

## **Diseño e implementación de un tubo de Kundt para el aprendizaje significativo de ondas estacionarias y su uso entre estudiantes de bachillerato**

Design and implementation of a Kundt tube for meaningful learning of standing waves and their use among high school students

**Juan Carlos Sánchez Reyes**

sanrey@ula.ve

Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias.

Departamento de Física

### **RESUMEN**

*El estudio de fenómenos físicos basados en modelos teóricos puede presentar dificultad para los estudiantes, los cuales suelen involucrarse activamente cuando visualizan el fenómeno. Las experiencias de acústica están asociadas a equipos sofisticados. El presente trabajo propone un experimento alternativo, hecho a mano, que permite el estudio de ondas longitudinales estacionarias por el método de Tubo de Kundt. El experimento consiste en proyectar ondas provenientes de un audio-generador, dentro de un tubo plástico. Las ondas son recogidas y amplificadas y medidas por un voltímetro A.C. El esquema electrónico del amplificador de  $\frac{1}{2}$  vatio y acoplado a un micrófono de alta impedancia tipo electro se ha detallado. El equipo es económico y de fácil uso. La experiencia ha sido llevada a cabo en el aula de clase, permitiendo que los estudiantes construyan y validen sus modelos basados en sus pre-conceptos, basados en la teoría de Ausubel del Aprendizaje Significativo*

**Palabras clave:** *Tubo de Kundt; micrófono amplificado; hecho a mano*

### **ABSTRACT**

*The study of physical phenomena based on theoretical models can present difficulty for students, who tend to be actively involved when they view the phenomenon. The acoustic experiences are associated with sophisticated equipment. This paper proposes an alternative experimental,*

*handmade, which allows the study of stationary waves by the method of Kundt tube. The experiment consists of projecting audio waves, coming from an audio generator, inside a plastic tube. The waves are collected, amplified to and measured by an AC voltmeter. An scheme of the ½ watt amplifier, coupled to an electret type high impedance microphone, is presented in detail. The equipment is economical and easy to use. This experience has been conducted in the classroom, allowing students to construct and validate their models based on their pre-concepts, based on the Ausubel's theory of the Meaningful Learning*

**Key words:** Kundt tube; amplified microphone; handmade

## INTRODUCCION

El estudio de las ciencias y en particular de la Física tradicionalmente ha causado cierta aversión entre los estudiantes cuando se aprende de forma mecánica pudiendo ser la causa de que no se ha tenido la oportunidad de fijar los conceptos y no se ha consolidado el razonamiento lógico abstracto.

La propuesta pedagógica que recientemente se ha venido empleado para la enseñanza de la física es el que sustenta el presente trabajo "Aprendizaje Significativo" planteado por Ausubel, (1991).

El propósito de la actividad docente, entre otras cosas, es contribuir a la motivación de los estudiantes a explorar una u otras variantes en experimentación de un problema o fenómeno planteado. Se desarrolla con el propósito de mostrarles algún procedimiento, técnica o la concordancia entre la teoría y la práctica. Al final se espera reforzar la teoría y adquirir destrezas prácticas, manejo del instrumental y la aplicación del método científico.

En Física, uno de los temas mas difíciles es el movimiento ondulatorio ya que el concepto de onda es bastante abstracto e intangible. Dado que el estudiante se le hace más fácil aprender la física haciendo e interpretando experimentos, se tiene ahora inconveniente de importancia,

¿Cómo adquirir el instrumental necesario para elaborar una experiencia de ondas acústicas?

Tradicionalmente los equipos empleados en los experimentos de acústica son costosos, sofisticados, de difícil conexión y ajuste, por lo que puede ser un factor decisivo en su implementación.

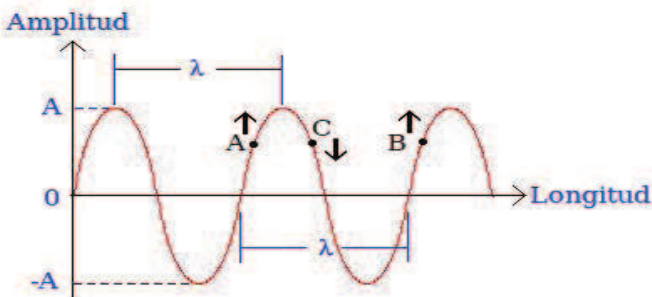
El presente trabajo presenta una alternativa sencilla para el estudio de la interferencia de ondas acústicas por el método del Tubo de Kundt mediante un diseño robusto, de bajo costo y fácil manejo que pueda ser elaborado por una persona con pocos conocimientos de electrónica, con una mínima inversión ya que se han seleccionado componentes de bajo costo y de fácil adquisición.

A continuación se resumen los conceptos más relevantes del movimiento ondulatorio (Hewitt 2004, Serway 2005):

- *Velocidad de propagación*( $v$ ). Es el espacio que recorre la onda por unidad de tiempo. La velocidad de un movimiento ondulatorio depende del tipo de onda de que se trate y del medio por el que se propague. El sonido se propaga a través de un medio físico (sólido, líquido o gas) y su velocidad depende del medio.
- *Período* ( $T$ ). Es el tiempo que tarda una onda en efectuar una oscilación completa.
- *Longitud de onda* ( $\lambda$ ). Es el largo (en longitud) que tiene una onda completa, ver figura # 1. La audición humana está ajustada para percibir ondas cuyas longitudes estén comprendidas entre 1,7 cm hasta 17 mts de longitud.
- *Frecuencia* ( $f$ ). Es el número de oscilaciones completas que realiza una partícula por unidad de tiempo. Su unidad es el hertz o hercios (Hz), siendo un hertz igual a una oscilación completa cada segundo. De acuerdo con la definición de período, dado que una oscilación dura  $T$  segundos, en un segundo habrá  $1/T$  oscilaciones, por lo tanto:

$f = 1/T$  Es decir, que la frecuencia es el valor inverso del período.

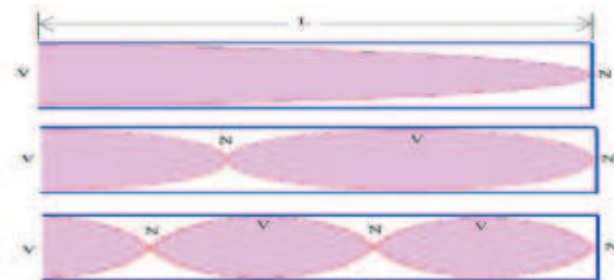
- **Concordancia de fase.** Se dice que dos puntos de un medio elástico por el que se propaga una onda están en concordancia de fase si, en un instante determinado, los dos puntos ocupan posiciones idénticas y se mueven del mismo modo (hacia arriba o hacia abajo). Los puntos A y B de la figura 1 están en concordancia de fase, pero no así el C, puesto que aunque se encuentra a la misma altura está bajando en lugar de subiendo como el A y el B. Entonces la longitud de una onda será la distancia que separa dos concordancias de fase sucesivas.



**Figura 1.** Modelo de una onda y sus características

- **Amplitud (A).** Es la separación máxima que alcanza la onda respecto a su posición de equilibrio. Se representa como A.

Refiriéndose pues a la onda de desplazamiento en el caso de un tubo cerrado por un extremo, la forma más simple que adoptan las ondas estacionarias es un vientre en el extremo abierto del tubo y un nodo en el cerrado, tal como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Los primeros tres armónicos que se forman dentro de un tubo con un extremo cerrado y el otro abierto

En tal caso, para el armónico fundamental la longitud del tubo (L) es igual a la distancia entre el vientre (V) en el extremo abierto y el nodo (N) en el cerrado. Como la distancia entre dos nodos contiguos es  $\lambda/2$ , la longitud de onda de la vibración será  $\lambda = 4L$  y su frecuencia  $v = v_s/\lambda = v_s/4L$ , que es la correspondiente al armónico fundamental, siendo  $v_s$  la velocidad del sonido en el aire. Otro modo posible de vibración sería el que presenta un nodo en el extremo cerrado y otro a una distancia  $L/3$  del extremo abierto del tubo, es decir, correspondiente a una  $\lambda = 4L/3$ . En general, si en el interior del tubo hubiera  $n$  nodos (uno de ellos siempre en el extremo cerrado) ocuparían una longitud  $n\lambda/2$  y como entre el último nodo y el extremo abierto hay una distancia igual a  $\lambda/4$ , la longitud total del tubo será:

$$L = (2n + 1) \lambda / 4 \quad (1)$$

Por tanto, la frecuencia vendrá dada por:

$$f = v / \lambda \quad (2)$$

Dando a  $n$  los valores 0, 1, 2, 3....., se tendrá las frecuencias de todos los armónicos que puede emitir el tubo.

Por lo tanto, en un tubo cerrado por un extremo, la frecuencia fundamental es  $f = v/4L$  y en lo sucesivo sólo están presentes los armónicos impares.

El estudio del movimiento ondulatorio es una experiencia instructiva e interesante, no obstante los experimentos de acústica requieren de un equipo sofisticado y costoso. Conocida esas dificultades, se planteo: ¿Como estudiar las ondas longitudinales y determinar de la velocidad del sonido por el método de Tubo de Kund empleando un sencillo y económico instrumental electrónico?

La respuesta propuesta a esa pregunta es el diseño, construcción e implementación de un experimento basado en equipos de bajo costo, fácil construcción y fiabilidad de los resultados. Dicho equipo consta de un tubo

plástico PVC, un micrófono tipo electret con amplificador (de construcción casera), un generador de audio adosado a una corneta y un voltímetro A.C.

Los objetivos planteados fueron:

Diseñar un equipo electrónico de medida que permita el estudio de ondas longitudinales estacionarias y determine de la velocidad del sonido, por el método de Tubo de Kundt. Dicho equipo puede ser implementado en el laboratorio de enseñanza de física tanto a nivel de bachillerato como universitario

#### *Objetivos específicos*

- Diseñar de un circuito electrónico que permita acoplar y amplificar un micrófono tipo electret.
- Implementar un montaje experimental tipo “Tubo de Kundt” que permita medir de forma precisa la posición e intensidad de los nodos y vientres de una onda acústica estacionaria.

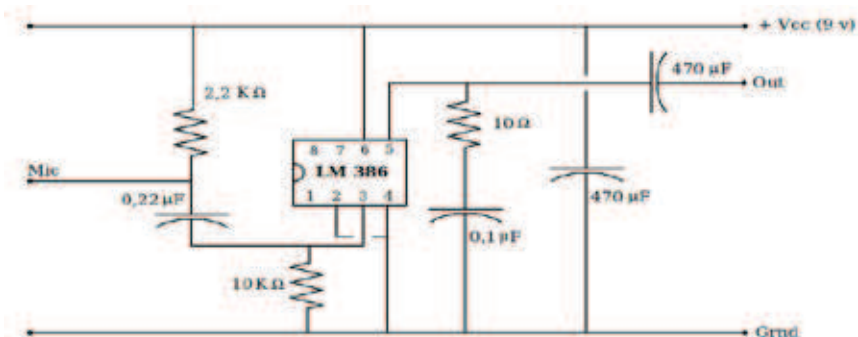
## **MÉTODO**

### *Diseño del amplificador*

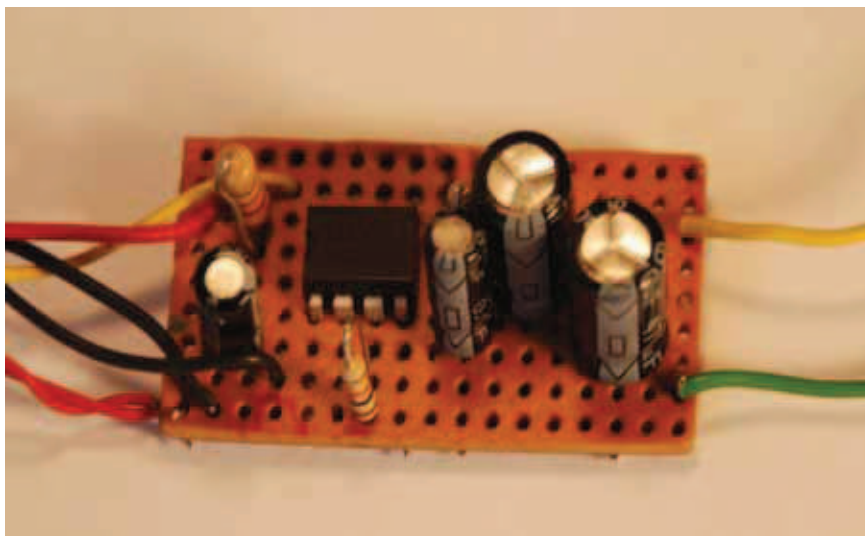
El circuito empleado (ver figura 3) permite acoplar la alta impedancia de un micrófono tipo electret a una salida amplificada de  $8 \Omega$  para una corneta.

La amplificación se lleva a cabo a través de un circuito integrado de bajo costo y fácil adquisición, “LM 380” que permite amplificar hasta  $\frac{1}{2}$  vatio de potencia con 9 voltios de consumo.

Dado el tamaño reducido de los elementos, todo el circuito puede compactarse en una pequeña placa de circuito impreso (ver figura 4) que junto con la batería se coloca en el interior del tubo.



**Figura 3.** Circuito electrónico del amplificador de audio



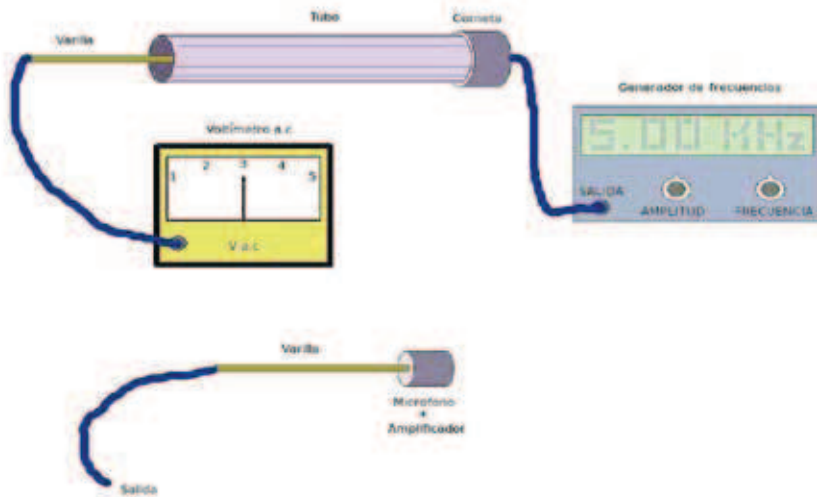
**Figura 4.** Aspecto del circuito amplificador de audio

### *Montaje experimental*

La figura 5 muestra el montaje diseñado para esta experiencia. Consta de un tubo plástico PVC de los que se emplean en las tuberías de agua domesticas. Dicho tubo tiene 50 cm de largo y 2,5 cm de diámetro. La razón del uso de este tipo de tubo (ya que generalmente es de vidrio)

es que aguanta golpes y maltratos evitando el quiebre y sus posibles consecuencias, además del costo y la disponibilidad, que son factores muy importantes a la hora del diseño.

El montaje requiere de un voltímetro A.C que se puede conseguir en cualquier laboratorio de física así como de un generador de audio frecuencia de ondas sinusoidales en el rango audible.

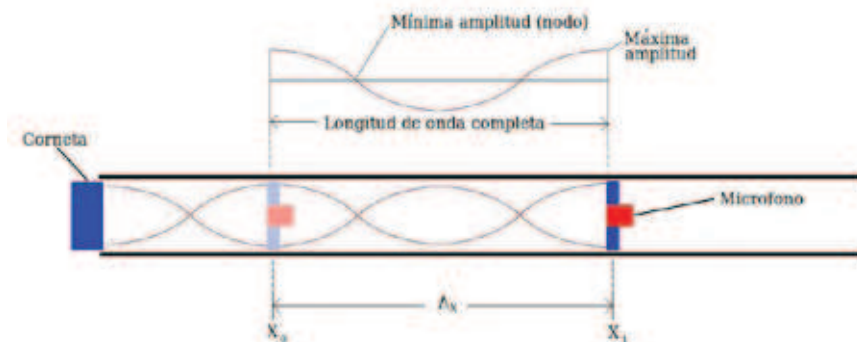


**Figura 5.** Montaje experimental

### *Funcionamiento*

El generador de audio proporciona una señal audible que se puede escuchar a través de la corneta que está ubicada dentro del tubo. Las ondas acústicas chocan contra un obstáculo (micrófono) e interfieren constructiva o destructivamente, dependiendo de la distancia corneta-micrófono como se muestra en la figura 6.





**Figura 6.** Formación de ondas dentro del tubo

Como es bien conocido, las ondas al interferir generan patrones de máxima y mínima actividad y el equipo permite desplazar el micrófono a través del tubo y ubicar exactamente la actividad máximo/mínimo dada la variación de voltaje detectado en el micrófono. Para visualizar la actividad de las ondas acústicas se emplea el voltímetro alterno (V<sub>a.c.</sub>), de rango 0 – 5 V.

### *Procedimiento*

- Luego de montar el equipo, ajuste en el generador de audio a un rango de 2 a 10 KHz y mediana amplitud.
- Seleccione una frecuencia de inicio, por ejemplo 2 KHz
- Ubique el micrófono a 5 cm de la corneta.
- Observe el voltímetro mientras desplaza el micrófono hacia el extremo del tubo.
- Tome nota del voltaje máximo y mínimo en función de la distancia micrófono/corneta.
- Repita los pasos anteriores a partir de 2 incrementando la frecuencia en 1 KHz cada vez.

Una vez tomado los datos, se procede a procesarlos e interpretarlos. Por ejemplo, se puede interesar en estimar la velocidad del sonido y bastará con evaluar la expresión 2 analítica o gráficamente pudiéndose

aplicar y desarrollar el conocimiento previo adquirido según el nivel del curso (estadística, método gráfico, teoría de errores, entre otros).

## **RESULTADOS**

Se ha tomado como muestra de estudio un grupo de veinte estudiantes del quinto año de Bachillerato Industrial mención Electrónica, sección A, año escolar 2011-2012 de la Escuela Técnica Industrial Pulido Méndez, Mérida. Se acondicionó el aula para mostrar la experiencia de Tubo de Kundt. El método de evaluación aplicado ha sido el Interrogatorio simple aplicado durante la clase demostrativa en el aula.

La actividad consistió en medir la intensidad del sonido colocando el micrófono al contacto con la fuente sonora (corneta) y registrar la intensidad del sonido midiendo el voltaje que registra el micrófono amplificado en la medida que se aleja de la corneta.

El primer escenario consistió en colocar micrófono/corneta al aire libre. Las expectativas de los estudiantes fueron siguientes:

- Al alejar el micrófono de la fuente sonora la intensidad del sonido, registrado por el voltímetro, disminuiría progresivamente.
- Se esperaba que al duplicar sucesivamente la distancia micrófono/corneta, el voltaje disminuiría a la mitad.
- Al repetir el experimento con otro valor de frecuencia es de esperar que los resultados no varíen.

Luego de realizar la primera parte de la experiencia se recogieron las siguientes observaciones:

- La intensidad si disminuye en la medida que la distancia micrófono/corneta aumenta, es decir, la relación es inversamente proporcional, correspondiendo con las predicciones de los estudiantes.
- El valor del voltaje no disminuye a la mitad con el doble de la distancia, no correspondiendo con las predicciones de los estudiantes.

- No se registró una variación apreciable del voltaje vs distancia para frecuencias diferentes.

El segundo escenario consistió en colocar micrófono/corneta dentro del tubo de PVC (Tubo de Kundt). Los estudiantes seguían firmes en sus expectativas anteriores pero luego de realizar la experiencia se consiguieron con los siguientes resultados.

- Al alejar la distancia micrófono/corneta la intensidad el voltaje disminuye progresivamente hasta un límite, luego si se sigue alejando, el voltaje va aumentando hasta su máximo valor y esa variación se repite a lo largo del tubo.
- La distancia entre los máximos sucesivos si dependen fuertemente de la frecuencia de manera inversamente proporcional a esta.

Finalmente se formularon dos preguntas que causaron debate entre los estudiantes, las cuales. Se indican a continuación:

- Referente al primer escenario, ¿Por qué al duplicar la distancia micrófono/corneta el voltaje no disminuye a la mitad?, entonces... ¿en que proporción disminuye el voltaje en función a la distancia?
- Referente al segundo escenario, ¿Por qué al “encerrar” micrófono/corneta, se presentan máximos y mínimos sucesivos y la distancia entre dos máximos sucesivos si depende de la frecuencia?

#### *Análisis de las respuestas a la primera pregunta*

Respecto a los comentarios de los estudiantes el 90% no lograron una respuesta satisfactoria y mis observaciones me conducen a pensar que la mayoría de los estudiantes habían aplicado el aprendizaje memorístico de conceptos físicos. Su experiencia previa le induce a pensar que en la medida que se aleja de una fuente sonora la intensidad disminuye pero la suposición de que la intensidad disminuye a la mitad con el doble de la distancia parece no estar acorde con el experimento.

El estudiante del quinto año de bachillerato ya ha estudiado algunas Leyes Físicas relevantes tal como La Ley de Gravitación Universal y

La ley de Coulomb las cuales las fuerzas involucradas en ambas son directamente proporcional a la distancia al cuadrado, de manera análoga el comportamiento se repite para la intensidad del sonido, luz, entre otros, pero tal parece que los estudiantes han olvidado esta característica.

Si se afinaran el experimento se pudieran coleccionar una cantidad de datos apreciables que permita hacer un análisis gráfico y de esta manera poder corroborar matemáticamente la dependencia de la intensidad inversamente proporcional con la distancia al cuadrado.

Dada la sencillez del montaje experimental, esta experiencia puede transformarse en un proyecto de aula que involucre la matemática (gráficas, funciones, logaritmos, entre otras) y la física (movimiento oscilatorio, período, frecuencia, ondas estacionarias, entre otras).

#### *Análisis de las respuestas a la segunda pregunta*

El 60% de los estudiantes relacionó el comportamiento oscilatorio entre máximos y mínimos de voltaje en función a la distancia con el movimiento ondulatorio ya que el concepto de ondas lo han venido trabajando en su especialidad -electrónica, mediante el uso del osciloscopio, audio-generadores, entre otros. Luego de la lluvia de ideas llevada a cabo en el debate, el 100% de los estudiantes concluyeron que el sonido se comporta como un movimiento ondulatorio aunque confesaron no haberlo sabido antes de la experiencia.

El 20% de los estudiantes lograron asociar el fenómeno de onda estacionaria (resonancia) respecto a la frecuencia de oscilación del sonido, dado que en nuestra experiencia ocurre solamente cuando la onda se encuentra encerrada dentro del tubo. Fue necesario repetir la experiencia y discutir paso a paso para que el 80% restante construyera su modelo.

De lo anteriormente expuesto, mediante el empleo del montaje presentado el estudiante obtuvo un aprendizaje, particularmente: "Aprendizaje Significativo", ya que antes de la experiencia del Tubo de Kundt, los estudiantes tenían conocimientos previos de los fenómenos físicos asociados aunque de manera dispersa.

A partir del experimento se vieron en la necesidad de construir una explicación que fuese consistente con los modelos teóricos, habiendo una conciliación entre la teoría y la práctica de una manera muy significativa.

## **CONCLUSIONES**

El montaje implementado ha permitido acceder al estudio de ondas estacionarias por el método de Tubo de Kundt de una manera sencilla ya que se ha empleando poco instrumental y el diseño es robusto y confiable. Es de esperar que este diseño sea difundido y reproducido con fines académicos.

Dado la manera de como se ha conducido el experimento, permite al estudiante deducir y conformar un modelo mental bien elaborado, basado en sus pre-conceptos y experiencias, acorde con el Aprendizaje Significativo. Por el hecho de que el equipo es de diseño casero, con materiales de fácil adquisición, se ha podido reducir costos e instrumental, haciendo muy accesible y comfortable la experiencia.

Es de esperar que esta contribución estimule a investigadores en temas afines y podamos diseñar equipos similares, de alta prestancia y sobre todo, "hecho en casa". Se puede acceder a un video explicativo del montaje por medio del siguiente enlace: <http://www.webdelprofesor.ula.ve/ciencias/sanrey/video.html>.

## **REFERENCIAS**

- Ausubel, D.; Novak, j. Y Hanesian, H. (1991). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México. Trillas
- Hewitt, P. (2004). *Física conceptual*. México. Pearson
- Serway, A.; Jewett, J. (2005). *Física para Ciencias e Ingenierías*. México. Thomson