

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 tenemos a 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].

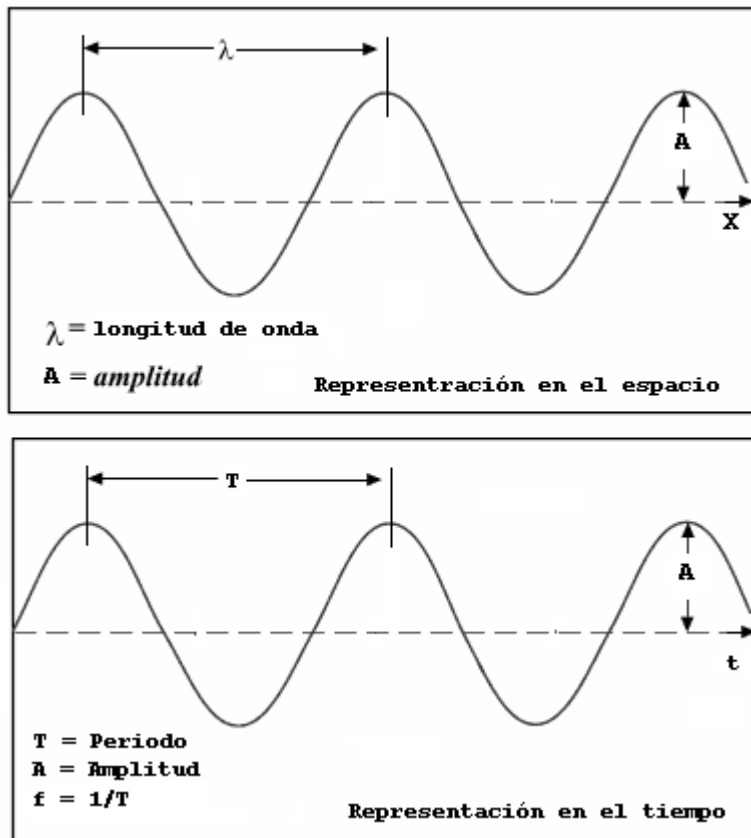


Figura 1. Características de la onda senoidal

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.

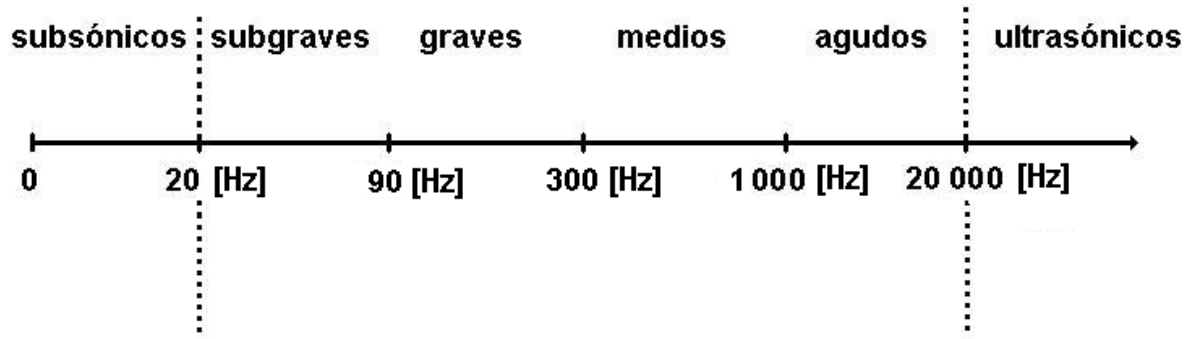


Figura 2. Espectro audible

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.

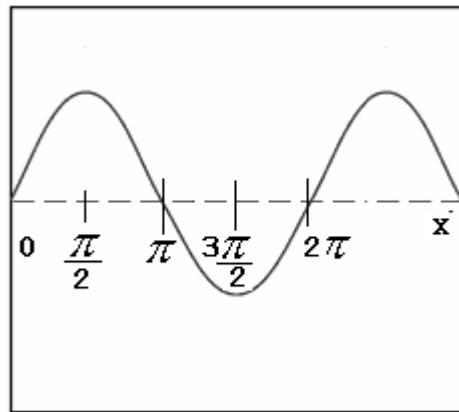


Figura 3. Ciclo en radianes

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.

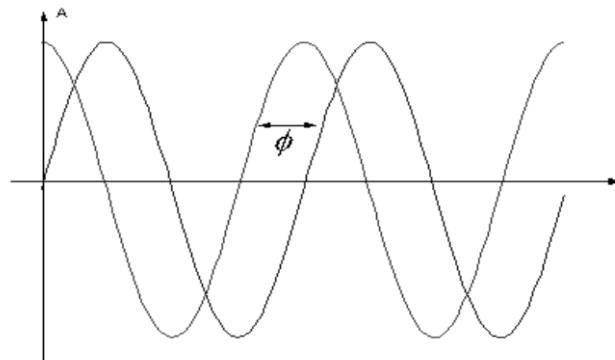


Figura 4. Diferencia de fase entre dos ondas de la misma frecuencia

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) hacía vibrar 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 del 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

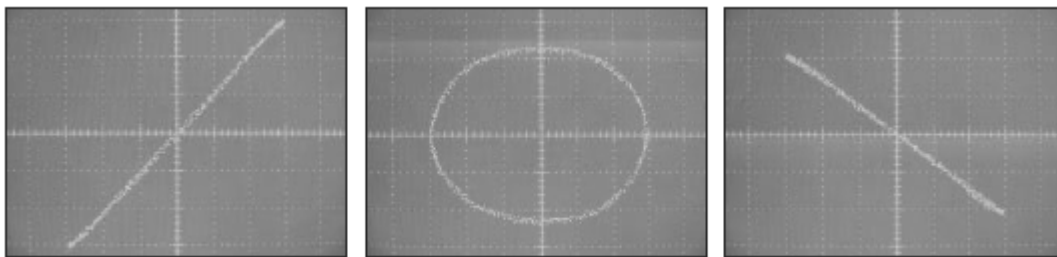


Figura 6. Figuras de Lissajous ($\phi = 0, 90$ y 180 grados)

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 nuestras 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 ($L = 10a$) que las ondas que avanzan debido 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 Gassendi, quien, en 1624, hizo una determinación 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 Mersene (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 retorno 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, porque 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, determino la velocidad de la propagación del sonido en los sólidos.

La propagación del sonido en el agua, negada durante mucho tiempo porque 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 determinación, 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, Prony, Bouvard, Gay-Lussac y Huboldt la realización de unas 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

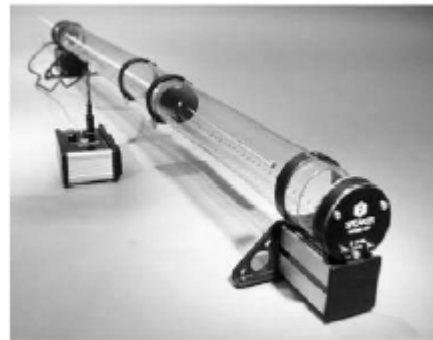


Figura 8. Tubo de Kundt comercial

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 están 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 puedan 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 entes 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 encuentra 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.

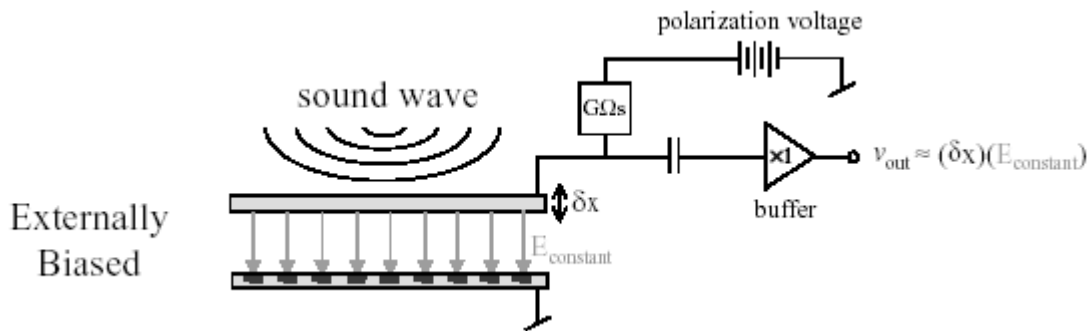


Figura 9. Principio de operación del *electret*

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 grafica 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:

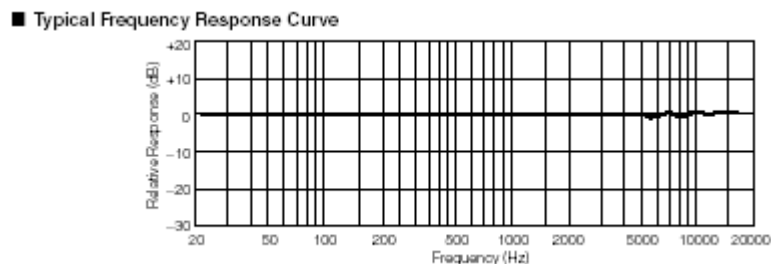


Figura 11. Curva de respuesta en frecuencia para un *electret* omnidireccional.

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 deforma 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 bocina, 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 indicada 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 de tipo 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 quemara por exceso de temperatura.

Potencia de pico máximo o potencia admisible. Corresponde a un pico de señal (valor máximo instantáneo), que puede soportar durante 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 definidos). 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:

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

7.- Distorsión: La bocina es uno de los sistemas de audio que presenta mayor distorsión, sus causas son muy variadas: flujo del entrehierro, 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:

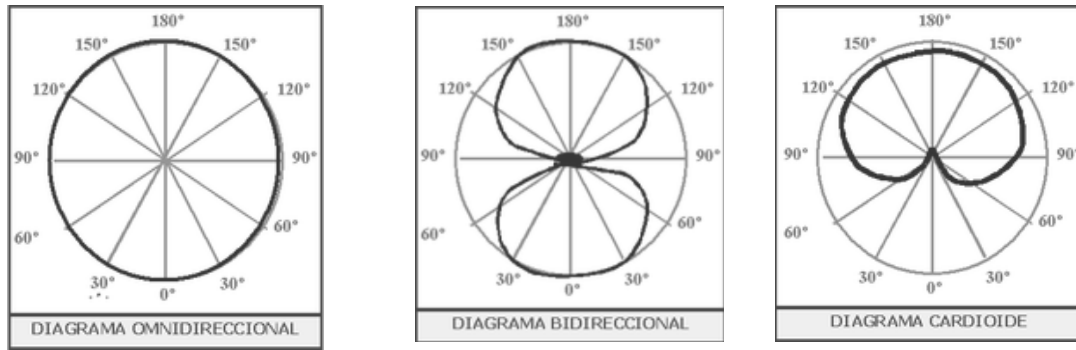


Figura 13. Diagramas polares direccionales de bocinas

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 mas 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 queda 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 mas 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.

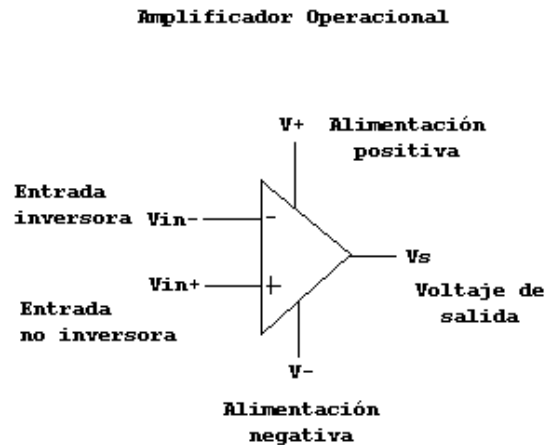


Figura 15. Amplificador operacional

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.

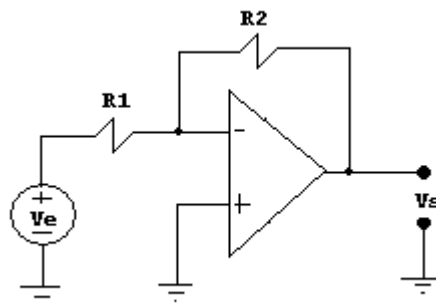


Figura 16. Configuración Inversora del amplificador operacional

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:

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

Las corrientes de entrada y salida son:

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

I_e es la corriente de entrada

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

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 desde 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 determinan 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.

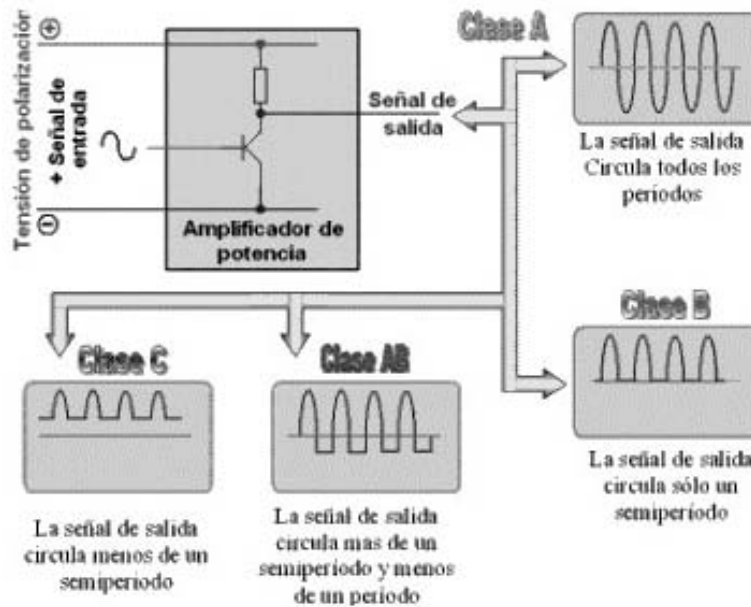


Figura 17. Clasificación de los amplificadores de potencia

2.4.3 Temperatura y el Termómetro digital

La temperatura es un concepto no definido aún 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 del metal (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.

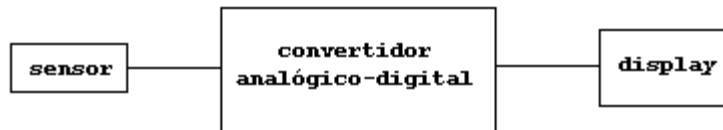


Figura 18. Esquema del termómetro digital

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.