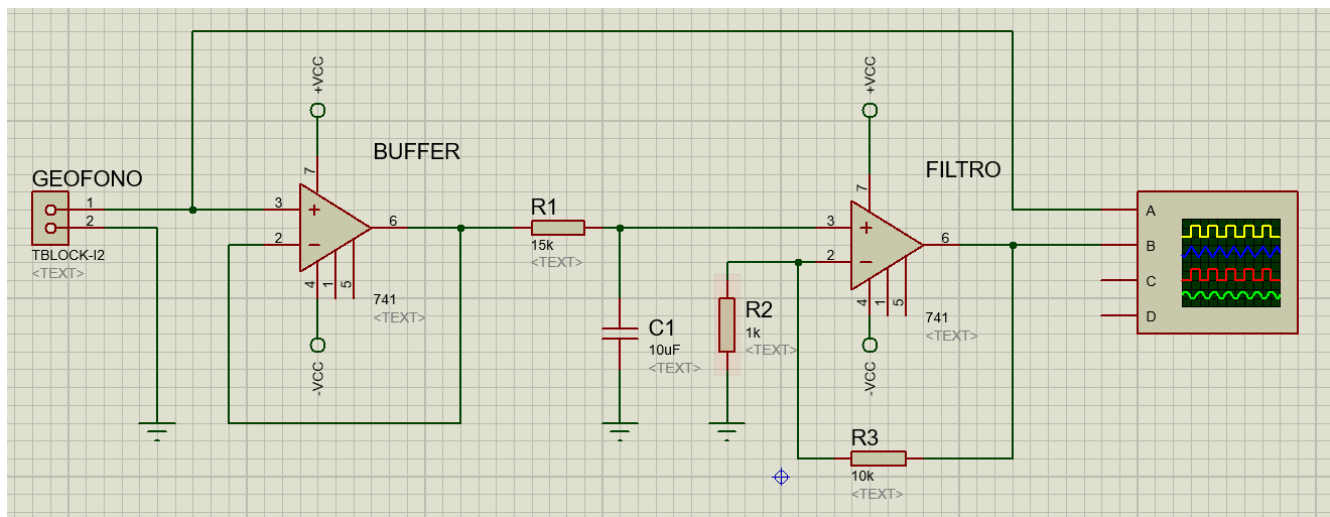


Ilustración 7. Esquema del sensor hasta el filtro pasa bajas de 10Hz.

Para poder obtener los valores del capacitor y la resistencia para el filtro pasa bajas es necesario usar la siguiente fórmula:

$$R = \frac{1}{2\pi fC}$$

En donde nosotros decidimos que el valor de la capacitancia fuera de 10uF, por lo tanto, sustituyendo los valores tenemos que:



$$R = \frac{1}{2\pi(10\text{Hz})(10\mu\text{F})} = 1591.5 \text{ Ohms}$$

- Mida la oscilación máxima con el osciloscopio (Valor Vpp) a la salida del circuito de filtro e indíquela con unidades, respaldar la medición con la captura de pantalla e indique los parámetros de ajuste del osciloscopio (base de tiempo, volts por división, acoplamiento de señal), recuerde que la medición es simulando el movimiento con el cajón de prueba.

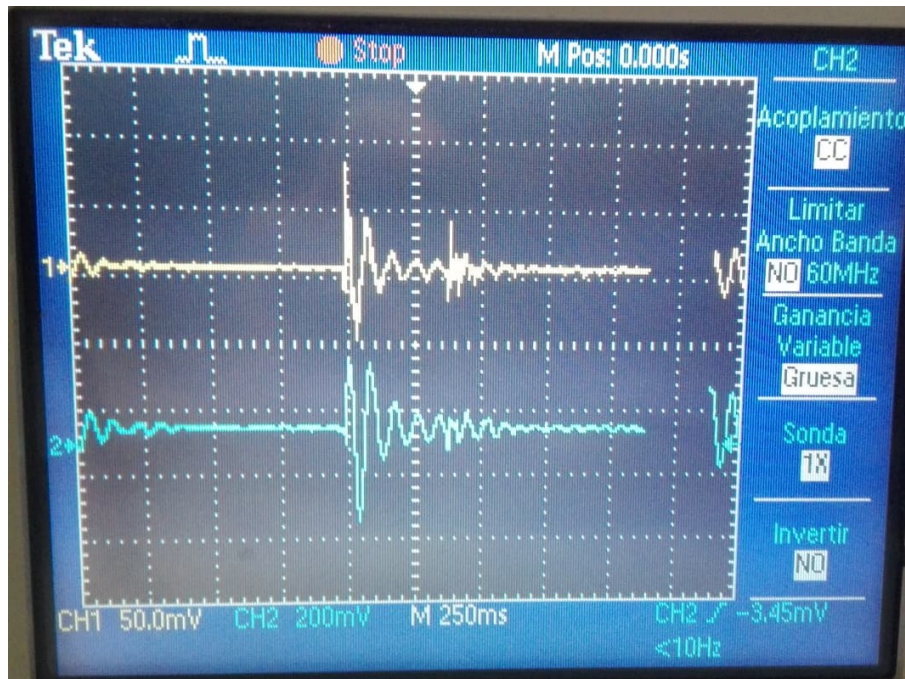


Ilustración 8. Después del filtro pasa bajas.

| CANAL | VALOR VPP | BASE DE TIEMPO | VOLTS POR DIVISIÓN | ACOPLAMIENTO DE SEÑAL | SONDA |
|-------|-----------|----------------|--------------------|-----------------------|-------|
| C1    | 135mV     | 250ms/div      | 50.0mV/div         | CC                    | 1X    |
| C2    | 560mV     | 250ms/div      | 200.0mV/div        | CC                    | 1X    |

- Explique cómo comprobó el funcionamiento de su filtro.

El filtro pasa bajas nos ayuda a eliminar las altas frecuencias a raíz de esto vemos en la salida del osciloscopio que en el canal dos no existen esos picos de voltaje tan pronunciados como en el canal uno, además podemos observar que la señal del canal dos también tiene una amplificación a su salida y que nuestra onda se ve muchísimo más definida.

### Procedimiento experimental 3.- Segunda etapa de amplificación.

- Con el Valor obtenido de la oscilación de la etapa anterior realice los cálculos necesarios para llevar la señal a 10 Vpp, tome en cuenta la configuración del amplificador a usar.

VALOR DE VOLTAJE PICO PICO:

560 mV

- Realice los cálculos necesarios y haga un esquema de circuito indicando sus valores y los puntos de medición.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_i} + 1$$
$$\frac{10v}{0.560v} \approx \frac{15k\Omega}{1k\Omega} + 1$$

Vamos a usar un amplificador no inversor para obtener del valor de 560mV a 10V, con el siguiente circuito, incluyendo todas las etapas anteriores.

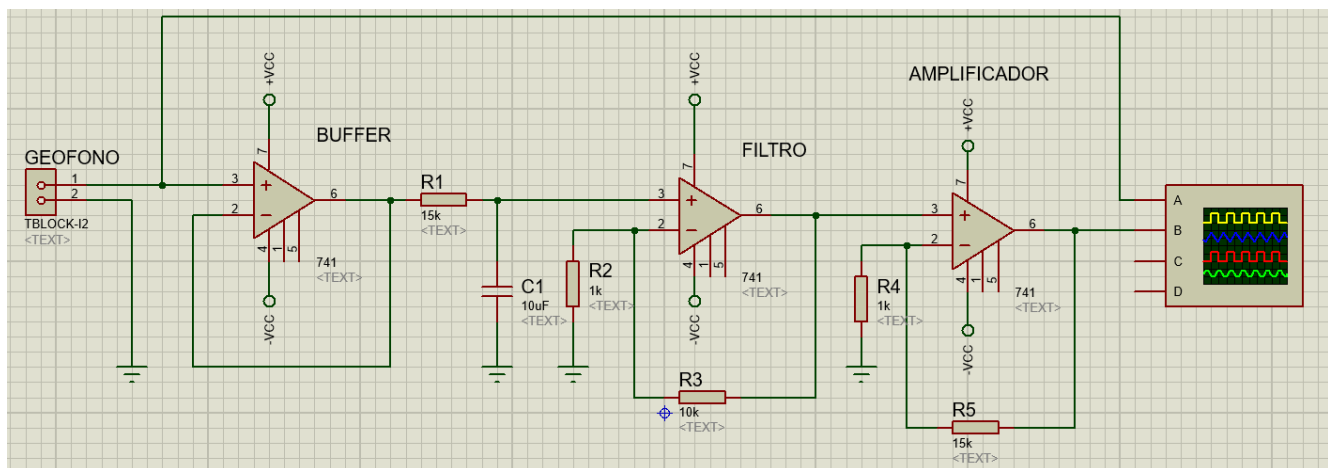


Ilustración 9. Esquema del amplificador a 10V.

- Mida la oscilación máxima con el osciloscopio (Valor Vpp) e indíquela con unidades, respaldar la medición con la captura de pantalla e indique los parámetros de ajuste del osciloscopio (base de tiempo, volts por división, acoplamiento de señal), recuerde que la medición es simulando el movimiento con el cajón de prueba.

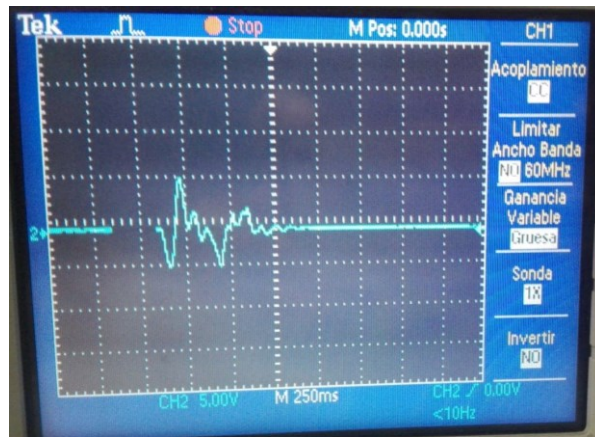


Ilustración 10. Salida del oscilador con señal a 10Vcc.

#### Procedimiento experimental 4.- Empleo de un Vúmetro de led's como dispositivo indicador de intensidad.

- Haga un esquema de circuito completo del Sistema que construyo, explique el funcionamiento iniciando desde el sensor (geófono) hasta el Vúmetro

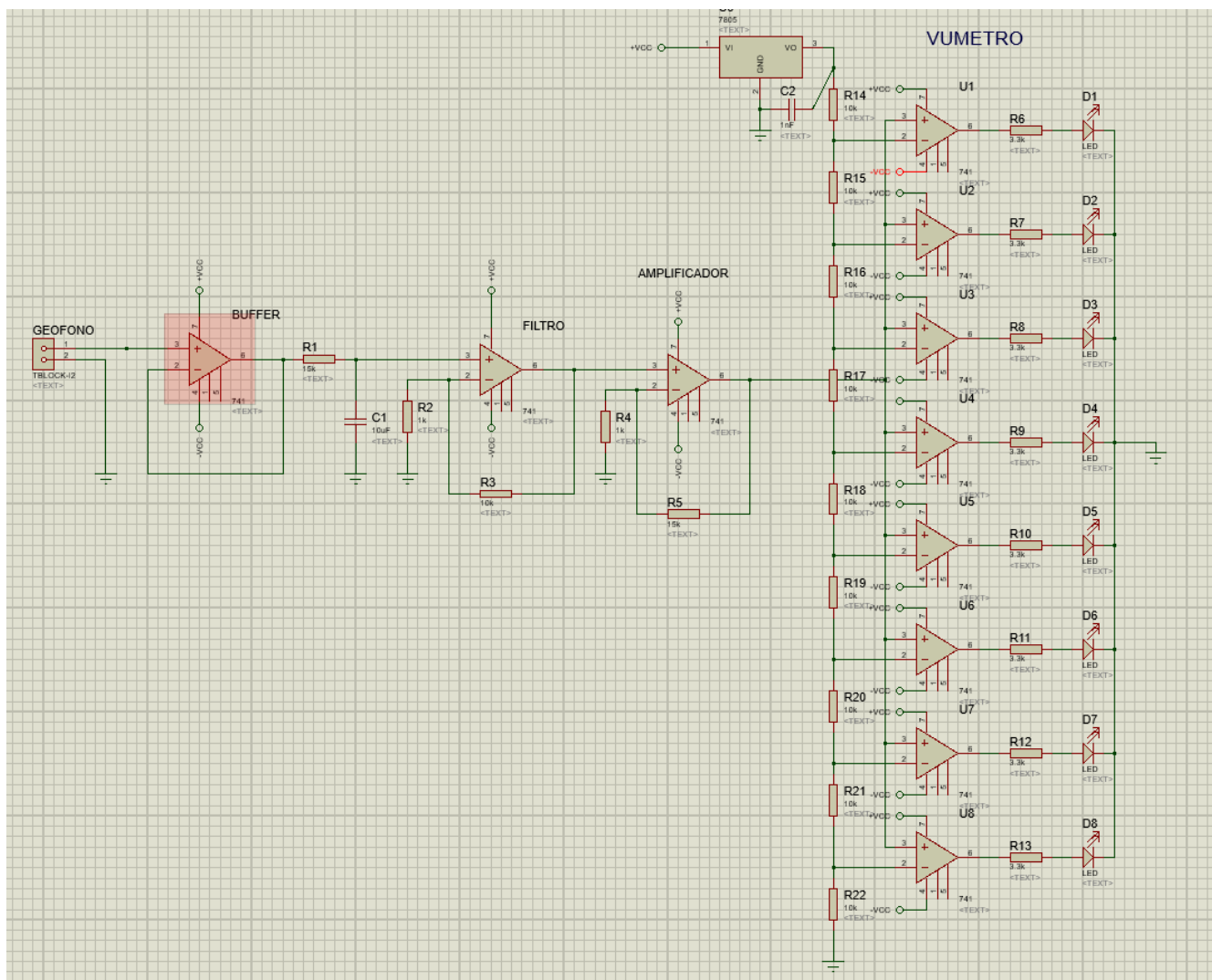


Ilustración 11. Circuito total de geófono.

Etapa 1 sensado: el geófono nos va a dar una señal de voltaje que va a variar de acuerdo con el movimiento que tendrá este dentro de la caja que simulará el movimiento de la tierra.

Etapa 2 buffer: este circuito nos ayudará a bajar la impedancia de nuestro sistema, pero con el mismo voltaje que obtuvimos en la etapa anterior.

Etapa 3 filtro pasa bajas: esta etapa del circuito nos sirve para solo pasar frecuencias menores a 10Hz, lo que en la teoría de sismos nos indica que solo sensa sismos mayores a 2 grados, al igual en esta etapa realizamos una amplificación de ganancia 10.

Etapa 4 amplificador: después de tener una salida del filtro anterior, necesitamos que al final de este circuito nuestro voltaje llegue a ser de 10V por lo tanto necesitamos usar un amplificador no inversor para lograr este propósito.

Etapa 5 vúmetro: en esta etapa tendremos ocho comparadores de voltaje que nos van a indicar la intensidad del sismo detectado por nuestro geófono.

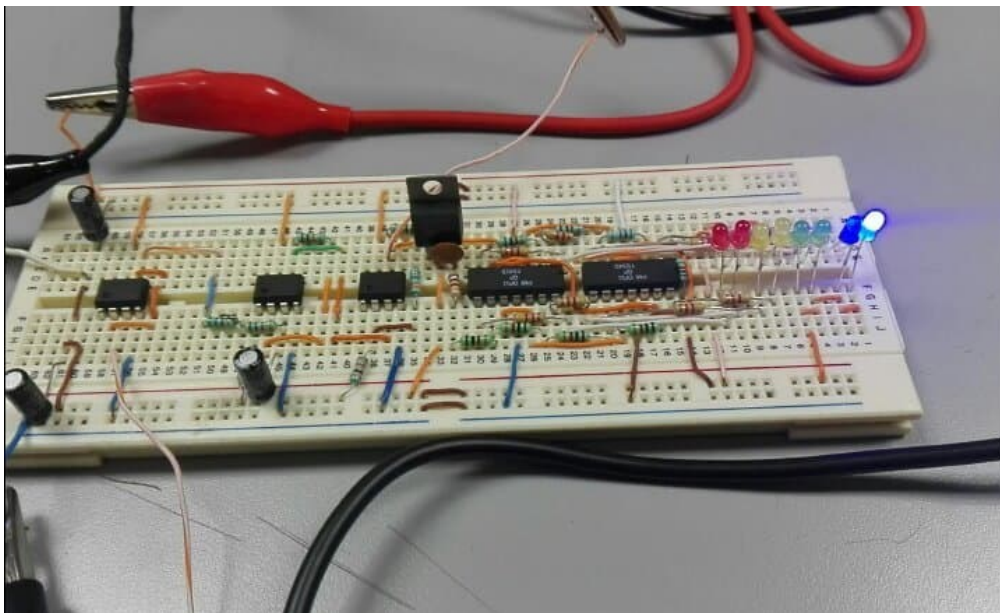
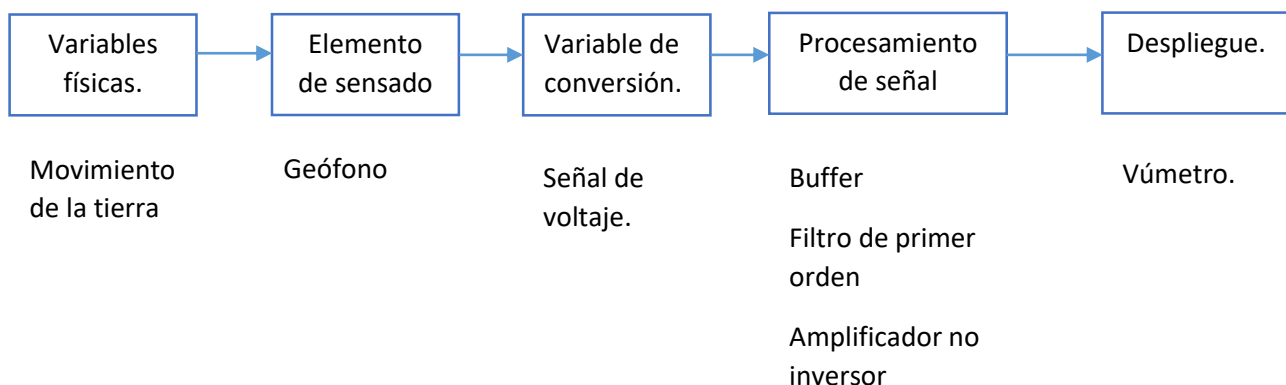


Ilustración 12. Circuito final del geófono.

- Dibuje un diagrama a bloques que represente a su sistema de medición e indique cuales elementos de circuito corresponden a cada etapa.



- Explique cómo podría mejorar el funcionamiento de su Sistema de Medición.

Para mejorar nuestro sistema, en lugar de indicar solamente con leds el grado de intensidad del movimiento que se detecte, sería importante también tener una escala numérica, en este caso podríamos colocar al final un microcontrolador en donde se tengan todas las escalas y que en determinado valor empiece a sonar una alarma de que es un sismo de magnitud fuerte, o en su caso que nos avise al celular igualmente que habrá un sismo. En el caso de que se quisiera que nuestro sensor fuera más exacto sería importante colocar más geófonos a una distancia considerable y hacer más cálculos con respecto a la distancia.

### Conclusiones:

Frías Mercado Carlos Elliot: El geófono es una herramienta que permite detectar movimientos debido a las ondas sísmicas, dicho movimiento solo puede ser detectado en una sola dirección por lo que se suele combinar 3 geófonos para una detección correcta, los movimientos de los genes que se generan impulsos eléctricos que son interpretados para que poder obtener una medición aproximada de la intensidad del sismo, combinado con otros sensores como la relojería para conocer su duración o epicentro.

Gómez Ramírez Oswaldo: Los instrumentos de medición son de gran utilidad, los geófonos son un tipo particular de ellos que mediante un transductor pueden transformar una medida física en señal eléctrica para su análisis. Al final de la practica pude apreciar la importancia de cada una de las etapas involucradas en el tratamiento y control de las señales medidas para su correcto análisis y así mismo fueron afirmados los conceptos básicos de la instrumentación.

Hernández Castro Karla Beatriz: En el transcurso de la realización de esta práctica fue posible observar el proceso que realiza un instrumento para poder medir una magnitud, en este caso un geófono. El correcto análisis y diseño del sistema con base en lo que queríamos medir fue fundamental para poder obtener el resultado esperado. Cada una de las etapas, medición, amplificación, filtrado y despliegue fueron muy importantes, y así mismo el asegurar la precisión en cada una de ellas.



Rango de medición del vúmetro:

El rango de medición del vúmetro va desde los 0.0195v hasta los 2.5v

Resolución:

La resolución del vúmetro es de 0.0195v

Realice los cálculos necesarios para justificar las respuestas anteriores:

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4$   
 $= R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9$

$$V_n = V_{cc} \left( \frac{R}{R + R_f} \right)$$
$$V_1 = 5 \left( \frac{1K}{1K + 1K} \right) = 5 \left( \frac{1}{2} \right) = \underline{2.5V}$$
$$V_n = \frac{1}{2} V_{cc}$$
$$V_2 = \frac{1}{2} (2.5) = \underline{1.25V}$$
$$V_3 = \frac{1}{2} (1.25) = \underline{0.625V}$$
$$V_4 = \frac{1}{2} (0.625) = \underline{0.3125V}$$
$$V_5 = \frac{1}{2} (0.3125) = \underline{0.15625V}$$
$$V_6 = \frac{1}{2} (0.15) = \underline{0.078125V}$$
$$V_7 = \frac{1}{2} (0.078) = \underline{0.039V}$$
$$V_8 = \frac{1}{2} (0.039) = \underline{0.0195V}$$

Resolución: 0.0195v  
Rango 0.0195v  $\rightarrow$  2.5v



