

# Construcción de un generador electromecánico para la enseñanza de ondas en cuerdas, utilizando generador virtual para tablet

J.E. Molina-Coronell y B.P. Rodríguez-Villanueva

*Grupo de investigación PRODUCOM, Universidad de la costa CUC, Barranquilla.*

Received 18 November 2014; accepted 21 May 2015

El presente proyecto propone la construcción de un sistema electromecánico sencillo y de bajo costo para la producción de ondas mecánicas en cuerdas para aplicaciones en laboratorio de física de ondas, el cual consiste en la modificación de un altavoz de 5" al que se le retira parte del cono, se le adiciona una membrana en la parte exterior y un eje de aluminio, al cual se le ata la cuerda con un contrapeso en el otro extremo para producir ondas estacionarias. Además se ha construido un amplificador de 10 W con un circuito integrado TDA2050 para alimentar el sistema electromecánico. Como generador de señales se ha utilizado una aplicación de Android para Tablet, llamada "Frequency Maker Pro". Como resultado de la utilización del oscilador electromecánico y una tableta, hemos encontrado un valor de la constante de masa por unidad de longitud  $\mu$  correspondiente a  $1.185 \times 10^{-3}$  kg/m que está bastante cercana al valor medio de  $1.2 \times 10^{-3}$  kg/m con un error del 1.25 %.

*Descriptores:* Generador electromecánico; generador electrónico de ondas; ondas estacionarias en cuerdas; frequency maker pro.

In this work, it is proposed the construction of a simple electromechanical system with a low cost to produce mechanical waves in ropes for the wave physics applications laboratory. This Device consist in a 5" speaker transformed with a removed cone, a membrane is added and aluminum axes used to tie a rope and a counterweight at the end of the string, to produce stationary waves. In other hand a 10 W amplifier with a TDA2050 integrated circuit to feed the electromechanical system is constructed. As a wave generator, an App of Android for Tablets is used, it is called "Frequency Maker Pro". As a result of the electromechanical oscillator and the Tablet a constant value of the mass per length unit is founded  $\mu$  corresponding to  $1.185 \times 10^{-3}$  kg/m that is so closed to the average value  $1.2 \times 10^{-3}$  kg/m with an 1.25 % error.

*Keywords:* Electromechanical generator; electronic wave generator; stationary waves; frequency maker pro.

PACS: 01.50.My; 01.50.Pa

## 1. Introducción

Uno de los elementos fundamentales en la enseñanza de las ciencias físicas para alcanzar aprendizaje significativo es el desarrollo de experiencias de laboratorio, en las cuales el estudiante utiliza aparatos, equipos, artefactos y sensores que permiten la manipulación de variables físicas que intervienen en un fenómeno determinado, verificando de esta forma lo que plantea la teoría.

Para realizar experiencias de laboratorio de física se necesita que las instituciones educativas cuenten con los diferentes equipos, materiales y artefactos para la realización de cada práctica en particular y es por eso, en ausencia de estos, algunos docentes diseñan y construyen equipos sencillos y de bajo costo.

Otro elemento fundamental es la tendencia actual en todas las instituciones educativas de la incorporación de las tecnologías de la información y las comunicaciones, (TIC), en el aula de clase, es así que muchas cuentan con salas de informática equipadas con computadores y tabletas, las cuales son utilizadas en el diseño de diferentes estrategias pedagógicas en área de física y laboratorios.

En internet se encuentran muchas aplicaciones para computadores y tabletas: software, applets, aplicaciones, simulaciones, etc., que sirven de ayuda en el quehacer pedagógico, pero esto tiene el inconveniente que el estudiante manipula las variables físicas asociadas al fenómeno físico a través de los íconos de un programa, pero no está observando direc-

tamente el fenómeno. El laboratorio de física es una herramienta indispensable para el desarrollo de experiencias que permitan complementar la enseñanza de contenidos físicos y poder desarrollar en los estudiantes un aprendizaje significativo de los conceptos de las ciencias físicas.

En el caso particular para la enseñanza de ondas estacionarias en cuerdas, se requiere de un generador electromecánico de ondas y un generador electrónico de señales.

El presente proyecto propone la construcción de un sistema electromecánico sencillo de bajo costo, para la producción de ondas mecánicas en cuerdas y sus aplicaciones en el laboratorio de física de ondas; el cual consiste en la modificación de un altavoz o parlante de 5" de diámetro, 5  $\Omega$  de impedancia y 10 W de potencia, al que se le retira parte del cono, se adiciona una membrana en la parte externa y un eje de aluminio unido entre el guarda polvos del altavoz y la membrana agregada. En este eje se ata la cuerda que pasa a través de una polea unida a una masa colgante en el extremo opuesto, provocando la fuerza de tensión necesaria para producir ondas estacionarias. Como se necesita alimentar el generador electromecánico mediante una señal eléctrica sinusoidal con el fin de generar una onda armónica en la cuerda, se utiliza el generador de señales de una aplicación de Android para Tablet llamada frequency maker pro.

También se construye un amplificador de 10 W con un circuito integrado TDA2050 para alimentar el sistema electromecánico por cuanto la señal obtenida a la salida de la tableta es del orden de los mV.

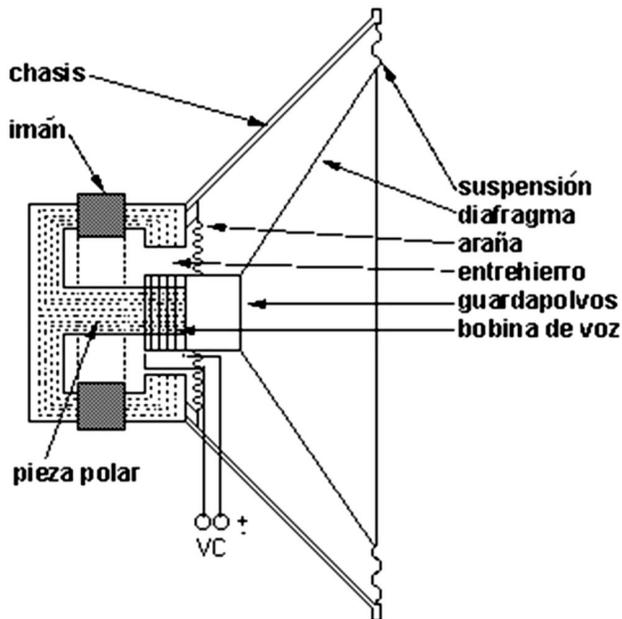


FIGURA 1. Esquema de un altavoz.

## 2. Fundamentos físicos

### 2.1. Generador electromecánico

Un altavoz o parlante está constituido de una carcasa metálica llamada chasis, un imán toroidal, una pieza polar en el centro del imán, en la cual se mueve la bobina de alambre esmaltado, una membrana o araña de tela rígida con ondulaciones concéntricas, que sostiene la bobina y un cono o diafragma de papel endurecido. Cuando circula corriente eléctrica a través de la bobina se genera campo magnético que reacciona con el producido en el entrehierro causando, de esta forma, el movimiento de vaivén del cono o diafragma. Si la bobina del altavoz se alimenta con corriente alterna sinusoidal entonces el diafragma adquiere movimiento armónico simple (MAS) y este movimiento se transmite al eje de aluminio al cual está atada la cuerda, generándose en ella una onda sinusoidal, que al reflejarse produce ondas estacionarias debido al fenómeno de interferencia.

Por lo tanto, retirando casi en su totalidad el cono o diafragma del altavoz, dejando sólo los puntos de conexiones eléctricas de la bobina, agregando otra araña o membrana y un eje metálico de aluminio para que sostenga la cuerda a vibrar, se puede construir un oscilador electromecánico para la producción de ondas estacionarias en cuerdas.

En la Fig. 2 se muestra la construcción paso a paso del sistema generador electromecánico de ondas estacionarias en cuerdas, en ellas se evidencia de que forma debe retirarse el cono o diafragma, como sujetar el eje de aluminio al guardapolvo del altavoz y la colocación de la segunda membrana en la parte externa. El eje de aluminio se debe pegar con adhesivo epóxico de alta resistencia. Este generador electromecáni-



FIGURA 2. Evidencia fotográfica del proceso de construcción del generador mecánico de ondas estacionarias.

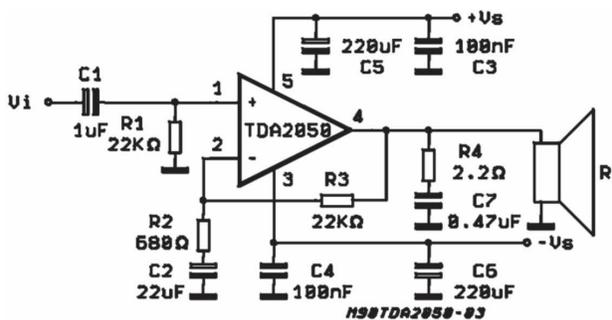


FIGURA 3. Amplificador de potencia TDA2050.

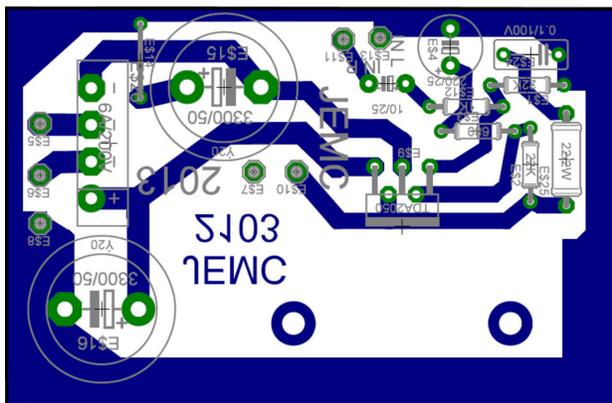


FIGURA 4. Circuito Impreso Amplificador TDA2050.

co oscila con movimiento armónico simple generando ondas sinusoidales de distintas frecuencias.

Para alimentar el sistema electromecánico es necesaria la construcción de un amplificador de 10 W con un circuito integrado TDA2050. Este circuito integrado es un amplificador de potencia de audio de alta fidelidad de 32 W de potencia monolítico en un encapsulado Pentawatt. En la Fig. 3 se muestra el diagrama esquemático del amplificador y en la 4 se muestra el circuito impreso.



FIGURA 5. Muestra el funcionamiento del sistema generador de ondas estacionarias en cuerdas en la frecuencia fundamental.

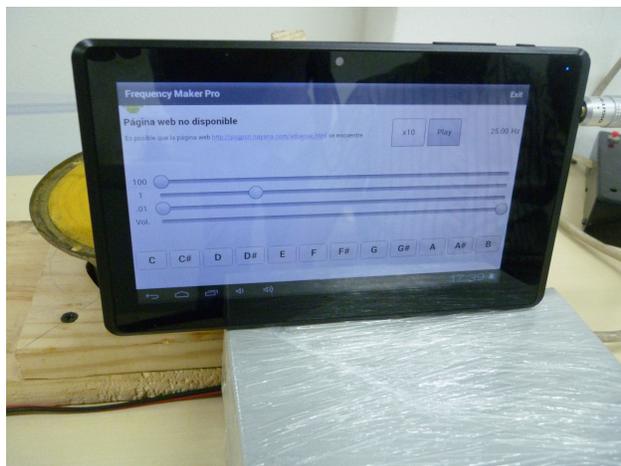


FIGURA 6. Tablet utilizada con una aplicación de Android para Tableta, llamada frequency maker pro para la función de generador de señales.



FIGURA 7. Fotografía del montaje experimental. Se aprecia el generador de ondas construido y una onda estacionaria.

## 2.2. Generador de señales

Como generador de señales se ha utilizado una aplicación de Android para Tablet, llamada frequency maker pro la cual se encuentra disponible para los usuarios de Andorid.

Las ondas estacionarias se caracterizan por presentar puntos en reposo continuo, llamados nodos y regiones donde la cuerda oscila alrededor del equilibrio llamados vientres, en cuyos centros se encuentran los puntos de máxima amplitud. Cuando  $n$  es 1, sólo hay un vientre, y la frecuencia se denomina fundamental. El número de vientres se corresponde con los múltiplos enteros de esta frecuencia.

Cada punto de la onda estacionaria se puede describir como un movimiento armónico simple, (MAS). La longitud de la cuerda y la longitud de onda se relacionan con el número de armónicos,  $n$ , de acuerdo a la Ec. 1

$$L = n \frac{\lambda}{2} \leftrightarrow \lambda = \frac{2L}{n} \quad \text{donde } n \in N \quad (1)$$

Mientras que la frecuencia de las ondas está dada por la Ec. 2

$$f_n = n \frac{v}{2L} \rightarrow f_n = n f_1. \quad (2)$$

Donde  $f_1$  es el primer armónico o frecuencia fundamental y  $v$  es la velocidad de la onda.

La velocidad de la onda en una cuerda tensada está dada por la ecuación:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

y finalmente

$$f_n = \left( \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}} \right) n$$

## 3. Desarrollo experimental

Para estudiar la formación de armónicos en ondas estacionarias se realizó el montaje experimental mostrado en la Fig. 7, empleando el generador electromecánico de ondas, el amplificador y el generador virtual de señales frequency maker pro instalado en una tableta, el cual genera ondas sinusoidales de distintas frecuencias.

Un extremo de la cuerda se une al soporte fijo del generador mecánico de ondas, y el otro sobre la polea del que cuelgan masas que la tensan. Al variar estas masas se puede estudiar el efecto de la tensión en la velocidad de propagación, en la frecuencia fundamental y sus armónicos.

El procedimiento de medida consiste en variar la frecuencia del vibrador hasta observar la aparición de una onda estacionaria. En ese momento, se ajusta cuidadosamente la frecuencia hasta alcanzar el punto de resonancia (vientres de máxima amplitud) y máxima estabilidad de la cuerda (nodos). Se anota la frecuencia que marca el vibrador y el número de vientres correspondiente a la onda estacionaria.

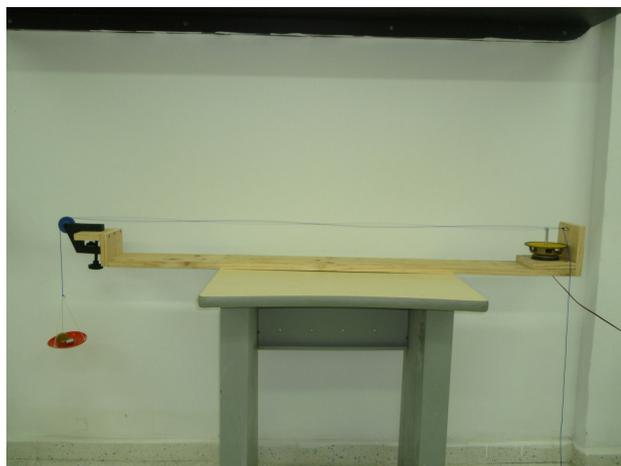


FIGURA 8. Experimento con cuerda de algodón (color azul) donde se aprecian tres nodos y cuatro vientres ( $n = 4$ ).

#### 4. Resultados y discusión

Se tomaron las siguientes medidas:

Masa de la cuerda:  $2.4 \pm 0.1$  g

Longitud de la cuerda:  $2 \pm 0.01$  m

Valor de la masa que se coloca para tensar la cuerda:  
 $165.6 \pm 0.1$  g

En cuanto al generador de ondas utilizado, se empleó el frequency maker pro en la escala  $1 - 100 \pm 0.01$  Hz.

En la gráfica 1 se muestra la relación de frecuencia contra el número de nodos en la cuerda, se observa una gráfica lineal con pendiente 12.5 Hz, con este dato se procedió a calcular la densidad lineal de masa de la cuerda, obteniéndose el valor de  $1.185 \times 10^{-3}$  kg/m que comparado con el valor medido  $1.2 \times 10^{-3}$  kg/m arroja un error porcentual de 1.25 %.

TABLA I. Número de armónicos y frecuencia correspondiente.

$n$	$f_1$ (Hz)
1	12.5
2	25
3	37.5
4	50
5	62.5
6	75
7	87.5
8	100

#### 5. Conclusión

El diseño y construcción de este generador electromecánico de ondas estacionarias de bajo costo y sencillo de construir, el cual consiste en la modificación de un altavoz, resulta muy útil en la enseñanza de los conceptos de la física de ondas estacionarias en cuerdas, por cuanto el estudiante puede observar directamente el fenómeno, variar la frecuencia de la onda generada con la aplicación frequency maker pro, e incluso medir las distancias entre nodos entre otros conceptos.

Se utilizó el generador electromecánico para estudiar el comportamiento de ondas estacionarias en una cuerda, analizando la relación entre la frecuencia, longitud de onda y número de nodos generados.

Los resultados obtenidos del cálculo de la masa por unidad de longitud de la cuerda son bastante cercanos al dato medido de la cuerda utilizada obteniéndose un error de 1.25 %.

1. <https://play.google.com/store/apps/details?id=air.appggee.FrequencyMakerPro&hl=es>
2. [http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc\\_altavoces/ analisis\\_altavoces/driver.html](http://www.pcpaudio.com/pcpfiles/doc_altavoces/ analisis_altavoces/driver.html)
3. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000131.pdf>

4. H.D. Young, R.A. Freedman, *Física Universitaria*, Vol. 1. Decimosegunda edición. (Addison-Wesley, Pearson Educación, México 2009), pp. 507-514.
5. H.C. Ohanian y J.T. Market, *Física para Ingeniería y Ciencias*, Tercera edición. (Ma. Graw Hill, México 2009), pp. 520-524.