

## 1.2. ONDAS.



- El sonido puede ser definido como cualquier variación de presión en el aire, agua o algún otro medio que el oído humano puede detectar.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

- Lo anterior implica que **“no todas las fluctuaciones de presión producen una sensación audible”** en el oído humano.

- El sonido se propaga desde la fuente hasta el oído humano como **ondas acústicas** generalmente viajando en el aire.



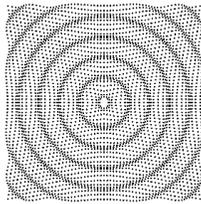
ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

- El sonido se propaga por un medio elástico, de forma tal que la energía introducida por la perturbación se desplaza a lo largo de él y transmitiéndose a otros medios formados por distintos materiales sólidos, gaseosos o líquidos.

- Las moléculas de aire que se encuentran en contacto con la fuente se ponen en movimiento al mismo tiempo y con la misma amplitud y fase que las superficies de dicha fuente.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL

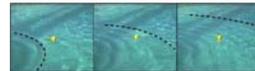


LABORATORIO  
DE ACUSTICA

- Onda:** Disturbio o variación que transfiere energía progresivamente de un punto a otro en un medio



- Puede tomar la forma de una deformación elástica o de una variación de presión, intensidad eléctrica o magnética, potencial eléctrico, temperatura u otras entidades físicas.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

- Las partículas en el medio no viajan con la onda.

- Si estas ondas son capaces de excitar los tímpanos de los oídos se llaman ondas sonoras.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

## 1.3. Clasificación de Ondas Sonoras.



- Existen diversos tipos de ondas sonoras, las que podemos clasificar:
  - De acuerdo al movimiento de las partículas del medio
    - Longitudinales
    - Transversales
  - De acuerdo a la forma de propagación de la onda.
    - Planas
    - Esféricas
    - Cilíndricas



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### De acuerdo al movimiento de las partículas



- **Ondas Longitudinales** : Cuando el movimiento de las partículas es paralelo a la dirección de propagación.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### De acuerdo al movimiento de las partículas



- **Ondas transversales**: Cuando el movimiento de las partículas es perpendicular a dirección de propagación.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL

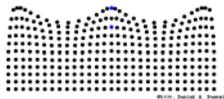


LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### Ondas de Agua



- Las ondas de agua son un ejemplo de combinación de los movimientos longitudinales y transversales.
- Como una onda viaja a través del agua, las partículas viajan en círculos en el sentido de las manecillas del reloj. El radio de los círculos decrece conforme a la profundidad del agua se incrementa.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL

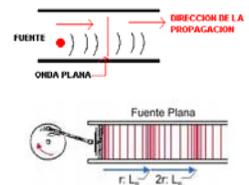


LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### De acuerdo a la forma de propagación



- **Ondas Planas**: Las superficies que contienen los puntos que tienen los mismos valores de amplitud son planos perpendiculares a la dirección de propagación. Se producen cuando la propagación de la onda sólo se realiza en una dirección.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL

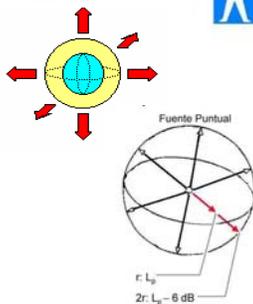


LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### De acuerdo a la forma de propagación



- **Ondas Esféricas**: Las superficies equipotenciales son esferas concéntricas, que se desplazan incrementado su radio.
- Se producen cuando el sonido se propaga en todas las direcciones con igual intensidad, por ser cada vez mayor la superficie que contiene la excitación se atenúan con el cuadrado de la distancia, pudiéndose considerar cuando el radio es suficientemente grande que la onda es plana, para fines prácticos y para una área reducida.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL

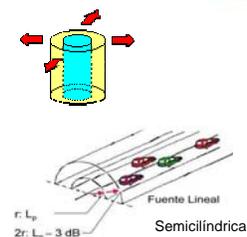


LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### De acuerdo a la forma de propagación



- **Ondas cilíndricas**: En este tipo de ondas la fuente de sonido esta constituida por una recta, los frentes de onda se desplazan alejándose de ella formando superficies de cilindro cuyo radio se va incrementando, por lo que la superficie que contiene la excitación va en aumento sufren una atenuación que es inversamente proporcional a la distancia, lo mismo que en las ondas esféricas cuando se encuentran muy lejos de la fuente se comportan como ondas planas.



ACÚSTICA APLICADA  
FIME-UANL



LABORATORIO  
DE ACUSTICA

### Refracción de Ondas Sonoras

En la refracción la onda sonora cambia la dirección de propagación al pasar de un medio a otro cambiando su frecuencia y longitud de onda.

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Reflexión de Sonido

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Difusión de Sonido

Ejemplo:  
 $b = 0.1 \text{ m}$   
 $\lambda = 0.344 \text{ m} (= f = 1 \text{ kHz})$

Ejemplo:  
 $b = 0.5 \text{ m}$   
 $\lambda = 0.344 \text{ m} (= f = 1 \text{ kHz})$

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Difracción de Sonido

Ejemplo:  
 $b = 0.1 \text{ m}$   
 $\lambda = 0.344 \text{ m} (= f = 1 \text{ kHz})$

Ejemplo:  
 $b = 1 \text{ m}$   
 $\lambda = 0.344 \text{ m} (= f = 1 \text{ kHz})$

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Efecto Doppler

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Fuente sonora en movimiento con $v_{fuente} = v_{sonido}$ (Mach 1 - rompiendo la barrera del sonido)

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

## SUPERPOSICIÓN DE ONDAS Y EL FENÓMENO DE INTERFERENCIA

- El principio de superposición puede ser aplicado a dos o más ondas cualquiera que viajan a través de un mismo medio al mismo tiempo.
- Las ondas viajan unas a través de otras sin ser alteradas.
- El desplazamiento neto del medio es simplemente la suma de los desplazamientos individuales de las ondas.

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL      LABORATORIO DE ACUSTICA

## Dos ondas gausseanas viajando en direcciones opuestas por superposición de efectos.

La secuencia muestra dos pulsos de ondas gausseanas viajando sobre una cuerda, una moviéndose a la derecha y otra moviéndose a la izquierda. Ellas pasan a través una de otra sin ser alteradas y el desplazamiento neto es la suma de los dos desplazamientos.

CUANDO NO SE INTERSECTAN

CUANDO SE INTERSECTAN

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL      LABORATORIO DE ACUSTICA

## Dos ondas viajando en la misma dirección: Interferencia Constructiva y Destructiva

- Dos ondas (con la misma amplitud, frecuencia y longitud de onda) viajan en la misma dirección.
- Usando el principio de superposición, el resultado del desplazamiento de la onda total puede escribirse como:

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) + y_m \sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$= 2y_m \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin\left(kx - \omega t + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$k = \omega / c$$

- La cual es una onda resultante viajando que depende del ángulo de fase  $\phi$ .

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL      LABORATORIO DE ACUSTICA

- Cuando las dos ondas están en fase ( $\phi = 0$ ) su interferencia es constructiva y resulta con dos veces la amplitud de las ondas individuales.
- Cuando las dos ondas están en fases opuestas ( $\phi = \pi$ ) su interferencia es destructiva y se cancelan una con otra.

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL      LABORATORIO DE ACUSTICA

## Dos ondas viajando en direcciones opuestas creando una onda estacionaria

Si dos ondas tienen la misma frecuencia (longitud de onda) tienen la misma amplitud y viajan en direcciones opuestas el desplazamiento del medio es la suma de las dos ondas.

$$y(x, t) = y_m \sin(kx - \omega t) + y_m \sin(kx + \omega t)$$

$$= 2y_m \sin kx \cos \omega t$$

$$k = \omega / c$$

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL      LABORATORIO DE ACUSTICA

## Dos ondas seno con diferentes frecuencias cercanas = Pulsaciones (Beats)

Dos ondas con una pequeña diferencia en la frecuencia viaja hacia la derecha. El resultado es una onda que viaja en la misma dirección y a la misma velocidad que las dos ondas que la componen. Las pulsaciones oscilan con una frecuencia promedio y su amplitud varía debido a la mezcla de amplitudes a diferentes frecuencias.

$$y(x, t) = y_m \sin(k_1 x - \omega_1 t) + y_m \sin(k_2 x - \omega_2 t)$$

$$= 2y_m \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t - \frac{k_1 - k_2}{2} x\right) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t - \frac{k_1 + k_2}{2} x\right)$$

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL      LABORATORIO DE ACUSTICA

# COMPOSICIÓN ESPECTRAL

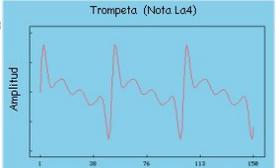


## El Timbre

- El **timbre** nos permite distinguir, entre dos sonidos de igual intensidad y frecuencia, cuál es la fuente de cada uno.
- Esta cualidad físicamente se llama **forma de onda**, y viene determinada por los **armónicos**.

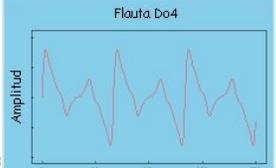


Trompeta (Nota La4)

Forma de onda de una trompeta en la nota La<sub>4</sub>.

Flauta Do4

Forma de onda de una flauta en la nota Do<sub>4</sub>.



## Análisis de Fourier de Ondas Complejas

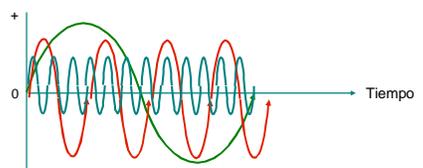
- A primera vista, parece que el problema de analizar formas de ondas complejas representa una tarea formidable.

Pero gracias a la **teoría de FOURIER**  
Y a los instrumentos basados en ella  
Se hace fácil.



## Análisis de Fourier de Ondas Complejas

- Si la forma de la onda es periódica, se puede representar con una precisión arbitraria, mediante la superposición de un número suficientemente grande de ondas sinusoidales que forman una serie armónica.




## Teorema de Fourier

- Toda función  $f(t)$  periódica de período  $P$ , se puede representar en forma de una suma infinita de funciones armónicas, es decir,

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n \omega t) + b_n \sin(n \omega t))$$

- Donde:
  - $P=2\pi/\omega$  : Período de la función (señal)
  - $a_0, a_1, \dots, a_n, \dots$  y  $b_1, b_2, \dots, b_n, \dots$  : coeficientes de Fourier.



Conocida la función periódica  $f(t)$ , calculamos los coeficientes  $a_i$  y  $b_i$  del siguiente modo

$$\frac{a_0}{2} = \frac{2}{P} \int_{-P/2}^{P/2} f(t) dt$$

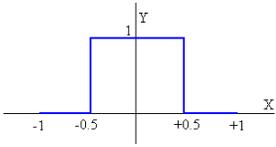
$$a_i = \frac{2}{P} \int_{-P/2}^{P/2} f(t) \cos(i \pi t) dt \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

$$b_i = \frac{2}{P} \int_{-P/2}^{P/2} f(t) \sin(i \pi t) dt \quad i = 1, 2, 3$$

Las integrales tienen como límite inferior  $-P/2$  y como límite superior  $P/2$ .

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

Por ejemplo, para el pulso rectangular simétrico de anchura 1, y periodo 2 se obtienen los siguientes coeficientes.

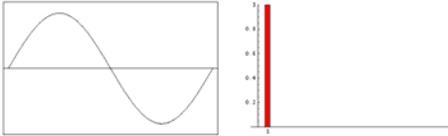


orden	a	b
0	1	
1	0.6366	0
2	0	0
3	-0.2122	0
4	0	0
5	0.1273	0
6	0	0
7	-0.09097	0
8	0	0
9	0.07078	0

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Formas de Onda y Espectros

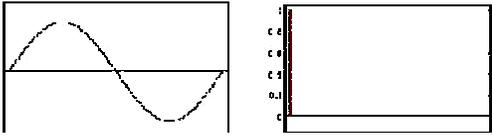
Componentes de Fourier de una Onda Cuadrada



Forma de Onda, (Amplitud vs Tiempo)      Espectro (Amplitud vs Frecuencia)

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

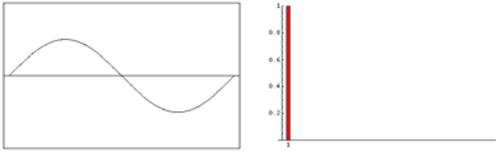
Componentes de Fourier de una Onda Sinusoide



Forma de Onda, (Amplitud vs Tiempo)      Espectro (Amplitud vs Frecuencia)

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

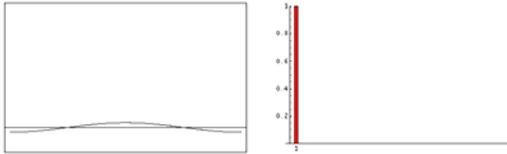
Componentes de Fourier de una Onda Diente de Sierra



Forma de Onda, (Amplitud vs Tiempo)      Espectro (Amplitud vs Frecuencia)

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

Componentes de Fourier de un Tren de Pulsos



Forma de Onda, (Amplitud vs Tiempo)      Espectro (Amplitud vs Frecuencia)

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Formas de Onda y Frecuencias

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Ondas de un Sistema Mecánico

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Timbre

- El *timbre* es la cualidad del sonido que nos permite distinguir entre dos sonidos de la misma intensidad y altura. Esto se debe a que todo sonido musical es un sonido complejo que puede ser considerado como una superposición de sonidos simples.
- De esos sonidos simples, el *sonido fundamental* de frecuencia  $n$  es el de mayor intensidad y va acompañado de otros sonidos de intensidad menor y de frecuencia  $2n, 3n, 4n$ , etc.
- Los sonidos que acompañan al fundamental constituyen sus *armónicos* y de sus intensidades relativas depende el timbre.

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Sonidos Típicos y Señales de Ruido

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA

### Señal Compleja de un Sistema Mecánico

ACÚSTICA APLICADA FIME-UANL LABORATORIO DE ACUSTICA