

## Diseño de alarma sísmica

J.C. Sánchez Reyes y L.E. Hernández Alzate  
*Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Dep. Física, Venezuela.*  
*Liceo Bolivariano “Alberto Carnevali” Mérida, Venezuela.*

Received 10 April 2018; accepted 15 May 2018

Este trabajo muestra el diseño de una sensible y versátil alarma sísmica basada en elementos de bajo costo o desechos, sustentada en principios y fenómenos físicos básicos tales como: Principio de inducción electromagnética de Faraday, momento angular, amplificador operacional, retraso de pulso, movimientos sísmicos, etc. El sensor de la alarma es una poderosa bobina móvil proveniente de un disco duro de computador, la señal es magnificada por un amplificador operacional  $\mu A741$  y el pulso de alerta tiene duración ajustada por un circuito integrado “timer”  $\mu A 555$ .

*Descriptores:* Alarma sísmica; inducción Faraday; amplificador operacional.

This work shows the design of a sensitive and versatile seismic alarm using low-cost items or waste. The design is based on basic principles and physical phenomena such as: electromagnetic induction of Faraday, operational amplifier, angular momentum, delay of pulse, seismic movements, etc. The alarm sensor consist of a powerful mobile coil from a computer hard drive, the signals is amplified by an operational amplifier  $\mu A741$ , and the audible pulse has a duration that is programable by an integrated circuit (timer)  $\mu A 555$ .

*Keywords:* Seismic alarm; induction Faraday; operational amplifier.

PACS: 07

### 1. Introducción

#### Importancia de elaboración de experiencia

Los movimientos sísmicos representan un temor latente para la sociedad actual, dado los riesgos que estos implican. Una alerta oportuna podría contribuir para activar los planes de evacuación y contribuir a minimizar los daños a las personas. Alarmas similares pudieran ser costosas y escasas en el mercado convencional.

El presente diseño está basado en materiales de desecho o bajo costo y es ideal como proyecto científico de enseñanza ya que está basado en fenómenos, principios y conceptos básicos de física elemental, que son detallados y justificados a lo largo del trabajo.

#### Antecedentes

Desde hace mucho tiempo las personas han venido buscando la manera de generar una alerta ante un movimiento sísmico. Desde una botella vacía colocada de forma invertida sobre el piso, hasta costosos sensores de impacto, colocados en autos y vitrinas, pero ¿como saber si el gato o una brisa ha tumbado la botella? o ¿el ruido de la botella al caer no es lo suficientemente intenso o largo para despertarnos de un profundo sueño?

Inicialmente el proyecto comenzó con un pulsador adosado a un péndulo, luego con un platón con mercurio y electrodos ajustables pero la sensibilidad era pobre, la alerta de la alarma duraba lo mismo que el sismo y a veces muy corto, factores externos activaban la alarma, se perdía la calibración al cambiarla de sitio y dificultad de traslado por su ensamblaje, calibración y tamaño. Todas esas consideraciones se han

tenido en cuenta y superado satisfactoriamente en el proyecto que se muestra en el presente trabajo.

#### Consideraciones para el diseño

A veces cuando estamos muy relajados descansando cómodamente llega a nosotros alguna señal de alerta como un sutil movimiento pero no reaccionamos de inmediato ya que aparece la duda, ¿es realmente un movimiento sísmico o se trata de una fuerte brisa, o un ruido proveniente del motor de un vehículo cercano?

El movimiento sísmico proviene de las entrañas de la tierra, se propaga a través de la misma hasta la superficie alcanzando las estructuras y edificaciones. éste movimiento es una onda de choque de baja frecuencia similar a un sonido de tono grave que se propaga por la estructura de la edificación; de la misma manera un fuerte ruido proveniente del entorno cercano tal como las vibraciones de las vías del ferrocarril o el metro y hasta el movimiento basculante generado por las fuertes brisas en los altos edificios. Todas esas vibraciones serán captadas por nuestra alarma sísmica dando un falso positivo. El presente diseño prevee fijar un nivel de sensibilidad variable para contrarrestar los falsos positivos y activarse a partir del umbral que ha sido programado previamente.

Una vez generado el movimiento sísmico que en lo sucesivo llamaremos “señal”, esta señal producirá un movimiento basculante de una densa bobina móvil en las cercanías un campo magnético de dos poderosos imanes de niobidio, todo esto viene encapsulado en un disco duro “DD” de un computador. Dado el excelente diseño del DD, la eficiencia del mismo es notable, los cojinetes de la bobina móvil minimizan significativamente el roce y dado lo compacto del diseño,

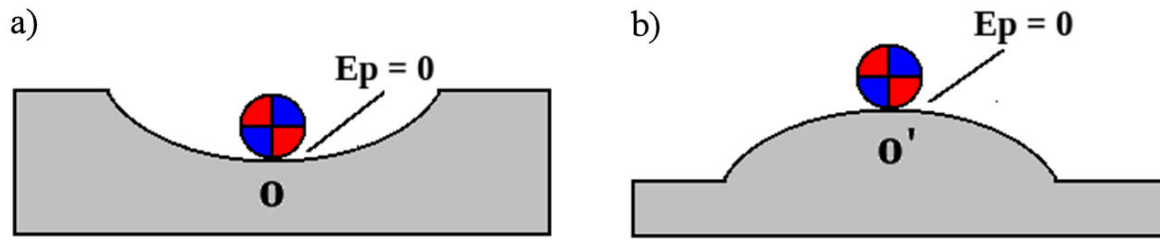


FIGURA 1. Equilibrio estable e inestable.

pequeños movimientos de la bobina causarán una notable señal de auto-inducción.

El movimiento de la bobina causa un campo eléctrico que luego de ser amplificado pudiera ser la alerta de nuestra alarma sísmica a no ser por su corta duración y potencia. Un circuito Timer permitirá mantener un pulso por un período de tiempo programado y elevar la potencia por medio de un transistor. Finalmente se activará un relay para manejar el pulso de salida con la potencia necesaria para activar una sirena o cualquier otro dispositivo de alerta acústico o luminoso.

El presente proyecto propone la construcción de una alarma sísmica con las siguientes características:

- Versátil: permite fijar el umbral de activación de la alarma por medio de un ajuste de sensibilidad, de igual manera permite fijar la duración del pulso de alerta y finalmente puede elegir entre los diferentes tipos de alerta muy convenientes para el caso de personas discapacitadas: audible (sonido), visual (luminosa) o ambas.
- Económico: ya que utiliza materiales de bajo costo y de uso común tales como un transistor driver 2N 3904, un circuito integrado amplificador operacional  $\mu A741$  y timer LM555. También utiliza materiales de desecho tal como un disco duro dañado de PC como sensor de señal.
- Compacto y portátil: dado el reducido tamaño de los elementos, puede ser armado en un pequeño módulo que permita ser llevado a cualquier sitio.
- Proyecto para enseñanza: dado los diversos tópicos de la física que involucra este diseño, se detallan todos y cada uno de ellos con propósitos didácticos y de enseñanza justificando su pertinencia.

## 2. Objetivos

### General

Diseño de alarma sísmica.

### Específico

Explicar los principios físicos que involucra el diseño.

## 3. Principios físicos

### Equilibrio estable e inestable

Se dice que un cuerpo está en equilibrio mecánico si la suma de fuerzas y momentos que aplican al mismo, es cero, además la variación de la energía potencial debe ser cero [1].

Veamos a continuación los siguientes dos ejemplos. Se trata de una esfera que descansa en reposo sobre un perfil cóncavo.

Para la Fig. 1 a), la esfera está quieta “en reposo” en la posición “o” caracterizada por su energía potencial gravitatoria cero. Si se le aplica una fuerza para sacarla de su posición de equilibrio esta buscará la manera de retornar su equilibrio; este fenómeno se le conoce como equilibrio estable.

Veamos ahora la Fig. 1 b), la esfera está quieta “en reposo” en la posición “o”; igual que en el caso anterior su energía potencial gravitatoria también es cero pero al aplicarle una fuerza, esta abandonará su posición de equilibrio sin retorno; a este caso se le conoce como “equilibrio inestable”.

### Momento de torsión

Se sujeta con la mano el extremo de una regla cualquiera, por ejemplo de un metro como se muestra en la Fig. 2. Si se coloca algo pesado cerca de la mano y se agita la regla; se sentirá una torsión en la mano (eje de torsión). Ahora si se coloca el peso al borde mas alejado de la mano, la torsión será mayor. Note que la pesa es igual, la fuerza que actúa sobre la mano es igual, pero el momento de torsión o “torque” es mayor. La fuerza tiene a cambiar el movimiento de los objetos; el momento de torsión tiende a torcer, o a cambiar, el estado de rotación de los objetos. Si se desea hacer que se mueva un objeto en reposo hay que aplicarle una fuerza, pero si se desea que comience a girar un objeto en reposo, hay que aplicarle un momento de torsión o “torque” [2].

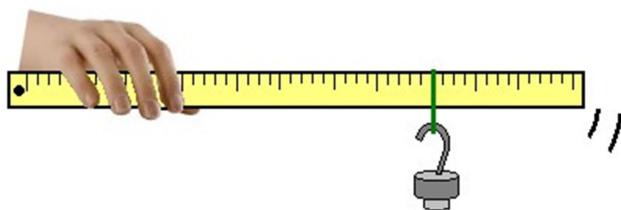


FIGURA 2. Torque en una regla.

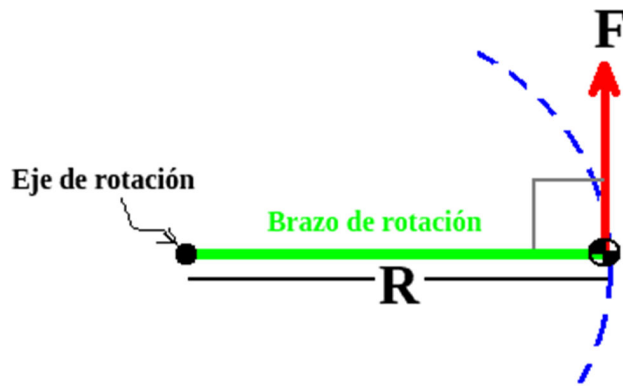


FIGURA 3. Momento de torsión.

La expresión del torque “ $T$ ” está dada como

$$T = R \perp \vec{F} \quad (1)$$

donde  $R_{\perp}$  es el brazo de la palanca y el símbolo perpendicular ( $\perp$ ) nos recuerda que debemos usar la distancia al eje de rotación perpendicular a la línea de acción de la fuerza (Fig. 3.)

### Principio de inducción de Faraday

Para 1820 los científicos ya habían estudiado dos maneras en las cuales se relacionan la electricidad y el magnetismo: una corriente eléctrica produce un campo magnético; y un campo magnético ejerce una fuerza sobre una corriente eléctrica o carga eléctrica en movimiento. Si la corriente eléctrica produce un campo magnético, ¿es posible que un campo magnético pueda producir una corriente eléctrica? Michael Faraday y Joseph Henry descubrieron independientemente que el resultado era posible. [3].

Se induce una corriente cuando se mueve un imán hacia una bobina, la corriente inducida es opuesta cuando se retira el imán. Faraday concluyó que aunque un campo magnético estacionario no produce ninguna corriente, un campo magnético variable puede producir una corriente eléctrica. Una corriente de ese tipo se denomina corriente inducida. Cuando cambia el campo magnético a través de una bobina, circula una corriente como si hubiera una fuente electromotriz (fem) en el circuito. Por tanto, afirmamos que se produce una fem mediante un campo magnético variable. (Ver Fig. 4).

### Oscilador electrónico

Un oscilador electrónico es un circuito electrónico que produce una señal electrónica repetitiva, a menudo una onda senoidal o una onda cuadrada, con amplitud y frecuencia bien definida (ver Fig. 5) [4].

A menudo se emplean circuitos LC (bobina-condensador), cristales piezoeléctricos o circuitos integrados.

Dado que los osciladores son muy estables y generan pulsos bastante simétricos, son empleados en circuitos de control como medidores de tiempo o “timer”.

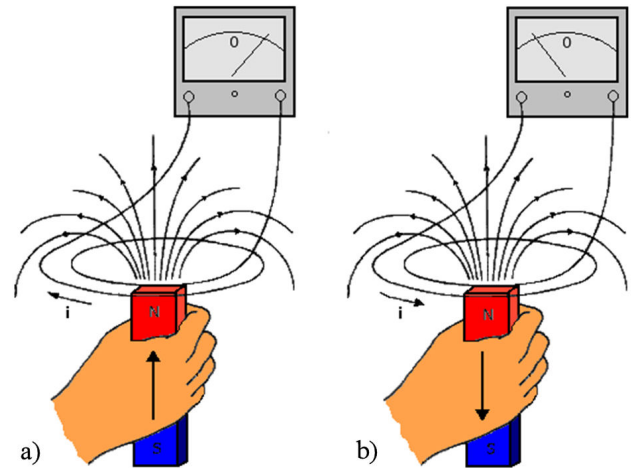


FIGURA 4. Campo magnético variable induce una corriente eléctrica.

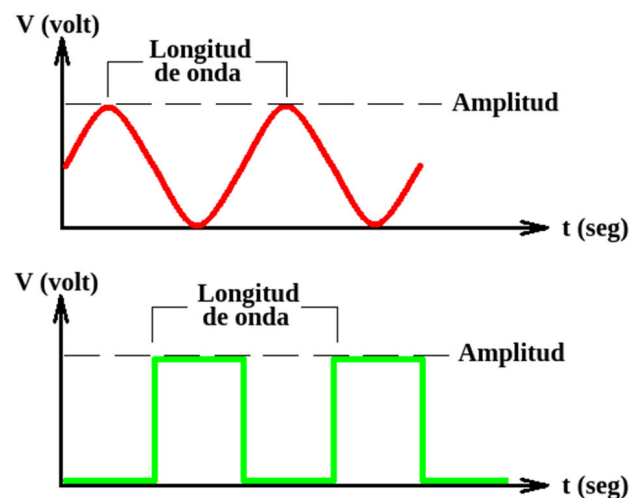


FIGURA 5. Onda senoidal y cuadrada generada por un oscilador electrónico.

La longitud de onda generalmente se representa por la letra “ $\lambda$ ”, la frecuencia está definida como el inverso de la longitud de onda (o período) y está dada en ciclos/seg o Hertz. Por ejemplo, una onda que tenga un período de dos segundos, tendrá una frecuencia de 0.5 Hertz.

## 4. Desarrollo experimental

Se detallará y justificará a continuación los criterios que se tomaron en cuenta para el diseño y ensamblaje de la alarma.

La alarma sísmica consta de las siguientes etapas.

**A. Detección del pulso:** El fenómeno de inducción electromagnética se produce al variar el campo magnético (en este caso de un imán) en las cercanías de una bobina, como se muestra en la Fig. 6. La inducción cesa al cesar el movimiento de la bobina ya que el imán está fijo.

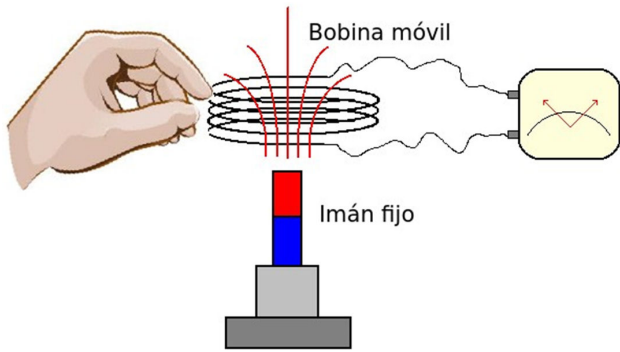


FIGURA 6. Movimiento de la bobina en cercanías del campo magnético.

Para ser mas estable el montaje, la bobina ha sido colocado en un sistema de palanca, el el brazo corto se ha colocado la bobina y en el largo se ha colocado una masa de contrapeso que con una pequeña fuerza se logra mover la palanca masa- bobina. Dicho montaje se mantiene en equilibrio estable gracias a la acción de una fuerza restauradora ejercida por un resorte, tal como se muestra en la Fig. 7.

Se ha diseñado un transductor que convierte la vibración en una señal eléctrica detectable; dicho transductor no es mas que imán fijo y bobina móvil de un disco duro de computadora que puede estar dañado, siempre que tenga sus imanes, bobina y brazo en perfecto estado, los platos pueden ser desechados(Ver Fig. 8).

La Fig. 9 muestra la analogía entre el esquema teórico mostrado en la Fig. 7 y el montaje real de un disco duro, note que el resorte ha sido sustituido por la cinta conductora flexible “flex” que hace las veces de resorte y posee un bajo coeficiente de restauración, suficiente para alcanzar levemente el equilibrio estable.

El empleo de un solo transductor restringirá la detección de las vibraciones en un solo plano de vibración por lo que detectará movimientos trepidatorios. Los movimientos oscilatorios que se desea detectar se lograría con dos transductores, uno en posición vertical y el otro en posición horizontal. Los dos trasductores deben ser conectados en serie ya que sus impedancias se acoplan sin dificultad al módulo del circuito (ver Fig. 10).

**B. Amplificación:** Se ha seleccionado un amplificador operacional  $\mu A$  741 por su bajo costo, alta ganancia y simplicidad de conexión. La ganancia está dada por la siguiente expresión:

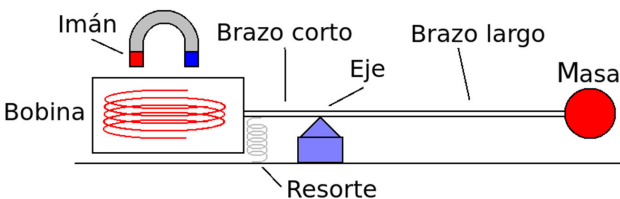


FIGURA 7. Esquema del sistema palanca: bobina, imán, brazos y resorte.

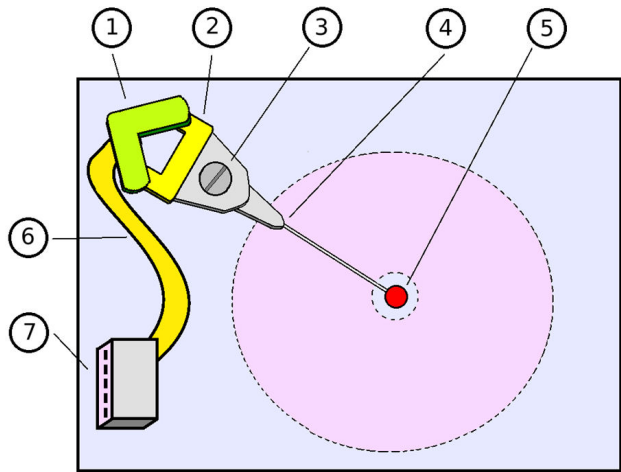


FIGURA 8. Disco duro como transductor de vibración. Consta de las siguientes partes: 1.- imanes de neodimio, 2.- bobina, 3.- eje de rotación, 4.- brazo, 5.- masa de contrapeso, 6.- cinta conductora flexible y 7.- regleta de conexión.

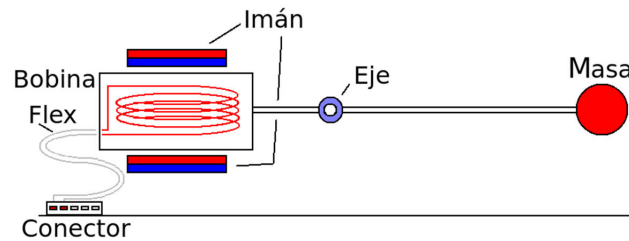


FIGURA 9. Esquema de funcionamiento de un disco duro como transductor.

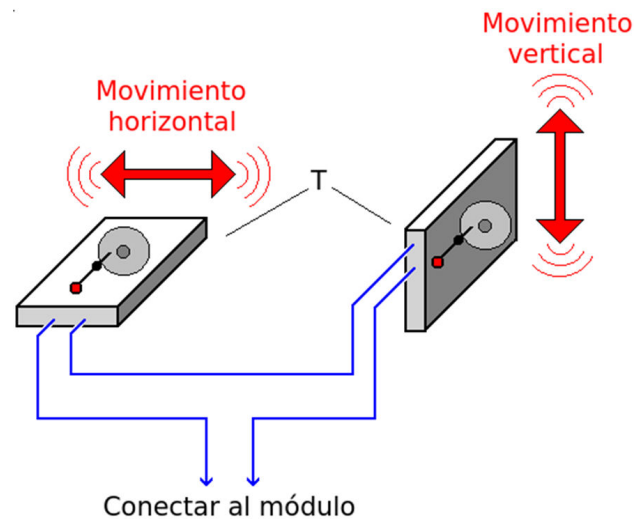


FIGURA 10. Dos transductores “T” conectados en serie al módulo de circuito. De esta manera se registran los movimientos oscilatorios.

$$V_{out} = V_{in}(1 + R_2/R_1) \tag{2}$$

Se ha seleccionado  $R_1$  de  $100 \Omega$  y  $R_2$  de  $100 K\Omega$  (variable) para una ganancia aproximada de 0 hasta 1000.

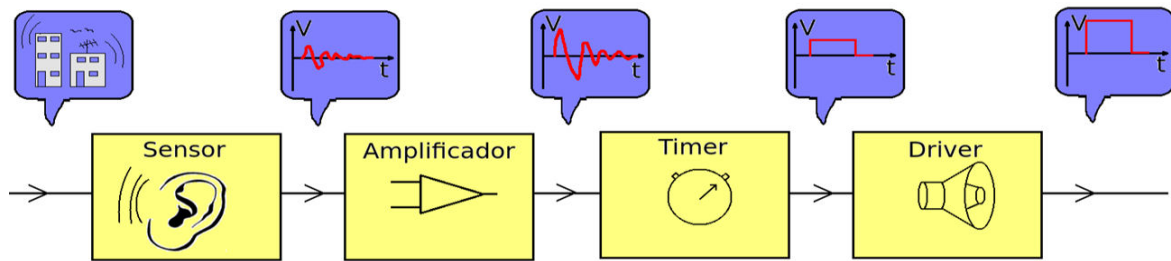


FIGURE 11. El sensor detecta el movimiento y entrega una señal eléctrica; el amplificador amplifica la señal a niveles adecuados, el timer convierte la señal amplificada en un pulso de duración ajustable y el driver dispara el pulso de advertencia.

**C. Timer:** Dado que la actividad sísmica puede durar pocos segundos, se hace necesario mantener la actividad de la alarma un tiempo suficiente para alertar convenientemente, por esa razón se ha empleado un circuito timer que permite mantener la alarma encendida por un lapso de tiempo determinado por el usuario que varía desde un poco menos de un segundo, hasta algunas decenas.

Se ha escogido el circuito integrado LM 555 por ser el más popular de la gamma de los osciladores, su bajo costo y versatilidad del diseño.

**D. Driver:** El pulso de salida del timer que genera la bobina, es apenas perceptible, un aumento de potencia se hace necesario. Se emplea un transistor como *switch* que además de manejar el pulso, eleva la corriente necesaria para activar un relay de alta potencia. El relay podrá manejar cualquier dispositivo de alarma que se desee tal como una sirena, luces, etc ya que éste funcionará como *switch* pudiendo activar dispositivos de advertencia (sirenas y luces) de bajo consumo (poco voltaje) hasta dispositivos de alto consumo que trabajen con 110 o 220 Vac.

#### E. Alarma:

La adaptabilidad del diseño permite al usuario conectar el dispositivo de alarma de su preferencia: acústica, sonora u otra. Para propósitos generales se ha seleccionado una sirena politonos de uso común 12 v/20 w.

El diagrama que se muestra en la Fig. 10 detalla los bloques y las señales a la entrada y salida de cada una de las etapas.

La fuente de poder que suministra la energía para toda la alarma debe satisfacer las siguientes demandas que impone los componentes electrónicos seleccionados: voltaje operativo min: 4,5; max +15 v para LM 555 [5] y  $\pm 15$  v max para  $\mu A$  741 [6], 5 volt para el relay y 12 volt para la sirena a máxima potencia o 10 vol a potencia media, por lo que se ha decidido trabajar con los voltajes de 5 y 10. por tal razón y en la necesidad de abaratar costos, se han empleado dos cargadores de celular en desuso. Dichos cargadores son estándar y operan a 5 volt exactos y corriente de 1 amp, suficiente para las demandas de corriente de los componentes.

Para lograr los voltajes que requieran cada etapa, la entrada de las dos fuentes se han conectado a los 110 Vac en paralelo y la salida se ha conectado en serie donde la unión de las fuentes se ha etiquetado como "B", el extremo positivo será "A" y el negativo "C", como se muestra en la Fig. 11.

El integrado LM 555 y relay trabajarán con voltajes de 0 y +5 y se conectarán en los terminales AB. Para satisfacer la demanda del amplificador operacional  $\mu A$  741 ( $\pm v$ ) se toma como 0 volt la unión de la serie "B"; de la conexión AB se obtiene +5 volt y -5 volt para BC. La sirena, que trabaja a 10 volt, se conecta en AC.

Puede sustituirse las fuentes de 5 volt por dos baterías recargables de 6 volt de manera de hacer portátil nuestra alarma, en ese caso se debe agregar un resistor en serie con la bobina del relay a fin de drenar el voltio restante o sustituir el relé de 5 volt por uno de 6 volt.

Al conectar la salida de las dos fuentes en serie, pueden obtenerse diversos voltajes. En la primera forma (ver Fig. 12 a)), aplicando las leyes de kirchoff [7] para los voltajes, si ambas fuentes tienen el mismo voltaje (5 volt) entonces

$$V_{AB} = V_{CB} = 5 \text{ volt} \quad (3)$$

Tanto el relay como el circuito integrado LM 555 se alimentará con 5 volt provenientes de VAB y el circuito integrado  $\mu A$  741 con VAB (+5 volt) y VBC (-5 volt), como se muestra en la Fig. 12 b) (segunda forma). Para alimentar la sirena se necesitan al menos 10 volt, por lo que

$$V_{AB} + V_{BC} = V_{AC} = 10 \text{ volt} \quad (4)$$

Dado que las fuentes de poder ya vienen empotradas en su circuito original, solo se ensamblará los circuitos: oscilador, timer y driver. Para tal propósito se ha escogido placas de baquelita perforada que se consigue sin dificultad en cualquier comercio de suministros electrónicos. Todos los elementos se colocan convenientemente sobre las placas y se procede a soldar y cablear siguiendo el diagrama electrónico. Toda la circuitería y detectores se empotran en una caja. La Fig. 13

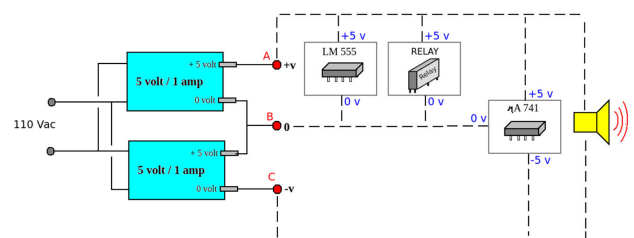


FIGURA 12. Conexiones de las fuentes con los circuitos integrados y sirena.

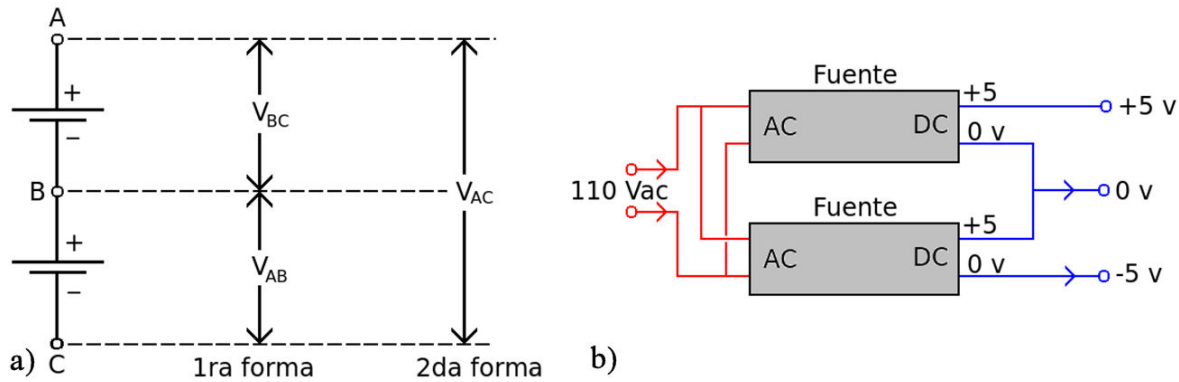


FIGURE 13. Interconexión de las fuentes de poder.

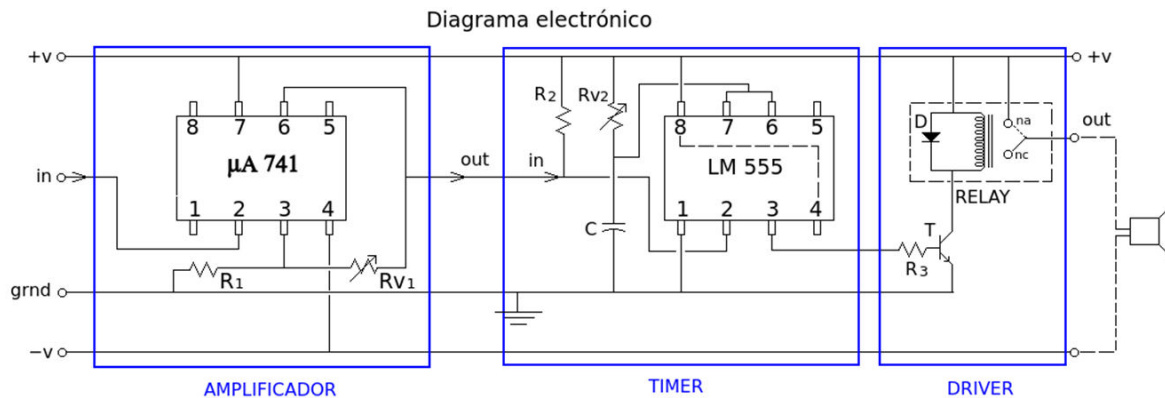


FIGURE 14. Diagrama electrónico y de bloque.

TABLA I. Lista de materiales

Amplificador	Timer
Circuito integrado $\mu A$ 741	Circuito integrado LM 555
$R_1$ : Resistor de carbón 100 $\Omega$ , 1/4 w	T: Transistor 2N 3904
$RV_1$ : Resistor variable 100 K $\Omega$	Relay 5 v, 10 A
	C: Condensador electrolítico 470 $\mu F$ / 10 v
	$R_2$ : Resistor de carbón 33 K $\Omega$ , 1/4 w
	$R_3$ : Resistor de carbón 1 K $\Omega$ , 1/4 w
	$RV_2$ : Resistor variable 5 M $\Omega$
	D: diodo IN 5001

muestra el diagrama electrónico y la estructura en bloque de cada etapa.

Se han seleccionado materiales de uso común, de manera que se puedan encontrar sin dificultad en cualquier comercio de suministros electrónicos. La lista de materiales se detalla en la tabla a continuación.

Una vez ensamblado todos los componentes de la alarma, se energiza el circuito (enchufe) se enciende (on) y se procede a ajustar la sensibilidad y duración del pulso.

## 5. Resultados

Al colocar el sensor horizontalmente sobre una mesa se dejó caer un lapiz sobre la misma y activó satisfactoriamente la alarma. Se procedió a seleccionar los ajustes necesarios para el óptimo funcionamiento de la misma.

Se ajustó la sensibilidad hasta conseguir un nivel de excitación ideal, no tan sensible para activarse por leves movimientos o ruido y lo suficientemente sensible para detectar ligeros movimientos sísmicos.



Se ajustó la duración del pulso sonoro (timer) que puede variar desde fracciones de segundo hasta algunas decenas de segundo, en nuestro caso la fijamos en 5 segundos, tiempo suficiente para despertarnos de un profundo sueño.

## 6. Conclusiones

El diseño y construcción de la alarma sísmica ha sido una experiencia enriquecedora ya que se aplicaron fenómenos y leyes físicas aprendidas en clase consolidando un aprendizaje significativo además de contribuir en mitigar los daños causados por una calamidad al poder alertar en tiempo real, la ocurrencia de un movimiento sísmico y activar los planes de evacuación de las estructuras y edificaciones.

El diseño incorporó además de componentes electrónicos de muy bajo costo y de propósitos generales, un sensible detector obtenido de desechos de computadora el cual ha sido capaz de detectar pequeñas vibraciones. Dado que el transductor está sellado, se puede evitar que la brisa o ruidos generen un falso positivo; además los ajustes de sensibilidad y tiempo permitieron el ajuste a las condiciones de trabajo deseadas.

## 7. Recomendaciones

Después de probar la eficacia del circuito, se deja como dos cosas que pudieran aportar mejoras significativas de la alarma.

- 1.- Un sistema de baterías que pudiera trabajar de manera alternativa y simultánea al sistema original. No olvidemos que luego de una actividad sísmica de magnitud significativa, el sistema eléctrico puede fallar. Un sensor electrónico pudiera estar monitorizando de manera permanente el fluido eléctrico y al momento de que falle el suministro, de forma automática se activarán el banco de baterías.
- 2.- Un circuito electrónico simple “filtro pasa banda” permitirá ajustar el transductor a frecuencias de oscilación características a movimientos sísmicos (entre 0.5 a 2 Hertz aproximadamente), fuera de ese rango, la alarma no se activará.

- 
1. Serway-Jewett *Física para ciencias e ingeniería*, sexta edición, vol I (Thomson, México 2005) pp. 185.
  2. P. Hewitt, *Física Conceptual*, novena edición (Pearson Educación México 2004) pp. 131.
  3. D. Giancoli *Física General* vol II (Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. México 1988) pp. 651.
  4. Oscilador <https://es.wikipedia.org/wiki/Oscilador> [consulta: 02/01/2018]
  5. LM 555 <http://www.ti.com/product/lm555?HQS=TI-null-null-alldatasheets-df-pf-SEP-ww&DCM=yes> [consulta:02/01/2018]
  6.  $\mu A$  741 <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm741qml.pdf> [consulta: 02/01/2018]
  7. Serway-Jewett *Física para ciencias e ingeniería*, sexta edición, vol II (Thomson México 2005) pp. 166.