



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**AUTOMATIZACIÓN
DE UN TUBO DE KUNDT
PARA LA ENSEÑANZA
EN EL BACHILLERATO**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO**

**PRESENTA:
EDGAR RODRÍGUEZ TADEO**



**DIRECTOR DE TESIS:
ING. DANIEL MARTÍNEZ GUTIÉRREZ**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO D.F

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta parte cierro un ciclo dentro de mi vida, andando un camino difícil algunas veces y gratificante en otras.

Pasar por las aulas de la Facultad de Ingeniería me dejó no sólo conocimientos, sino también una manera de vivir y encarar las cosas en la vida.

A Gloria Tadeo

Gracias por darme la vida, por creer en mí en todo momento, por hacer y darme todo lo que estuvo a tu alcance y más, para que mi camino nunca se desviara del objetivo que debía lograr y por estar convencida, al igual que yo, de que el momento llegaría.

Gracias por todos los sacrificios y privaciones a los que te viste obligada para que yo pudiera terminar y por estar conmigo cuando te necesité.

A Leodovino Rodríguez

Gracias Padre por enseñarme el compromiso y la disciplina, sin los cuales no habría podido terminar y nunca podría ir a ningún lado, por enseñarme que el trabajo y la responsabilidad son los que verdaderamente hacen a los hombres. Gracias por el apoyo y la ayuda para levantarme cuando me caía, por motivarme para obtener lo que nunca se ha logrado en la familia y por estar orgulloso de mí. Yo también lo estoy de ti.

A Vanesa y Diana

Por enseñarme con sus triunfos, el camino por donde debía ir, y con sus errores, los obstáculos que debía evitar, por mantener la disposición para ayudarme y por seguirme en las cosas que creyeron convenientes.

A Daniel y Abel

Por ayudarme en esta última etapa y para mí la más difícil, por no dejarme abatir ante las circunstancias y por instarme a hacer más y mejores cosas, por enseñarme a creer en mí mismo.

A mis compañeros y amigos dentro de la facultad

Que creyeron en mí para formar un equipo, que se desvelaron junto conmigo para ver también realizadas sus metas, que compartieron conmigo lo mismo triunfos que fracasos, que me tendieron el brazo cuando estaban más arriba y después me pidieron asistencia cuando había vencido ya los primeros obstáculos, que me invitaron a permanecer dentro de la carrera y que me permitieron descubrir que el hombre solo no llega a ninguna parte.

A los profesores

Por enseñarme a razonar, a ser crítico, a esforzarme más, a aprender que en un fracaso existe siempre la oportunidad de crecer y mejorar, a comprender un problema antes de intentar resolverlo, a trabajar día con día, a levantarme de las caídas y admitir mis errores, a hacer valer la confianza que los demás depositan en mí y a brindar resultados, a ser optimista y entender que se es estudiante de por vida.

A la facultad

Por enseñarme la adversidad, el sacrificio, la autodisciplina y la constancia. Por darme tanto como fui capaz de pedirle y exigirme tanto o más de lo que yo mismo me creía capaz. Por forjarme una actitud ante la vida y ejercitarme la mente. Por recibirme con la misma alegría con la que me despide este día.

Al departamento de control

Por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo. (Uso de laboratorios y licencia del *LabVIEW*)

A Anayantzy Vázquez y Paola Cabrera

Por su participación en las mediciones y pruebas del prototipo, por su tiempo y su confianza en el proyecto.

Gracias también a todas las persona que influyeron en mi para que terminara la carrera, a quienes me rechazaron para enseñarme que debía estar mejor preparado, a quienes me aceptaron para poder incrementar la confianza en mi mismo y a quienes sin ser maestros fueron una guía para mi.

AUTOMATIZACIÓN
DE UN TUBO DE
KUNDT PARA LA
ENSEÑANZA
EN EL BACHILLERATO

INDICE

1. Presentación	Página
I. Antecedentes	8
II. Planteamiento del problema	8
III. Justificación	9
IV. Contexto	9
V. Objetivo y alcances	10
VI. Conexión con otros temas	11
VII. Métodos y procedimientos de solución	11
VIII. Descripción del trabajo	12
IX. Resultados esperados	12
2. Marco Teórico	
2.1 Principios Básicos de Ondas	
2.1.1 Onda	13
2.1.2 Amplitud, Longitud, Frecuencia, Periodo	13
2.1.3 Tono	14
2.1.4 Descripción matemática de la onda	15
2.1.5 Representación de la onda: Figuras de Lissajous	17
2.2 El sonido en el aire	
2.2.1 Velocidad del sonido	19
2.2.2 Variación de la velocidad del sonido respecto a la temperatura	20
2.2.3 Resonancia en tubos	23
2.2.4 Experimentos para determinar características del sonido: Tubo de Kundt	24
2.2.5 Método para determinar la longitud de onda basado en las figuras de Lissajous	26

2.3 Electroacústica

2.3.1 Micrófono electret	28
2.3.1.1 Características dinámicas del micrófono	30
2.3.2 Bocinas	31
2.3.2.1 Características dinámicas de las bocinas	32

2.4 Electrónica

2.4.1 Fuente de alimentación	35
2.4.2 Amplificadores	36
2.4.2.1 Amplificador operacional	36
2.4.2.2 Topologías de amplificadores	38
2.4.3 Temperatura y el Termómetro digital	39

2.5 Instrumentación virtual	41
------------------------------------	-----------

3. Implementación del prototipo

3.1 Tubo acústico

3.1.1 Parámetros del tubo acústico	43
3.1.2 Diseño	44
3.1.3 Construcción	46

3.2 Alimentación

3.2.1 Requerimientos	48
3.2.2 Diseño	49
3.2.3 Implementación	50

3.3 Amplificador de potencia

3.3.1 Potencia de operación	52
------------------------------------	-----------

3.4 Preamplificador para micrófono

3.4.1 Diseño del preamplificador	54
3.4.2 Implementación del preamplificador	55

3.5 Termómetro digital	
3.5.1 Justificación	57
3.5.2 Implementación	58
3.5.3 Calibración	61
3.6 Propuesta para medir la distancia de manera automática	64
3.6.1 Diseño del sistema para medir la distancia de manera automática	65
4. La Interfaz	
4.1 LabVIEW	70
4.2 Programación de la interfaz	71
5. Integración y Pruebas	84
6. Mediciones	85
7. Conclusiones y recomendaciones	88
8. Referencias	90
9. Anexos	
1. Manual de operación del prototipo	92
2. Planes de Estudio de la Física IV E.N.P	98
3. Especificaciones de Circuitos Integrados	99
4. Manual de prácticas de Física IV E.N.P	107

Presentación

I. Antecedentes

El estudio de la acústica requiere, al igual que cualquier rama de la física, de la comprobación experimental en sus temas. Existen en la actualidad dispositivos y sistemas que permiten la apreciación y medición de ciertas características de los fenómenos que la Física estudia. Para el caso particular de las ondas acústicas, algunos de ellos son incluso comerciales, como el tubo de Kundt, otros como el multímetro acústico¹ y la sonda de dos micrófonos², son proyectos que combinan instrumentos de medición y amplificación comerciales con prototipos construidos de manera experimental.

El resultado de todo ello es que si bien nos permiten apreciar e incluso medir algunas características de las ondas, la operación de tales dispositivos es complicada para quienes no los conocen, además de que se deben interconectar diferentes instrumentos y esto puede dar lugar a un sinnúmero de fallas y errores que podrían minimizarse.

Caso distinto es la versión comercial del tubo de Kundt, que permite la medición de la longitud de onda, pero que requiere de un generador de señales y de amplificadores adicionales para su funcionamiento, además el costo de este instrumento es elevado.

Por tales motivos, la enseñanza de la acústica se ha tenido que limitar a la parte teórica, a falta de la existencia y accesibilidad de instrumentos y dispositivos que permitan una mejor comprensión en los temas de la misma.

II. Planteamiento del Problema

Se propone como apoyo a la enseñanza de la física un sistema que permita a los estudiantes de bachillerato obtener magnitudes acústicas de forma experimental. En la actualidad, la enseñanza de la acústica se realiza con experimentos que sólo muestran propiedades cualitativas (cuerdas, diapasones, etc.) pero que no miden ninguna cantidad. También se imparte cátedra sobre la materia pero solo a nivel teórico, esto hace que los alumnos pierdan el interés y se les dificulte el aprendizaje al no tener un contacto directo con los fenómenos acústicos y sus manifestaciones.

¹Escobar Reyna, Marco Antonio. Realización electrónica digital de un multímetro acústico. Tesis de Maestría Eléctrica. UNAM, México 2004. Director. Dr. Felipe Orduña Bustamante

²Cervantes Cruz, Juan Ignacio. Procesamiento electrónico analógico de una sonda de dos micrófonos para mediciones acústicas en tubos. Tesis de Ingeniería Eléctrica Electrónica. Dir. Felipe Orduña. UNAM. México 2005

III. Justificación

Para mejorar la enseñanza de la acústica en el bachillerato podrían realizarse más experimentos o trasladar a los alumnos a recintos como cámaras anecoicas o reverberantes en los cuales se pueden reproducir, apreciar y medir los fenómenos acústicos, pero eso trae consigo costos en el traslado, la disponibilidad y el cupo de dichos recintos, además los equipos con los que se cuenta en esos lugares suelen ser muy costosos y de manejo especializado.

Existen en el mercado también algunos programas de cómputo que dan una idea de cómo se ven o cómo se apreciarían los fenómenos acústicos, pero sólo existe en ellos un acercamiento visual y no un contacto real.

¿Por qué implementar un dispositivo para la enseñanza de la acústica en el bachillerato?

Las causas son las siguientes:

- La poca oferta experimental: Debida no sólo a los altos costos de la tecnología extranjera, sino también al manejo especializado de los equipos y su baja comercialización.
- Necesidad de Integración: Existen algunos experimentos y propuestas respecto a ciertos fenómenos acústicos, pero en la mayoría de ellas se utilizan sistemas separados que es necesario conectar cada vez que se va a realizar el experimento, luego esos sistemas no están diseñados exclusivamente para tales propósitos, en consecuencia, son demasiado grandes, muy caros, poco prácticos y generalmente sobrados.
- Accesibilidad y manejabilidad: Para que el prototipo dé buenos resultados en la enseñanza debe ser de fácil manejo y adquisición. Tanto más visual y práctico sea el experimento serán mucho mejores los resultados en el aprendizaje.
- Desarrollo tecnológico: El prototipo requiere de áreas que en su mayoría son de ingeniería, entonces, el prototipo no es sólo una necesidad a nivel enseñanza sino una consecuencia del aprendizaje y la aplicación de conocimientos obtenidos en la carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica impartida en la Facultad.

IV. Contexto

El prototipo surge como resultado de una convergencia entre diversas áreas de la ingeniería, ciencias básicas (física, matemáticas), electrónica, electricidad, mecánica y computación.

A través de la creación y conexión de diferentes sistemas se llega a la obtención de un prototipo que permite entre otras cosas y como consecuencia de ellas, la determinación de la velocidad del sonido en el aire.

La juventud busca siempre la experimentación por naturaleza, y en este contexto, cualquier experimento que permita reafirmar la teoría será siempre de utilidad.

El alto costo de la tecnología del exterior es otro aliciente para el surgimiento del prototipo, pues los principios para la generación de tecnología son del dominio público, sin embargo, el hecho de tratarse de dispositivos de importación hace que su costo se multiplique, si a esto se le suma que son especializados y de difícil adquisición, tenemos que las instituciones declinan en favor de una enseñanza predominantemente teórica. Por ello, el prototipo utiliza conocimientos y tecnología accesibles para que sea no sólo fácil de operar sino también, fácil de comercializar y de producirse en masa.

V. Objetivos y alcances

La implementación del prototipo acústico que realizaremos busca cubrir varias necesidades, entre las cuales están:

- Aportar un dispositivo que permita tener un contacto directo con los fenómenos acústicos, que el alumno pueda percibirlos con sus sentidos y que a su vez, por medio de la medición práctica, pueda comprobar la teoría impartida en clase.
- Que pueda ser operado de manera sencilla y con los conocimientos mínimos sobre acústica.
- Se busca a su vez, que sea barato y de fácil adquisición y almacenamiento.
- Que el diseño y la manufactura del dispositivo sean propios y tales que no dependa este de ningún otro instrumento comercial especializado como generadores de señales, amplificadores u osciloscopios.
- Será el prototipo también susceptible de mejoras y de expansión hasta llegar a la completa automatización.

El prototipo busca una mejora en el aprovechamiento escolar, se muestra como una alternativa en la enseñanza, porque en muchas ocasiones, la falta de interés y rendimiento en los temas de la física en general y de la acústica en particular no se debe a carencias del personal docente ni a una supuesta incapacidad estudiantil sino a la poca o nula oferta experimental a este nivel.

Con la implementación del prototipo se persigue también la disminución de la dependencia tecnológica que tenemos del extranjero y mostrar una alternativa que sea viable y que dé buenos resultados en la comprensión de los temas de ondas en física a nivel bachillerato.

Dada la extensión de la acústica como área, el prototipo no podrá cubrir de inicio, todos los contenidos del tema de ondas dentro de los programas de física a nivel bachillerato. Pero será susceptible de escalarse hasta llegar a cubrir buena parte de los temarios a nivel medio superior.

VI. Conexión con otros temas

Tratándose de un prototipo cuyo funcionamiento se debe a la interconexión de diversos sistemas, su propia naturaleza lo relaciona con áreas complementarias a la acústica.

La operación del dispositivo está directamente asociada al tema de las ondas, pero como una consecuencia, se ejemplifican en su utilización otros temas como medición e instrumentación.

A nivel diseño y construcción, el prototipo hizo necesarios el conocimiento y aplicación de temas de otras áreas de la ingeniería, tales como Electricidad, Termodinámica, Circuitos Integrados, Amplificadores, Dispositivos y Circuitos Eléctricos, Medición e Instrumentación, Análisis de Sistemas y Señales, Computadoras y Programación.

A su vez, dentro de cada área recurrimos a temas específicos como: Amplificadores operacionales, Amplificadores de potencia, Fuentes, Reguladores de Voltaje, Temperatura, Ondas, Circuitos RC., Convertidores análogo-digital.

VII. Métodos y procedimientos de solución

Para integrar el prototipo primero debemos tener una base teórica general que nos permita realizar un diseño preliminar, trataremos de visualizar primero el esqueleto y luego iremos diseñando o adecuando cada uno de los elementos que necesitamos, como la fuente y los amplificadores. Una vez diseñados o adaptados, según se requiera, implementaremos y probaremos cada uno de los circuitos de manera individual hasta que superen las pruebas mínimas de funcionamiento. Cuando cada elemento funcione por sí mismo, se verificará la operación conjunta de todos ellos. En caso de fallas, se corregirá hasta obtener el funcionamiento deseado.

Cuando el prototipo opere como un solo dispositivo, se enlazará con una computadora a través de una interfaz construida en la plataforma de programación dedicada a la instrumentación conocida como *LabVIEW*.

Si el prototipo opera bien y simultáneamente con el programa de cómputo de manera aceptable se procederá a realizar las mediciones. En caso contrario se depurará y ajustará el programa.

Se buscará obtener de manera experimental la media longitudinal de onda de un tono conocido, a partir de un desfase de la onda visto desde la computadora. Se medirá la distancia que recorrió un micrófono desde que la onda estaba en fase hasta que está se ha desplazado 180 grados, de ahí se obtendrá la magnitud de la longitud de onda y a través de una ecuación y del parámetro adicional de la temperatura se podrá determinar la velocidad del sonido en el aire.

Una vez determinada la velocidad experimental del sonido, se cotejará con la velocidad teórica para recabar los datos estadísticos que se deseen conocer.

Esto último dará lugar a una práctica diseñada expresamente para impartirse dentro de los ciclos de bachillerato en el área de física.

VIII. Descripción del Trabajo

El trabajo consta en la primera parte de los antecedentes teóricos para la realización del prototipo, esto permitirá determinar las mejores características con las que el prototipo debe contar.

En la segunda parte se describe todo el proceso de diseño y manufactura del prototipo, también se mencionaran algunas de las pruebas a las que fue sometido para verificar su buen funcionamiento.

En la tercera parte se mostraran ejemplos de algunas mediciones que se pueden realizar con el prototipo y los resultados a los que conduzca.

En la cuarta parte se mostrará la aportación directa y los avances que el prototipo permita alcanzar.

En los anexos aparecen el manual de operación del prototipo y las especificaciones técnicas de los circuitos.

IX. Resultados esperados

Se espera con el siguiente trabajo contar con un dispositivo que permita comprobar fenómenos acústicos de manera experimental y que esto, a su vez y a futuro, permita un mejor desempeño y aprovechamiento de los alumnos de física a nivel bachillerato.

Se plantea también la posibilidad de producción en masa y comercialización del prototipo y una propuesta teórica encaminada a la total automatización del dispositivo.

2. Marco teórico

2.1 Principios básicos de ondas

2.1.1 Onda

Una onda es la propagación de una perturbación en alguna propiedad de un medio, como propiedades térmicas, la densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético. Esta perturbación se propaga a través del espacio transportando energía. El medio perturbado puede ser de naturaleza diversa como el aire, agua, algún sólido, el espacio o el vacío.

Las ondas pueden ser clasificadas de diferente forma, de acuerdo al medio en que se propagan, o al tipo, periodicidad y dirección de propagación.

Las ondas sonoras pertenecen, por el medio en el que se propagan, al tipo de ondas mecánicas porque necesitan un medio elástico y continuo para propagarse y generar una variación local de presión o densidad, ya que no se propagan en el vacío como en el caso de las ondas electromagnéticas.

Por el tipo de propagación, las ondas de sonido son ondas tridimensionales porque se propagan en tres direcciones. Las ondas tridimensionales se conocen también como ondas esféricas, debido a que sus frentes de onda son esferas concéntricas que salen de la fuente de perturbación expandiéndose en todas direcciones.

Las ondas sonoras hacen vibrar a las partículas del medio paralelamente a la dirección de propagación, por esta causa son ondas de tipo longitudinal. Además de que lo hacen de forma periódica, debido a que la perturbación local que las origina se repite en ciclos.

2.1.2 Amplitud, Longitud, Periodo, Frecuencia y Velocidad

En la figura 1 se muestran las principales características de una onda, que son:

Amplitud (A): Es la elongación o alejamiento de las partículas del medio donde se produce la onda de su posición de equilibrio. Cuando la elongación es máxima se tiene una cresta (si la amplitud es positiva respecto al eje de referencia) o un valle (si la amplitud es negativa).

Longitud de onda (λ): Es la distancia entre dos crestas o dos valles. Se representa por la letra λ .

Periodo (**T**): Es el tiempo de duración o intervalo de tiempo que tarda la onda para completar un ciclo, se mide en segundos [s].

Frecuencia (**f**): Es el número de veces que se repite la onda por unidad de tiempo. También se define como el inverso del periodo. Se mide en hertz [Hz].

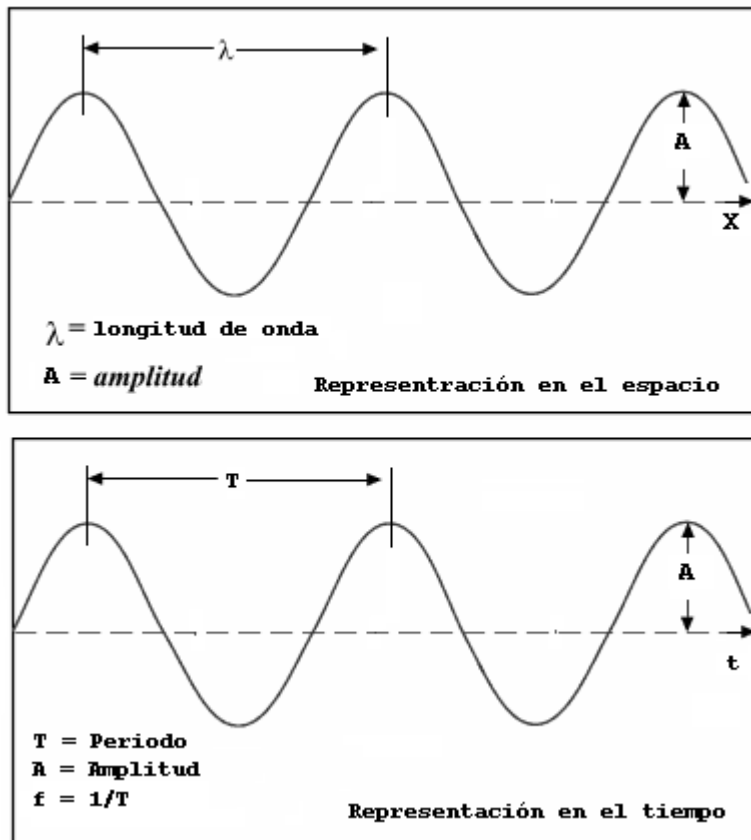


Figura 1. Características de la onda senoidal

2.1.3 Tono

En el contexto de la acústica podemos decir que un tono es una onda senoidal cuya frecuencia permanece constante en el tiempo. De este modo, también permanecen constantes su periodo y longitud de onda. Esto es muy importante para nosotros porque a partir de estas características podremos determinar la velocidad del sonido.

El tono más conocido corresponde a la onda senoidal de 440 [Hz]. Dentro de la música este tono es llamado La o simplemente A, cualquiera de sus múltiplos o submúltiplos seguirá siendo un La. Ejemplo: 880 y 1660 [Hz] corresponden a tonos más agudos mientras que 220 y 110 [Hz] serán tonos más graves. En todos esos casos se trata siempre de "Las".

También podemos decir que el tono es generalmente audible³ (entre los 20 y 20 000 [Hz]), pues aunque un tono por arriba de los 20 [kHz] sigue manteniendo constante su frecuencia ya no lo podemos oír y entonces se le llama ultrasonido. Si el tono tiene una frecuencia menor a 20 [Hz] tampoco es audible y decimos que es infrasonido o subsónico. Ver figura 2.

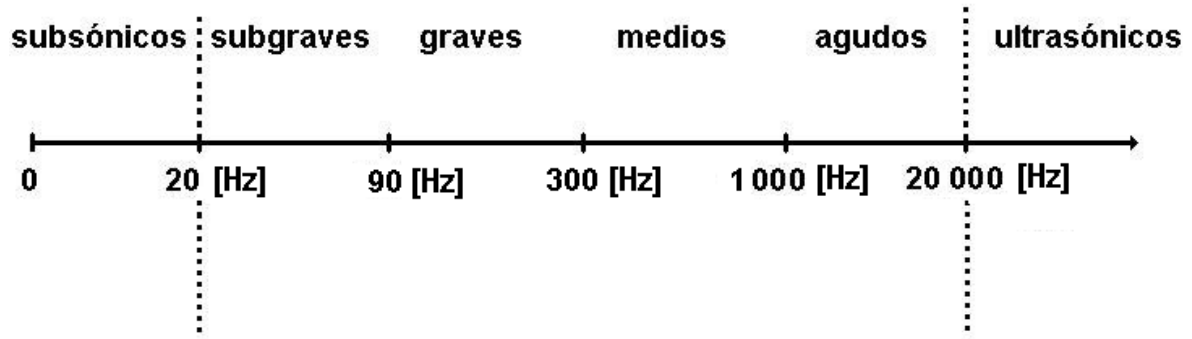


Figura 2. Espectro audible

2.1.4 Descripción matemática de la onda

Si queremos conocer la velocidad de la onda podemos partir del concepto de velocidad promedio:

$$velocidad = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \quad \text{Ec.(1)}$$

además

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ec.(2)}$$

f : frecuencia [Hz]

T : Periodo [s]

³ Giancoli, C. Douglas. Física. Principios con aplicaciones. Sexta edición. Pearson Education, México 2006.

Para el caso de la onda viajera armónica⁴ tenemos que la velocidad c está dada por⁵:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Ec.(3)}$$

Una onda en el espacio da un ciclo completo en 2π radianes o 360 grados, ver la figura 3.

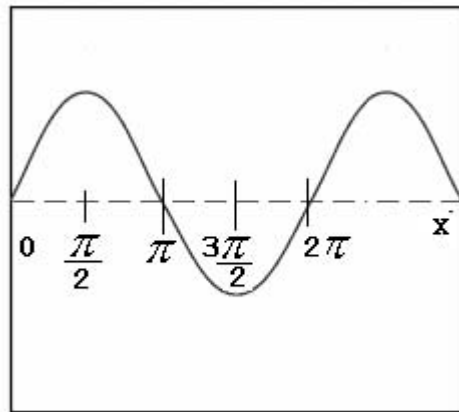


Figura 3. Ciclo en radianes

Si en un instante, la amplitud de dos ondas de la misma frecuencia es diferente tenemos un desfase, esto es, una diferencia de fase o ángulo que se representa con la letra ϕ , como se muestra en la figura 4.

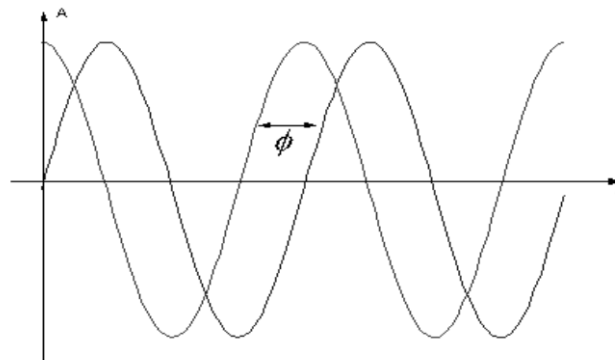


Figura 4. Diferencia de fase entre dos ondas de la misma frecuencia

⁴ Kinsler Lawrence, Fundamentals of Acoustics. John Wiley and Sons, Inc. Fourth edition. U.S.A. 2000

⁵ Beranek Leo, Acoustics. 1993 Edition, Cambridge Massachusetts U.S.A p.7

El número de onda k puede ser asociado con la longitud de onda por :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{Ec.(4)}$$

Despejamos λ de la Ec. 3 y la sustituimos en la Ec. 4 para obtener:

$$k = \frac{2\pi f}{c} \quad \text{Ec.(5)}$$

Tenemos también la siguiente igualdad:

$$\omega = 2\pi f \quad \text{Ec.(6)}$$

Sustituimos la Ec.6 en la Ec.5 y obtenemos:

$$k = \frac{\omega}{c} \quad \text{Ec.(7)}$$

Una onda simple u onda viajera es una perturbación que varía en el tiempo t de la siguiente manera, considerando además la amplitud A como constante:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi) \quad \text{Ec. (8)}$$

2.1.5 Representación de la onda: Figuras de Lissajous

Estas figuras fueron descubiertas por el físico francés Antoine Lissajous (ver figura 5). Utilizando sonidos de diferentes frecuencias (agudos y graves) había visto unos diapasones que tenían pegados unos espejos que reflejaban un rayo de luz, moviéndose a diferente frecuencia. El reflejo de la luz sobre una pantalla dibujaba las figuras.



Figura 5. **Jules Antoine Lissajous** (1822-1880)

Estas curvas se observaban gracias a la persistencia visual, por la cual aparece como continua la luz con variaciones rápidas de intensidad, y como movimiento continuo una sucesión rápida de vistas fijas. Esto ocasiona que las imágenes se queden grabadas en nuestra retina y veamos como consecuencia una especie de “animación”.

Las figuras de Lissajous son las gráficas de los siguiente sistema de ecuaciones paramétricas:

$$x(t) = A \operatorname{sen}(\omega t) \quad \text{Ec.(9)}$$

$$y(t) = B \operatorname{sen}(\omega t + \phi) \quad \text{Ec.(10)}$$

Donde ‘A’ y ‘B’ son las amplitudes de las señales; ‘ ω ’ es la frecuencia correspondiente a las señales y ϕ es el desfase entre ellas.⁶

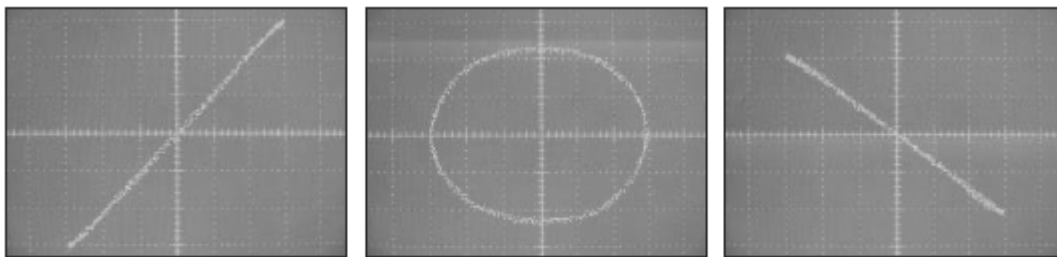


Figura 6. Figuras de Lissajous ($\phi = 0, 90$ y 180 grados)

En la figura 6 se muestran las curvas o figuras de Lissajous correspondientes a la relación existente entre dos ondas senoidales. Generalmente, lo primero que apreciaríamos sería una

⁶ Speed of Sound Using Lissajous Figures. Richard E. Berg and Dieter R. Brill, University of Maryland, College Park, MD. THE PHYSICS TEACHER Vol. 43, January 2005

elipse, que nos muestra un desfase de $\phi = n$ grados, ($0 < n < 360$). Los casos que se muestran en la figura son particulares y dos de ellos corresponde a nuestros puntos de interés.

En el primer caso las ondas tienen un desfase de 0 grados, esto es, que al superponerlas una con otra, las veríamos como una sola onda, en el segundo caso, tenemos un desfase de 90 grados, este caso es solo ilustrativo, pues no lo emplearemos para realizar nuevas mediciones. Finalmente en el tercer caso, tenemos un desfase de 180 grados, esto quiere decir que las ondas están completamente invertidas o fuera de fase.

Lo anterior será de gran utilidad para determinar características de la onda y el método de medición que emplearemos para determinar la velocidad del sonido se basa en esto.

2.2 El sonido en el aire

El sonido posee características que el oído percibe inmediatamente: el tono y la intensidad. La intensidad depende de la amplitud y el tono de la frecuencia. El sonido se puede propagar en diferentes medios con la única condición de que éstos sean elásticos. Pueden servir como medios: el aire, el agua o algún sólido.

2.2.1 Velocidad del sonido

A lo largo de la historia se ha intentado determinar la velocidad del sonido de diferentes formas. La observación nos dice que el sonido no se propaga de manera instantánea, pues cualquier fenómeno que implique luz y sonido, observado a distancia (un rayo por ejemplo) deja ver primero la luz y algunos segundos después escuchamos el sonido, también sabemos que a menos que cambie de medio, la velocidad de propagación del sonido es constante.

La expresión de la velocidad vista como un proceso adiabático (sin intercambio de calor) y en condiciones de equilibrio, además considerando al aire como un gas ideal nos da la siguiente ecuación⁷:

$$c^2 = \gamma \frac{P}{\rho} \quad \text{Ec. (11)}$$

⁷ Kinsler Lawrence, Fundamentals of Acoustics. John Wiley and Sons, Inc. Fourth edition. U.S.A. 2000.

Despejamos c para obtener:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} \quad \text{Ec.(12)}$$

Donde γ es el índice adiabático del aire, P_0 es la presión y ρ_0 es la densidad del aire.

Para el aire a 0 [°C] y a 1 [atm] de presión, tenemos:

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.4 \\ P_0 &= 1.01325 \times 10^5 \text{ [Pa]} \\ \rho_0 &= 1.293 \text{ [kg/m}^3\text{]} \end{aligned}$$

Al sustituir estos valores en la Ec.(12) tenemos:

$$c_0 = \sqrt{\frac{(1.4)(1.01325 \times 10^5) \text{ [Pa]}}{1.293 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}} \quad \text{Ec. (12a)}$$

Por lo que la velocidad del sonido en el aire a 0[°C] es:

$$c_0 = 331.5 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ec.(13)}$$

2.2.2 Variación de la velocidad respecto a la temperatura

Como la velocidad del sonido es función de la temperatura podemos obtener una ecuación de la velocidad del sonido c para cualquier temperatura, asumiendo también que la variación de velocidad es lineal con respecto a la temperatura.⁸

Usando la ecuación de estado del gas ideal:

$$P = \rho r T_k \quad \text{Ec.(14)}$$

⁸ Escobar Reyna Marco Antonio, Realización Electrónica Digital del Multímetro Acústico, UNAM 2004

Donde r es la constante específica del gas

T_K Es la temperatura en Kelvin

Para el aire:

$$r = 287 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

Ec.(15)

Combinamos la Ec.(12) y Ec.(14)

$$c = \sqrt{\gamma r T_K}$$

Ec.(16)

Considerando a γ y r como constantes:

$$\sqrt{\gamma r} = \frac{c_0}{\sqrt{T_{K0}}}$$

Ec.(17)

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{T_{K0}}} \sqrt{T_K}$$

Ec.(18)

Esto también se puede expresar como:

$$c = c_0 \sqrt{\frac{T_K}{273}}$$

Ec.(19)

Si tenemos que:

$$T_K [K] = T [^\circ C] + 273$$

Ec.(20)

Nos queda una ecuación para la velocidad en función de la temperatura expresada en grados Celsius:

$$c \left[\frac{m}{s} \right] = 331.5 \sqrt{1 + \frac{T [^{\circ}C]}{273}} \quad \text{Ec.(21)}$$

Considerando además que la temperatura ambiente está entre los 0 y 50 [°C] aproximadamente:

$$\sqrt{1 + \frac{T}{273}} = \left(1 + \frac{T}{273} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. (22)}$$

$$= 1 + \frac{1}{2} (1)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{T}{273} \right) + \left(\frac{1}{2} \right) \left(\frac{1}{2} - 1 \right) (1)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{T}{273} \right)^2 + \dots \quad \text{Ec. (23)}$$

$$= 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{T}{273} \right) - \frac{1}{8} \left(\frac{T^2}{273^2} \right) + \dots \quad \text{Ec.(24)}$$

$$= 1 + \frac{T}{2 * 273} \quad \text{Ec.(25)}$$

$$c = c_0 + \frac{331.5}{546} T \quad \text{Ec.(26)}$$

Finalmente la velocidad del sonido puede aproximarse a⁹:

$$c = 331.5 + 0.6T \left[\frac{m}{s} \right]$$

Ec. (27)

2.2.3 Resonancia en tubos

El comportamiento del sonido en un tubo de paredes rígidas depende de algunas propiedades como la longitud del tubo y la sección transversal o si están cerrados por completo o solo de un lado. Todo cuerpo capaz de vibrar lo hace siempre a la misma frecuencia y cuando dos cuerpos de frecuencia común se influyen se dice que entran en resonancia.

Asumiendo que dentro de un tubo de paredes rígidas de sección a y longitud L se propaga una onda, el sonido emitido en el interior de este tubo hará suponer a una distancia suficientemente grande ($L = 10 a$) que las ondas que avanzan de bido a su pequeña superficie y gran esfericidad pueden considerarse como planos perpendiculares al eje del tubo¹⁰ (ondas planas).

Con esta consideración la frecuencia de resonancia para tubos abiertos por un extremo es:

$$fn = \frac{n}{2} \frac{c}{L + (8/3\pi)a}$$

Ec.(28)¹¹

$n = 1, 2, 3, \dots$

$a =$ diámetro del tubo

$L =$ longitud del tubo

$c =$ velocidad del sonido

⁹ Tippens, Paul E. Física Conceptos y Aplicaciones. Segunda edición en español. Editorial Mc Graw Hill. México 1988. p. 459

¹⁰ Pérez Miñana José, Compendio práctico de Acústica. Editorial Labor. Barcelona España 1969. p. 38

¹¹ Kinsler Lawrence, Fundamentals of Acoustics. John Wiley and Sons, Inc. Fourth edition. U.S.A. 2000

2.2.4 Experimentos para determinar características del sonido: Tubo de Kundt

Medida de la velocidad del sonido en el aire

Aristóteles creía que los sonidos de distintos tonos tenían velocidades de propagación diferentes. Fue Galileo Galilei, quien en 1624, hizo una demostración de la velocidad del sonido, demostrando además que los agudos y los graves se propagan a la misma velocidad. Entre otras medidas, están las de Mersenne (1640), Borelli y Viviani (1655), Boyle, Roemer, Picard, Cassini y Huyghens; de Walker, Halley, Derham, Flamsteed y Roberts, cuyos resultados varían entre 331 a 495 [m/s].

Marin Mersenne fue el primero en determinar la velocidad del sonido en el aire en 1640 cuando midió el retardo de un eco. Su determinación de la velocidad de sonido tuvo un error de menos del 10%. Un logro notable considerando la tecnología disponible en esa época.

El experimento clásico de Robert Boyle de 1660 en la radiación sónica hecha por un reloj haciendo tic tac dentro de un vacío parcial mostró la evidencia de que el aire es necesario, ya sea para la producción o para la transmisión del sonido.

En uno de los primeros métodos empleados para determinar la velocidad del sonido, se utilizaba un cañón. Un observador, colocado en una colina, medía el tiempo transcurrido entre el momento en que escuchaba el disparo. Conociendo la distancia al cañón, podía calcular la velocidad del sonido. El procedimiento no era muy exacto, por que la onda sonora describía una trayectoria curva al ser desviada por el viento.

En 1705, Derham estudió la influencia del viento sobre la propagación del sonido, y Viviani estableció claramente que este se propaga igualmente en cualquier sentido, con independencia de su tono e intensidad. En 1772, Priestley estudió la propagación del sonido en distintos gases, estableciendo que la velocidad es proporcional a la densidad del gas. En 1812, Niot observó que un tubo de 1000 [m] de longitud propagaba la voz con toda intensidad, aunque se hablara en voz baja. Con este mismo tubo metálico de las cañerías de París, determinó la velocidad de la propagación del sonido en los sólidos.

La propagación del sonido en el agua, no se daba durante mucho tiempo por que no se reconocía la compresibilidad y la elasticidad de los líquidos, era admitida por Klein, Baker, Hawksbee, Guericke, Musschenbrock, Nollet (1743) y Franklin, y fue demostrada por Savart en el año 1826, Después de ellos, Cagniard estudió la propagación del sonido en los líquidos.

En 1738, la Academia de Ciencias ordenó que se hiciera una demostración, que dio como resultado 333 metros por segundo; se demostró, entonces, que la velocidad es independiente de la presión y que aumenta con la temperatura.

La Oficina de Longitudes, en 1822, confió a Arago, Prouy, Bouvard, Gay-Lussac y Huboldt la realización de una serie de determinaciones, mediante las cuales se obtuvo el valor 333,8 [m/s] a 0[°C]. Los holandeses Mol y van Beck determinaron 332,049 [m/s]. Deben recordarse también las determinaciones llevadas a cabo, en las zonas árticas, por Franklin, Parry y Forster, entre los años 1822 y 1824. Las de Kendall en 1825 y las de Bravais y Martins, en las alturas de Suiza (1844).

En 1864, Charles Regnault hizo un cálculo más preciso. Realizó el experimento en un tubo subterráneo, en las cercanías de París. El disparo de un fusil rompía un circuito de hilo en la boca del arma, entonces se movía una plumilla entintada sobre un tambor registrador, situado en el extremo del tubo. Cuando el sonido llegaba allí, vibraba un diafragma, y este movimiento también era registrado en el tambor. Puesto que la velocidad de rotación del tambor era conocida, se podía calcular también la del sonido.

La invención del cálculo por Newton ofreció una nueva herramienta a científicos y matemáticos para estudiar el sonido. Desarrollos teóricos significantes fueron alcanzados durante el siglo XVIII gracias a las contribuciones de Joseph Louis Lagrange, Johann Bernoulli, y Leonhard Euler entre otros. Sin embargo, el tratamiento matemático completo del sonido no fue posible hasta el siglo XIX cuando Georg Simón Ohm aplicó el análisis armónico desarrollado por Joseph Fourier a la teoría del sonido.

Durante el siglo XIX, la teoría del sonido continuó desarrollándose. La invención de dispositivos como el micrófono, el fonógrafo y el teléfono fue muy útil en el estudio del sonido. Una mejor manera de determinar la velocidad del sonido es usando dos reflectores parabólicos uno frente a otro, con una sirena de frecuencia constante en el foco de uno de ellos. También se coloca un micrófono en el foco de cada reflector. Cuando se conectan unos audífonos, el sonido que se percibe en ellos aumentará o disminuirá cuando uno de los reflectores se acerque o aleje del otro. Cuando el sonido de los audífonos va de un mínimo a un máximo, y vuelve a un mínimo cuando uno de los reflectores se ha movido, exactamente, una longitud de onda. Conociendo la frecuencia, se puede calcular la velocidad del sonido.

La velocidad del sonido también sirvió como marco de referencia en el siglo XX. Varios pilotos intentaron volar aviones más rápido que la velocidad del sonido. Pero fue hasta 1947, cuando el Capitán Chuck Yeager logró esta meta. El Capitán Yeager aprovechó la relación entre la velocidad del sonido y la temperatura para establecer el récord histórico, volando a sólo 293 [m/s] cuando impuso el récord. Sin embargo, dado que estaba volando a una altitud de 12,000 [m], la temperatura del aire era lo suficientemente baja para que la velocidad del sonido fuera de solo 290 [m/s].

Tubo de Kundt

August Kundt (ver figura 7) fue un físico alemán que vivió a mediados del siglo XIX. Sus estudios se centraron en la luz y el sonido, dos áreas en las que las ondas juegan un papel muy importante.

Para estudiar ondas estacionarias, utilizó un tubo transparente lleno de aire y de un polvo fino (talco). Usando un pistón que golpeaba una membrana al extremo del tubo, buscó condiciones que permitieran obtener ondas estacionarias. Los nodos y los vientres de vibración son entonces visibles a través del tubo gracias a que el talco se concentra en los nodos.

Ya que no podía cambiar la frecuencia del pistón, Kundt modificaba la longitud del tubo.

Actualmente es posible mantener constante la longitud del tubo y regular la frecuencia de excitación. El resultado es el mismo: Se observa un fenómeno de resonancia cuando la longitud L del tubo es múltiplo de la longitud de onda del sonido emitido por la bocina.

Existen diversas variantes del Tubo de Kundt, este puede ser abierto por un extremo o completamente cerrado, aunque el propósito de todos ellos sigue siendo el mismo: determinar la longitud de onda y obtener un valor experimental para la velocidad del sonido.

Algunos modelos son incluso comerciales, como el que se muestra en la figura 8, pero en ellos se requieren amplificadores externos e interfaces con preamplificador de micrófono, generador de onda adicional y osciloscopio. Estos modelos también emplean las figuras de Lissajous para medir la longitud de onda.



Figura 7. August Kundt



Figura 8. Tubo de Kundt comercial

2.2.5 Método para determinar la longitud de onda basado en las figuras de Lissajous

El método utiliza las figuras de Lissajous para detectar los puntos en los cuales dos ondas están completamente en fase y también cuando es tan completamente desfasadas. Esto gracias a que esos puntos presentan figuras de Lissajous únicas. Las figuras pueden verse en un osciloscopio en el modo XY, teniendo a la onda que sale por la bocina en el eje X y a la onda captada por el micrófono en el canal Y. Conociendo el desplazamiento entre un punto y otro podemos determinar la media longitud de la onda que estamos utilizando. La determinación de la velocidad del sonido es consecuencia de conocer la frecuencia y la longitud de la onda que se desplaza en el aire.

Normalmente se utilizan en el método ondas, cuya forma (senoidal) y frecuencia son fijas.

Para este fin se pueden utilizar diferentes tubos o si se desea incluso se puede prescindir de ellos y realizar el experimento al aire libre.

Además del osciloscopio, también se requiere un amplificador de potencia, un micrófono con preamplificador y un generador de funciones o una computadora.

El método consiste en lo siguiente:

- 1.- Mediante un aparato en el que se pueden reproducir sonidos (computadora, *lap-top*, generador de sonidos u otro reproductor de audio) debemos generar un sonido (señal) que podamos caracterizar perfectamente en amplitud y frecuencia (tono puro).
- 2.- La señal debe ingresar a un amplificador para que después de salir por la bocina viaje a través del tubo y la onda sonora resultante se pueda percibir en el micrófono. Esta señal también debe ingresar a un canal del osciloscopio (X) de forma que podamos ver en la pantalla la onda que estamos enviando al amplificador.
- 3.- Del lado opuesto del tubo, colocaremos un micrófono para captar la onda que viaja en su interior.
- 4.- El micrófono va conectado a una interfaz (que funciona como preamplificador) y de ahí al segundo canal del osciloscopio (Y).
- 5.- Con ambas señales en el osciloscopio (la del amplificador y la del micrófono), buscamos que las amplitudes de ambas sean iguales. Debemos fijar una referencia común para que las señales se puedan comparar.
- 6.- Colocamos el osciloscopio en la función XY, de manera que veamos en la pantalla una Figura de Lissajous. Dependiendo de la posición del micrófono dentro del tubo, esta figura puede ser una elipse (señales con alguna una diferencia de fase), un círculo (señales con un

desfase de 90 grados), una recta a 45 grados (señales con un desfase de 0 grados) o una recta a 135 grados (señales con una diferencia de fase de 180 grados).

7. Desplazamos el micrófono dentro del tubo de modo que veamos en la pantalla del osciloscopio una recta a 45 grados.

8.- Marcamos sobre la guía del micrófono la posición a la cual ocurrió dicha recta.

9.- Desplazamos nuevamente el micrófono hasta encontrar ahora una recta perpendicular (recta a 135 grados) a la primera que hallamos.

10.- Marcamos nuevamente sobre la guía del micrófono.

11.- Entre las dos marcas realizadas existe ahora una distancia “d”, registramos el valor de esa distancia en metros. Este valor corresponde a la mitad de la longitud de onda del sonido que estamos emitiendo y recibiendo. Realmente el objetivo del experimento es determinar esa distancia con la mayor exactitud posible.

12.- Con la Ecuación $c = \lambda f$, podemos determinar la velocidad de la onda si además de la longitud conocemos también la frecuencia.

13.- La frecuencia es conocida, pues nosotros mismos la fijamos, y la longitud de onda la medimos en el experimento ($\lambda = 2d$), esto nos da los datos suficientes para determinar la velocidad de propagación del sonido en el aire.

2.3 Electroacústica

Es la parte de la acústica que se ocupa del análisis y diseño de dispositivos que convierten energía eléctrica en acústica y viceversa.

Los micrófonos y bocinas son sus máximos representantes. Estos se conocen también como transductores. La conversión de energía de naturaleza completamente distinta (electricidad, ondas acústicas), se realiza acudiendo a principios electromecánicos y electromagnéticos que se discutirán cuando hablemos de los micrófonos y posteriormente de las bocinas.

Los elementos de procesamiento de audio (amplificadores por ejemplo) son dispositivos que alteran o modifican alguna característica del sonido, cuando éste se representa por una variable eléctrica. Las características que modifican pueden ser amplitud, rango dinámico, respuesta en frecuencia, respuesta en el tiempo, timbre, etc. El procesamiento se lleva a cabo de manera electrónica, utilizando la tecnología de semiconductores y la tecnología digital.

2.3.1 Micrófono *electret*

El micrófono es un dispositivo capaz de convertir las oscilaciones mecánicas en impulsos eléctricos proporcionales a estas variaciones. En general el micrófono consta de una membrana que vibra al recibir el impacto de una onda sonora y pueden clasificarse de acuerdo al desplazamiento (micrófonos de presión) o velocidad de la membrana.

Entre los de presión se encuentran los electrostáticos, los de resistencia variable y los piezoeléctricos. El *electret* es un caso particular de los electrostáticos.

En un micrófono electrostático las ondas sonoras provocan el movimiento oscilatorio del diafragma, ver figura 9. A su vez, el movimiento del diafragma provoca una variación en la energía almacenada en el condensador (capacitor) que forma el núcleo de la cápsula microfónica y esta variación en la carga almacenada genera una tensión eléctrica que es la señal que se envía.

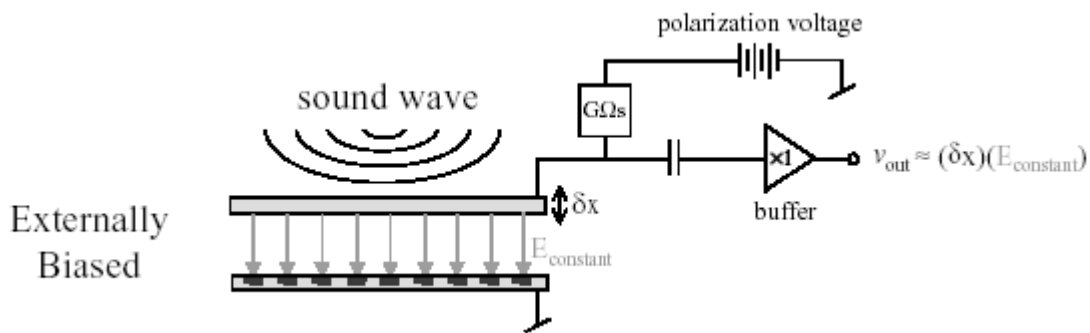


Figura 9. Principio de operación del *electret*

La señal eléctrica de salida es (para fines prácticos) análoga en cuanto a la forma (amplitud y frecuencia) a la onda sonora que la generó.

El micrófono *electret* es una variante del micrófono de condensador que utiliza un electrodo (fluorocarbonato o policarbonato de flúor) de lámina de plástico que al estar polarizado no necesita alimentación. Las placas se cargan a perpetuidad desde el momento de su fabricación. La carga electrostática se induce en la placa móvil (membrana) durante el proceso de fabricación, cuando ésta se somete a una temperatura de 220 [°C] mientras se le aplican 4000 [V]. La existencia de la carga electrostática permite alimentar las placas, pero se requiere de alimentación adicional para proporcionar voltaje al preamplificador.

Como el diafragma pesa menos, la respuesta en frecuencia del micrófono *electret* está más cerca de la respuesta que proporciona un micrófono de bobina móvil, que de la que ofrece un micrófono de condensador convencional. Lo habitual es utilizar un voltaje de 1.5 a 10 [V] para alimentar el circuito del *electret*.

Los micrófonos electret tienen buena respuesta en frecuencia (50 a 15 000 [Hz]), pero es poco plana. En cuanto a su directividad, pueden ser omnidireccionales o direccionales.

2.3.1.1 Características dinámicas del micrófono

Estas nos determinan el comportamiento del micrófono y son dadas por los fabricantes de cada marca¹², como se muestra a continuación:

■ Specifications	
Sensitivity	-35±4dB (0dB = 1V/pa, 1kHz)
Impedance	Less than 2.2 kΩ
Directivity	Omnidirectional
Frequency	20-20,000 Hz
Max. operation voltage	10V
Standard operation voltage	2V
Current consumption	Max. 0.5 mA
Sensitivity reduction	Within -3 dB at 1.5V
S/N ratio	More than 62 dB

Figura 10. Características dinámicas de un *electret*

1.- Sensibilidad. Se determina cuando se conoce el voltaje producido por unidad de presión acústica recibida. Mientras mayor sea el voltaje generado, mayor será la sensibilidad.

2.- Curva de respuesta. Es la gráfica que representa la sensibilidad del micrófono para distintas frecuencias (colocando en las abscisas a las frecuencias y en las ordenadas el voltaje). Lo ideal de esta curva es que fuera una recta paralela al eje de las abscisas (respuesta plana). Se muestra una en siguiente la figura:

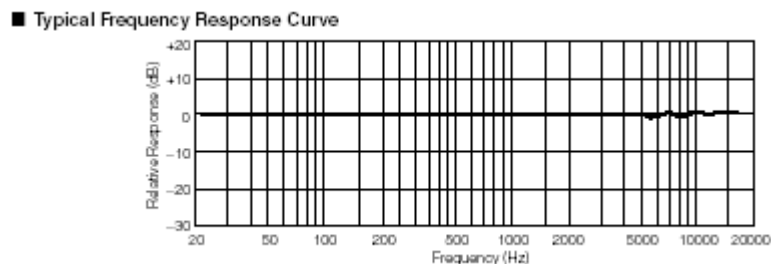


Figura 11. Curva de respuesta en frecuencia para un *electret* omnidireccional.

¹² Panasonic. Omnidirectional Back Electret Condenser Microphone Cartridge. Pdf. Hoja de especificaciones

3.- Fidelidad. Es la reproducción exacta de todas las frecuencias (esto implicaría una respuesta plana) que nunca se logra realmente.

4.- Distorsión. Existe cuando el voltaje proporcionado por el micrófono de forma las frecuencias que registra. Esta puede ser lineal, de amplitud o de fase.

- Lineal. Cuando a la frecuencia fundamental se le agregan armónicos.
- De amplitud. Si las deformaciones afectan la amplitud de la onda (recorte).
- De fase. Consiste en la alteración de la fase en la onda. El oído normalmente no percibe la alteración de fase, pero para nuestros propósitos es importante que la distorsión de fase pueda compensarse.

5.- Ruido de fondo. Aunque el micrófono no reciba ningún sonido, generará un pequeño voltaje debido al propio lugar y al calentamiento del circuito eléctrico, este voltaje nunca podrá suprimirse del todo.

6.- Direccionalidad. Es la sensibilidad que muestra el micrófono al sonido de acuerdo al ángulo de incidencia con respecto a su eje geométrico, pueden ser de tres tipos.

- Unidireccional. Si la sensibilidad es máxima cuando el ángulo de incidencia es 90 grados respecto al eje geométrico.
- Bidireccional. En este caso, el micrófono es sensible por ambas caras de su eje geométrico.
- Omnidireccional. Cuando el micrófono presenta la misma sensibilidad sin importar de donde provenga el sonido.

2.3.2 Bocinas

Una bocina es un transductor electroacústico utilizado para la reproducción de sonido. En la transducción sigue un doble procedimiento: eléctrico-mecánico-acústico. En la primera etapa convierte las ondas eléctricas en energía mecánica, y en la segunda convierte la energía mecánica en energía acústica. Esto con el fin de que pueda ser percibida mediante los oídos o un micrófono.

El sonido se transmite mediante ondas sonoras a través del aire. El oído capta estas ondas y las transforma en impulsos nerviosos que llegan al cerebro.

Entre los diversos tipos de bocinas tenemos: Dinámica o de bobina móvil, electrostática o de condensador, piezoeléctrica, de cinta, de pantalla infinita, de refuerzo de graves, activa etc. Cada una de las cuales posee diferentes características y aplicaciones. En nuestro caso utilizaremos una bocina dinámica.

En la bocina dinámica o de bobina móvil (ver figura 12), la señal eléctrica a la entrada actúa sobre la bobina móvil creando un campo magnético que varía de sentido de acuerdo

con la señal. Este primer flujo magnético interactúa con un segundo flujo magnético continuo generado por el imán permanente que forma parte del cuerpo de la bobina, produciéndose una atracción o rechazo magnético que desplaza la bobina móvil y el diafragma unido a ella. Al vibrar el diafragma mueve el aire situado frente a él, generando de esta manera variaciones de presión en el ambiente.



Figura 12. Bocina de bobina móvil

2.3.2.1 Características dinámicas de las bocinas

1.- Respuesta en frecuencia: No es plana. La bocina ideal debería dar una respuesta uniforme para todas las frecuencias, pero esta bocina no existe. En las especificaciones técnicas se indica la respuesta en frecuencia.

Las bocinas de alta calidad son las que tienen un margen de variación de 6 [dB] para el margen audible entre los 20 y los 20 000 [Hz]. Se permiten para otro tipo de sistemas variaciones de 3 [dB] en un margen de 100 a 15 000 [Hz], porque en la práctica el margen de audición nunca llega a los 20 000 [Hz].

La banda conflictiva es la de los graves, por ello, no se empieza la medición en los 20-30 [Hz], sino hasta los 80 [Hz].

En las especificaciones técnicas también suele venir la curva de respuesta en frecuencia, generalmente los fabricantes hacen sus mediciones en las condiciones más favorables, por lo que los resultados siempre serán superiores a los reales.

2.- Potencia: Se refiere a la potencia eléctrica que entra en la bocina (no a la potencia acústica) y se define como la cantidad de energía (watts) que se puede suministrar a la bocina antes de que distorsione en exceso o de que pueda sufrir daños. Dentro de la potencia se diferencian la nominal y la admisible.

La Potencia nominal es la máxima, en régimen continuo, que puede soportar la bocina antes de deteriorarse. Si se hace trabajar a la bocina por encima de esa potencia nominal se podría dañar irremediablemente al no poder disipar el calor producido por la corriente eléctrica que circula por la bobina provocando que se funda el aislante que recubre el hilo de cobre que la forma, provocando cortocircuitos.

La fórmula para obtener la potencia eléctrica de entrada necesaria es:

$$P = I^2 \cdot Z \quad \text{Ec.(29)}$$

P = Potencia eléctrica, I = Intensidad de corriente, Z = Impedancia

La potencia de régimen corresponde a la potencia máxima que se puede aplicar a la bocina de forma continua y que la bobina puede disipar (en forma de calor) sin que se quemé por exceso de temperatura.

Potencia de pico máximo o potencia admisible. Corresponde a un pico de señal (valor máximo instantáneo), que puede soportar durante un muy corto tiempo la bocina antes de deteriorarse. Este valor está relacionado también con otra limitación de las bocinas que es el máximo recorrido de la bobina sin que se destruya el diafragma (desenconado de la bocina). Esta potencia es mayor que la potencia media máxima.

Potencia eléctrica a largo plazo (PNOM). Especifica el valor máximo de la potencia con que puede trabajar una bocina (sobre la impedancia nominal) sin que sufra daños permanentes, cuando se le excita con una señal de prueba que simula el espectro musical durante 1 minuto.

3.- Eficiencia: Es una medida del rendimiento de la transducción eléctrica-acústica. Es la relación de la potencia acústica de la bocina y la potencia eléctrica necesaria para ello:

$$Eficiencia = \frac{P_{acustica}}{P_{electrica}} \times 100\% \quad \text{Ec. (30)}$$

La eficiencia de una bocina nunca supera el 50% y generalmente es menor al 10%. En equipos domésticos (incluso de alta calidad), la eficiencia es de entre 0.5% y un 1%. Afortunadamente, no se requiere una potencia acústica grande para obtener un elevado volumen sonoro.

4.- Impedancia: La impedancia es la oposición que presenta cualquier dispositivo al paso de pulsos suministrados por una fuente de audio (esta corriente no es ni alterna, ni directa. Es una combinación de las dos la cual no tiene ciclos de finidos). La impedancia se mide en ohms. En una bocina el valor de la impedancia cambia en función de la frecuencia, por lo que en las especificaciones técnicas de cada modelo de bocina vendrá una curva con la

relación impedancia-frecuencia, también puede ser que se nos indique la resistencia (impedancia para una frecuencia de referencia, generalmente 0 ó 50 [Hz]).

Para obtener una transferencia máxima de energía entre el amplificador y la bocina, la impedancia de la bocina debe ser la mínima aceptada por el amplificador.

Las impedancias normalizadas de las bocinas son: 2, 4, 6, 8, 16 y hasta 32 [Ω], pero las más utilizadas son 4 en sonido automotriz, 6 para sistemas mini componentes, 8 para los sistemas de alta fidelidad y 16 para sistemas de sonido envolvente y audífonos.

5.- **Sensibilidad:** Es el grado de eficiencia en la transducción electroacústica, mide la relación entre el nivel eléctrico de entrada a la bocina y la presión sonora obtenida.

Suele darse en [dB/W], medidos a 1 [m] de distancia y aplicando una potencia de 1 [W] a la bocina (2,83 [V] sobre 8 [Ω]).

Las bocinas son transductores electroacústicos con una sensibilidad muy pobre. Esto se debe a que la mayor parte de la potencia nominal introducida en una bocina se disipa en forma de calor.

6.- **Rendimiento:** Mide el grado de sensibilidad de la bocina. Es el porcentaje que indica la relación entre la Potencia acústica radiada y la Potencia eléctrica de entrada:

$$\frac{\text{potencia}_{\text{acústica}}}{\text{potencia}_{\text{eléctrica}}} \times 100 \quad \text{Ec. (31)}$$

7.- **Distorsión:** La bocina es uno de los sistemas de audio que presenta mayor distorsión, sus causas son muy variadas: flujo de lentrehierro, vibraciones parciales, modulación de frecuencia sobre el diafragma, alineación diferente de las suspensiones, etc.

La mayor parte de la distorsión se concentra en el segundo y tercer armónico y afecta en mayor medida a los tonos graves (alrededor del 10% de distorsión). En las medias y altas frecuencias la distorsión no llega al 1%.

8.- **Directividad:** Muestra la dirección del sonido a la salida, esto es, el modo en el que el sonido se disipa en el entorno. Cualquiera que sea su direccionalidad global, las bocinas siempre son más direccionales cuando se trata de altas frecuencias que cuando se trata de bajas frecuencias. Una forma de dar la directividad es mediante un diagrama polar, dado en las especificaciones.

El diagrama polar es una gráfica que refleja la radiación del altavoz en el espacio en grados para cada punto de sus ejes (horizontal y vertical). Dependiendo de su directividad pueden ser omnidireccionales, bidireccionales o cardioides, como se muestra en la siguiente figura:

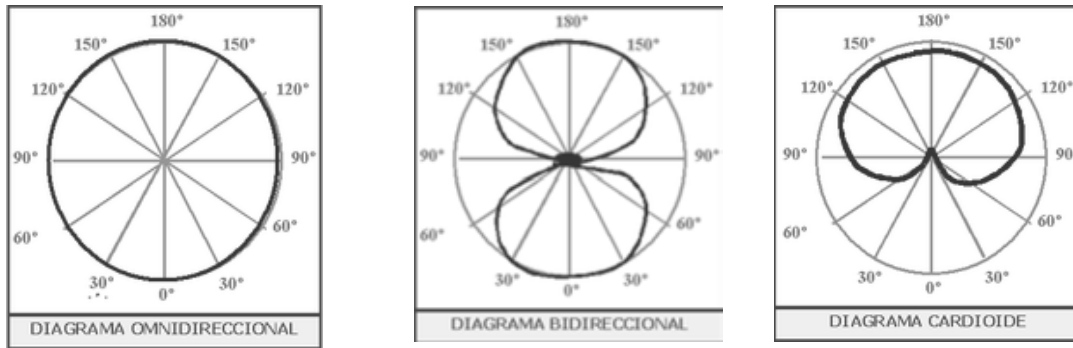


Figura 13. Diagramas polares direccionales de bocinas

2.4 Electrónica

Esta parte se encarga de describir el funcionamiento de los circuitos eléctricos y electrónicos (fuente, amplificadores y termómetro) que se emplearán en la implementación del prototipo.

2.4.1 Fuente de alimentación

El propósito de la fuente de alimentación es proveer de energía a los circuitos electrónicos. Para ello convierte el voltaje de alterna en un voltaje de directa.

La fuente consta de las siguientes etapas (ver también la figura 14):

- 1.- Transformador de entrada;
- 2.- Rectificador a diodos;
- 3.- Filtro para el rizado;
- 4.- Regulador (opcional pero deseable).



Figura 14. Diagrama a bloques de una fuente de alimentación

1.- El transformador de entrada reduce la tensión de red de 120 [V] a otra tensión más adecuada para ser tratada y sólo trabaja con corriente alterna. Tiene dos embobinados independientes en un mismo núcleo y la energía eléctrica se transmite en forma de energía magnética.

2.- El puente de diodos es el que se encarga de convertir el voltaje de alterna que sale del transformador en voltaje continuo. Después de esta etapa sigue siendo necesario un filtro o capacitor para estabilizar la salida. Este tipo de rectificadores se venden con los cuatro diodos listos en un solo componente. Tienen cuatro terminales: Dos (~) para las entradas en alterna, una (+) para la salida positiva y una (-) para la salida negativa. Tratándose de diodos, estos tienen una caída de voltaje de entre 0.7 y 1 [V] por diodo, dependiendo de la corriente que estén conduciendo.

3.- Capacitor de rizo (filtrado): La función de este capacitor es estabilizar el voltaje a la salida. Debido a que la salida del puente de diodos es una serie de pulsos positivos, el capacitor se carga y descarga de acuerdo a estos pulsos, pero al descargarse nos da un voltaje muy semejante al de directa (como el que produciría una batería). Después de esto nos que da un pequeño rizado originado por la carga y descarga del capacitor. Se recomienda diseñar con un 10% de rizo.

4.- El regulador es un circuito que se encarga de reducir el rizo y de proporcionar un voltaje de salida lo más cercano posible al que necesitamos.

Los reguladores integrados de tres terminales son los más sencillos y baratos que hay y en la mayoría de los casos son la mejor opción.

2.4.2 Amplificadores

El objetivo principal en la mayoría de los amplificadores es “acondicionar” una señal eléctrica mediante el incremento de voltaje o corriente para que dicha señal pueda ser tratada o manipulada de modo conveniente.

En el caso de las señales eléctricas de audio, es necesario aumentar la potencia (voltaje y corriente) para que puedan ser captadas por el oído o por algún otro dispositivo (por ejemplo, un micrófono). La mayor parte de los amplificadores actuales se basa en circuitos integrados o transistores.

La eficiencia en la manufactura de estos circuitos ha hecho que se pueda acceder a amplificadores de gran potencia a precios muy bajos¹³.

¹³ Pérez Miñana José, Compendio práctico de Acústica. Editorial Labor. Barcelona España 1969 p. 140

2.4.2.1 Amplificador Operacional

Es un dispositivo que amplifica la diferencia de voltaje en sus dos entradas, con una ganancia alta, una impedancia de entrada muy alta y una baja impedancia de salida.

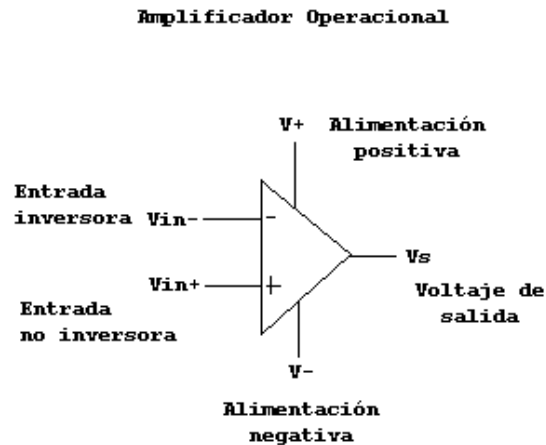


Figura 15. Amplificador operacional

El amplificador operacional como se muestra en la figura 15, tiene 2 entradas; la inversora (-) y la no inversora (+) y tiene una salida V_s . Este tipo de amplificadores se alimentan por lo general con una fuente de voltaje simétrico que puede ser desde ± 5 [V] a ± 15 [V], dependiendo del modelo y la aplicación que se requiera.

También es posible alimentarlos con una sola fuente pero solo algunos modelos cuentan con esta característica.

El amplificador operacional puede utilizarse en diferentes configuraciones. Una de las más comunes se muestra en la siguiente figura.

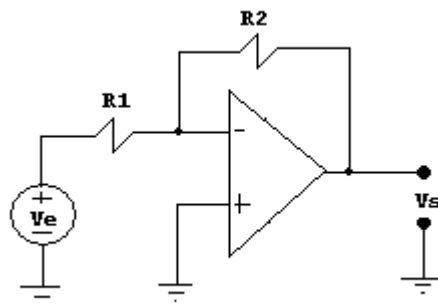


Figura 16. Configuración Inversora del amplificador operacional

La señal de salida V_s es igual en forma a la señal de entrada V_e , pero invertida, (puede o no ser también igual en magnitud).

El amplificador se conecta como se muestra en la figura 16, donde tenemos una resistencia R_1 conectada entre la entrada de la señal V_e y la entrada inversora (-) del amplificador y una resistencia R_2 conectada entre la salida del amplificador V_s y la entrada inversora (-). La entrada no inversora (+) se conecta a tierra en el caso de que el amplificador esté alimentado con una sola fuente.

La ganancia del amplificador A_v depende de los valores de las resistencias R_1 y R_2 y está dada por la fórmula:

$$A_v = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{Ec. (32)}$$

Las corrientes de entrada y salida son:

$$I_e = \frac{V_e}{R_1} \quad \text{Ec.(33)}$$

I_e es la corriente de entrada

$$I_s = \frac{V_s}{R_2} \quad \text{Ec.(34)}$$

I_s es la corriente de salida

La impedancia de entrada será igual a R_1 , debido a que la entrada no inversora está puesta a tierra.

Otras propiedades del amplificador inversor ideal son:

- La ganancia se puede variar ajustando R_1 ó R_2 .
- Si R_2 varía de cero hasta infinito, la ganancia variará también desde cero hasta infinito debido a que es directamente proporcional a R_2 .
- La impedancia de entrada Z_e es igual a R_1 .
- V_e y R_1 terminan la corriente I_e , por lo que la corriente que circula por R_2 es siempre I_e , para cualquier valor de R_2 .

2.4.2.2 Topologías de amplificadores

Un amplificador de potencia es aquel cuya etapa de salida se ha diseñado para que sea capaz de generar unos rangos de tensión e intensidad más amplios de forma que tenga capacidad de transferir a la carga la potencia que se requiere.

Los amplificadores de potencia, tienen la particularidad de que en su salida tenemos ganancia de tensión y de corriente con respecto a la señal de entrada. Este tipo de amplificadores pueden entregarnos en su salida toda la señal de entrada o una parte de la misma; atendiendo a esta característica, los amplificadores de potencia, podemos clasificarlos de la siguiente forma, ver también la figura 17:

- **Amplificadores de clase A:** Un amplificador de potencia funciona en clase A cuando la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante todo el período de la señal de entrada.
- **Amplificadores de clase B:** Un amplificador de potencia funciona en clase B cuando la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante un semiperíodo de la señal de entrada.
- **Amplificadores de clase AB:** Son, por así decirlo, una mezcla de los dos anteriores, un amplificador de potencia funciona en clase AB cuando la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante menos de un período y más de un semiperíodo de la señal de entrada.
- **Amplificadores de clase C:** Un amplificador de potencia funciona en clase C cuando la tensión de polarización y la amplitud máxima de la señal de entrada poseen valores tales que hacen que la corriente de salida circule durante menos de un semiperíodo de la señal de entrada.

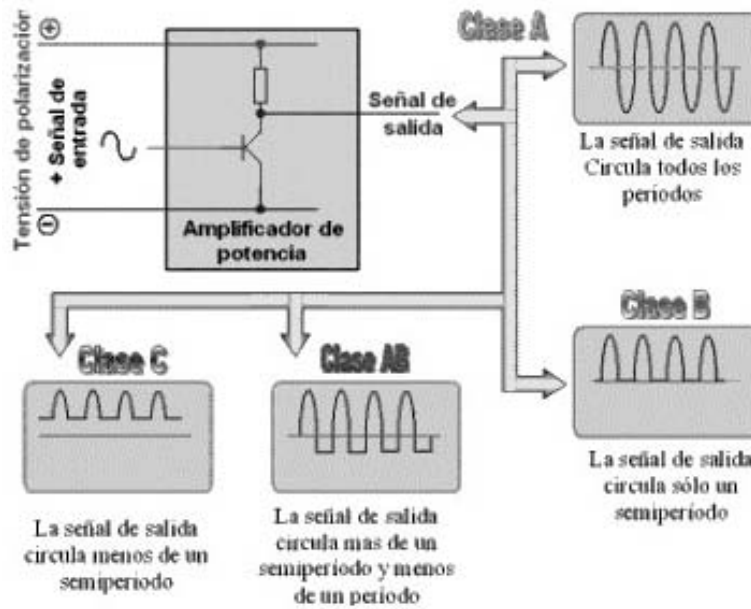


Figura 17. Clasificación de los amplificadores de potencia

2.4.3 Temperatura y el Termómetro digital

La temperatura es un concepto no definido a ún sin embargo, *se dice que dos cuerpos están en igualdad de temperatura si no presentan cambios en ninguna propiedad observable cuando están en comunicación térmica.*¹⁴

Debido a esta propiedad, solo podemos percibir los cambios en la temperatura si queremos verla como un intercambio de calor que va de un cuerpo a otro. Por ello se hace necesario el uso de algún instrumento que nos permita “identificar cuantitativamente” ese cambio.

Esta situación dio origen a la creación del termómetro, que utilizando alguna propiedad de los materiales (volumen, resistencia eléctrica, etc.) expresa “cambios observables y cuantificables”.

Existen diferentes clases de termómetros y escalas, pues hay cierta relatividad en cuanto a lo que es un grado, pero de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades, la escala aceptada para la medición de la temperatura es la Kelvin. La escala Celsius es un subconjunto de dicha escala.

¹⁴ Van Wylen Gordon, Fundamentos de Termodinámica, Primera edición. Editorial.Limusa Méx. 1979. p. 57

Entre los diferentes tipos de termómetros tenemos a los de mercurio, que aprovechan la propiedad de dilatación de volumen, el termopar, que utiliza los diferentes coeficientes de dilatación también de los metales (extensión o contracción lineal) o los de resistencia eléctrica (variación de la resistencia de acuerdo a la temperatura).

La presentación de la “lectura” de temperatura puede ser analógica (carátula y aguja) o digital, siendo esta última más confiable, pues “evita” el error debido a la apreciación de la persona que mide y a la resolución de la escala en la carátula.

El termómetro digital es un dispositivo que utiliza dos circuitos integrados, uno para sensor la temperatura y el otro para convertir el voltaje analógico obtenido del sensor en una señal digital cuyo propósito es operar un display de cristal líquido que muestra el valor de la temperatura ambiente en grados Celsius, ver figura.

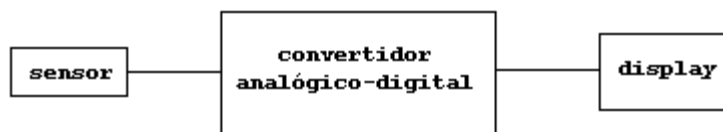


Figura 18. Esquema del termómetro digital

El sensor al ser alimentado por un voltaje de referencia genera una tensión de salida que es linealmente proporcional a la temperatura en grados Celsius con exactitudes de entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de grado.

El convertidor analógico digital es un circuito integrado que cumple varias funciones:

Primero alimenta al sensor y recibe el voltaje correspondiente al incremento o descenso de temperatura. Luego toma muestras cada determinado intervalo de tiempo del valor del voltaje del sensor. Transforma este voltaje en un conteo y lo almacena, después lo envía como una serie de pulsos al controlador del display que está incluido dentro del mismo circuito integrado. El controlador se encarga de generar la señal de operación del display y de decodificar el conteo del convertidor, para que se puedan ver los dígitos correspondientes al valor de la temperatura en la pantalla del display como una cifra con unidades, decenas y un valor decimal.

2.5 Instrumentación virtual

La instrumentación virtual es una herramienta que permite realizar pruebas, control y diseño mediante el uso de interfaces y programación gráfica.

Los programas desarrollados de esta manera se llaman Instrumentos Virtuales, y su origen es el control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a la programación embebida. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de diversas aplicaciones (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. Algunos lenguajes de programación para instrumentación virtual permiten la combinación con diversos tipos de software y hardware, tarjetas de adquisición de datos e instrumentos tanto del propio fabricante, como también con el hardware de otras marcas.

La principal característica de la instrumentación virtual es la facilidad de uso, válida para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación. Se pueden hacer programas (instrumentos) relativamente complejos, imposibles para principiantes con lenguajes tradicionales. También es muy rápido hacer programas y cualquier programador, por experimentado que sea, puede beneficiarse de los beneficios de la instrumentación virtual. Con los *softwares* (plataformas de programación) pueden crearse programas de miles de subprogramas para aplicaciones complejas, programas de automatizaciones de decenas de miles de puntos de entradas/salidas, proyectos para combinar nuevos instrumentos con los ya creados, etc. Incluso existen buenas prácticas de programación para optimizar el rendimiento y la calidad de los programas. La programación se hace a través de módulos personalizables mediante cableado y funciones que son elementos fundamentales de operación en estos lenguajes.

La mayoría de los lenguajes de programación para instrumentación virtual utilizan herramientas gráficas de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se facilita al usuario la creación del proyecto, con lo cual en vez de utilizar una gran cantidad de tiempo en programar un dispositivo/bloque, se le permite invertir más tiempo en la interfaz gráfica y su interacción con el usuario final.

3. Implementación del prototipo

En esta parte describiremos la forma de construir el prototipo y las características con las que contará, cuáles son las funciones que cada subsistema debe cumplir y la forma de conjuntarlos.

3.1 Tubo acústico

El tubo acústico nos servirá para conducir y aislar las ondas sonoras que provienen de la computadora y que se perciben a través de la bocina. De esta manera reducimos las interferencias de l medio sobre l a onda . Además de que al ser de s ección pequeña comparada con su longitud (1 a 10) se considera que las ondas que viajan a través de él son planas, esta consideración simplifica enormemente el tratamiento del sonido, pues pasa de una onda esférica en tres dimensiones, a una onda plana de una sola dimensión.

Existen experimentos anteriores en los cuales se utiliza un tubo similar, por ejemplo en el tubo de Kundt, pero la diferencia se centra en el hecho de que dicho tubo está cerrado por ambos extremos y convierte a la onda que proviene de la bocina en una onda estacionaria, utiliza además una especie de polvo fino (polvo de corcho o talco) para crear una huella de la onda y determinar de esta manera su longitud.

En nuestro caso, el tubo estará abierto por un extremo y en el otro lado estará la bocina, de manera que el micrófono se desplazará por el lado abierto. Se generará de este modo una onda viajera y es la que percibiremos a través del micrófono.

Para el caso de la resonancia puede también obstruirse el extremo contrario y generar una onda cuya frecuencia cumpla¹⁵:

$$f = \frac{c}{4L} \quad (\text{Tubo cerrado por ambos extremos}) \quad \text{Ec. (35)}$$

O en su defecto, mantener un extremo abierto y entonces se debe cumplir:

$$f = \frac{c}{2L} \quad (\text{Tubo abierto en un extremo}) \quad \text{Ec.(36)}$$

¹⁵ Pérez Miñana José, Compendio práctico de Acústica. Editorial Labor. Barcelona España 1969. p. 115

3.1.1 Parámetros del tubo acústico

Diámetro, longitud y pared

En la construcción de nuestro prototipo utilizamos un tubo de acrílico, pudiendo ser también de PVC como en algunos experimentos, pero aprovecharemos que la pared de acrílico es de mayor espesor [3 mm] y más resistente, aunque el prototipo no esté sometido a grandes esfuerzos (salvo en la resonancia) es conveniente que tenga una buena resistencia mecánica.

Para la selección del tubo debemos tener en cuenta el rango de frecuencias que vamos a utilizar. Si nuestro objetivo es medir la velocidad de los sonidos y como el espectro audible va de aproximadamente 20 a 20 000 [kHz] debemos seleccionar sólo una parte del rango pues necesitaríamos dos tubos para abarcar todo el espectro.

Para bajas frecuencias tenemos que la longitud de onda es muy grande, por ello necesitaríamos que el tubo fuera bastante largo (en el caso más crítico de 20 [Hz] necesitaríamos uno con una longitud de 2.125 [m] como mínimo) pero esto haría que el prototipo fuera difícil de almacenar y maniobrar además de que para nuestros fines no es necesario registrar todas las frecuencias, pues la velocidad de propagación del sonido no es función de la frecuencia¹⁶.

De acuerdo a los valores comerciales de los diámetros de tubo de acrílico y los diámetros de bocinas, seleccionamos el valor de 4 pulgadas (0.1 [m]). Dado que la longitud del tubo debe ser por lo menos 10 veces el diámetro, utilizamos un tubo de 1[m] de longitud.

De acuerdo al criterio de la siguiente ecuación, el diámetro del tubo debe ser mucho menor que la longitud de onda que deseamos conocer¹⁷:

$$a \leq \frac{\lambda}{1.71} \quad \text{Ec. (37)}$$

a: diámetro del tubo

Con el tubo de 0.1 [m] de diámetro y 1 [m] de longitud podemos trabajar un rango de frecuencias que va desde los 200 hasta los 2000 [Hz]. Para frecuencias superiores a los 2000 Hz tendríamos que utilizar un tubo de menor diámetro y longitud. Al aumentar la frecuencia disminuye la longitud de onda y eso haría que las distancias a registrarse fueran muy pequeñas, del orden de algunos centímetros.

¹⁶ Roising Thomas. Springer Handbook of Acoustics. Edit. Springer New York. U.S.A. 2007. p. 143

¹⁷ Estimación de la velocidad del sonido en el aire, Universidad de Sevilla p.4

3.1.2 Diseño

El tubo acústico se diseñó de acuerdo al siguiente esquema:

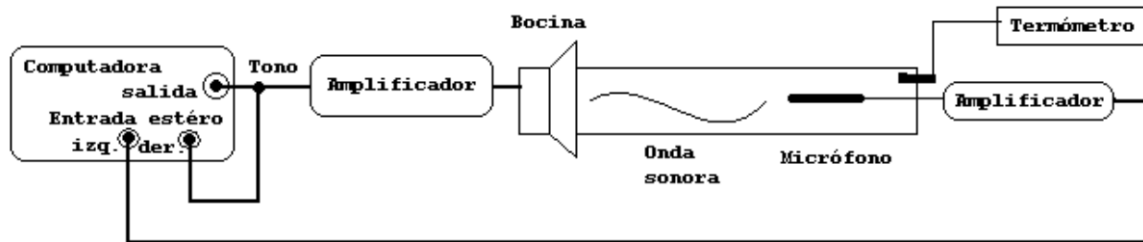


Figura 19. Esquema del tubo acústico

El diseño está basado en el Tubo de Kundt, con la diferencia de que no se tiene una membrana sujeta a un pistón de frecuencia fija ni está cerrado completamente el tubo, no se produce una onda estacionaria pues la medición de la longitud de onda se hará a partir del desplazamiento del micrófono dentro del tubo y no de la “huella” dejada por el talco en el Experimento de Kundt.

La interfase en la computadora (que incluye las figuras de Lissajous, una representación en tiempo y unos indicadores de fase) nos permitirá de terminar cuando el micrófono se haya desplazado el equivalente a media longitud de onda del tono que estamos enviando.

En el diseño del prototipo se contemplan las siguientes etapas, ver también la figura:

- Generación de la onda conocida (tono)
- Amplificación de potencia y salida hacia el interior del tubo
- Recepción de la onda a través del micrófono
- Amplificación de la onda captada y retorno para proceso
- Visualización de la onda
- Medición del desplazamiento del micrófono
- Sensado de la temperatura

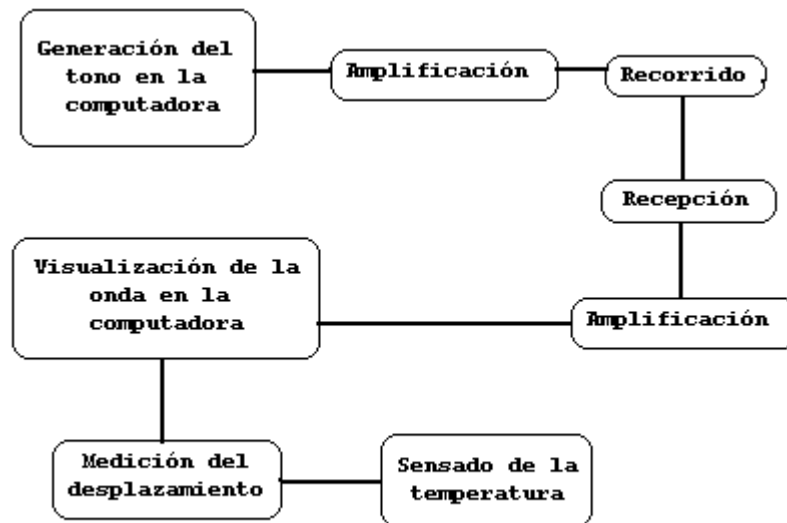


Figura 20. Etapas de operación del prototipo

- a) En la etapa de generación de onda, se requiere un tono, esto es, una señal senoidal de frecuencia fija y previamente determinada que debe generarse en la computadora y que será enviada a través de un canal en la salida estéreo de la tarjeta de sonido de la misma computadora. Esta salida tendrá aproximadamente entre 500 [mV] y 1[V].
- b) En la etapa de amplificación de potencia se le dará a la señal el voltaje y la corriente necesarios para que pueda salir por la bocina, viajar a través del tubo y captarse en el micrófono, procurando que la amplificación sea lo más nítida posible.
- c) En la etapa de recepción en el micrófono tendremos una onda con un desfase respecto a la que proviene de la bocina, el micrófono deberá ser lo suficientemente pequeño para que se pueda desplazar en el interior del tubo sin tocarlo y captar la señal con el menor ruido posible.
- d) La segunda etapa de amplificación correspondiente al micrófono será capaz de darle el voltaje necesario a la señal recibida de manera que pueda regresar a la computadora por un canal de su entrada estéreo para el procesamiento.
- e) Una vez que la señal captada por el micrófono ya se encuentra en la computadora, se procesará mediante el programa de cómputo expresamente construido para que la onda generada dentro de la misma computadora y la onda recibida por el micrófono puedan ser visualizadas y comparadas.
- f) Cuando ya se hayan comparado las ondas de salida y entrada, será necesario realizar una medición, en nuestro trabajo esta medición se hará con una regla con resolución en milímetros, pero de forma adicional se propone un sistema teórico mediante el cual podría hacerse esta medición de manera automática.

- g) Una vez conocida la longitud de onda se será necesario registrar también la temperatura a la cual se realizó el experimento, esto debido a que la velocidad del sonido es función de la temperatura, este valor se podrá conocer con el termómetro digital implementado en el prototipo para este fin.

3.1.3 Construcción

De acuerdo al diseño del tubo acústico (variación de l tubo de Kundt) para su construcción se requiere de:

- Un soporte general. En este caso es una tabla que sujeta el tubo, los amplificadores, a la bocina y la caja de control. Su principal finalidad es que no existan “piezas sueltas” que generen errores o pérdidas.
- Un tubo de acrílico de 0.1 [m] de diámetro, 1[m] de longitud y 3 [mm] de espesor.
- Una bocina de 0.1 [m] de diámetro con la potencia e impedancia adecuados para el amplificador.
- Un amplificador de potencia capaz de alimentar a la bocina para que ésta transmita los tonos que deseamos estudiar a través del tubo y que el micrófono los pueda captar. Debe ser además regulable en cuanto a la amplitud, pues se desea que sólo el micrófono capte el sonido, ya que un tono “puro” provoca una sensación desagradable al oído y a la larga ocasiona fatiga auditiva.
- Un preamplificador de micrófono. Este deberá ser capaz de dotar del voltaje necesario a la señal que percibe el micrófono para que la computadora pueda comparar el tono generado y el tono recibido, a su vez, se pretende también que ambas ondas tengan la misma amplitud para que las figuras de Lissajous se aprecien mejor. Dado que el micrófono se aleja y se acerca a la bocina, este desplazamiento genera una “atenuación” o “crecimiento” de la amplitud por lo tanto, el preamplificador también deberá modificar la amplitud de la señal que proviene del micrófono.
- Un micrófono de tipo electret, para que pueda desplazarse en el interior del tubo sin problemas, con su respectiva guía y su cable de conexión.
- Un termómetro. Para conocer el valor de la temperatura del ambiente en el que estamos llevando a cabo el experimento. Esto es importante pues variaciones de cinco a diez grados hacen una diferencia considerable en el valor de la velocidad del sonido.

Se desea que el prototipo no sea muy voluminoso, pues en experimentos previos, se observó que si el tubo es demasiado largo (2 [m] o más) se hace complicado su almacenamiento e incluso su operación pues se requieren lugares abiertos y el prototipo

está pensado para operarse dentro de laboratorios cerrados cuyas dimensiones no son tan extensas.

El prototipo, que se muestra en figura 21, debe contar con una caja de control que contenga todos los circuitos para que estos se protejan y que permita al usuario un fácil manejo del experimento.

De esta caja también parten los cables de conexión con la computadora. Esta comunicación se hará a través de la tarjeta de sonido de la propia computadora por el canal *line in* (estéreo). En un canal se envía el tono que reproduce el amplificador y en el otro, el tono que se recibe en el micrófono.



Figura 21. Vista lateral del prototipo

El tubo acústico se montó sobre una base de madera de 2.5 [cm] de espesor y 1.80 [m] de longitud, con dos soportes para el tubo y dos para la guía del micrófono. En el primer soporte se montó la bocina y se selló completamente dentro de una caja para evitar pérdidas. En el segundo soporte se montó el sensor del termómetro. (Ver figura 22)

Sujeta a la base de madera va también la caja de control, en ella se encuentran los dos amplificadores con sus controles de volumen, sus entradas, sus salidas y el termómetro digital.



Figura 21a. Prototipo (Variación del tubo de Kundt)

La guía del micrófono es de tubo galvanizado y permite el desplazamiento del micrófono dentro del tubo de acrílico a través de los soportes auxiliares.



Figura 22. Vista frontal de los soportes del tubo

3.2 Alimentación

Para operar los amplificadores y el termómetro digital es necesaria una fuente que nos proporcione el voltaje y la corriente que necesitamos en cada uno de los circuitos.

Debido a que para construir una fuente simétrica se requiere una mayor cantidad de circuitos y considerando que el primer amplificador no requiere de mucha potencia, decidimos implementar una fuente de voltaje positivo con una corriente máxima de 1 [A].

Esta fuente será pequeña y se diseñará de forma que proporcione la potencia que cada uno de los circuitos requiere.

3.2.1 Requerimientos

De acuerdo a las especificaciones de gran número de amplificadores comerciales, estos se diseñan para operar con voltajes positivos de al menos 12 [V] o simétricos de ± 6 [V], llegando incluso a alimentaciones de hasta 32 [V].

Decidimos implementar en nuestro prototipo el amplificador comercial TDA 2030 que requiere una alimentación de al menos 12 [V].

También emplearemos un circuito para preamplificar la señal que proviene del micrófono y cuya alimentación puede ser desde 8 hasta 12 [V], utilizaremos este último voltaje por practicidad.

El termómetro requiere de 9 [V] para su operación, a sí que empleando el mismo voltaje de la fuente (12[V]) podemos reducir hasta 9 [V] para que el termómetro opere adecuadamente.

Como el único circuito que demandaría una corriente importante es el amplificador de potencia y de acuerdo a sus especificaciones, la corriente demandada estará por debajo de 1[A].

3.2.2 Diseño

De acuerdo a las especificaciones del TDA 2030 para una alimentación de 12 [V] y una bocina de 8 [Ω] se espera un consumo de corriente de 500 [mA] en promedio por lo que la fuente deberá entregar 12 [V] y al menos 500 [mA]. Deseamos obtener también un rizo del 10%, contamos con un transformador de 12 [V] a 1 [A].

Para determinar el valor del capacitor de la fuente usamos la siguiente fórmula:

$$C = \frac{5I}{fV_{\max}} \quad \text{Ec.(38)}$$

C: capacitor de la fuente;

f: frecuencia;

I: corriente;

V_{\max} = Voltaje máximo

$$V_{\max} = V_i * 1.4142$$

$$V_i = 12 \text{ [V]}$$

$$V_{\max} = 12(1.4142) = 16.97 \text{ [V]}$$

$$C = \frac{5(0.5)}{60(16.97)} = 0.002455$$

$$\underline{C = 2\ 455 \text{ [}\mu\text{F]}}$$

Ec. (38a)

3.2.3 Implementación

La fuente será implementada de acuerdo al siguiente diagrama:

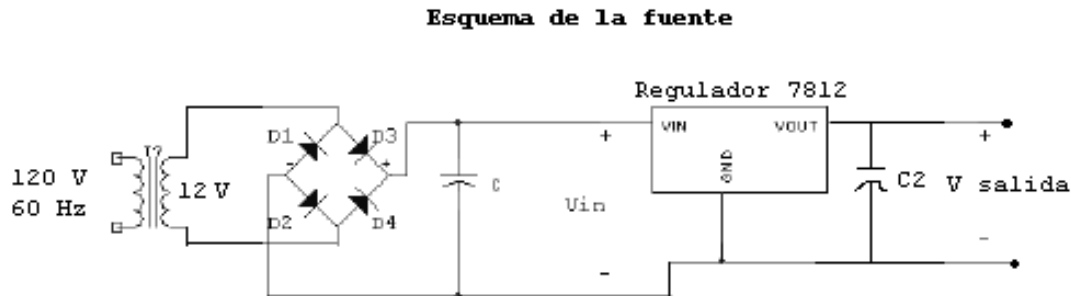


Figura 23. Diagrama de la fuente de voltaje

Para su construcción usaremos lo siguiente:

- 1 puente de diodos de 1 [A]
- 1 transformador de 120 a 12 [V] a 1 [A]
- 1 regulador de la serie 7812
- 1 capacitor de 2700 [μ F]
- 1 capacitor de 0.1 [μ F]

Primero se arma el circuito en la tableta de prueba, se verifica que provea los 12 [V] que se requieren y se le conecta una resistencia de 8 [Ω] para tratar de que dé más de 500 [mA] de corriente.

Una vez que supera las pruebas de voltaje y corriente está lista para ser implementada en el circuito impreso.

3.3 Amplificador de potencia

Como se mencionó anteriormente, emplearemos un amplificador comercial de circuito integrado que nos proporcionará la potencia suficiente para que la onda sonora pueda viajar por el tubo y sea percibida por el micrófono.

El TDA2030 es un amplificador capaz de suministrar hasta 14 [W] dependiendo de la alimentación y la bocina que se emplee. La configuración que nosotros aplicaremos

(alimentación positiva únicamente y un a bocina de 8 Ω) se especifica en la nota de aplicación del mismo circuito, ver la figura 24.

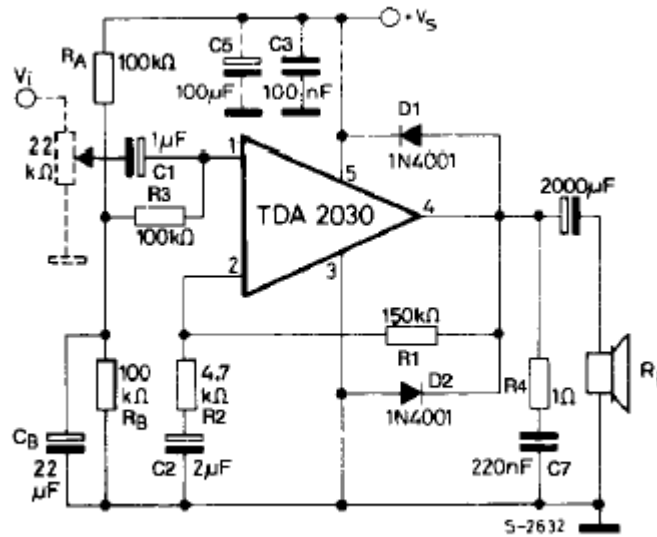


Figura 24. Diagrama del amplificador TDA2030

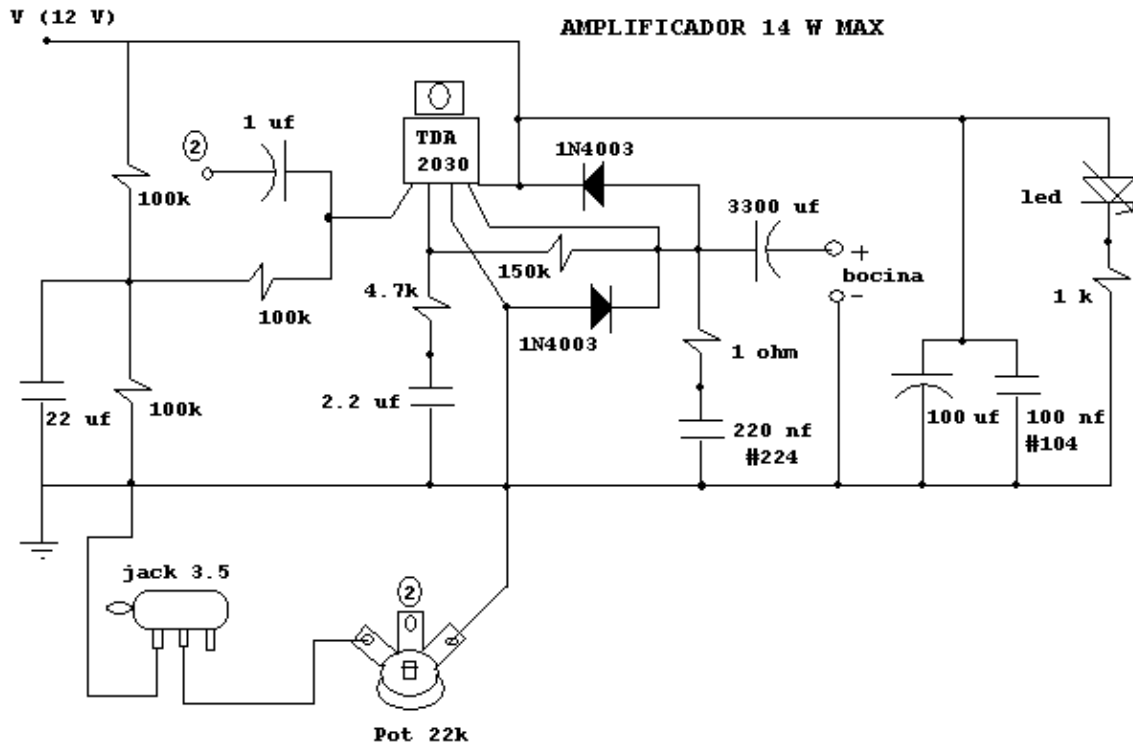


Figura 25. Diagrama del amplificador implementado

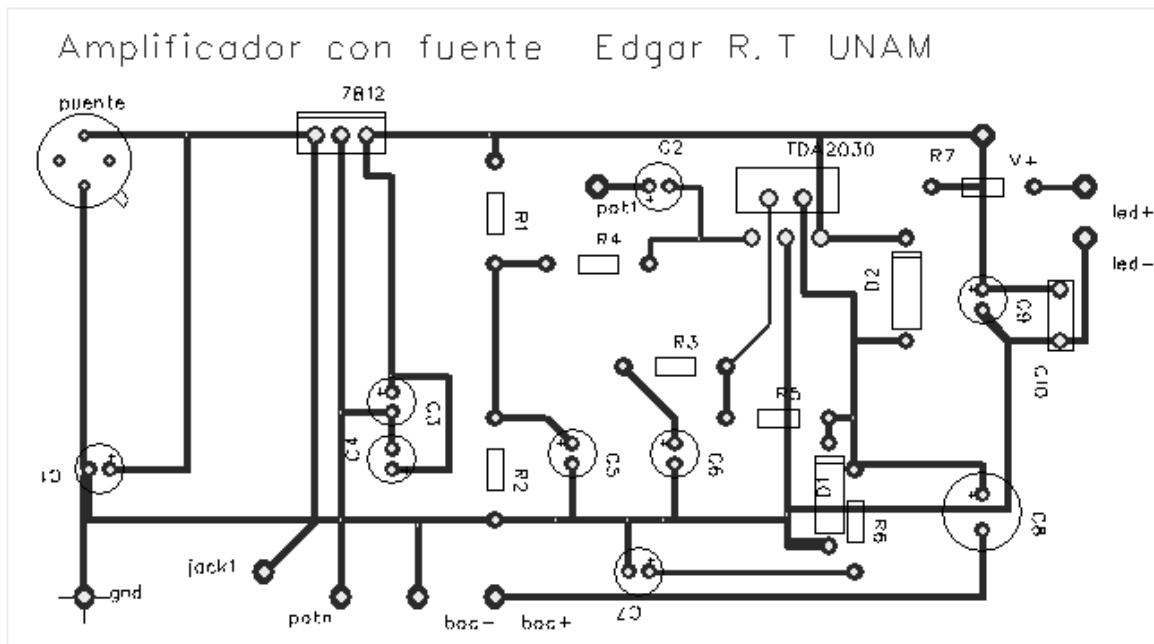


Figura 26. Circuito impreso de fuente con amplificador

El amplificador es monoaural, de tal manera que solamente maneja un canal, como la señal que proviene de la computadora también lo es, a la salida del amplificador solamente tenemos una señal.

El amplificador TDA2030 cuenta también con un control de volumen, este nos servirá para regular la amplitud de la onda que vija por el tubo para que no se sature ni se distorsione y pueda ser captada por el micrófono.

El circuito se muestra en la figura 25 y el impreso de la tableta fenólica se muestra en la figura 26.

3.3.1 Potencia de operación

De acuerdo con las especificaciones de la bocina:

Potencia máxima: 50 [W]

Impedancia: 8 [Ω]

Respuesta en frecuencia: 20 a 25000 [Hz]

Sensibilidad: 1 [W] / 1 [m]: 89 [dB]

De la Ec. (19) $P = I^2 Z$

$$I = \sqrt{\frac{P}{Z}} \qquad \underline{I_T = 2.5 A} \qquad \text{Ec (19a)}$$

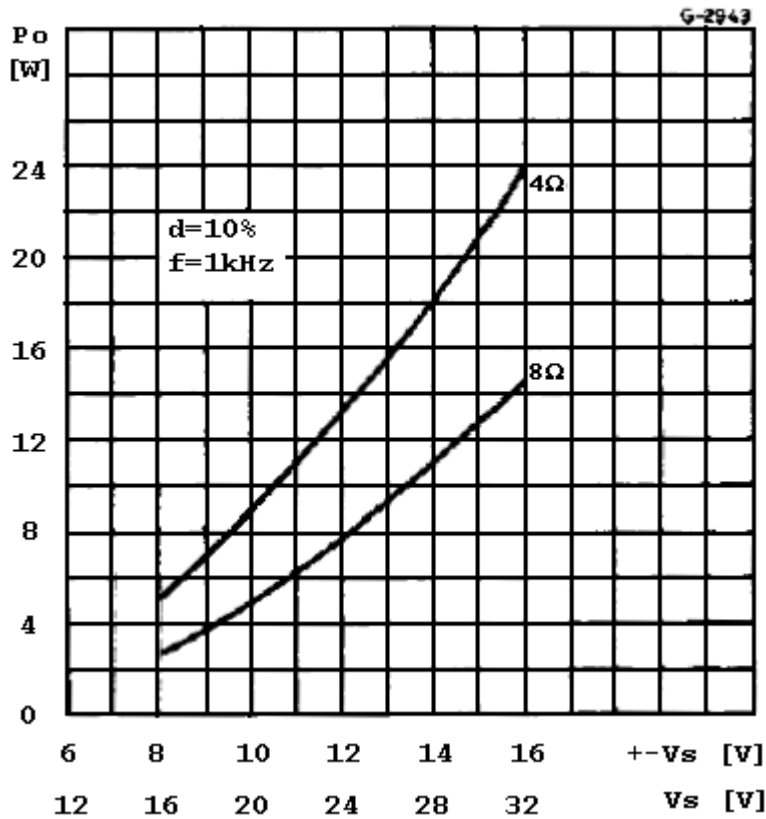


Figura 27. Potencia de salida vs. Voltaje de alimentación TDA2030

Esta es la corriente teórica que el bobina puede soportar. Pero de acuerdo a la especificación del TDA2030, tratándose de una bocina de 8 [Ω] y con una alimentación de 12 [V] tendríamos alrededor de 2 [W] de potencia (ver figura 27).

Con esta nueva potencia práctica del amplificador:

$$I = \sqrt{\frac{2[W]}{8[\Omega]}} = 500[mA] \qquad \text{Ec (19b)}$$

Este valor está por debajo de la corriente que puede suministrar la fuente (1 [A] máx) de modo que el amplificador y la bocina operarán sin problemas y sin riesgo de quemarse.

3.4 Preamplificador para el micrófono

El preamplificador nos va a servir para darle el voltaje suficiente a la señal que proviene del micrófono y que la interfaz pueda procesarla. Debido a que al desplazarse el micrófono dentro del tubo existe una variación en la amplitud de la onda, el preamplificador debe ser capaz de compensar esa variación de modo que la onda que capta el micrófono tenga la misma amplitud que la señal que se envía por la bocina.

3.4.1 Diseño del preamplificador

En otros experimentos previos, se utilizaron micrófonos de medición comerciales. Pero en nuestro caso, deseamos que todo el equipo de medición sea barato y de ser posible propio. Entonces nos dimos a la tarea de implementar un preamplificador para micrófono.

En el caso del micrófono utilizamos un *electret*, debido en gran parte a su bajo costo y fácil operación, como es de suponerse, este micrófono tiene también cierta esperanza de vida, de modo que en algún momento (algunas décadas) será necesario cambiarlo. Otra ventaja del *electret* es que por su tamaño puede deslizarse fácilmente en el interior del tubo, también registra un buen rango de frecuencias (50 a 15000 [Hz]), adecuado para nuestros fines si consideramos que nuestro rango estimado de trabajo es de entre 200 y 2000 [Hz].

Como la señal que proviene directamente del micrófono es débil, será necesario preamplificarla para que la computadora pueda leerla y procesarla. Una opción podría ser mandar la señal del *electret* directamente a la computadora por la entrada de micrófono, pues las tarjetas de sonido de las computadoras cuentan con un preamplificador, sin embargo, nos conviene mandar ambas señales (micrófono y bocina) por la línea estéreo de la entrada *line in* (cualquier computadora cuenta con una) para procesarlas. De este modo, en lugar de usar dos entradas distintas utilizando sólo un canal por entrada, utilizamos una sola entrada con sus dos canales (izquierdo y derecho).

Por supuesto que, al variar la posición del micrófono dentro del tubo, mientras más alejado esté el micrófono de la bocina, más débil será la amplitud de la señal que reciba. La amplitud también cambia en función de la posición del micrófono dentro del tubo. Por ello, es necesario *compensar* estas diferencias de amplitud que el micrófono capta y que deben ser mínimas, de modo que las señales recibidas de la bocina y el micrófono tengan la misma magnitud (o lo más cercanas posible), esto ayudará a una mejor visualización en las figuras de Lissajous dentro del programa.

El preamplificador de la computadora puede pensar es necesario salir del programa para cambiar la selección del volumen. Por esta razón, nuestro preamplificador del micrófono debe tener un control de volumen externo e independiente para que pueda ser modificada la amplitud de la señal en cualquier momento sin necesidad de salir de la aplicación del programa.

Para implementar nuestro preamplificador utilizamos un amplificador operacional comercial: el LM833.

Este circuito integrado se comporta como la mayoría de los amplificadores operacionales conocidos (741, TL081), con la diferencia de que al estar diseñado para trabajar con señales de audio, tiene poco ruido y baja distorsión.

Como lo que nos interesa es amplificar únicamente el voltaje de la señal que proviene del micrófono, podemos utilizar el amplificador operacional en una configuración sencilla sin necesidad de aplicarle una etapa de potencia (o ganancia de corriente), lo que además podría dar como resultado que se quemara la tarjeta de sonido de la computadora.

Entre las múltiples configuraciones del amplificador operacional, utilizaremos la de amplificador inversor, por su sencillez y utilidad.

Es cierto que en esta configuración, existe un desfase entre la señal recibida a la entrada y la señal de salida, para ser exactos de 180 grados (invertida) por lo que la señal de salida no solo será mayor en voltaje sino que además tendrá un desfase.

En nuestro experimento nos interesa conocer la fase de las señales de la bocina y el micrófono pero a decir verdad, lo que nosotros veremos y distinguiremos será únicamente la diferencia de fase que exista entre la señal del micrófono y de la bocina que se ven en el programa.

Entre la señal o tono que emite la computadora y la que sale por la bocina existe un retardo o diferencia de fase, pues al pasar por el amplificador de potencia, la señal se “atrassa” cierta cantidad de tiempo, dependiendo de las características internas de los elementos del amplificador mismo.

Otra fuente de retraso es el tiempo en el que llega la señal a la computadora y el tiempo que tarda el programa en mostrar dicha señal. Pero al visualizarse en la interfaz de programa, ambas señales quedan compensadas, de tal modo que, cuando en la pantalla de la computadora vemos que las señales están en “fase”, lo están solamente para el programa que las procesa, al recorrer el micrófono hasta la posición de “desfase de 180 grados” las señales se habrán recorrido exactamente 180 grados entre sí respecto a la posición, pues todos los retardos entre los amplificadores siguen siendo los mismos.

3.4.2 Implementación del preamplificador

El circuito del preamplificador es el que se muestra en la figura:

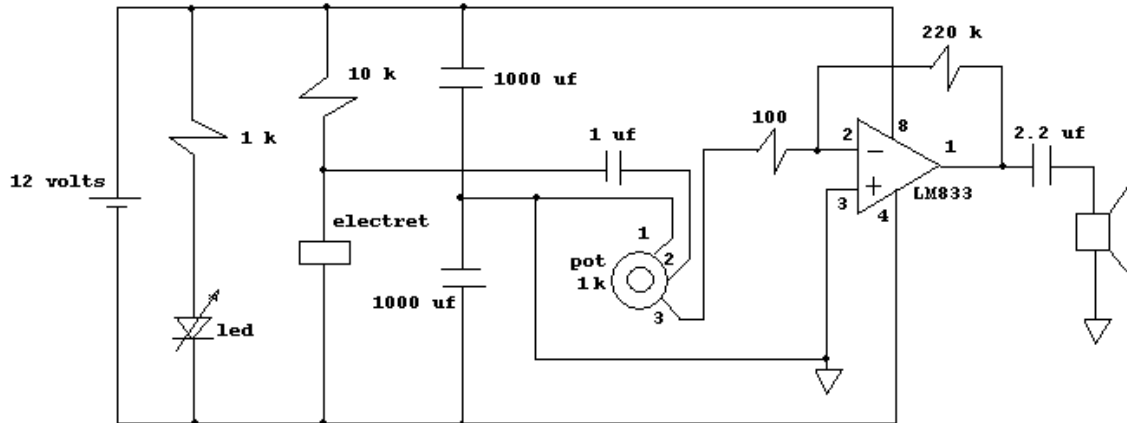


Figura 28. Preamplificador de micrófono

Para alimentar el circuito empleamos la fuente de 12 [V], pero colocamos un arreglo de capacitores en serie, para tener un voltaje positivo y otro negativo, respecto a un punto de referencia neutro. Esto porque el amplificador necesita una alimentación simétrica.

De acuerdo a la Ecuación 32, la ganancia de voltaje A_v sería:

- Para cuando el potenciómetro está en $R = 0 [\Omega]$, $Z = 100 [\Omega]$

$$A_{v_{\max}} = \frac{220000}{100} = 2200 \quad \text{Ec. (32a)}$$

- Para cuando el potenciómetro está en $R = 1000 [\Omega]$, $Z = 1100 [\Omega]$

$$A_{v_{\min}} = \frac{220000}{1100} = 200 \quad \text{Ec. (32b)}$$

Al alimentarlo de 12V colocamos un capacitor de 1 [µF] para eliminar la componente de corriente directa debida a la polarización del micrófono *electret* y a la salida colocamos un capacitor de 2.2 [µF] para eliminar la componente de directa debida a la polarización del amplificador operacional.

Dentro del circuito instalamos un *led* para indicar el funcionamiento del preamplificador.

El electret está polarizado con una resistencia de 10 [kΩ].

De acuerdo a la Ecuación 25, la corriente de salida es directamente proporcional al voltaje de salida e inversamente proporcional a la resistencia R2.

Como V_e depende de la posición del micrófono y de la potencia de la bocina, debemos tener cuidado de no colocar el amplificador a su máxima potencia ni el preamplificador a su máximo nivel para no tener un voltaje de salida de demasiado alto y en consecuencia distorsionado (recortado).

Necesitamos que la salida del preamplificador sea de alrededor de 1 [V] (esto se logra mediante el control de ganancia del preamplificador y la posición del micrófono dentro del tubo), el amplificador recibe como máximo 1 [V] de entrada, por lo que la señal para comparar es también de 1 [V]. Se desea que, para una mejor visualización de las figuras de Lissajous y en general de las ondas en el tiempo y su comparación, las amplitudes sean iguales.

Para un voltaje de salida del preamplificador de 1 [V] tendríamos:

$$I_s = \frac{1[V]}{220[k\Omega]} = 4.5[\mu A] \quad \text{Ec. (25a)}$$

Es una corriente pequeña que no representa riesgo para la tarjeta de sonido de la computadora. (Siempre se buscará mantener el voltaje del preamplificador en 1 [V] aunque podría llegar hasta los 10 [V] sin que esto represente peligro para la tarjeta de sonido.)

3.5 Termómetro digital

3.5.1 Justificación

De entre las muchas formas que podemos medir la temperatura seleccionamos el termómetro digital debido a que elimina los errores de resolución y paralaje y por que tenemos también forma de proveer potencia al circuito adicional del termómetro.

La medición de la temperatura se justifica por el hecho de que la velocidad del sonido cambia de acuerdo a la temperatura del medio donde se propaga.

Si la velocidad del sonido a cero grados es 331.5 [m/s] y realizamos la medición en un ambiente que está a 20 [°C], tendríamos que:

$$\%E = \left| \frac{c_{teo} - c_{exp}}{c_{teo}} \right| \times 100 \quad \text{Ec.(39)}$$

c_{teo} = Velocidad teórica a 0 [°C]= 331.5 [m/s]

c_{exp} = 343.4 [m/s] (en un ambiente a 20 [°C], con el prototipo)

$$\%E = \left| \frac{331.5 - 343.5}{331.5} \right| \times 100 = 3.61 \quad \text{Ec. (39a)}$$

A este error hay que sumarle los que también existen en la apreciación y comparación de las ondas en el tiempo y en la medición de la distancia.

3.5.2 Implementación

Para realizar la medición de la temperatura empleamos el termómetro digital que aparece como nota de aplicación del circuito integrado (C.I) ICL 7106.

El C.I. ICL 7106 es un convertidor analógico digital con salida a *display* líquido que se alimenta con 9 [V].

Esto representa varias ventajas:

- ❑ Al contar con una fuente de 12 [V] podemos reducir hasta 9 [V] mediante un regulador y así alimentar el circuito del termómetro.
- ❑ Como ya cuenta con una salida a decodificador y un controlador para *display* líquido, sólo será necesario conectar el display sin agregar ningún otro circuito adicional.
- ❑ Posee un rango de trabajo de 0 a 200 [mV] o de 0 a 2 [V] por lo que podemos emplear un sensor cuya salida esté dentro de estos rangos.

Para detectar la temperatura emplearemos el C.I LM35 que es un sensor cuya lectura esta dada ya en grados Celsius y que tiene una respuesta (teóricamente lineal) de 10 [mV] por cada grado.

El esquema del termómetro se muestra en la siguiente figura:

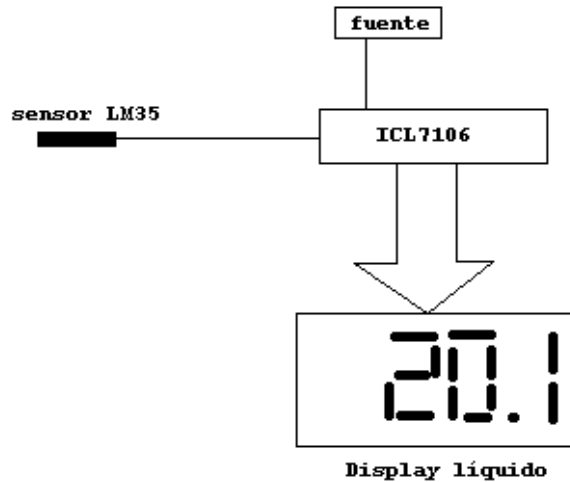


Figura 29. Termómetro digital con ICL7106

Para que el ICL7106 opere como lo de seamos de bemos c onfigurarlo de a cuerdo a lo siguiente:

- Escala de 0 a 2 [V]
- Voltaje de alimentación de 9 [V]

Seguimos la nota de aplicación del mismo C.I. tal como se muestra en la figura 30.

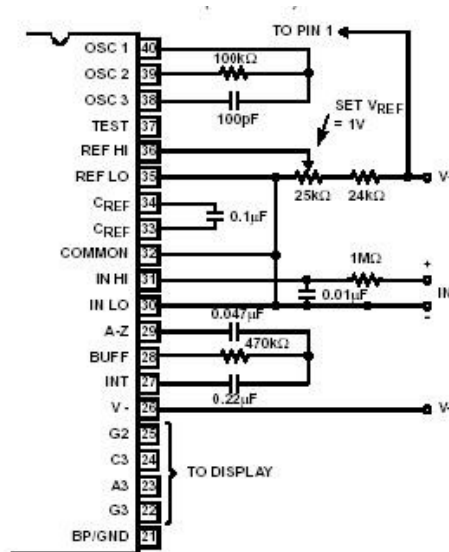


FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2V FULL SCALE

Figura 30. Configuración del ICL7106 de escala 0 a 2 [V]

Después de seguir la recomendación de los valores para configurar el ICL7106, es necesario realizar otros ajustes al circuito para que opere de manera correcta. Se debe reducir la tensión de 12 a 9 [V], polarizar el sensor LM35, colocar el *display* y un *led* para indicar el funcionamiento del circuito.

Las conexiones totales de los circuitos integrados y los valores de los componentes pasivos se muestran en el siguiente diagrama:

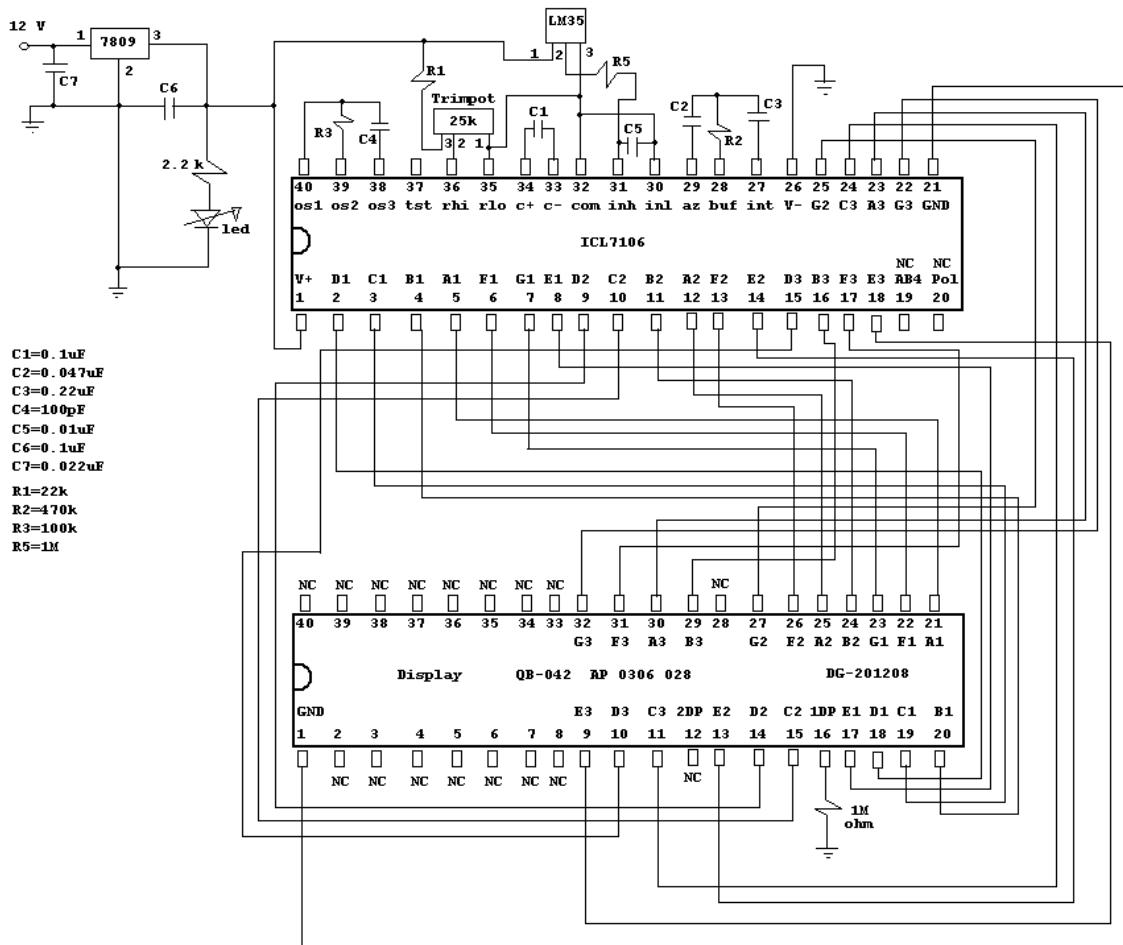


Figura 31. Diagrama del termómetro digital

Después de alambrear el circuito en una tableta de práctica y verificar su funcionamiento de manera general, se procederá a imprimir en tableta fenólica el circuito del termómetro digital.

El circuito impreso mide aproximadamente 10 x 15 [cm], irá dentro de la caja de control y no será manipulable de ningún modo por el usuario. Únicamente se podrá consultar el valor de la temperatura en el display.

3.5.3 Calibración

Los ajustes necesarios se harán después de calcular la sensibilidad del termómetro. Para este fin será necesario hacer una serie de mediciones de temperatura utilizando como termómetro de referencia un termopar.

Para tal efecto, se calentó agua dentro de un recipiente y se colocaron el termómetro digital y el termopar juntos, ver la figura 32.

El termopar se utilizó como instrumento patrón.

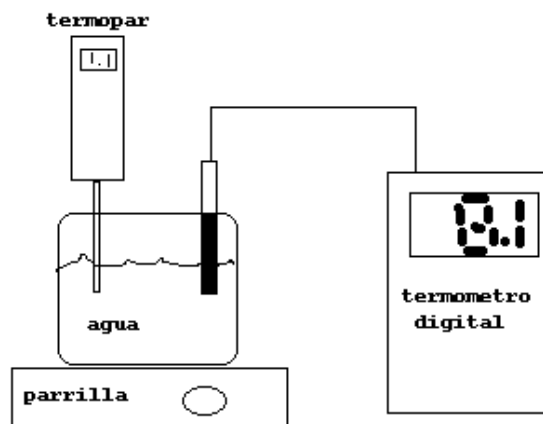


Figura 32. Calibración del termómetro

Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Termopar [°C]	Termómetro digital [°C]
20	20.9
25	25.4
30	30.7
35	35.9
40	40.3
45	46.6
50	50
55	56.4
60	63

Tabla 1. Valores de temperatura obtenidos para la calibración

Utilizando el programa *Matlab*, obtuvimos el modelo matemático del termómetro digital.

El modelo se muestra gráficamente en la figura 33.

```
>> x=[20,25,30,35,40,45,50,55,60]
x =
    20    25    30    35    40    45    50    55    60

>> y=[20.9,25.4,30.7,35.9,40.3,46.6,50,56.4,63]
y =
    20.9000    25.4000    30.7000    35.9000    40.3000    46.6000    50.0000
    56.4000    63.0000

>> p=polyfit(x,y,1)
p =
    1.0357   -0.4044

>> plot(x,y,'ro')

>> X =[20:5:60]
X =
    20    25    30    35    40    45    50    55    60

>> Y = 1.0357*X - 0.4044;
>> hold on
>> plot(X,Y)
```

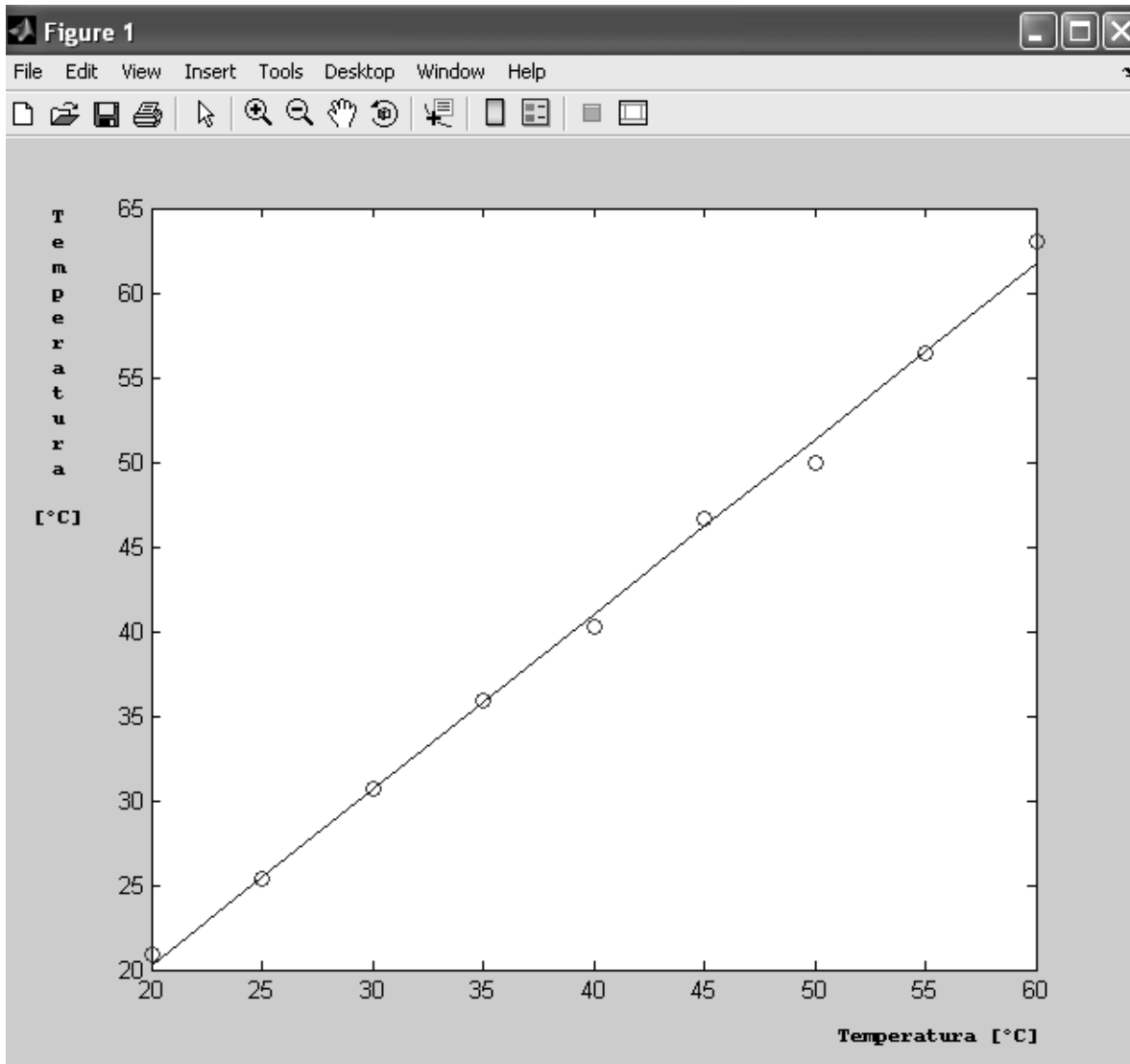



Figura 33. Modelo matemático del termómetro digital.

Para conocer la sensibilidad ideal del termómetro tenemos:

$$S = \frac{\Delta T_{td}}{\Delta T_{tp}} \quad \text{Ec.(40)}$$

S: Sensibilidad

ΔT_{td} : incremento de la temperatura del termómetro digital

ΔT_{tp} : incremento de la temperatura del termopar

Para el rango indicado, la sensibilidad ideal del termómetro digital es:

$$S = \frac{63 - 23.9}{60 - 20} = 0.9775 \quad \text{Ec.(40a)}$$

La sensibilidad real del termómetro digital está dada por el modelo matemático obtenido en Matlab:

$$S = 1.0357 T - 0.4044 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{Ec. (41)}$$

T: Temperatura

Con este modelo calibramos el termómetro digital y registramos la temperatura ambiente.

3.6 Propuesta para la medición de la distancia de manera automática

Para realizar la medición de la longitud de onda en el experimento, medimos directamente sobre la guía, la distancia que el micrófono recorrió dentro del tubo.

De manera adicional, proponemos un sistema para medir la distancia de forma automática, esto es, que en la interfaz de la computadora aparezca directamente la longitud de onda del tono que estamos utilizando.

Para ello, necesitaremos un circuito adicional muy similar al empleado en los ratones de computadora. Este circuito nos dará una(s) señal(es) (tren(es) de pulsos) que enviaremos a la computadora a través de la tarjeta de adquisición de datos de la marca *Texas Instruments*. Ello debido a que el software *LabVIEW* está diseñado para trabajar conjuntamente con las tarjetas de adquisición de datos de su propia marca.

Esta tarjeta es capaz de manejar señales analógicas y digitales por lo que no habría ningún inconveniente en la toma y envío de los datos, además se comunica con la computadora a través del puerto *USB*.

Posteriormente, el software del *LabVIEW* procesará esos datos para dar una medida de la longitud de onda de manera completamente automática.

Podemos también decir, que en este caso, el alumno quizás ya no tendría que hacer mucho, porque al desplazar el micrófono dentro del tubo, el programa daría la longitud de onda y la velocidad del sonido, entonces debido a su gran simplicidad, los alumnos podrían perder interés en el experimento.

Como además, el costo de la tarjeta es algo elevado (alrededor de 4 millones) y su compra es por pedido especial, consideramos que la propuesta no se implementará ya que también es deseable que el prototipo sea independiente de accesorios adicionales.

De cualquier forma, y para complementar el trabajo, exponemos la manera en que esta medición se haría automáticamente. Se pretende que al desplazar el micrófono dentro del tubo, se genere una señal que la computadora pueda procesar.

3.6.1 Diseño del sistema para medir la distancia de manera automática

Proponemos el siguiente esquema (no se implementó en el prototipo).

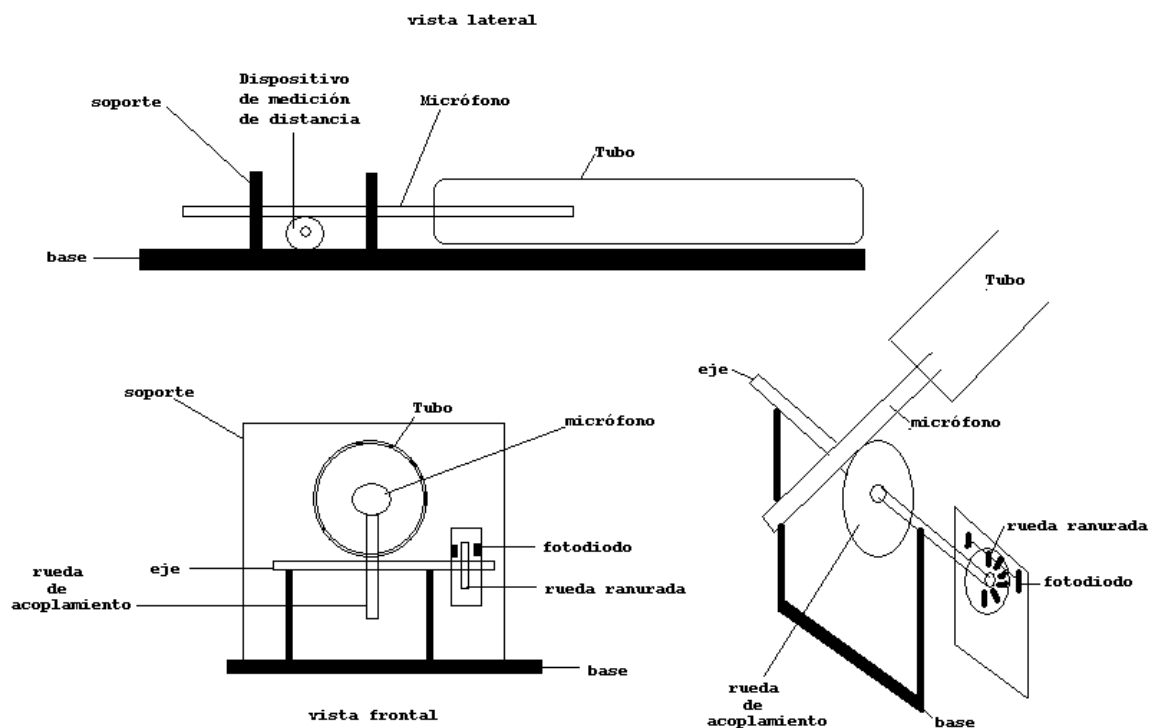


Figura 34. Esquema para la medición de la distancia de manera automática

- El micrófono se acopla a una rueda cuyo eje es común a una rueda ranurada.
- La rueda ranurada se mueve conforme el micrófono se desplaza dentro del tubo.
- El movimiento de la rueda ranurada genera dos trenes de pulsos mediante un par de fotodiodos y fototransistores (circuitos de emisión y recepción).

- Las señales (trenes de pulsos) enviadas a la computadora a través de la tarjeta de *Texas Instruments* son procesadas por el programa para determinar la longitud de onda y mostrar automáticamente el valor de la velocidad del sonido que se tiene en ese ambiente.

La longitud mínima del desplazamiento depende del radio de la rueda y del número de ranuras de la misma.

Si empleamos una rueda ranurada como la que poseen los ratones tenemos que:

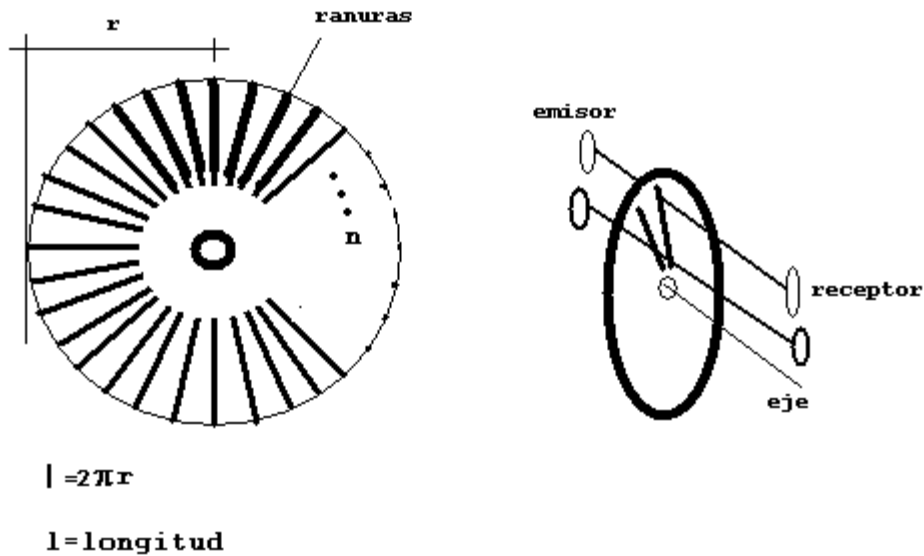


Figura 35. Rueda ranurada del ratón de computadora

Características de la rueda:

- 1.5 [cm] de diámetro $r = 0.75$ [cm]
- 50 ranuras $n = 50$

Para conocer el desplazamiento mínimo que es capaz de registrar la rueda empleamos la siguiente ecuación:

$$l = \frac{2\pi r}{n} \qquad \text{Ec. (42)}$$

l = longitud

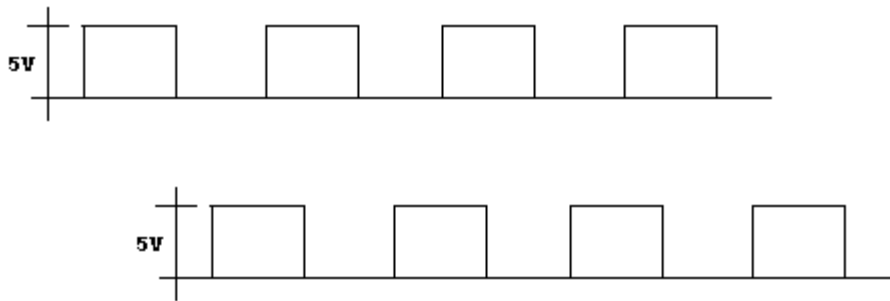
r: radio

n: número de ranuras

El paso mínimo de la rueda es:

$$l = \frac{2\pi(0.75)}{50} = 0.943[mm] \qquad \text{Ec.(42a)}$$

Cada vez que gira la rueda, se interrumpen los rayos luminosos que provienen de los fotodiodos, de manera que se generan dos trenes de pulsos digitales, ver figura.



Para conocer el desplazamiento del tubo basta multiplicar el número de ranuras contadas por el paso mínimo:

$$L = nl \qquad \text{Ec.(43)}$$

La distancia que recorre el micrófono por cada vuelta completa que da la rueda está determinada por la siguiente ecuación:

$$L = 2\pi r \qquad \text{Ec.(44)}$$

El circuito que genera los trenes de pulsos es el siguiente:

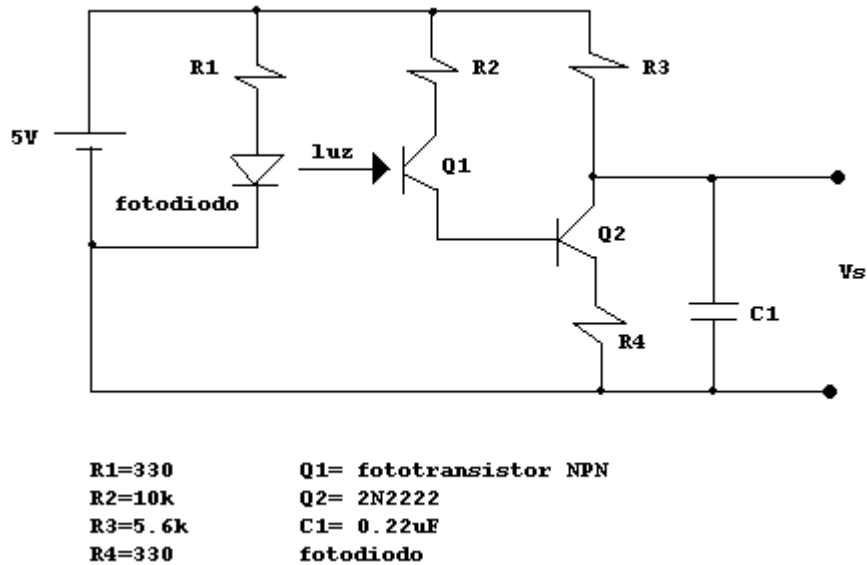


Figura 37. Circuito que genera los trenes de pulsos

Si queremos conocer el sentido de giro y determinar si el micrófono avanza o retrocede es necesario enviar dos trenes de pulsos a la tarjeta de Texas.

La tarjeta envía las señales a la computadora y el software se encargará de procesarlas para decir cuanto avanzó o retrocedió el micrófono y calcular la longitud de onda.

El software se programa de manera que cuente los pulsos para saber cuanto se desplazó el micrófono, como son dos señales las que recibe, verifica cuál es la señal que ingresó primero y eso determina la dirección del movimiento.

El diagrama de bloques del proceso se muestra a continuación:

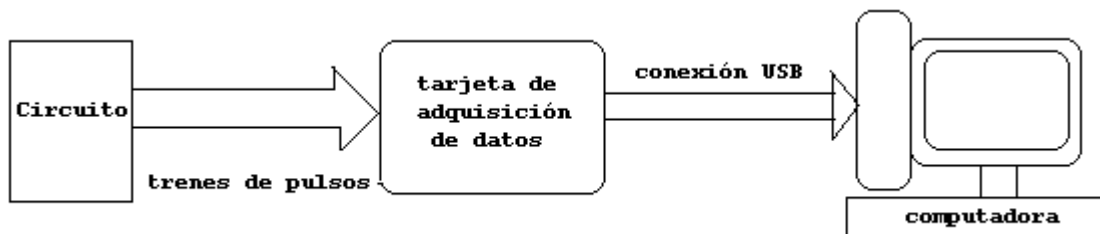


Figura 38. Diagrama del proceso de medición automática de la distancia

4. La interfaz

Como ya se dijo en capítulos anteriores, el prototipo requiere de una interfaz para comunicarse con la computadora.

El tubo acústico recibe el tono que la computadora le envía y a su vez le regresa la señal que genera el micrófono al desplazarse dentro del tubo. La interfaz se encargará de realizar las funciones adicionales (generación de la onda y visualización) para el manejo completo de las señales que se reciben en la computadora.

El programa de la interfaz debe realizar lo siguiente:

- a) Generar un tono puro (señal senoidal de amplitud y frecuencia conocidas) que será enviado al amplificador del tubo y que se percibirá en la bocina. También será capaz de cambiar la frecuencia y la amplitud del tono a voluntad del usuario.
- b) Recibir la señal que envía el micrófono.
- c) Recibir también la señal que sale por la bocina.
- d) Mostrar al usuario la frecuencia de la señal enviada y su magnitud.
- e) Mostrar ambas señales (micrófono y bocina) en el tiempo.
- f) Realizar la comparación de las señales en XY y mostrarlas en una gráfica (Figuras de Lissajous).
- g) Indicar mediante una señal luminosa (led virtual), la igualdad o diferencia de fase entre las señales que procesa.
- h) Mostrar la velocidad del sonido teórica a la temperatura ambiente.
- i) Determinar la velocidad del sonido en función de la distancia recorrida.
- j) Calcular el error entre la velocidad del sonido teórica y la velocidad obtenida en el experimento.

Para realizar todas estas funciones, emplearemos la plataforma llamada *LabVIEW*.

4.1 LabVIEW 8.5

LabVIEW es un software de desarrollo enfocado a la creación de instrumentos virtuales (VI's) para la medición de diferentes procesos. En nuestro caso, desarrollaremos un VI que utiliza la tarjeta de sonido que las propias computadoras tienen, empleando la salida de audio (borne verde) para el envío de la señal que conocemos (tono) y la entrada *line in* (borne azul) para adquirir de regreso la señales que provienen del micrófono y de la bocina.

El modo de programación que utiliza *LabVIEW* es gráfico (cajas y módulos). Tiene controles e indicadores pre-programados que se pueden interconectar entre sí para formar paneles de instrumentos con las características que se deseen.

En la plataforma de programación de *LabVIEW* se emplean dos vistas: El diagrama de bloques (*block diagram*) y el panel frontal (*front panel*).

En el diagrama de bloques se realizan todas las conexiones que necesitan los diferentes indicadores y controles que emplea el *LabVIEW*, por supuesto, estas conexiones son de distintas naturalezas pues el software maneja diferentes tipos de datos (matrices, cadenas, constantes, etc), además posee instrumentos “*express*” que simplifican notablemente el tratamiento de las señales. También maneja los azos de control como otros lenguajes de programación (*for, while, case, switch, etc.*).

El Panel Frontal muestra todos los indicadores, controles, perillas y demás accesorios que el instrumento virtual necesite. Este es el panel que el usuario final verá y operará.

En nuestro caso deseamos que la operación de la interfaz sea simple y muy gráfica pues esto ayudará a la comprensión del fenómeno acústico de interés (velocidad del sonido) por parte del usuario final (alumno de bachillerato). Ver la siguiente figura:



Figura 39. Interfaz del usuario o panel frontal

Y el diagrama de bloques correspondiente al panel es el siguiente:

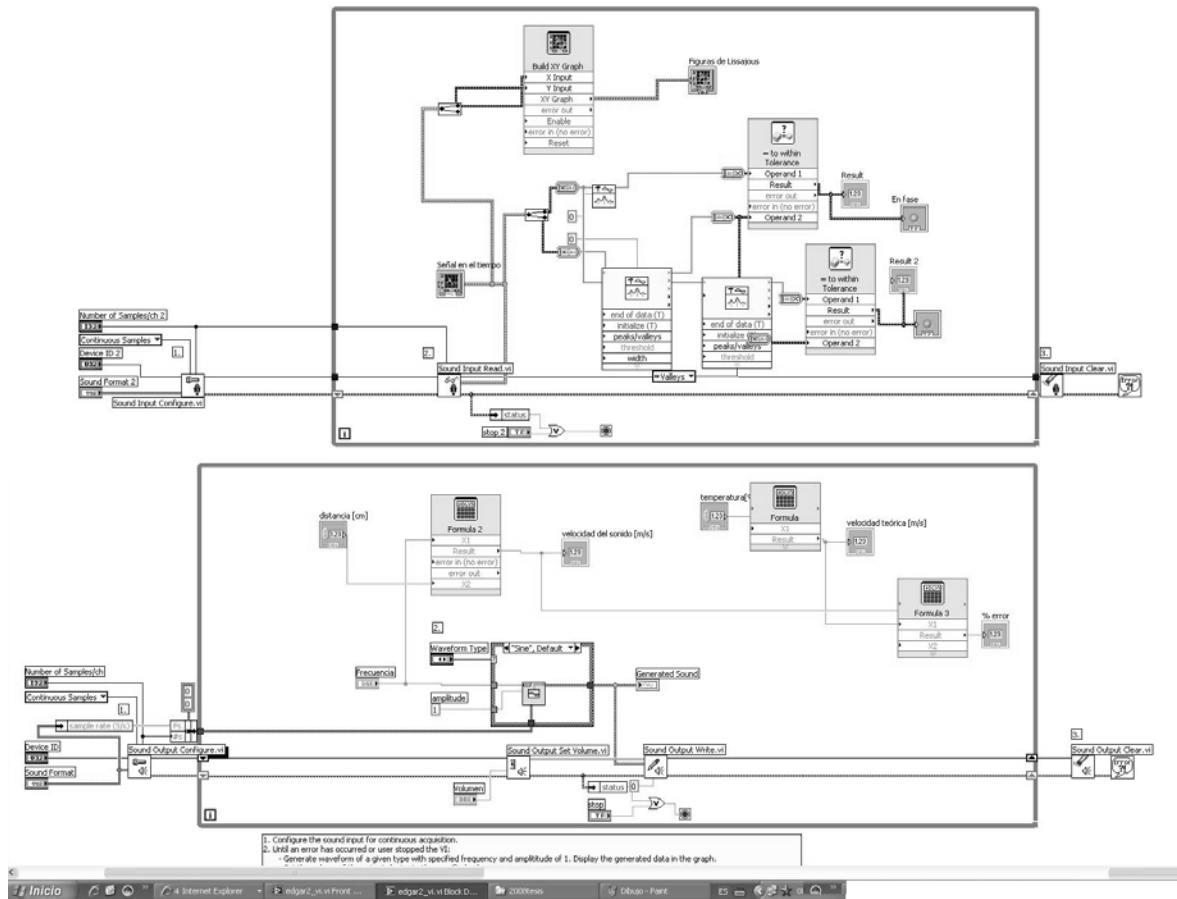


Figura 40. Diagrama de bloques del programa final.

4.2 Programación de la interfaz

La programación debe hacerse de acuerdo al listado siguiente:

- a) Generar un tono puro. Esto se logra mediante el ejemplo “*generate sound*” de la propia *LabVIEW*. Gracias a que la plataforma posee ya algunos ejemplos, nosotros no los utilizaremos para darles las características que necesitamos sin tener que generarlos desde cero. Esto representa una gran ventaja en tiempo y funcionalidad.

El ejemplo nos permite generar una señal senoidal con la amplitud y frecuencia que necesitamos especificando también el número de muestras que deseamos que tenga. Ver el ejemplo en la siguiente figura:

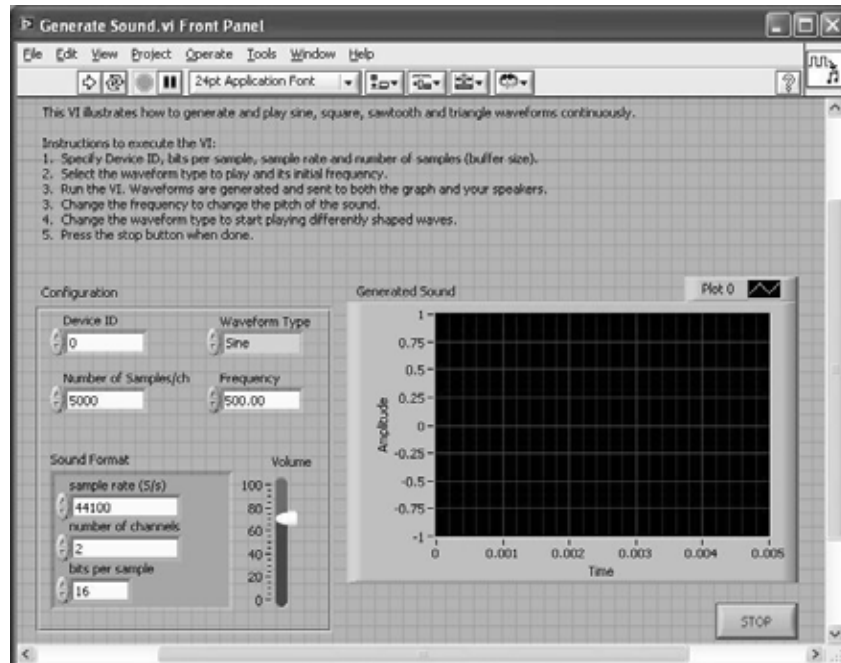


Figura 41. Ejemplo de cómo generar un sonido (panel frontal)

Cada panel está asociado a un diagrama de bloques, esto nos permite la programación de manera gráfica y por bloques. Cada una de las características del ejemplo puede ser modificada por nosotros de acuerdo a lo que necesitemos, también es posible “desactivar” algunos controles del panel, de modo que no aparezcan en la interfaz final y no puedan ser operados por el usuario final. La programación en este caso solo es posible a través del diagrama de bloques.

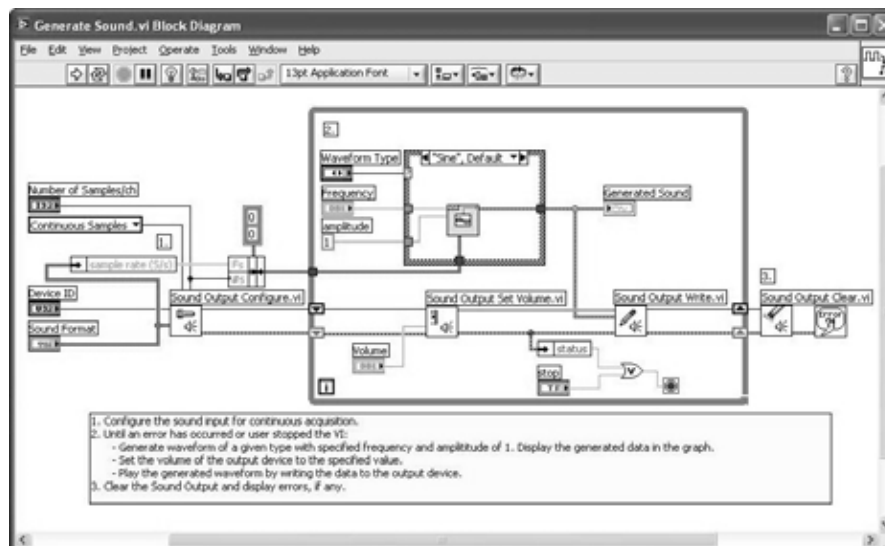


Figura 42. Diagrama de bloques de “generando un sonido”

- b) Recibir la señal que proviene del micrófono
- c) Recibir la señal que sale por la bocina.

Ambas señales se reciben por la tarjeta de sonido de la computadora. Una vez más, empleamos el ejemplo o aplicación previa que tiene la plataforma de *LabVIEW*.

Continuous Sound Input (entrada de sonido continuo) nos permite adquirir una señal que entra a la computadora a través de la tarjeta de sonido para su manipulación. Los parámetros que la aplicación nos muestra se observan en la figura 43:

- Forma de la señal a través de una grafica en tiempo.
- Tipo de tarjeta. (solo poseemos una)
- Numero de muestras por canal
- Tasa de muestreo
- Numero de puntos por muestra
- Numero de canales

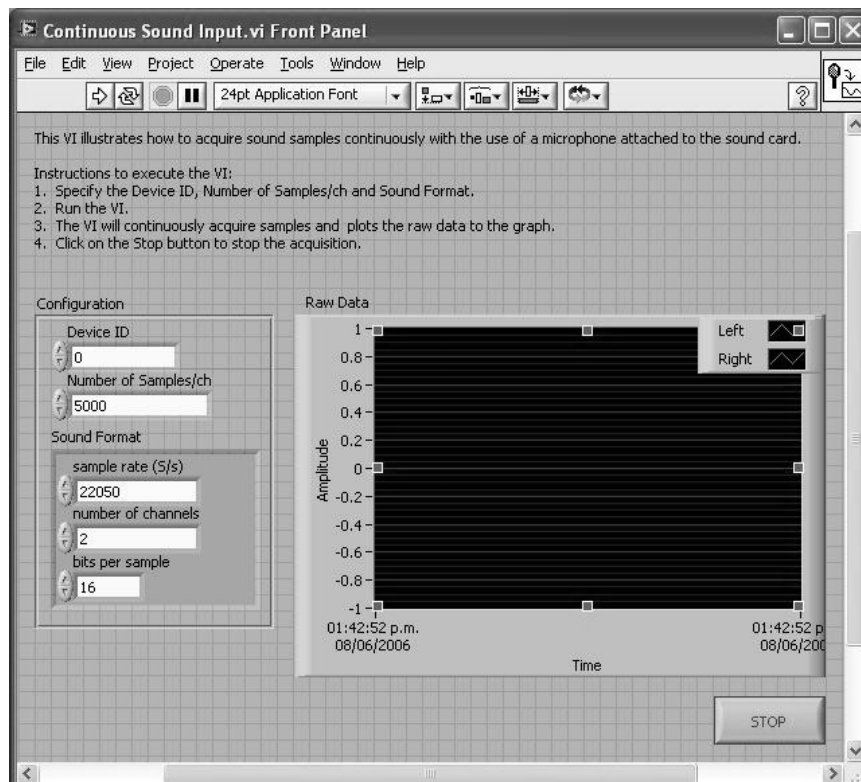


Figura 43. Panel frontal de Entrada de sonido continuo

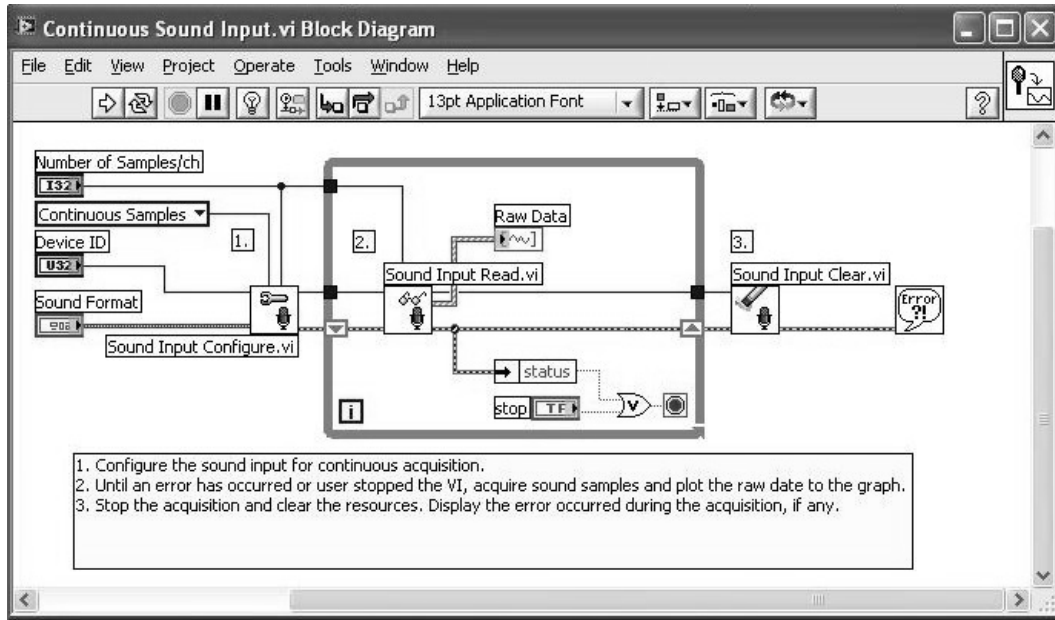


Figura 44. Diagrama de bloques de entrada de sonido continuo.

En la figura 44 se muestra el diagrama de bloques que corresponde a la programación del ejemplo *Continuos Sound Input*.

- d) Mostrar al usuario la frecuencia de la señal enviada y su magnitud. Esto se logra a través del dial de frecuencia y la barra de volumen, no solo se pueden ver sino que además el usuario puede modificar los valores que desee (para el volumen de 0 a 1 [V], y la frecuencia de 200 a 1500 [Hz]), ver la siguiente figura:

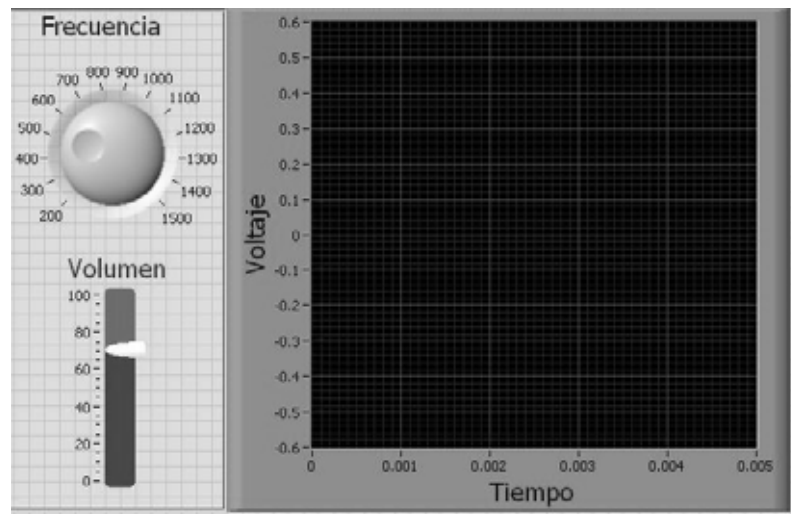


Figura 45. Controles de frecuencia, volumen y gráfica de las señales en tiempo

- e) Mostrar las señales del micrófono y la bocina en el tiempo.
Se logra con la grafica mostrada en la figura 45.
- f) Realizar la comparación de las señales (Figuras de Lissajous). El ejemplo nos muestra las señales que se reciben en la tarjeta de sonido en el tiempo, pero si queremos ver las figuras de Lissajous será necesario hacer la transformación de variables y hacer un cambio en el tipo de grafica.

En la figura 46 se muestran los bloques necesarios para la conversión.

Utilizamos un VI (Instrumento virtual) Express, el *Build XY graph*, que ya viene pre-configurado y que nos facilita la obtención de las Figuras. En el cambio de variable solo usamos un “*split*” que nos divide la señal que viene como estéreo en dos canales distintos. Una vez hecha esta separación, el *Build XY* envía la comparación a una grafica en X y Y.

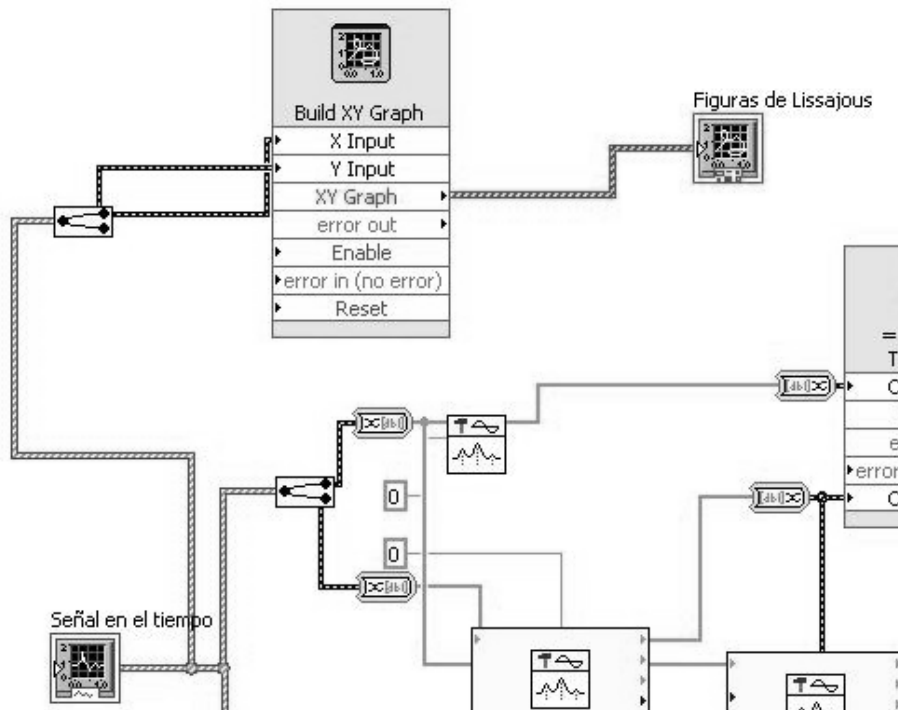


Figura 46. Bloques para realizar la gráfica de las Figuras de Lissajous

- g) Indicar mediante una señal luminosa (*led* virtual), el desfase de 0 ó 180 grados entre las señales que procesa. En esta parte recurrimos a diferentes bloques de control e indicadores para lograr que los *leds* enciendan según sea el caso (fase o desfase) ver figura 47.

Solo se consideran los casos en que el desfase es de 0 grados, esto es, que no existe diferencia de fase entre las señales y cuando el desfase es de 180 grados, que implica que las señales son completamente opuestas (el valle de una corresponde al pico de la otra). Realmente ocurren diferentes desfasamientos durante el envío, la amplificación y la recepción de las señales, pero todos ellos son constantes, de modo que el único cambio que nos interesa es el desfase que ocurre cuando el micrófono se desplaza en el interior del tubo. En el momento que la gráfica nos muestra “en fase” existe un desfase de 0 grados para ambas desde el punto de vista de la gráfica. Cuando desplazamos el micrófono, todos los desfasamientos permanecen constantes menos el de la posición del micrófono, de manera que el “desfase” en la gráfica es únicamente función del movimiento del micrófono.

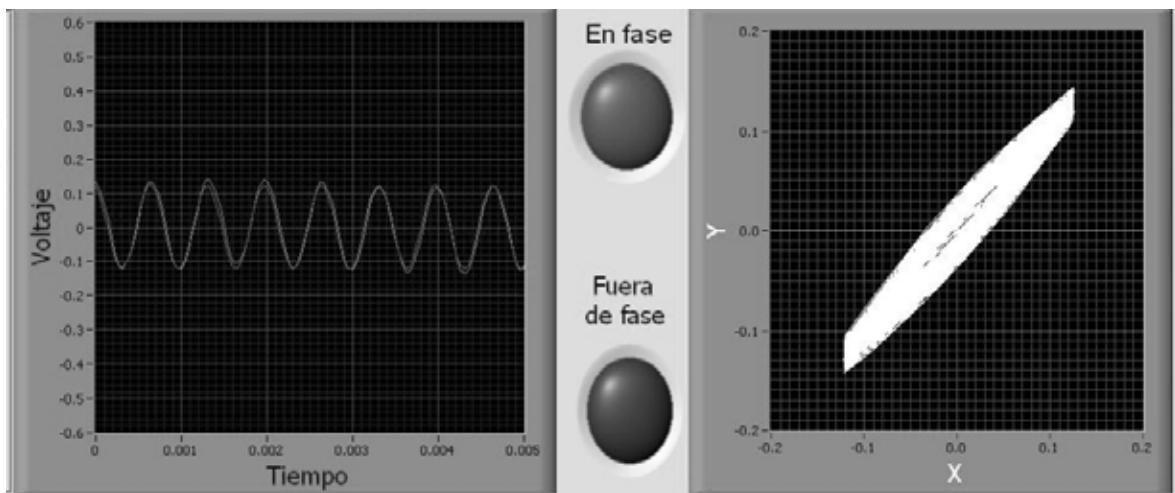


Figura 47. Gráfica de las señales en tiempo y figura de Lissajous con leds indicadores.

Para lograr lo anterior necesitamos “comparar” las señales. Antes de esto se requiere una detección de picos y valles, para poder comparar únicamente lo que nos interesa. Esto se logra con el VI. *Peak Detector*, verlo en la figura 48.



Figura 48. Propiedades del detector de picos

El detector de picos es una herramienta que nos permite encontrar los picos y valles de una señal. Mediante el empleo de ello encontraremos primero los picos de ambas señales y luego los valles de la señal de l micrófono. La siguiente figura nos muestra los bloques correspondientes.

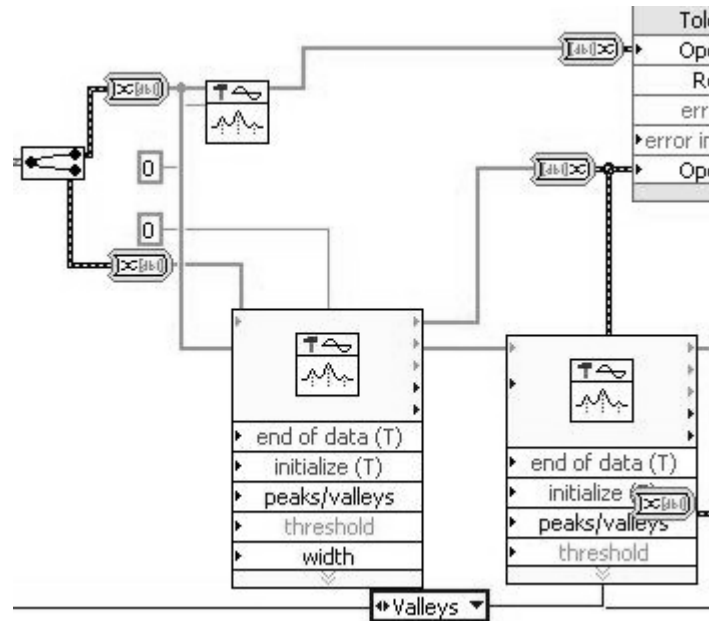


Figura 49. Diagrama de bloques del detector de picos

En el proceso de detección ocurre un cambio de datos, se pasa de un dato en forma de señal a un dato numérico y luego se regresa el dato a forma de señal para hacer la comparación, esto lo hace automáticamente el convertidor de tipo de datos.

Una vez obtenidos los picos y los valles de las señales es tablecemos la comparación mediante el uso del del VI express “*comparison*” ver figura 50.

El VI. *Comparison* nos permite comparar señales una a una de diferentes formas. La que nos interesa a nosotros es la de “igualdad con tolerancia” para que cuando exista la igualdad debida al movimiento de la señal del micrófono, se encienda un *led* si se trata de un desfase de cero grados o, se encienda otro si se trata de un desfase de 180 grados.

Los campos del comparador se muestran a continuación.

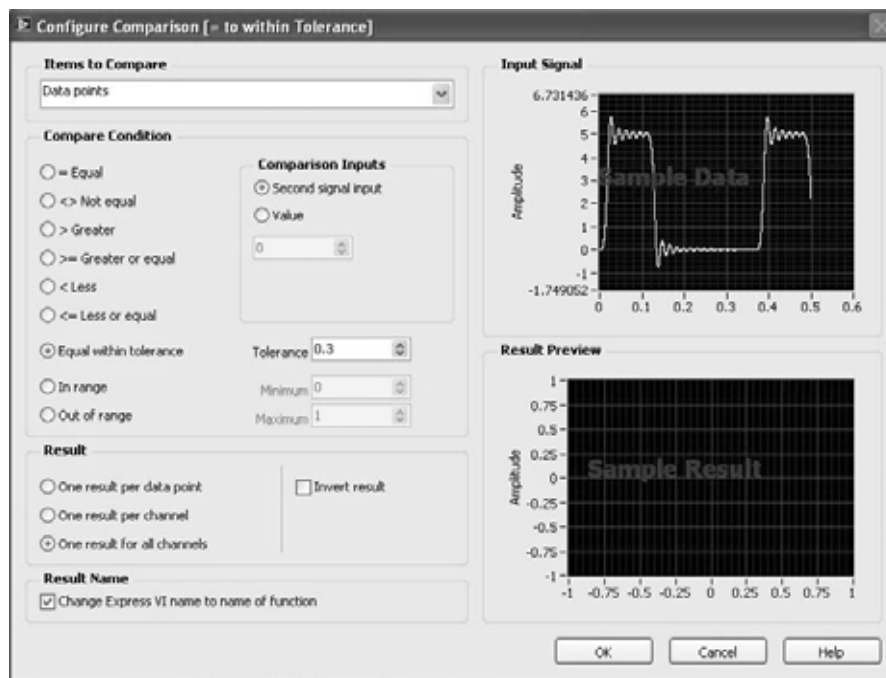


Figura 50. Propiedades del comparador

Debido a que la longitud de onda cambia en función de la frecuencia, el margen de tolerancia para el comparador también debería cambiar de acuerdo a la frecuencia, sin embargo, encontramos un valor para el cual los *leds* encienden aún cuando la apreciación de las señales en el tiempo y en XY se muestra confusa.

La salida de estos comparadores va directamente a los *leds* para determinar la diferencia de fase que existe entre las señales.

Los bloques correspondientes a las comparaciones se muestran en la siguiente figura:

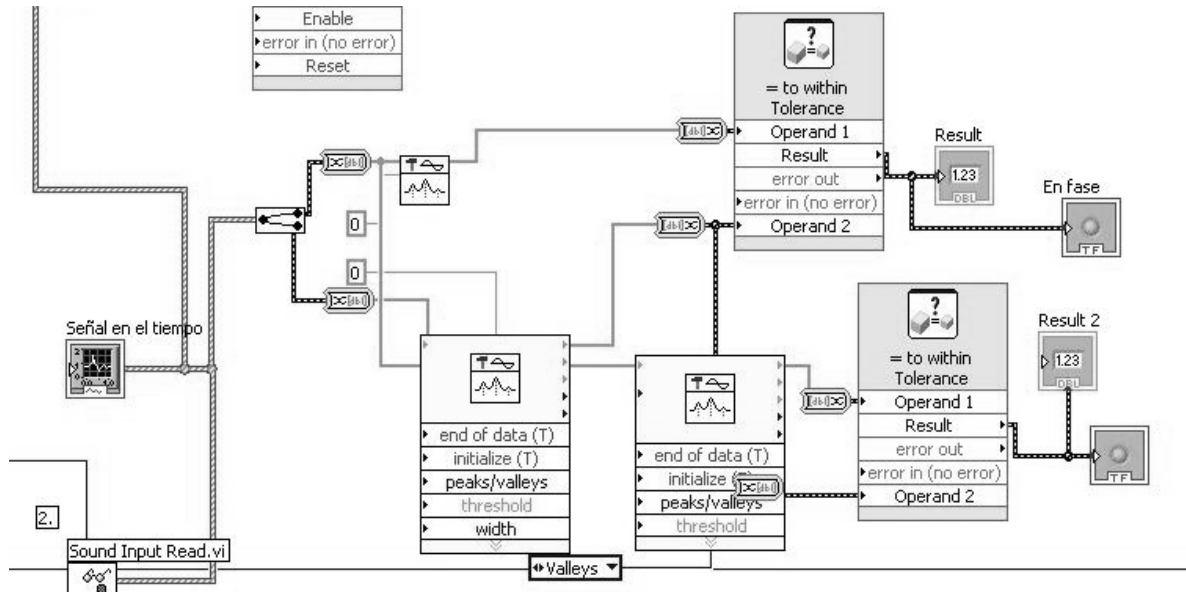


Figura 51. Bloques comparadores

Cuando se ha realizado la comparación y si el resultado es verdadero, se encienden los *leds* respectivos en la interfaz, como se muestra a continuación:

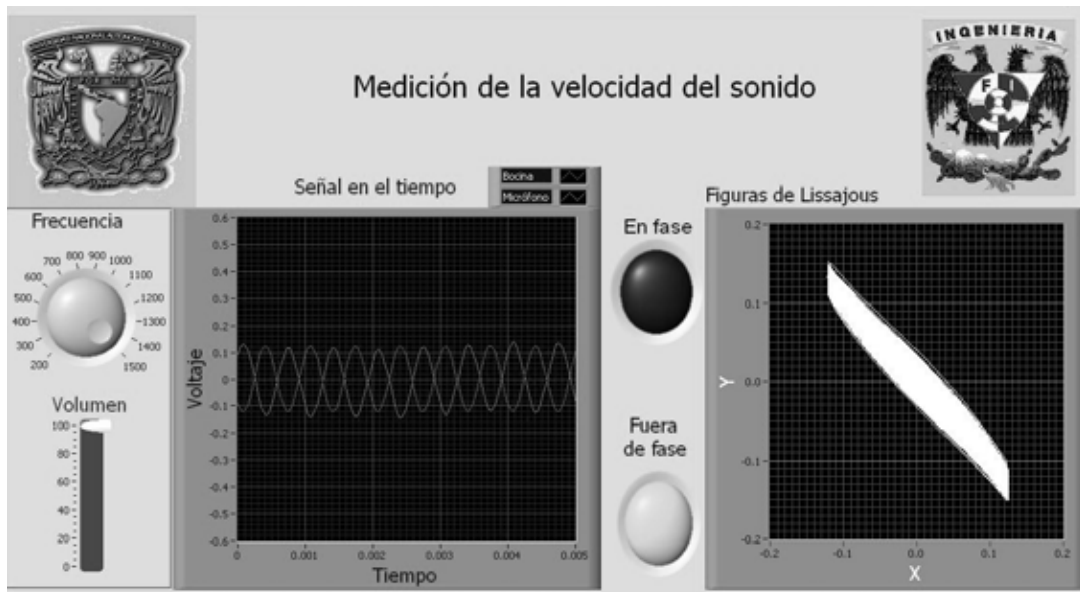


Figura 52. Detección de la fase en la interfaz

h) Mostrar la velocidad del sonido teórica dada la temperatura ambiente.
Como el prototipo cuenta con un termómetro digital, podemos calcular la velocidad teórica de acuerdo a la temperatura ambiente si ingresamos su valor a la interfaz.

El *LabVIEW* nos permite programar cajas de ingreso de datos y fórmulas de manera que el usuario final pueda obtener datos como resultado de alguna operación con sólo ingresar un valor o valores correspondientes.

De acuerdo a la ecuación 21, programamos la caja de fórmulas para obtener la velocidad en función de la temperatura, como se puede ver en las figuras 53 y 54.

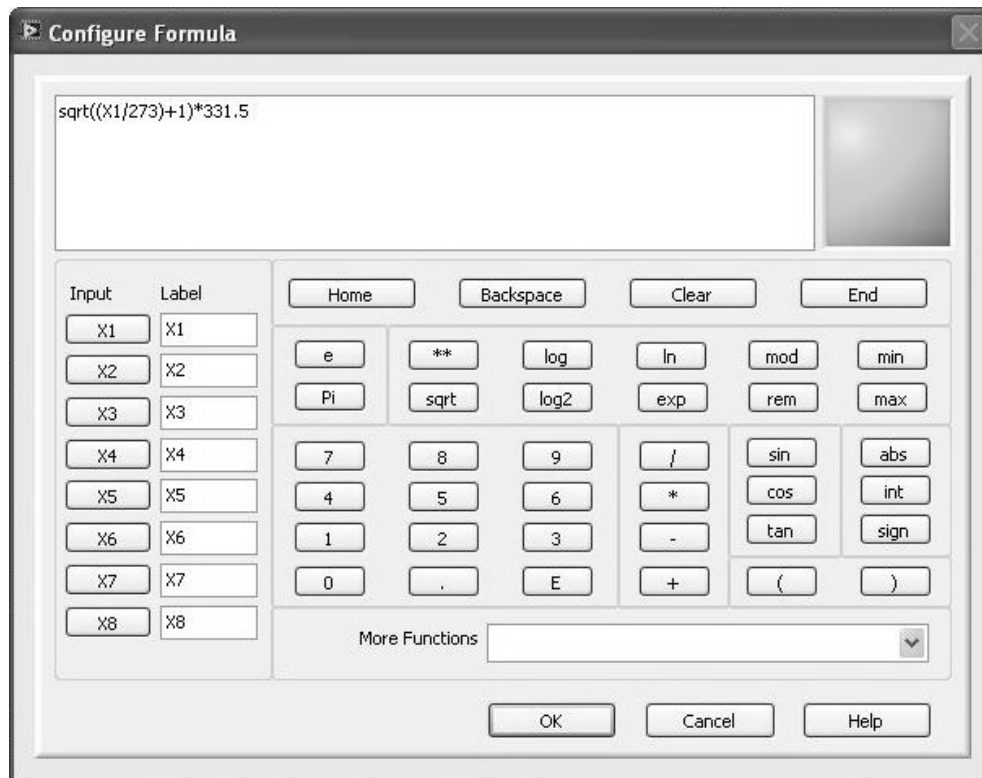


Figura 53. Fórmula para calcular la velocidad del sonido en función de la temperatura

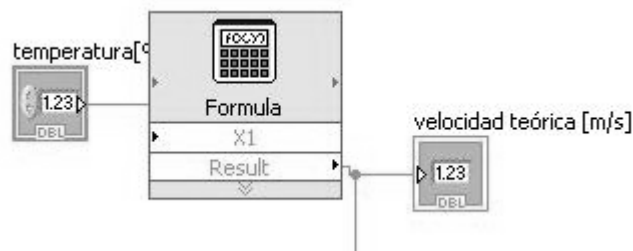


Figura 54. Diagrama de bloques del cálculo de la velocidad teórica

i) Determinar la velocidad del sonido en función de la distancia recorrida.

Nuevamente, para calcular la velocidad del sonido con la distancia registrada en el experimento, nos servimos de la caja de ingresos de datos y el V.I. Express de "formula".

Como la distancia que recorre el micrófono desde que encuentra un pico (desfase cero) hasta que encuentra un valle (desfase de 180 grados) corresponde a la media longitud de onda, basados en esto podemos calcular la velocidad en función de la frecuencia de la onda (que ya conocemos) y la distancia (longitud de onda) que ingresemos a la caja de datos en la interfaz.

De la ecuación 1; λ es el doble de la distancia "d" recorrida por el micrófono dentro del tubo.

Programamos la fórmula para el cálculo de la velocidad del sonido experimental como se ve a continuación:

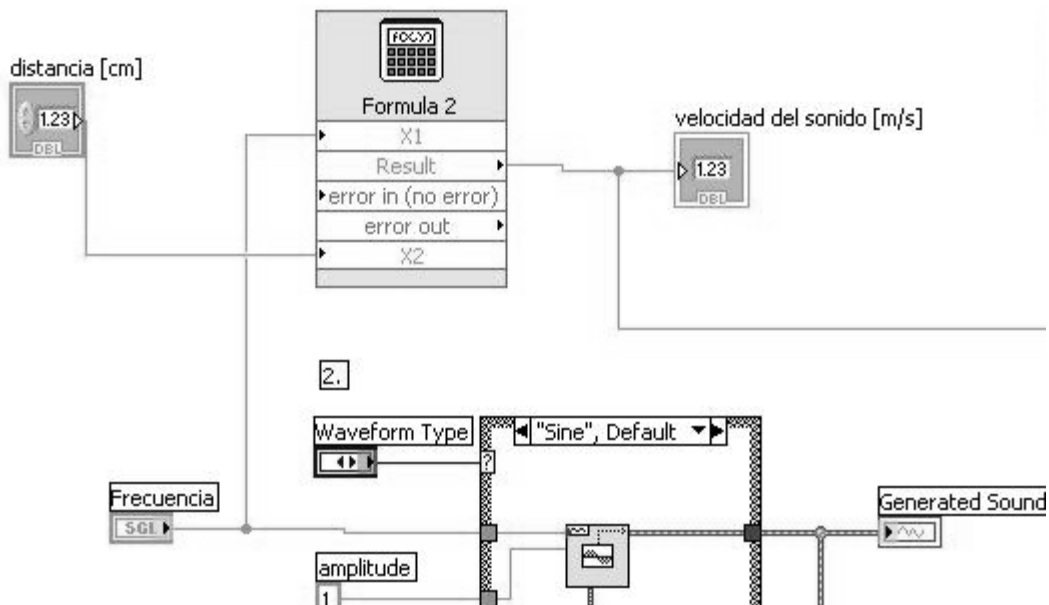


Figura 55. Diagrama de bloques del cálculo de la velocidad experimental

De manera adicional, podemos ingresar el valor de la distancia recorrida por el micrófono en centímetros [cm] y con un decimal [milímetros], el bloque de fórmula nos permite convertir a metros para homogeneizar las operaciones y obtener nuestro resultado en metros sobre segundo [m/s] (observar la figura).

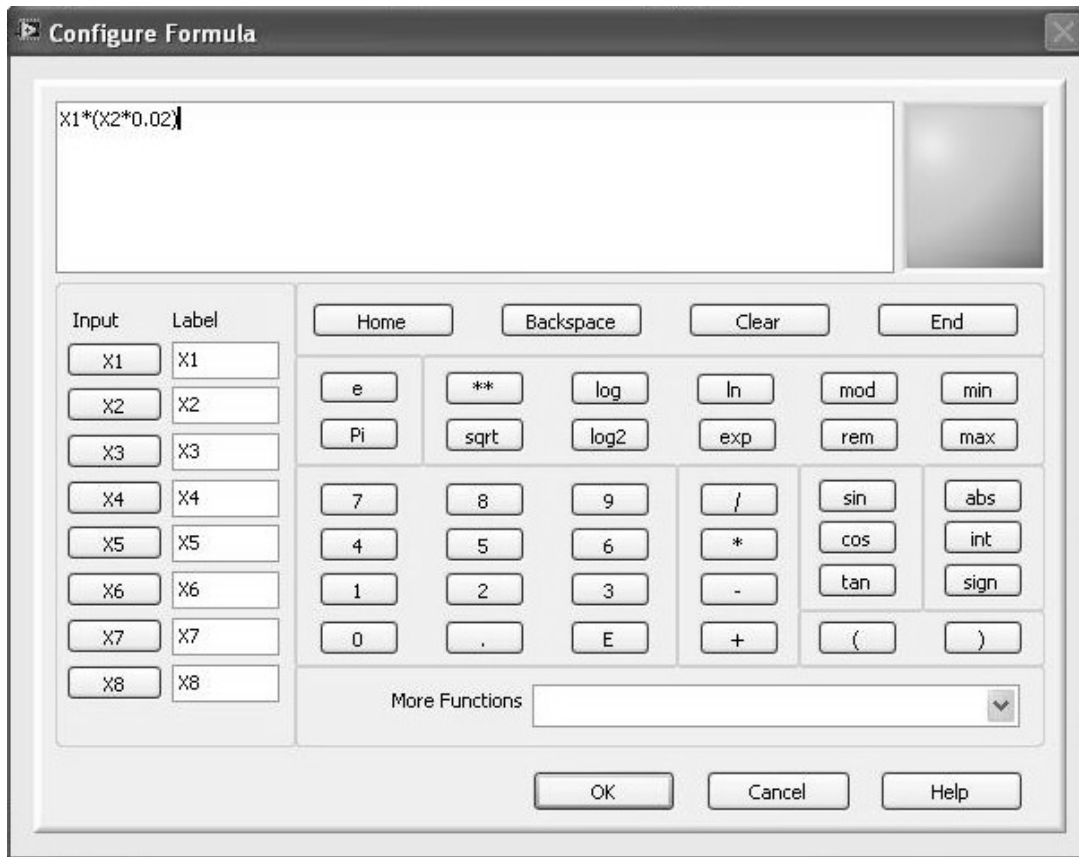


Figura 56. Fórmula para el cálculo experimental de la velocidad del sonido.

- j) Calcular el error entre la velocidad del sonido teórica y la velocidad obtenida en el experimento.

Una vez registras la velocidad teórica y la velocidad experimental podemos calcular el error que existe entre ambas. Este es un buen parámetro para determinar la funcionalidad de nuestro prototipo. Debemos decir que debido a la resolución en la toma de las distancias (1[mm]) para longitudes de onda demasiado pequeñas (menores de 15 [cm]) el error crece con cada milímetro de diferencia.

Programamos la fórmula de error de acuerdo a la ecuación 39. Se pueden apreciar las operaciones en la figura 57.

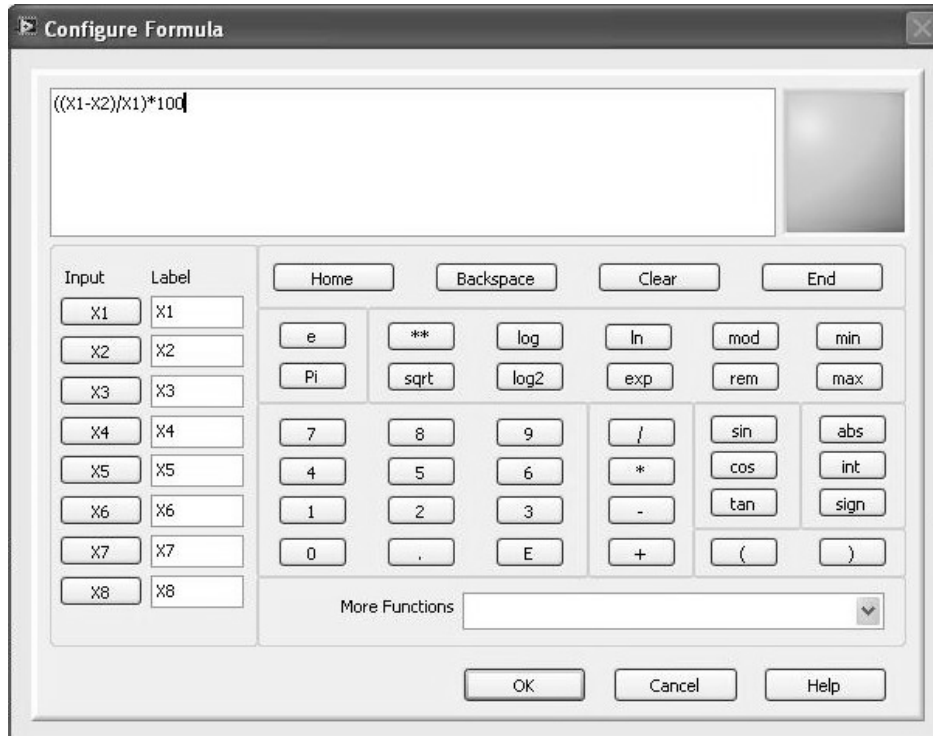
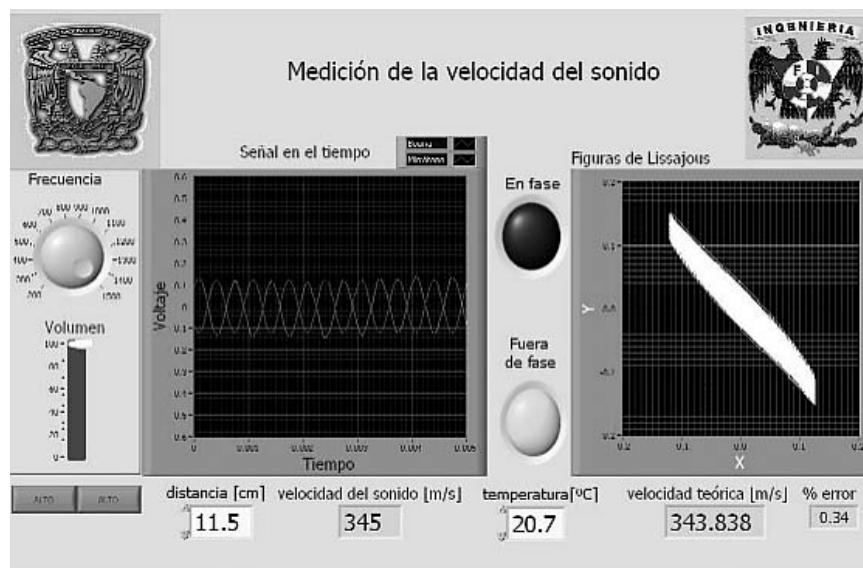


Figura 57. Programación del cálculo del error en *LabVIEW*

Una vez que la interfaz ha cumplido con todas las demandas que el prototipo requiere, se encuentra lista para someterse a las pruebas de conjunto y a las mediciones que los estudiantes de bachillerato puedan hacer. Ver figura 58



5. Integración y pruebas

Después de terminar de construir el tubo acústico (montajes de tubo, bocina y micrófono, amplificadores, termómetro, rieles, soportes, etc), y de desarrollar un programa piloto para pruebas, es necesario integrar todo y conectarlo a la computadora para observar el desempeño del prototipo visto ya como un solo elemento producto de la unión de diferentes sistemas.

Prueba 1. Se conecta la salida de audio de la tarjeta de sonido de la computadora (borne verde) al amplificador de potencia del prototipo y se envía un sonido desde la computadora para verificar que el sonido salga por la bocina, se verifica también que el control de volumen del amplificador funcione correctamente.

Prueba 2. Se enciende el preamplificador del micrófono y se conectan unos audífonos a la salida estéreo de la caja de control para comprobar que por un canal (derecho) llega la señal del micrófono y por el otro canal (izquierdo) llega la señal que se envía por la bocina. Se debe comprobar también que el control de volumen del preamplificador funcione correctamente. Después conectamos la salida de la caja de control al borne azul (*line in*) de la computadora.

Prueba 3. Se verifica que el termómetro esté registrando la temperatura, tocamos el sensor para ver si la temperatura se incrementa en el display, de ser así, el termómetro está operando correctamente.

Prueba 4. Una vez que se verificó la correcta operación de los diferentes subsistemas (amplificadores y termómetro) del tubo acústico (variación del tubo de Kundt) y que ya están conectados los cables correspondientes a las salidas y entradas de la computadora, corremos el programa de prueba y enviamos una señal senoidal conocida (tono puro). En el programa debe observarse la forma de onda de la señal que enviamos y la forma de onda de la señal que recibimos.

Prueba 5. Si el programa registra las señales que provienen del prototipo, ajustamos la amplitud de ambas para que sean iguales, verificamos que estén en fase o desfase.

Al pasar estas pruebas para eliminar el prototipo está listo para correr el programa principal.

Prueba 6. El programa piloto se refina de manera que cumpla con todos los requerimientos de la interfaz descrita al inicio (Ver las señales en tiempo y XY, ver la indicación luminosa de fase o desfase, indicación de la velocidad teórica, velocidad práctica, % de error).

Con todas las pruebas superadas proseguimos a realizar el experimento con alumnos de bachillerato para corroborar la simplicidad o dificultad de su funcionamiento y obtener datos reales del experimento.

6. Mediciones

- El primer objetivo es registrar la media longitud de onda de la onda senoidal que estamos trabajando, esto se logra al desplazar el micrófono dentro del tubo hasta encontrar un punto en el cual las dos señales están en fase. La interfaz mostrará una señal (*led* rojo) cuando esto ocurra.
- En ese momento se realiza una marca sobre la guía del micrófono.
- Después movemos nuevamente el micrófono hasta ver que las señales se encuentren fuera de fase (que el pico de una señal coincida con el valle de la otra). Probablemente la señal que envía el micrófono cambiara de amplitud. En este caso se debe ajustar con el control manual de volumen del preamplificador para que ambas amplitudes vuelvan a ser las mismas (se encenderá un *led* verde indicando el desfase).
- Realizamos otra marca sobre la guía.
- Con una regla graduada (de preferencia en milímetros) medimos la distancia entre las dos marcas.
- Ingresamos el valor obtenido en la caja correspondiente de la interfaz.
- Colocamos el valor de la temperatura que se lee en el display en la caja correspondiente de la interfaz.

La interfaz nos dará:

- El valor de la frecuencia que estamos operando.
- Las gráficas en tiempo de las señales del micrófono y la bocina.
- Las figuras de Lissajous correspondientes a la comparación entre las dos señales.
- El valor teórico correspondiente a la velocidad del sonido a la temperatura dada.
- El valor de la velocidad de sonido en el ambiente que nos encontremos.
- El error entre la velocidad calculada en el experimento y la velocidad teórica.

Ver el ejemplo de una medición en la figura 59.

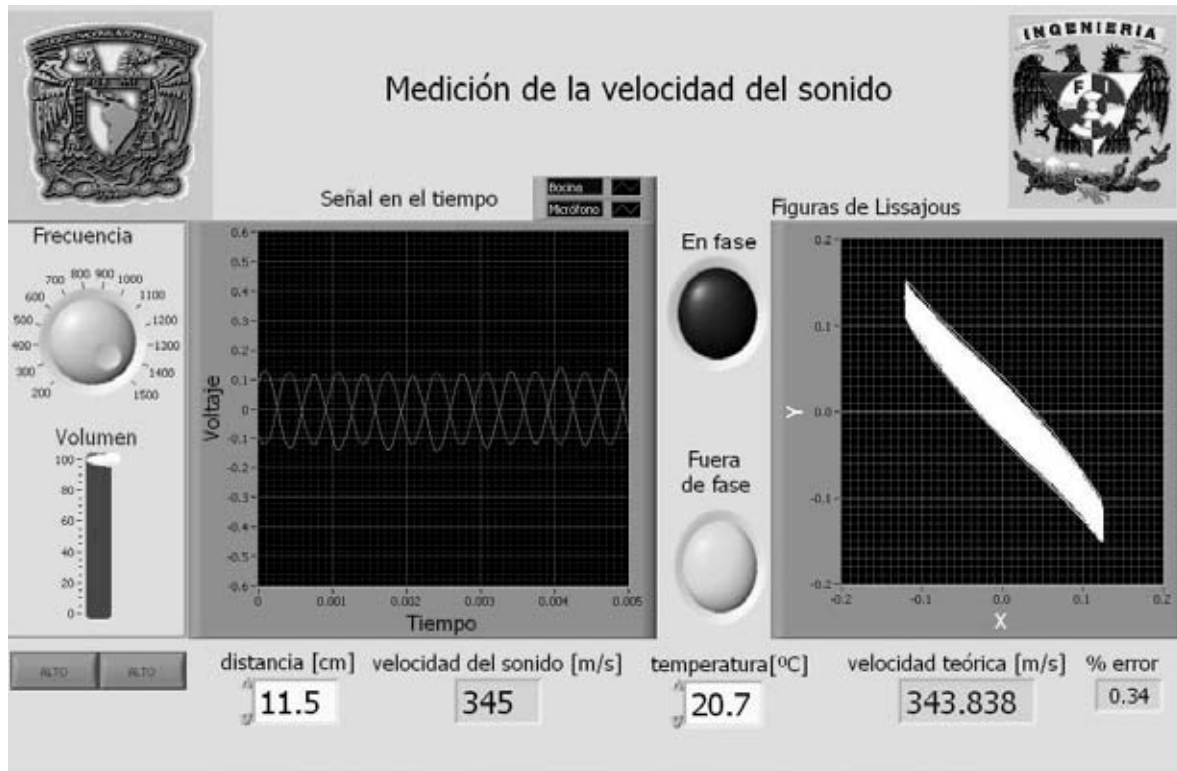


Figura 59. Ejemplo de una medición usando la interfaz de la computadora

Para realizar las mediciones, el tubo debe estar conectado de acuerdo al manual de operación (ver anexo 1).

Con base en lo previsto, alumnos de preparatoria realizaron algunas mediciones para diferentes frecuencias y temperaturas.

Los datos se muestran a continuación (tabla 2):

Frecuencia [Hz]	Temperatura [° C]	Velocidad teórica [m/s]	Distancia[cm]	Velocidad Practica[m/s]	% Error
500	21.3	344.18	31.6	347.6	0.99
	21.1	344.07	31	341	0.89
	21	344.01	31.9	350.9	2
1000	20.9	343.9	17.6	352	2.3
	20.8	343.89	17	340	1.1
	20.8	343.89	17.2	344	0.03
1500	20.7	343.83	11.1	336	2.3
	20.7	343.83	11.5	345	0.34
	19.8	343.31	11.7	351	2.2
Velocidad promedio	-	343.87	-	345.27	0.4

Tabla 2. Valores para la velocidad del sonido utilizando diferentes frecuencias

En la tabla 2 se observa que por ejemplo el error más pequeño en el cálculo de la velocidad del sonido es de 0.03 % para la frecuencia de 1 000 [Hz].

También se puede ver que el error más grande es de 2.3 % para las frecuencias de 1 000 y 1 500 [Hz].

7. Conclusiones y Recomendaciones

El prototipo que construí y operé es la variación de un Tubo de Kundt, esta variación fue el resultado de algunos cambios que se implementaron durante el desarrollo del experimento.

Las diferencias centrales radican en que el Tubo de Kundt funciona completamente cerrado y se producen en él ondas estacionarias, en consecuencia, la longitud de onda se obtiene midiendo la separación que existe entre las huellas que dejan los nodos de la onda estacionaria sobre el talco que el tubo debe llevar en su interior.

Existen otros experimentos en los cuales se utiliza el método de obtención de la media longitud de onda empleando las Figuras de Lissajous, un osciloscopio y amplificadores externos.

La tesis se basó en ambos casos y el resultado fue el prototipo.

El prototipo trajo varias ventajas como facilidad de conexiones, manejo sencillo y resultados aceptables en cuanto al error en los resultados obtenidos.

La integración de los diferentes sistemas es otro logro, pues al contar con una caja de control, se simplifican las conexiones y el costo de los equipos.

En experimentos previos se observó que eran necesarios conocimientos adicionales para poder determinar la velocidad del sonido. Cuando se empleaba el osciloscopio, se vió que los estudiantes necesitaban al menos una clase para poder aprender el manejo adecuado de este instrumento.

El prototipo ayuda en este sentido, pues la interfaz muestra gráficamente y tal como se verían en el osciloscopio, las ondas de comparación, en el tiempo y en XY.

La integración permite que el estudiante se centre únicamente en el concepto de ondas sin verse limitado por carecer de conocimientos sobre electrónica o computación que se necesitarían con otros experimentos.

El prototipo también representa ventajas en cuanto a almacenamiento y operación, pues sus dimensiones permiten realizar el experimento sobre cualquier mesa de laboratorio y la operación no requiere ningún conocimiento especializado.

Otra ventaja es la comunicación con la computadora, pues convierte un fenómeno invisible (el sonido) en un fenómeno visible (ondas senoidales en una pantalla).

Se observó y verificó que la velocidad del sonido no depende de la frecuencia pues tonos de distintas frecuencias viajaron a la misma velocidad, también se pudo constatar que la velocidad cambia respecto a la temperatura ambiente.

Para hacer del prototipo un instrumento más completo, se propuso (aunque no se implementó) el sistema de medición automática de la distancia. Esta propuesta se hizo sólo de manera teórica y no se realizaron pruebas al respecto.

La completa automatización del dispositivo (medición automática de la distancia) haría que los alumnos perdieran interés en el experimento por que solamente observarían los cambios y los datos arrojados por la interfaz. Medir la distancia e ingresar los datos a las cajas los vuelve participes del experimento.

Debido a la utilización de ondas de frecuencia fija, se recomienda realizar el experimento al volumen más bajo que se pueda y en el menor tiempo posible, pues la exposición prolongada a los tonos genera fatiga auditiva.

Recomendamos este prototipo para cubrir los contenidos del tema de ondas de la materia de Física que se imparte a nivel bachillerato debido a que en los experimentos que se proponen en el manual de prácticas vigente (ver anexo 3) se apoyan en el empleo de instrumentos especializados (osciloscopio) cuyo manejo requiere aprendizaje previo. Otros, solo proponen un aprendizaje parcial, ya que el experimento del globo y el láser (ver anexo 3) muestra figuras de Lissajous completamente aleatorias e inexplicables para los alumnos.

El prototipo ha sido propuesto también para cubrir algunos contenidos de la asignatura de Acústica y Óptica de la Facultad de Ingeniería realizando los ajustes que resulten convenientes.

8. Referencias

1. Beranek, Leo. Acoustics. 1993 Edition, Cambridge Massachussets. U.S.A.
2. Giancoli, C. Douglas. Física. Principios con aplicaciones. Sexta edición. Pearson Education. México 2006.
3. Holman, Jack P. Métodos experimentales para ingenieros. Segunda edición en español. Editorial McGraw Hill, México 1988.
4. Kinsler Lawrence, Fundamentals of Acoustics. John Wiley and Sons, Inc. Fourth edition. U.S.A. 2000.
5. Pérez Miñana José, Compendio práctico de Acústica. Editorial Labor. Barcelona España 1969.
6. Roosing Thomas. Springer Handbook of Acoustics. Edit. Springer. New York. U.S.A. 2007.
7. Van Wylen Gordon, Fundamentos de termodinámica, Primera edición. Editorial Limusa México 1979.
8. Amplificadores operacionales. Germán Villalba Madrid. Departamento de Ingeniería de la Información y Comunicaciones. Universidad de Murcia, España .
9. A Variation of the Speed of Sound Experiment. Scott A. Riley. The Chemical Educator 1 / VOL. 3, 1998 Springer-Verla New York.
10. Características del amplificador operacional. Grupo de investigación científica y microelectrónica.
11. Electrónica III. Universidad Nacional Experimental Politécnica.
12. Electrónica Básica para Ingenieros I.S.B.N. :84 – 607 – 1933 – 2
13. Empezando con LabVIEW. 7.5. National Instruments, Texas U.S.A. 2003.
14. Estimación de la velocidad del sonido en el aire, Universidad de Sevilla.
15. Instrumentación Electrónica de Comunicaciones. José María Drake Moyano Universidad de Cantabria. Santander España 2005.
16. Interferencia y resonancia de ondas sonoras. Nesteruk Julieta Yanina. Laboratorio de física, Universidad Favaloro, Julio 2005.

17. Orientación para el diseño de fuentes de alimentación. Carlos Diaz.
www.electron.es
18. Speed of Sound Using Lissajous Figures. Richard E. Berg and Dieter R. Brill,
University of Maryland, College Park, MD. THE PHYSICS TEACHER ♦ Vol. 43,
January 2005.
19. Termómetro Digital de 3 ½ dígitos. Manuel Mercader. Revista MICRO | BIT 1999.
20. Cervantes Cruz Juan Ignacio. Procesamiento electrónico analógico de una sonda de
dos micrófonos para mediciones acústicas en tubos. Dir. Felipe Orduña B. Tesis de
Ingeniería Eléctrica Electrónica. UNAM 2005.
21. Escobar Reyna Marco Antonio. Realización Electrónica digital de un multímetro
Acústico. Tesis de maestría en Ingeniería Eléctrica. Dir. Felipe Orduña B. UNAM.
2004.
22. Martínez Gutiérrez Daniel. Diseño e implementación de un calorímetro diferencial.
Tesis de Licenciatura Ingeniería mecánica-electricista. Dir. Raúl Ruvalcaba UNAM.
F.I. México 1999.
23. Manual de practicas de Física área IV Ciencias Biológicas y de la Salud. Escuela
Nacional Preparatoria UNAM. Alicia Allier Ondarza.
24. www.electron.es 20 de agosto de 2009 9.34 a.m.
25. www.national.com 25 de mayo de 2009 8.08 p.m.
26. www.ni.com 11 de noviembre de 2009 10.39 p.m.
27. www.rae.es/rae.html 11 de noviembre de 2009 11.22 p.m.

Anexo I

Manual de operación del prototipo.

El prototipo consta de un tubo de acrílico sujeto a una base de madera, una caja de control y una guía con micrófono que se desplaza en el interior del tubo. También tiene un par de cables para las conexiones con la computadora.

Para operar el prototipo se debe hacer lo siguiente.

1.- Conectar el cable del micrófono a la entrada jack de la parte posterior de la caja de control.

2.- Conectar los cables plug de 3.5 de la caja de control a la computadora en el orden que se muestra en la figura:

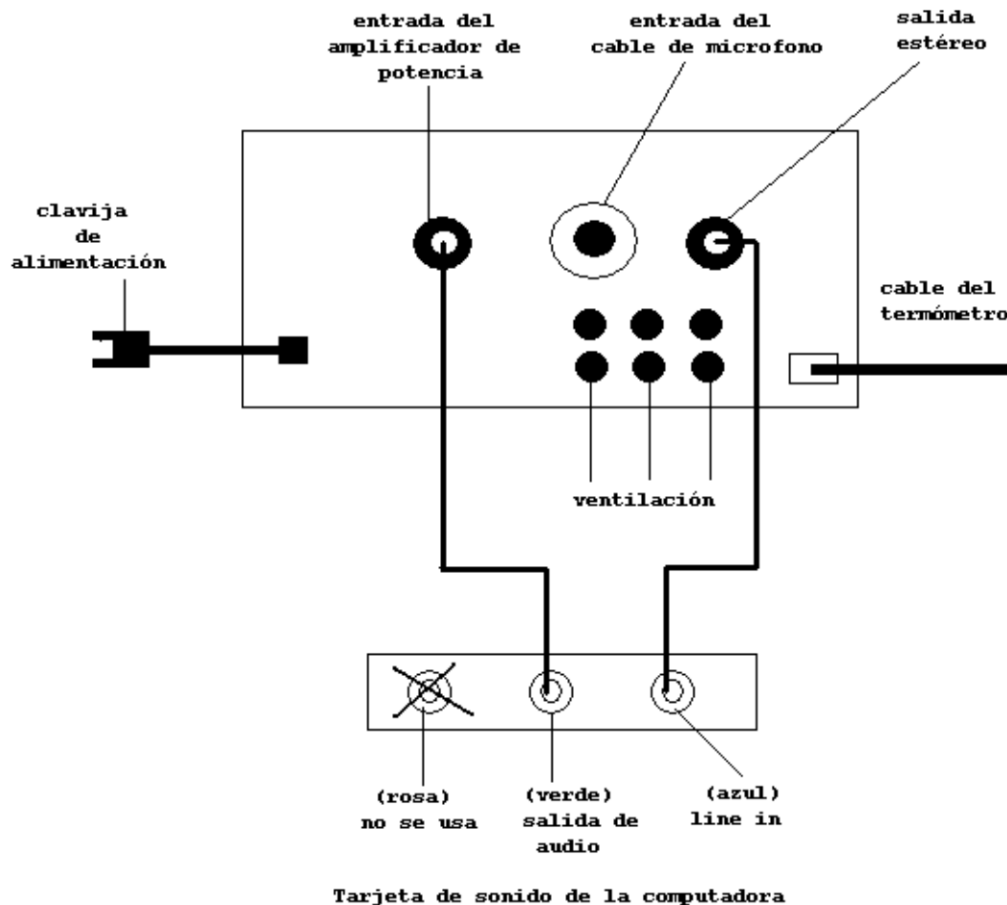


Figura a) Conexión de los cables de la caja de control

Se debe tener cuidado para conectar correctamente los cables. El borne verde de la tarjeta de sonido de la computadora se conecta en la entrada del amplificador de potencia. Para una mejor comprensión, la entrada del amplificador estará marcada con el color verde.

La salida del preamplificador (marcada de azul) se conecta a la entrada line in (borne azul) de la tarjeta de sonido de la computadora.

3.- Una vez realizadas las conexiones de los cables, se debe conectar la clavija a la corriente para alimentar todos los circuitos del prototipo.

4.- Cuando ya está conectado el cable de alimentación a la corriente, se enciende el interruptor general. En ese momento se enciende el led rojo del termómetro y aparece la lectura de la temperatura ambiente en el display (en grados Celsius). También se enciende el led verde del amplificador de potencia. Se debe mantener el nivel de volumen del amplificador en el mínimo.

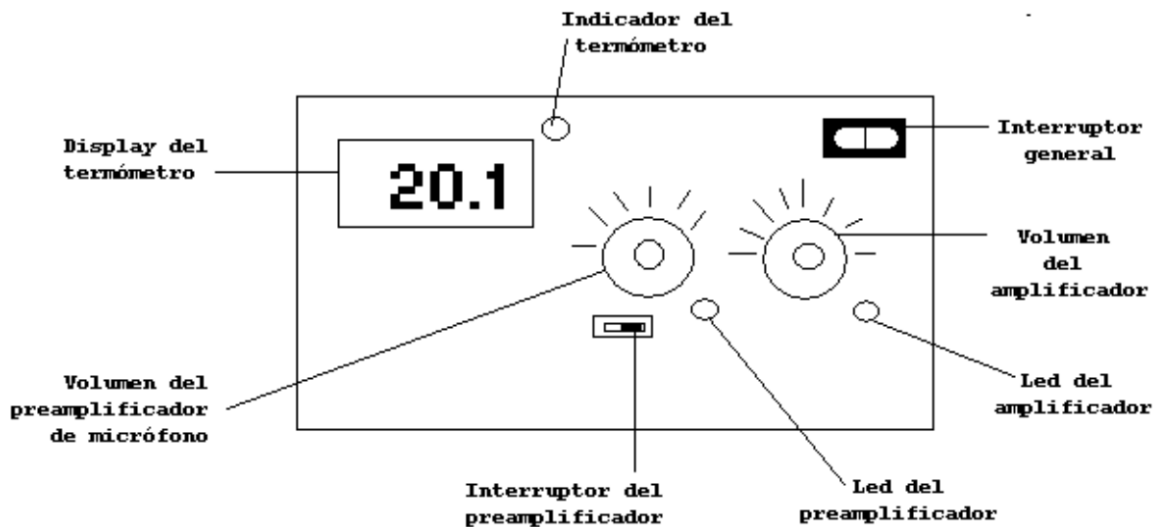


Figura b). Carátula de la caja de control

5.- Se ejecuta en la computadora la interfaz, para probar que existe comunicación enviamos un primer tono a la frecuencia mínima (o a la que se desee). Se incrementa el volumen en la interfaz y también en el amplificador de potencia poco a poco. Debe parecer la onda senoidal en color azul en la grafica del tiempo de la interfaz.

6.- Cuando haya aparecido la primera onda, encendemos el preamplificador del micrófono (led ámbar) e incrementamos poco a poco el volumen hasta que aparezca la onda de l micrófono (color rojo). Debemos tener cuidado al incrementar el volumen pues un nivel demasiado alto causará una realimentación (sonido muy agudo y desagradable) que no nos sirve.

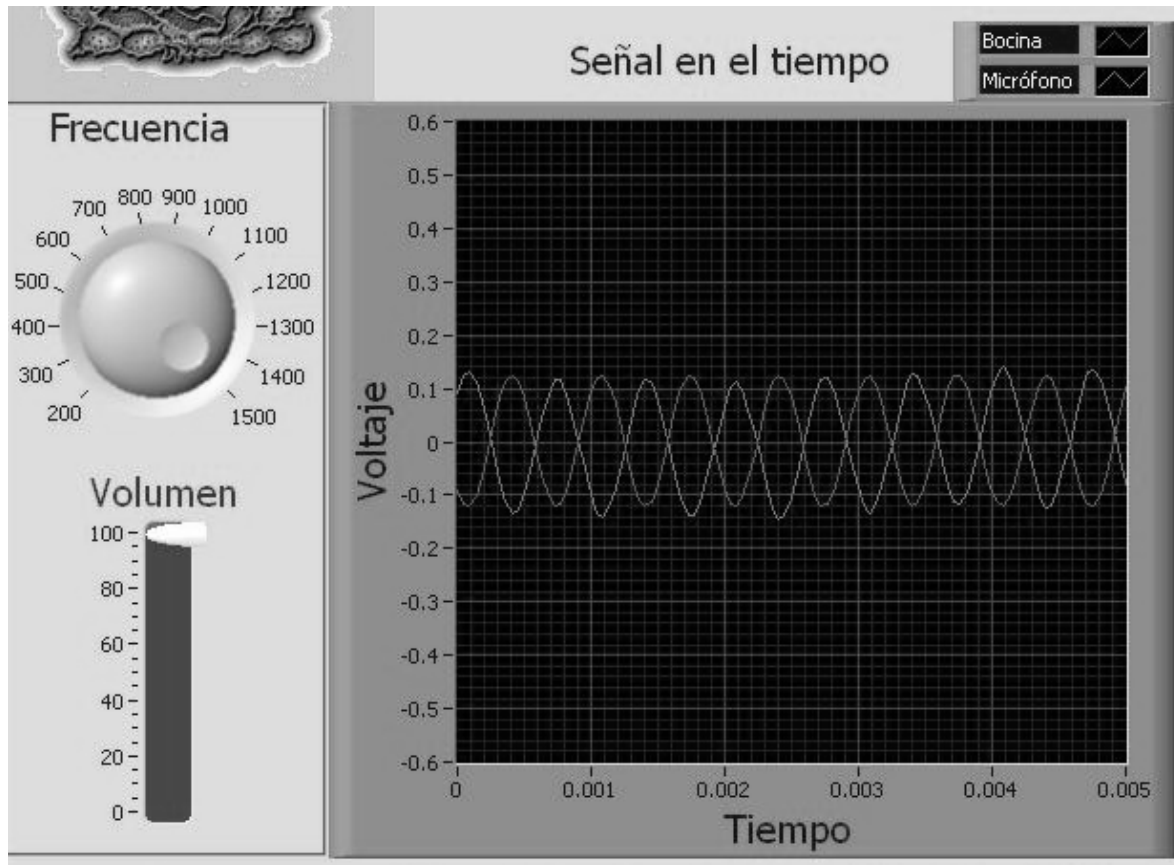


Figura c). Señales en el tiempo

7.- Con ambas señales en la grafica procedemos a desplazar el micrófono en el interior del tubo, de modo que las dos señales queden completamente en fase (se verá como una sola onda). Si es necesario se regula el volumen del preamplificador para que las amplitudes de ambas señales sean lo más parecido que se pueda. Para ello contamos también con un led virtual (rojo) que nos ayudará a identificar la condición. Adicionalmente, la figura de Lissajous en la grafica XY se mostrará como una recta a 45 grados (o algo muy similar). En ese momento debemos realizar un a marca sobre la guía del micrófono (que se pueda reconocer posteriormente).

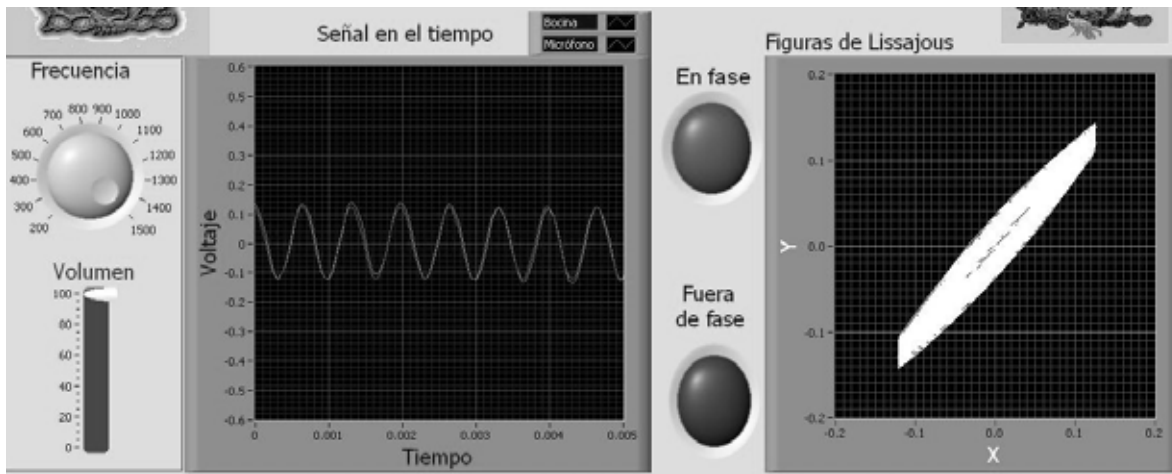


Figura d). Ondas en fase

8.- Desplazamos nuevamente el micrófono hasta encontrar la siguiente condición: El desfase de 180 grados. En ese momento veremos encenderse el *led* verde “fuera de fase” y ahora las ondas aparecerán como completamente opuestas, esto es, un pico corresponde a un valle y viceversa. La figura de Lissajous será entonces una recta (o algo muy próximo) a -45 grados. En ese momento haremos la siguiente marca sobre la guía del micrófono.



Figura e). Ondas fuera de fase (desfasamiento de 180 grados)

9.- Cuando tengamos las dos marcas sobre la guía del micrófono, bajamos el nivel de volumen de la interfaz al mínimo y medimos la distancia entre las marcas de la guía utilizando una regla graduada en milímetros o un flexómetro.

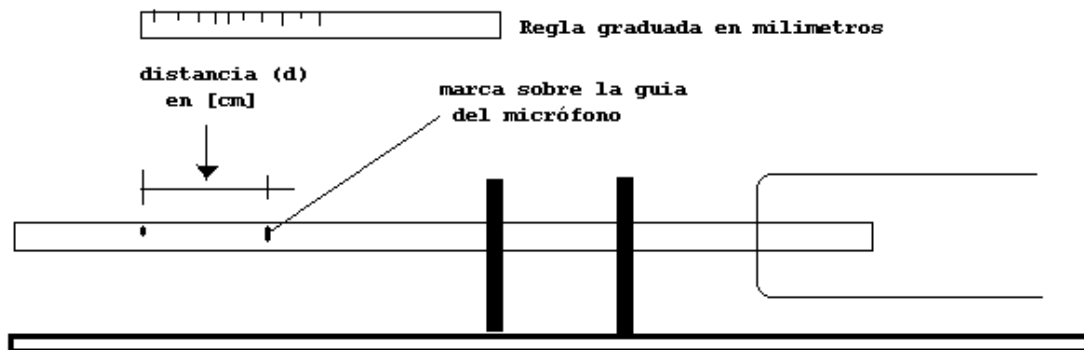


Figura f). Medición de la distancia (o media longitud de onda ($\lambda/2$))

10.- Tomamos la lectura de la temperatura ambiente en ese momento y la ingresamos a la interfaz, al igual que el valor obtenido de la distancia “d” en centímetros en las cajas correspondientes (puede ser mediante el incremento a través de los cursores o escribiendo directamente sobre las cajas ya que la interfaz permite también esta forma).

11. La interfaz nos dará el valor de la velocidad teórica del sonido esperado en función de la temperatura, el valor de la velocidad experimental sonido debido a la frecuencia del tono que estamos enviando y la distancia registrada sobre la guía del micrófono y el porcentaje de error que se tiene en la medición.

12.- Pueden tomarse las medidas que se deseen a esa frecuencia, para cambiarla basta con seleccionar una nueva posición en el dial de frecuencia e incrementar nuevamente el volumen.

13.- Para terminar se deben presionar los botones de alto en la interfaz. Después apagamos el interruptor general y desconectamos los cables de la computadora. Desconectamos finalmente el tomacorriente y el cable del micrófono.



Figura g). Aspecto de la interfaz con todos los datos y el cálculo de la velocidad del sonido



Figura h). Ejemplo de una medición con el prototipo y la interfaz



Figura i) Aspectos del prototipo

Anexo 2


Programas de estudio del bachillerato (Nivel Preparatoria) Física IV. Área II

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
	3.4. Lentes convergentes y divergentes.	<ul style="list-style-type: none"> -Establecer las características de los rayos principales para la formación de imágenes en lentes delgadas convergentes y divergentes. -Verificar que la ecuación para espejos esféricos, se cumple en lentes delgadas. -Aplicar la ecuación de lentes delgadas en la resolución de problemas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Trazar diagramas geométricos que expliquen la formación de imágenes reales y virtuales por lentes delgadas convergentes y divergentes. -A partir de un análisis geométrico, mostrar que la ecuación de lentes delgadas es la misma que la correspondiente a espejos esféricos. -Interpretar que la gráfica p-q para el caso de lentes delgadas. -Trazar diagramas geométricos para explicar el funcionamiento de una lupa, un telescopio Y un microscopio compuesto. -Explicar el funcionamiento del ojo como un instrumento óptico. -Explicar cómo los anteojos corrigen defectos de la visión. 	
	3.5. Ondas longitudinales y transversales.	<ul style="list-style-type: none"> -Definir los parámetros característicos de las ondas. (Periodo, frecuencia, amplitud y longitud de onda). -Establecer la ecuación para la velocidad de propagación de una onda. -Discriminar entre una onda longitudinal y una transversal. -Discriminar entre ondas viajeras y ondas estacionarias. 	<ul style="list-style-type: none"> -Experimentar con un resorte helicoidal para mostrar la diferencia entre ondas longitudinales y transversales. -Mostrar experimentalmente mediante una cuba de ondas la velocidad de propagación, la difracción y la refracción. -Mostrar experimentalmente ondas estacionarias en una cuerda. 	

HORAS	CONTENIDO	DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO	ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS (actividades de aprendizaje)	BIBLIOGRAFIA
3.6	Conductividad calorífica y capacidad térmica específica.	<ul style="list-style-type: none"> -Establecer el concepto de capacidad térmica específica. -Identificar las formas de transmisión del calor por conductividad térmica y convección. 	<ul style="list-style-type: none"> -Realizar experimentalmente algunos cálculos sobre la capacidad térmica específica de algunos materiales. 	
3.7	Transferencia de energía. Ondas mecánicas.	<ul style="list-style-type: none"> -Identificar las diferentes formas de transmitir energía mediante: trabajo, calor, corriente eléctrica, radiación electromagnética y asociar otras formas de transmisión como las ondas mecánicas. -Identificar algunas propiedades de las ondas. -Establecer el concepto de resonancia. 	<ul style="list-style-type: none"> -Interpretar la energía transmitida al agua como el incremento de energía interna del agua y explicar la energía interna como la suma de las energías cinética y potencial de las moléculas. -Conseguir experimentalmente el cambio de fase de algunas sustancias y explicarlas con base en la energía interna. -Realizar experimentos donde se muestre la conducción y las corrientes de convección. -Hacer una lectura sobre las inversiones térmicas. -Ilustrar la transmisión de energía por medio de ondas sísmicas, sonoras y electromagnéticas además de comentar eléctricas. -Mostrar con resortes las propiedades de las ondas. -Ilustrar la resonancia con péndulos, diapasones y sistemas de masaresorte. -Mostrar con resortes las propiedades de las ondas. -Realizar lecturas sobre la energía transferida, y las consecuencias terremotos de las ondas sísmicas. 	

Anexo 3

Especificaciones de los diferentes Circuitos Integrados empleados en el prototipo


LM833

LOW NOISE DUAL OPERATIONAL AMPLIFIER

- LOW VOLTAGE NOISE: 4.5nV/√Hz
- HIGH GAIN BANDWIDTH PRODUCT: 15MHz
- HIGH SLEW RATE: 7V/μs
- LOW DISTORTION: 0.002%
- EXCELLENT FREQUENCY STABILITY
- ESD PROTECTION 2kV

DESCRIPTION

The LM833 is a monolithic dual operational amplifier particularly well suited for audio applications. It offers low voltage noise (4.5nV/√Hz) and high frequency performances (15MHz Gain Bandwidth product, 7V/μs slew rate).

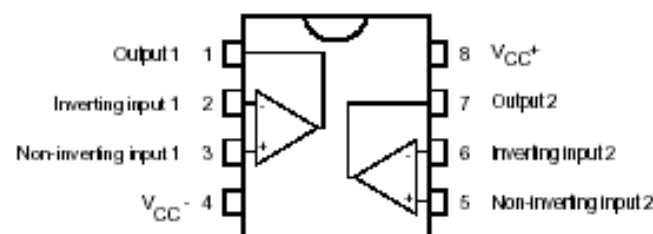
In addition the LM833 has also a very low distortion (0.002%) and excellent phase/gain margins.

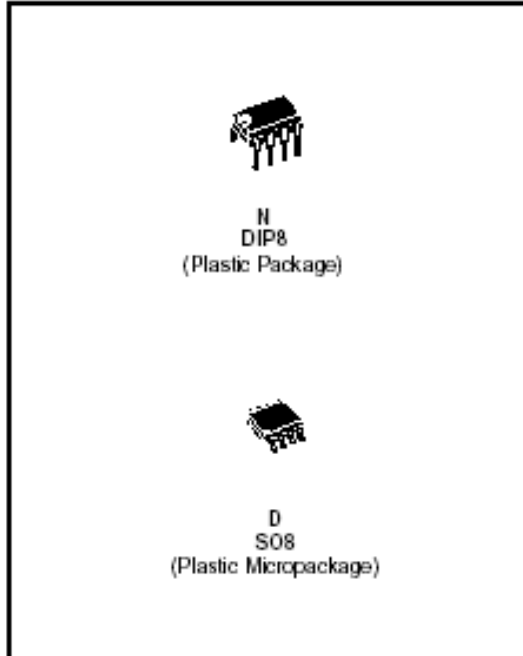
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LM833	-40°C, +105°C	•	•

N = Dual In Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

PIN CONNECTIONS (top view)





N
DIP8
(Plastic Package)

D
S08
(Plastic Micropackage)

Figura 1. Amplificador operacional LM833 dual



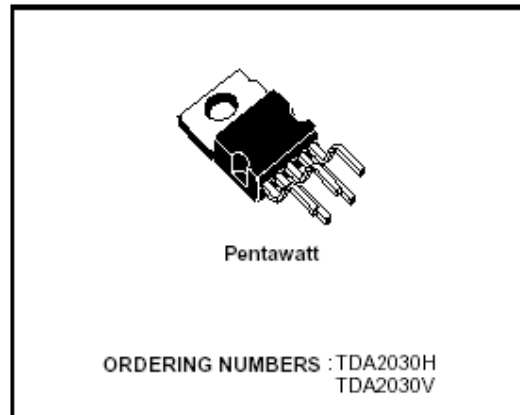
TDA2030

14W Hi-Fi AUDIO AMPLIFIER

DESCRIPTION

The TDA2030 is a monolithic integrated circuit in Pentawatt® package, intended for use as a low frequency class AB amplifier. Typically it provides 14W output power ($d = 0.5\%$) at 14V/4Ω; at ± 14V or 28V, the guaranteed output power is 12W on a 4Ω load and 8W on a 8Ω (DIN45500).

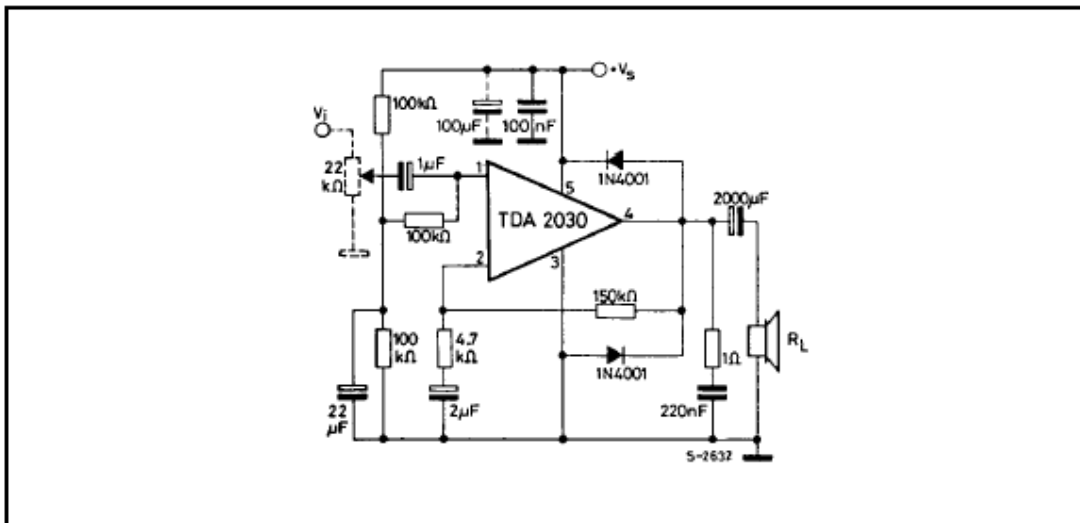
The TDA2030 provides high output current and has very low harmonic and cross-over distortion. Further the device incorporates an original (and patented) short circuit protection system comprising an arrangement for automatically limiting the dissipated power so as to keep the working point of the output transistors within their safe operating area. A conventional thermal shut-down system is also included.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_s	Supply voltage	± 18 (36)	V
V_i	Input voltage	V_s	
V_i	Differential input voltage	± 15	V
I_o	Output peak current (internally limited)	3.5	A
P_{tot}	Power dissipation at $T_{case} = 90^\circ C$	20	W
T_{stg}, T_j	Storage and junction temperature	-40 to 150	°C

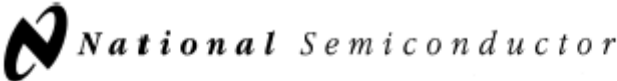
TYPICAL APPLICATION



June 1998

1/12

Figura 2. Amplificador de potencia TDA2030


November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

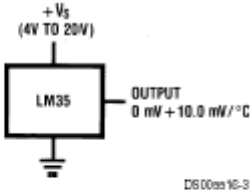
The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ at room temperature and $\pm\frac{3}{4}^{\circ}\text{C}$ over a full -55 to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^{\circ}\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

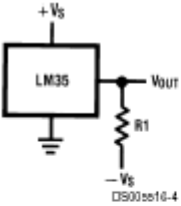
- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear + 10.0 mV/°C scale factor
- 0.5° C accuracy guaranteeable (at +25°C)
- Rated for full -55° to $+150^{\circ}\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm\frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Typical Applications



DS000516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
(+2° C to +150° C)



DS000516-4

Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^{\circ}\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^{\circ}\text{C}$
 $= -550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors

© 2000 National Semiconductor Corporation DS000516

www.national.com

Figura 3. Sensor de temperatura LM35 en grados centígrados

104



ICL7106, ICL7107, ICL7107S

Data Sheet

December 1, 2005

FN3082.8

3¹/₂ Digit, LCD/LED Display, A/D Converters

The Intersil ICL7106 and ICL7107 are high performance, low power, 3¹/₂ digit A/D converters. Included are seven segment decoders, display drivers, a reference, and a clock. The ICL7106 is designed to interface with a liquid crystal display (LCD) and includes a multiplexed backplane drive; the ICL7107 will directly drive an instrument size light emitting diode (LED) display.

The ICL7106 and ICL7107 bring together a combination of high accuracy, versatility, and true economy. It features auto-zero to less than 10 μ V, zero drift of less than 1 μ V/ $^{\circ}$ C, input bias current of 10pA (Max), and rollover error of less than one count. True differential inputs and reference are useful in all systems, but give the designer an uncommon advantage when measuring load cells, strain gauges and other bridge type transducers. Finally, the true economy of single power supply operation (ICL7106), enables a high performance panel meter to be built with the addition of only 10 passive components and a display.

Features

- Guaranteed Zero Reading for 0V Input on All Scales
- True Polarity at Zero for Precise Null Detection
- 1pA Typical Input Current
- True Differential Input and Reference, Direct Display Drive - LCD ICL7106, LED ICL7107
- Low Noise - Less Than 15 μ V_{p-p}
- On Chip Clock and Reference
- Low Power Dissipation - Typically Less Than 10mW
- No Additional Active Circuits Required
- Enhanced Display Stability
- Pb-Free Plus Anneal Available (RoHS Compliant)

Ordering Information

PART NO.	PART MARKING	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. DWG. #
ICL7106CPL	ICL7106CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7106CPLZ (Note 2)	ICL7106CPLZ	0 to 70	40 Ld PDIP(Pb-free) (Note 3)	E40.6
ICL7106CM44	ICL7106CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10
ICL7106CM44Z (Note 2)	ICL7106CM44Z	0 to 70	44 Ld MQFP (Pb-free)	Q44.10x10
ICL7106CM44ZT (Note 2)	ICL7106CM44Z	0 to 70	44 Ld MQFP Tape and Reel (Pb-free)	Q44.10x10
ICL7107CPL	ICL7107CPL	0 to 70	40 Ld PDIP	E40.6
ICL7107CPLZ (Note 2)	ICL7107CPLZ	0 to 70	40 Ld PDIP(Pb-free) (Note 3)	E40.6
ICL7107RCPL	ICL7107RCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Note 1)	E40.6
ICL7107RCPLZ (Note 2)	ICL7107RCPLZ	0 to 70	40 Ld PDIP (Pb-free) (Notes 1, 3)	E40.6
ICL7107SCPL	ICL7107SCPL	0 to 70	40 Ld PDIP (Notes 1, 3)	E40.6
ICL7107SCPLZ (Note 2)	ICL7107SCPLZ	0 to 70	40 Ld PDIP (Pb-free) (Notes 1, 3)	E40.6
ICL7107CM44	ICL7107CM44	0 to 70	44 Ld MQFP	Q44.10x10
ICL7107CM44T	ICL7107CM44	0 to 70	44 Ld MQFP Tape and Reel	Q44.10x10
ICL7107CM44Z (Note 2)	ICL7107CM44Z	0 to 70	44 Ld MQFP (Pb-free)	Q44.10x10
ICL7107CM44ZT (Note 2)	ICL7107CM44Z	0 to 70	44 Ld MQFP Tape and Reel (Pb-free)	Q44.10x10

NOTES:

1. "R" indicates device with reversed leads for mounting to PC board underside. "S" indicates enhanced stability.
2. Intersil Pb-free plus anneal products employ special Pb-free material sets; molding compounds/die attach materials and 100% matte tin plate termination finish, which are RoHS compliant and compatible with both SnPb and Pb-free soldering operations. Intersil Pb-free products are MSL classified at Pb-free peak reflow temperatures that meet or exceed the Pb-free requirements of IPC/JEDEC J STD-020.
3. Pb-free PDIPs can be used for through hole wave solder processing only. They are not intended for use in Reflow solder processing applications.

Figura 4. Convertidor A/D con salida a display de 3 1/2 dígitos

Pinouts

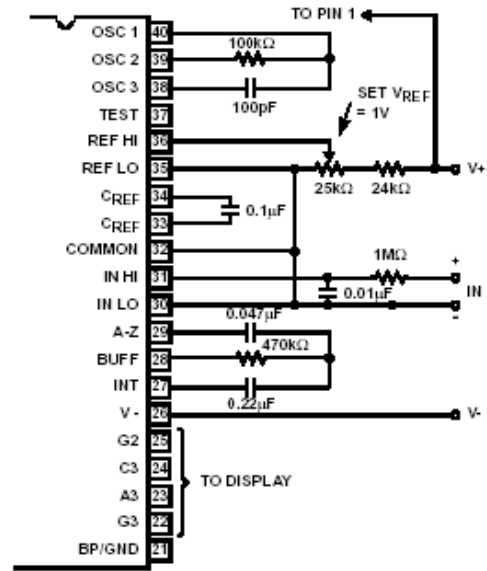
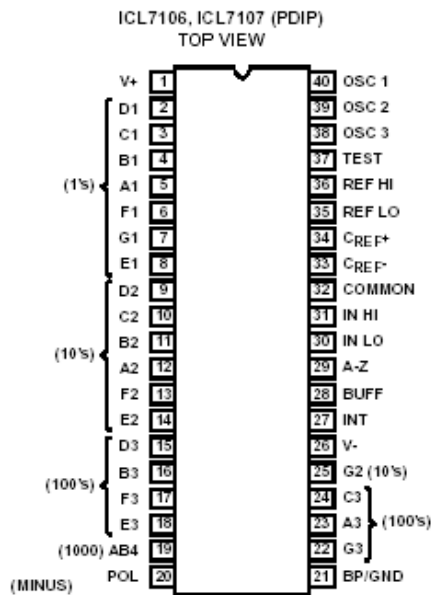


FIGURE 15. ICL7106 AND ICL7107: RECOMMENDED COMPONENT VALUES FOR 2V FULL SCALE

Typical Applications and Test Circuits

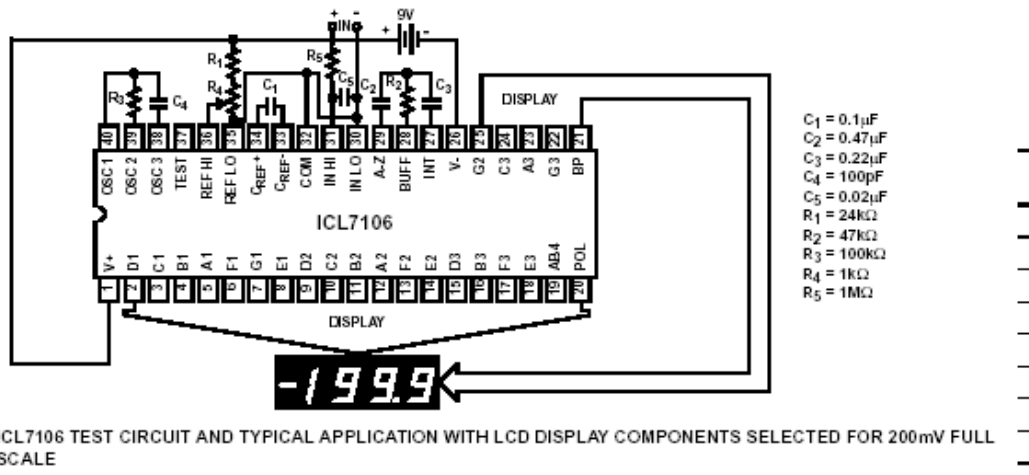


FIGURE 1. ICL7106 TEST CIRCUIT AND TYPICAL APPLICATION WITH LCD DISPLAY COMPONENTS SELECTED FOR 200mV FULL SCALE

Figura 5. Convertidor A/D continuación (Tomado de Intersil, Diciembre 2005)

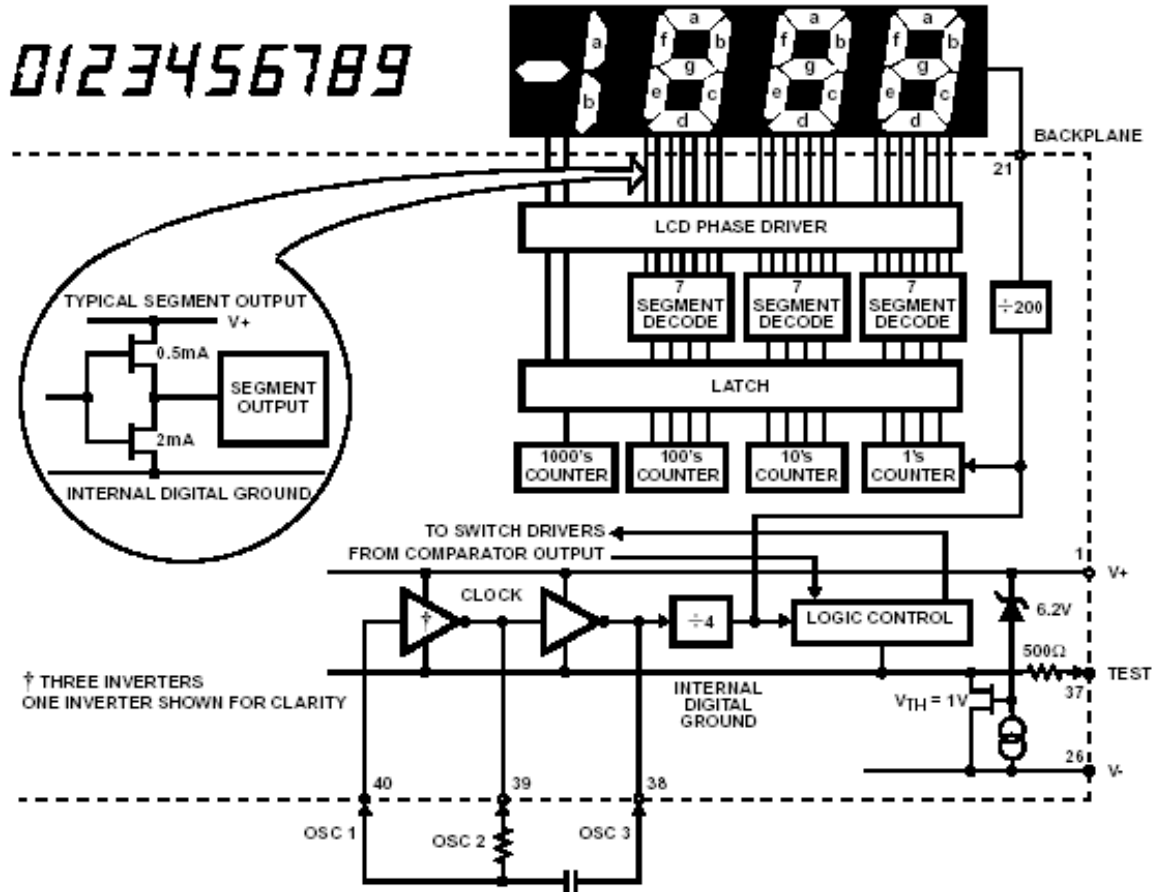
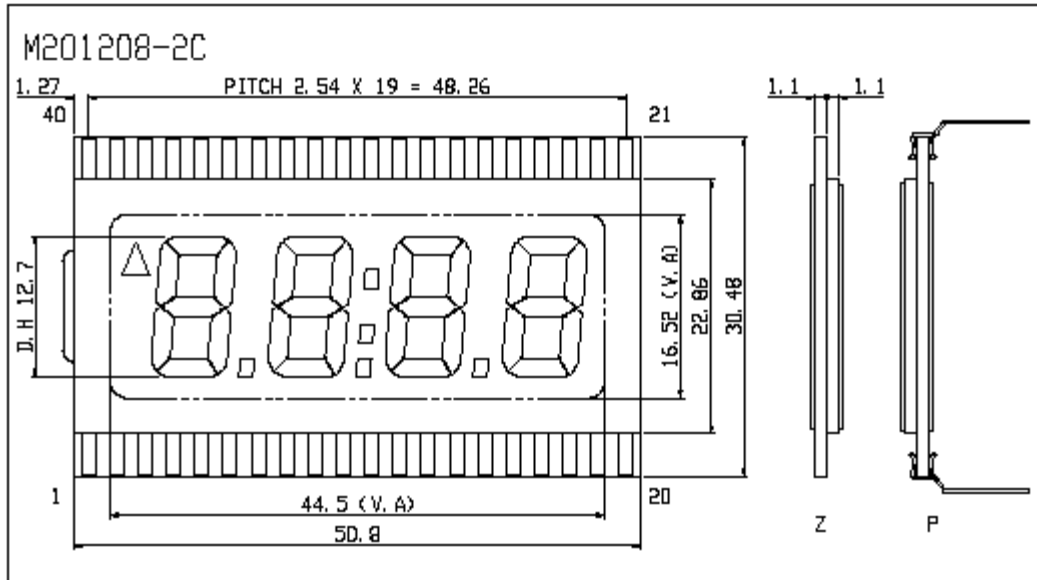


FIGURE 7. ICL7106 DIGITAL SECTION

Figura 6. Sección digital del convertidor A/D

DG-201208



Pin No.	Seg	Pin No.	Seg	Pin No.	Seg	Pin No.	Seg
1	COM	11	3c	21	1a	31	3f
2	NC	12	2DP	22	1f	32	3g
3	NC	13	2e	23	1g	33	NC
4	NC	14	2d	24	2b	34	4b
5	4e	15	2c	25	2a	35	4a
6	4d	16	1DP	26	2f	36	4f
7	4c	17	1e	27	2g	37	4g
8	3DP	18	1d	28	L	38	▲
9	3e	19	1c	29	3b	39	NC
10	3d	20	1b	30	3a	40	COM

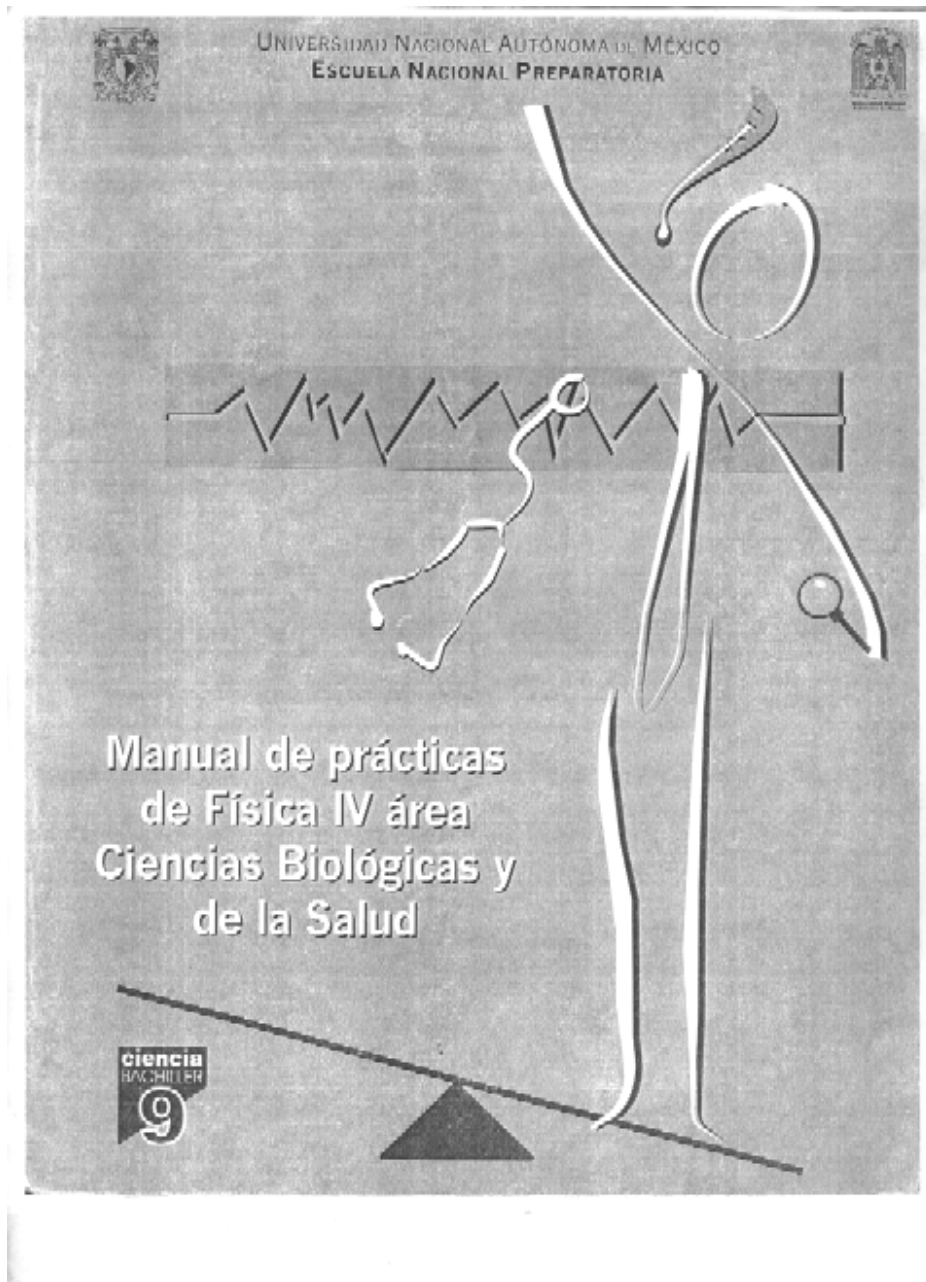
Figura 7. Diagrama del display de cristal liquido

No de parte	Voltaje Regulado	V _{IN} Mínimo	V _{IN} Máximo
7805	+5	7	25
7806	+6	8	25
7808	+8	10.5	25
7810	+10	12.5	28
7812	+12	14.5	30
7815	+15	17.5	30
7818	+18	21	33
7824	+24	27	38
No de parte	Voltaje Regulado	V _{IN} Mínimo	V _{IN} Máximo
7905	-5	-7	-25
7906	-6	-8	-25
7908	-8	-10.5	-25
7909	-9	-11.5	-28
7912	-12	-14.5	-30
7915	-15	-17.5	-30
7918	-18	-21	-33
7924	-24	-27	-38

Figura 8. Tabla de valores de voltaje para los reguladores 7809 y 7812. Los valores están dados en Volts [V]

Anexo 4

Manual de Prácticas de Física IV área Ciencias Biológicas y de la Salud.
Escuela Nacional Preparatoria UNAM



Práctica No. _____ Grupo _____ Fecha _____
Nombre del alumno (a) _____

ONDAS ESTACIONARIAS

PROPÓSITO

Determinar la relación que existe entre la longitud de onda y la frecuencia de oscilación.

INTRODUCCIÓN

Si mandamos simultáneamente dos conjuntos de ondas de la misma frecuencia pero en sentidos opuestos a lo largo de un resorte como se muestra en la figura 1, estas ondas se combinan para producir *ondas estacionarias*. En ellas no existe movimiento ondulatorio visible de un extremo a otro del resorte, aunque las espirales de éste oscilen de acuerdo con su posición a lo largo del mismo.



Figura 1 Ondas Estacionarias formadas con un resorte

Las ondas estacionarias tienen la misma frecuencia y longitud de onda que las ondas progresivas que las produjeron. Los puntos de oscilación nula son los nodos, mientras que los puntos de máxima oscilación a lo largo de la onda estacionaria se denominan antinodos.

MATERIAL

- Δ Vibrador
- Δ Generador de funciones
- Δ Resorte tubular de entre 1.20 y 1.50 m
- Δ Flexómetro
- Δ Hoja de papel milimétrico
- Δ Cables para conexión
- Δ Soporte universal
- Δ Presa de sujeción
- Δ Varilla con gancho

DESARROLLO EXPERIMENTAL

1. Fija uno de los extremos del resorte tubular al vibrador.
2. Conecta el vibrador al generador de funciones.

3. El extremo libre del resorte hazlo pasar por encima del gancho de la varilla y cuelga en él la pesa, así, la “cuerda” tendrá una tensión constante, lo cual te permitirá ver las ondas estacionarias, figura 2. Otra manera de lograr el mismo propósito, sería amarrando el resorte a la varilla fija del soporte universal dándole cierta tensión.

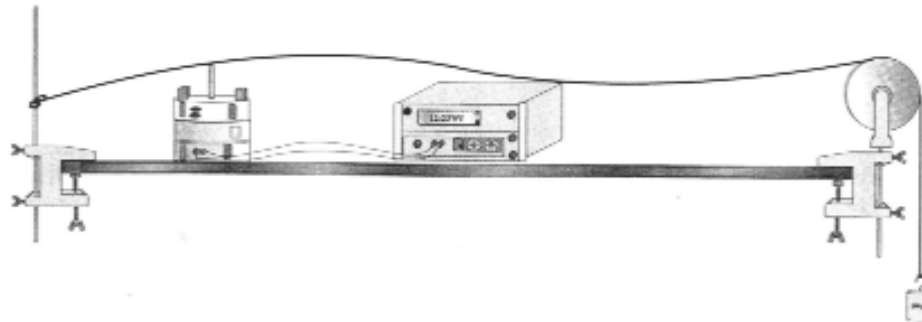


Figura 2. Dispositivo experimental

4. Antes de encender el generador de funciones, asegúrate de que: la perilla de amplitud esté en cero, en el botón que dice “forma de la onda” debes seleccionar a la onda senoidal.
5. Al encender el generador debes ajustar el rango en la escala 10 (frecuencia-Hertz). Ahora, has funcionar el generador, variando lentamente la frecuencia, simultáneamente observa el resorte y verás cómo se forman las ondas estacionarias. Anota en una tabla el número de lóbulos (crestas o valles) que aparecen y la frecuencia correspondiente.

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

Tabla 1

Número de lóbulos	1	2	3	4	5	6	7	8
Frecuencia (Hz)								

1. Identifica los nodos y los antinodos para cada frecuencia. Escoge una de las frecuencias con que trabajaste y dibuja tus observaciones localizando en la figura los nodos y los antinodos.
2. En la hoja de papel milimétrico y con los datos de la Tabla 1 construye la gráfica “Frecuencia contra número de lóbulos”
3. Con el flexómetro mide, para cada frecuencia, la distancia entre dos nodos consecutivos. Anota tus mediciones. Puedes hacerlo en una segunda tabla.

Práctica No. _____ Grupo _____ Fecha _____
Nombre del alumno (a) _____

SONIDO

PROPÓSITO

Identificar las características fundamentales de los sonidos.

INTRODUCCIÓN

Las *ondas sonoras* son ondas *longitudinales* o de compresión. En éstas, el movimiento oscilatorio de las moléculas de aire tiene lugar en la misma dirección en que se mueve el pulso de onda, esta característica es la que las distingue de las ondas transversales.

Las ondas sonoras son originadas por vibraciones, necesitan un medio de propagación y pueden viajar en sólidos, líquidos y gases. Las tres características fundamentales de todos los sonidos son:

- Volumen e intensidad (amplitud)
- Tono (frecuencia)
- Timbre o calidad del sonido (forma de la onda)

MATERIAL

- Δ Una lata grande o un bote de cartón grueso
- Δ Un abrelatas
- Δ Un globo, ligas, tijeras
- Δ Un espejito pequeño (de entre 1.5 y 2 cm de lado)
- Δ Pegamento
- Δ Masking tape
- Δ Lámpara láser
- Δ Un pliego de cartulina blanca
- Δ Un silbato, un diapasón, guitarra, flauta, etc

DESARROLLO EXPERIMENTAL

1. Antes de iniciar el experimento deberás preparar tu dispositivo experimental, un “cilindro con membrana vibrante”, de la siguiente manera:

- a) Retira las tapas de la lata o bote de cartón con la ayuda del abrelatas de tal manera que el cilindro quede abierto de los dos lados. Puede servirte cualquier lata de regular tamaño, los botes cilindricos de cualquier polvo limpiador como los de Ajax, los botes de pringles, etc.
- b) Corta el globo y estíralo sobre uno de los extremos de la lata o bote, fijándolo bien con una liga. El globo será la membrana vibrante.
- c) Pega el espejito en la parte externa del globo como se muestra en la figura 1, ¡tienes listo tu dispositivo experimental!

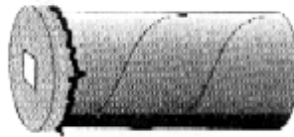


Figura 1. Dispositivo experimental

2. Acerca una mesa a la pared, coloca sobre ella tu dispositivo experimental en forma horizontal y de manera que el espejito quede frente a la pared.
3. Enciende la lámpara láser y dirige la luz hacia el espejito, de ser necesario mueve la mesa o tu dispositivo experimental hasta que veas proyectada en la pared la luz reflejada por el espejo. Una vez que lo logres, sujeta el bote a la mesa con el masking tape como se muestra en la figura 2. Busca la manera de mantener el láser en una posición fija.

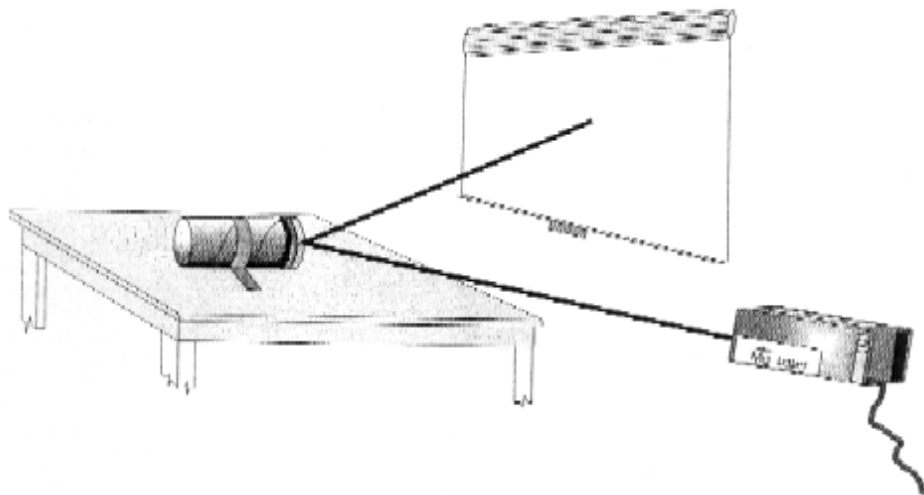


Figura 2. Forma de montar el experimento

4. Con el masking tape fija en la pared el pliego de cartulina blanca, ésta será la pantalla donde harás las observaciones.
5. Detrás de la parte abierta del dispositivo experimental envía diferentes sonidos (con un silbato, un diapasón, una guitarra, una flauta, habla, vocaliza, grito, etc). Las ondas del sonido penetrarán por el tubo haciendo vibrar el globo (membrana vibradora). Observa lo que pasa con la luz que se refleja en la pantalla.
6. Es importante que busques la forma de producir sonidos agudos y graves, fuertes y suaves. También puedes repetir el experimento construyendo varios dispositivos experimentales de diferente longitud y/o diámetro.

NOTA: Si se cuenta en el laboratorio con un osciloscopio, se conecta un micrófono a la entrada de éste (con las adaptaciones debidas), así, podrá utilizarse para observar en forma gráfica las señales emitidas por distintas fuentes sonoras cerca del micrófono. La forma de la onda en la pantalla del osciloscopio parece una serie de ondas transversales, correspondiendo las crestas a las compresiones y los valles a las expansiones de las moléculas de aire. Puede medirse la frecuencia y la amplitud de las ondas sonoras, haciendo el experimento más completo.

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

Si cuentas con un osciloscopio. Dibuja las curvas que se observan en la pantalla al emitir los diferentes sonidos:

1. Sonidos agudos: fuertes y suaves

2. Sonidos graves: fuertes y suaves

3. Al hablar: fuerte y suave

4. Al vocalizar : fuerte y suave

5. Al tocar una nota con un instrumento musical.

ANÁLISIS

1. ¿Qué cambios observas en las curvas que aparecen en la pantalla cuando produces sonidos suaves? _____

2. ¿Qué observas cuando los sonidos son fuertes, por ejemplo el producido por un silbato o por un grito? _____

3. ¿Con qué característica del sonido relacionas un grito o un susurro? _____

4. ¿Qué cambios observas en las señales que aparecen en la pantalla al emitir un sonido agudo, por ejemplo el de la voz de una muchacha o el de un silbido agudo? _____

5. ¿Qué observas en la pantalla al producir un sonido grave, con diferentes instrumentos, por ejemplo con una flauta, una guitarra, un tambor o la voz grave de un muchacho? _____

6. Al producir la misma nota musical con diferentes instrumentos ¿hay alguna diferencia en las curvas que aparecen en la pantalla? ¿qué característica del sonido se está comprobando? _____

7. ¿Cuál es la característica del sonido que está relacionada con los sonidos agudos y graves? _____

8. La membrana vibrante del dispositivo experimental, ¿con qué parte del oído tiene gran analogía? _____

9. Explica brevemente el funcionamiento del oído _____

10. Se producen cuatro sonidos, uno después del otro, frente al micrófono conectado a un osciloscopio. Las gráficas en la figura 3 muestran lo que se observó en la pantalla del osciloscopio.

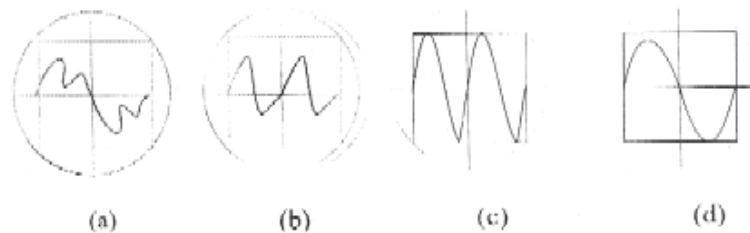


Figura 3. Gráficas en un osciloscopio

a) ¿Qué gráfica aparecerá al emitir el tono más bajo? _____

b) ¿Qué gráfica aparecerá al emitir el sonido de mayor volumen? _____

11. Si quieres saber más, investiga:

1. La correlación entre percepción y características del sonido (efecto sensorial y propiedades físicas de la onda)

a) ¿De qué depende el volumen de un sonido según es percibido por el oído? _____

b) ¿De qué depende la calidad del sonido? _____

c) ¿Es posible que un tubo de órgano abierto y otro cerrado de la misma longitud produzcan notas en la misma frecuencia? _____

CONCLUSIONES

No olvides anotar en tu reporte las conclusiones que hayas obtenido del experimento.

BIBLIOGRAFÍA

BUECHE, F. (1979) *Ciencias físicas*. España: Reverté.

POPLE, S.(1997) *Física razonada*. México: Trillas.

WHITE, H. (1962) *Física moderna universitaria*. España: UTEHA. 4^{ta}. Edición.

ZARZOSA, P. A. (2000) *Enseñanza de las ciencias fuera del aula*. México: Facultad de Ciencias-UNAM. s/e.

Anota los textos que empleaste para hacer tu reporte.
