

Física I

Clase 6

continuación

módulo II

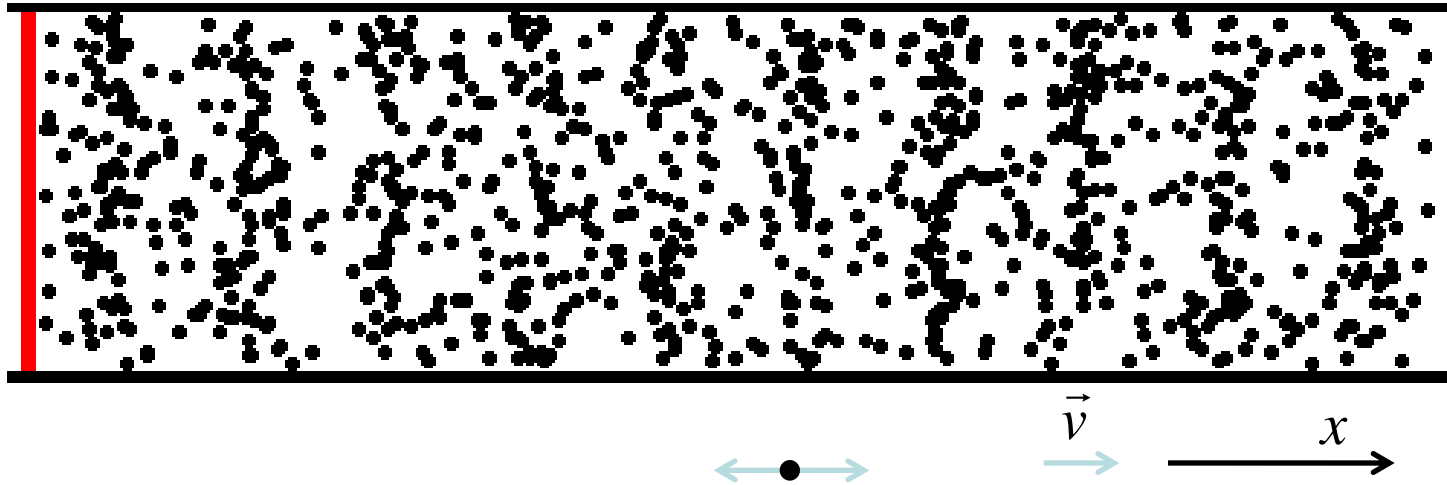
Turno H

Prof. Pedro Mendoza Zélis



*Sonido, efecto Doopler*

# Sonido : Onda longitudinal

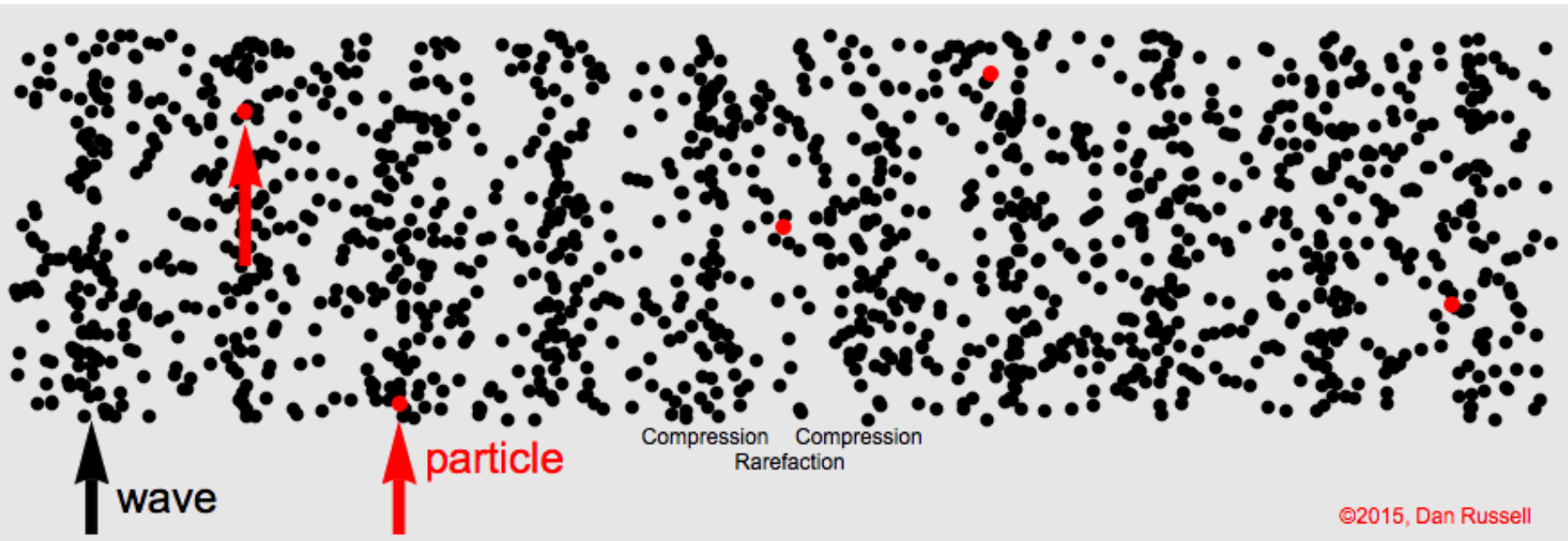


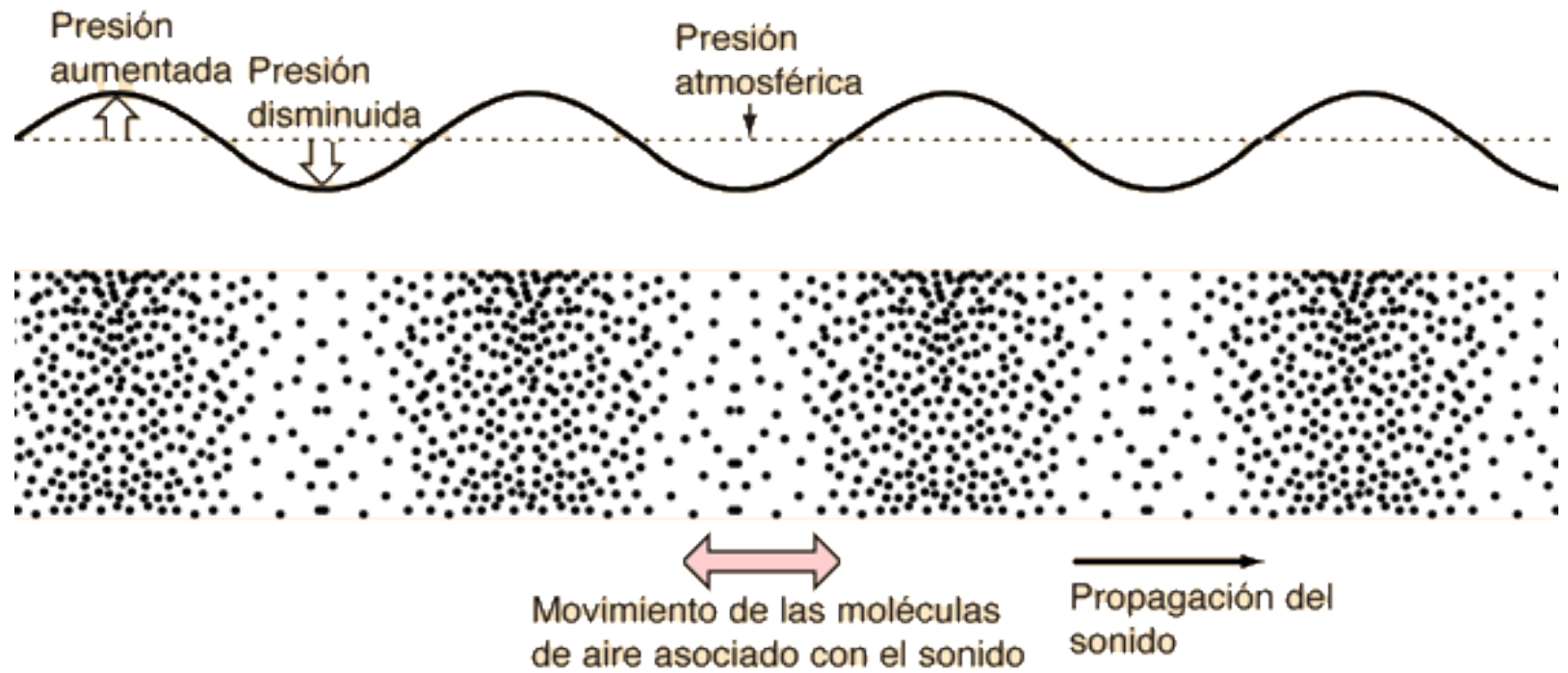
$$s(x, t) = s_{\max} \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$$

- Cuando el émbolo se mueve desplaza a las moléculas vecinas  $[s(x, t)]$
- Cambio de la presión del fluido ( $p = P - P_0$ )

Al pasar la onda, se comprime (región con alta densidad: **compresión**) y se enrarece (región con baja densidad: **rarefacción**) el medio.

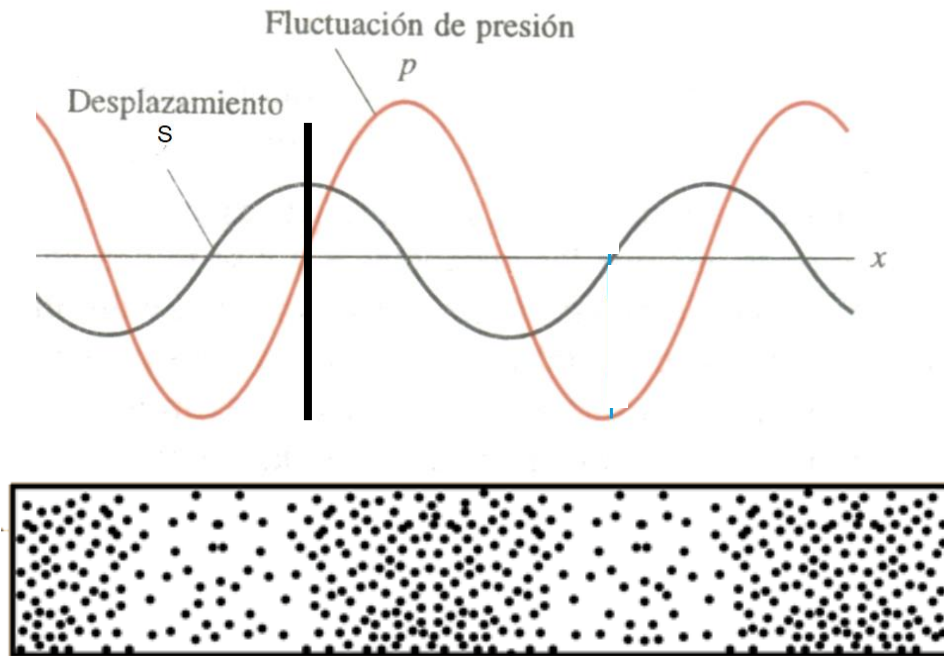
Esta compresión y expansión puede ser descrito como un crecimiento o decrecimiento de la **densidad local o de la presión**.





$$s(x, t) = s_{\max} \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$$

$$p(x, t) = Bk s_{\max} \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$$



$$p(x, t) = -B \frac{\partial s(x, t)}{\partial x}$$

$$p(x, t) = p_{\max} \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$$

Velocidad del sonido en un gas

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

$\gamma$ : coeficiente de dilatación adiabática

R: constante universal de los gases

T: temperatura en kelvin

M: masa molar del gas

Valores típicos para la atmósfera estándar a nivel del mar:

$\gamma = 1,4$  para el aire

$R = 8,314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) = 8,314 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/(\text{mol} \cdot \text{K} \cdot \text{s}^2)$

$T = 293,15 \text{ K}$  (20 °C)

$M = 0,029 \text{ kg/mol}$  para el aire

$V_{\text{aire}} = 341 \text{ m/s}$

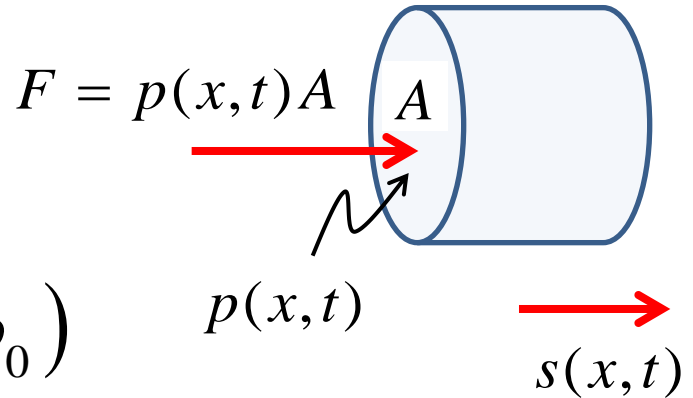
# Potencia

A medida que la onda se propaga, cada elemento de fluido ejerce una fuerza sobre el de adelante. La fuerza que ejerce sobre el siguiente será:

$$p(x, t) = Bk s_{\max} \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$$

$$s(x, t) = s_{\max} \cos(kx - \omega t + \varphi_0)$$

$$u(x, t) = -\omega s_{\max} \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$$



**Fuerza:**  $F = Ap = ABk s_{\max} \sin(kx - \omega t + \varphi_0)$

**Potencia:**  $P = \vec{u} \cdot \vec{F} = \left| \frac{\partial s}{\partial t} \right| |Ap| = ABk \omega s_{\max}^2 \sin^2(kx - \omega t + \varphi_0)$



$$P = \vec{u} \cdot \vec{F} = \left| \frac{\partial s}{\partial t} \right| |Ap| = ABk \omega s_{\max}^2 \sin^2(kx - \omega t + \varphi_0)$$

*Potencia media:*

$$\langle P \rangle = ABk \omega s_{\max}^2 \int_0^{\tau} \sin^2(kx - \omega t + \varphi_0) dt = \frac{ABk \omega s_{\max}^2}{2}$$

*Intensidad* (potencia media por unidad de área):

$$I = \frac{\langle P \rangle}{A} = Bk \omega s_{\max}^2 \int_0^{\tau} \sin^2(kx - \omega t + \varphi_0) dt = \frac{Bk \omega s_{\max}^2}{2}$$

$$I = \frac{1}{2} \sqrt{B\rho} \omega^2 s_{\max}^2 = \frac{1}{2} \frac{p_{\max}^2}{\sqrt{B\rho}}$$

<b>Especie</b>	<b>Rango (Hz)</b>
Tortuga	20 - 1.000
Rana	100 - 3.000
Perdiz	200 - 10.000
Gorrión	250 - 12.000
Humano	20 - 20.000
Chimpancé	100 - 20.000
Conejo	300 - 45.000
Perro	50 - 46.000
Gato	30 - 50.000
Cobaya	150 - 50.000
Rata	1.000 - 60.000
Ratón	1.000 - 100.000
Murciélago	3.000 - 120.000
Delfín	1.000 - 130.000

*Hay doce órdenes de magnitud de la intensidad que el oído puede detectar*

Se define una escala de intensidad logarítmica: **Nivel de intensidad de sonido  $\beta$**

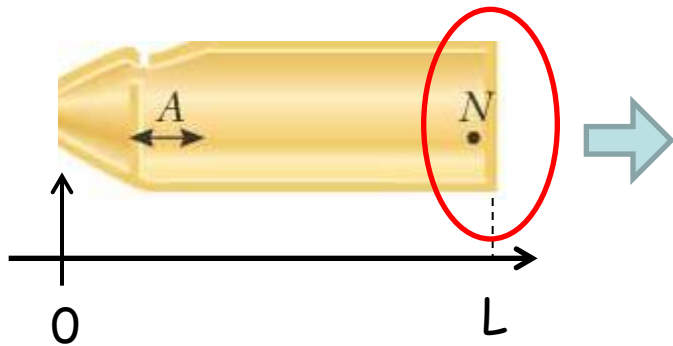
$$\beta = 10 \log \frac{I}{I_{umbral}} \quad \text{decibeleles: dB}$$

$$I_{umbral} = 10^{-12} \text{ W} / \text{m}^2 \Rightarrow 0 \text{ dB}$$

$$I_{umbral \text{ de dolor}} = 1 \text{ W} / \text{m}^2 \Rightarrow 120 \text{ dB}$$

# ONDAS ESTACIONARIAS (CONTINUACIÓN): Reflexión de una onda de sonido en el extremo de un tubo cerrado y abierto

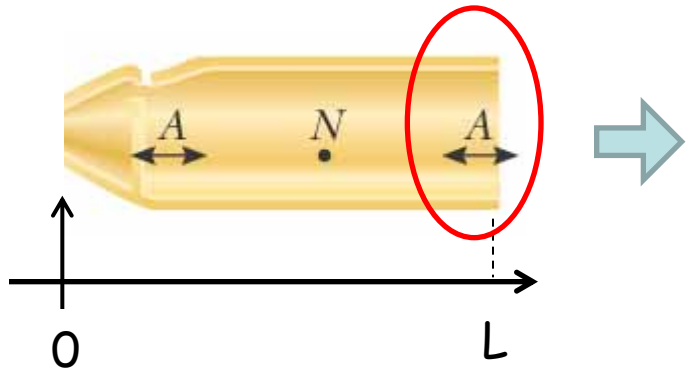
Extremo cerrado



Condiciones de contorno

$$\left\{ \begin{array}{ll} s(L,t) = 0 & \text{Nodo de desplazamiento} \\ \downarrow \frac{\pi}{2} \\ p(L,t) & \text{Ventre de presión} \end{array} \right.$$

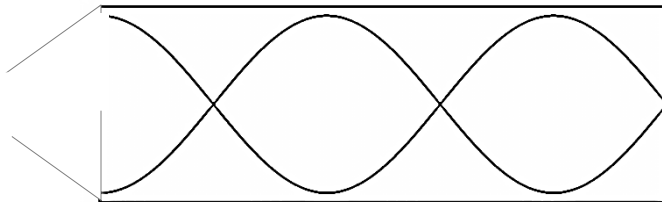
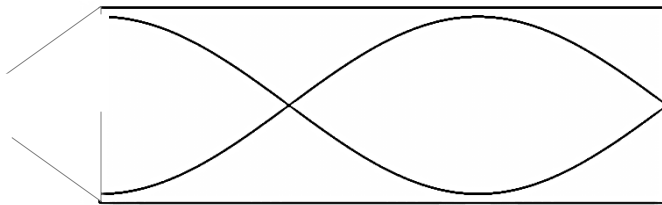
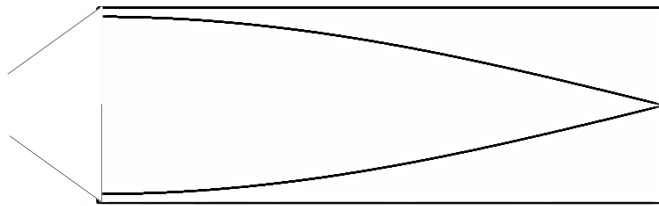
Extremo abierto



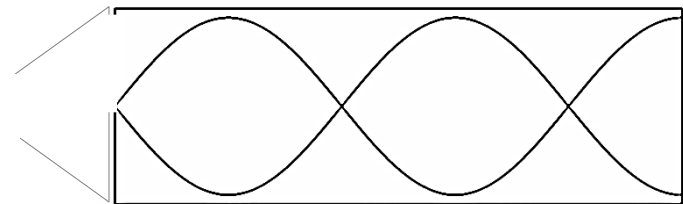
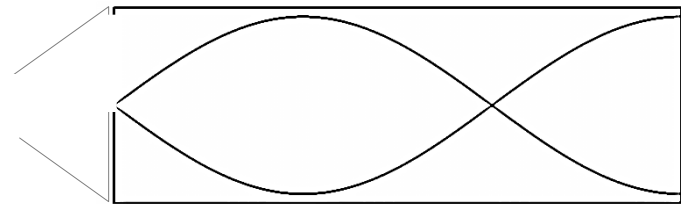
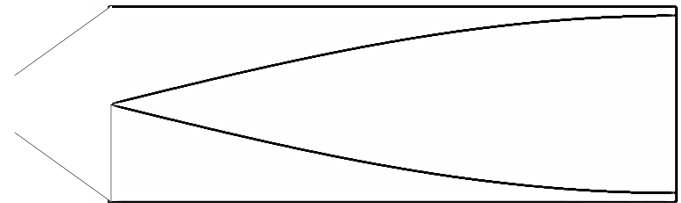
$$\left\{ \begin{array}{ll} s(L,t) & \text{Ventre de desplazamiento} \\ \downarrow \frac{\pi}{2} \\ p(L,t) = 0 & \text{Nodo de presión} \end{array} \right.$$

# Ondas estacionarias en un tubo cerrado

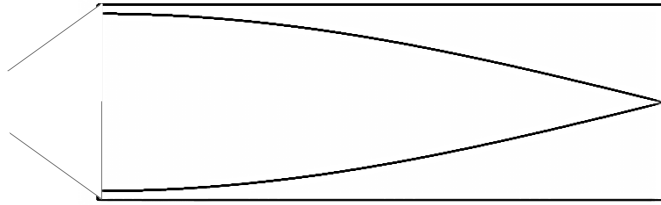
Ondas de desplazamiento



Ondas de presión

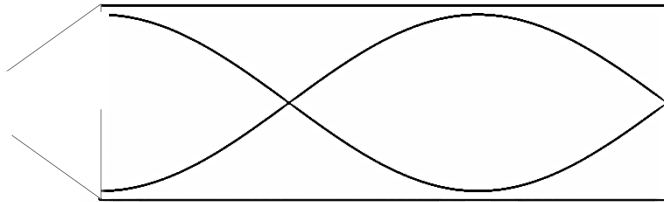


# Ondas estacionarias en un tubo cerrado



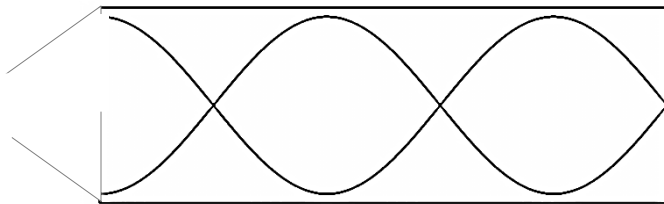
Armónico  
fundamental o primer  
armónico

$$L = \frac{\lambda_1}{4}$$



Segundo armónico

$$L = \frac{3}{4} \lambda_2$$

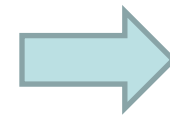


Tercer armónico

$$L = \frac{5}{4} \lambda_3$$

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

N-ésimo armónico  $L = \frac{2n-1}{4} \lambda_n$



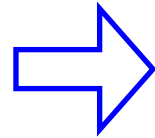
$$\lambda_n = \frac{4}{2n-1} L$$

# Ondas estacionarias en un tubo cerrado

$$\lambda_m = \frac{4L}{(2m-1)}$$

$$f_m = \frac{v}{\lambda_m}$$

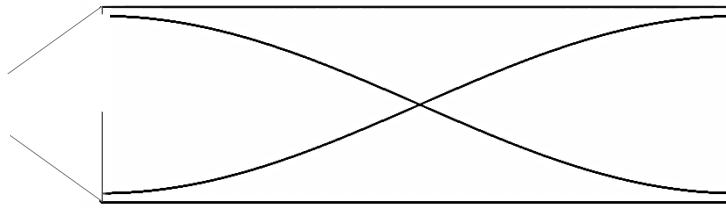
$$f_m = (2m-1) \frac{v}{4L}$$



$$f_m = (2m-1) f_1$$

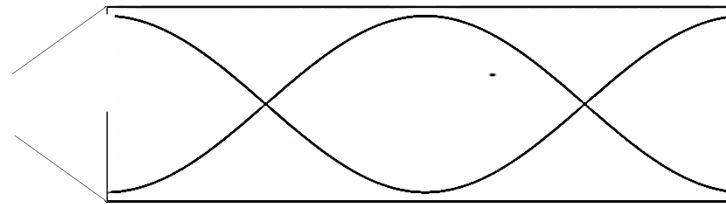
**NO APARECEN LOS MULTIPLOS PARES DE LA FECUENCIA FUNDAMENTAL**

# Ondas estacionarias en un tubo abierto



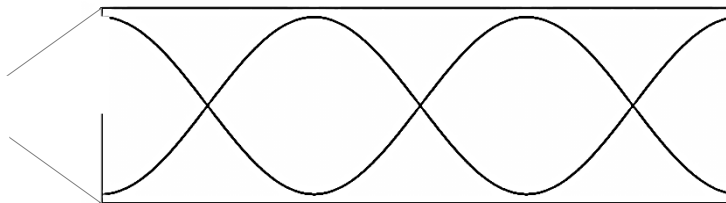
Armónico  
fundamental o primer  
armónico

$$L = \frac{\lambda_1}{2}$$



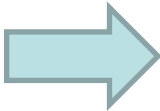
Segundo armónico

$$L = \lambda_2$$



Tercer armónico

$$L = \frac{3}{2} \lambda_3$$

N-ésimo armónico  $L = \frac{n}{2} \lambda_n$    $\lambda_n = \frac{2}{n} L$

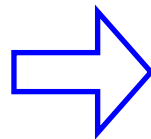


# Ondas estacionarias en un tubo abierto

$$\lambda_m = \frac{2L}{m}$$

$$f_m = \frac{v}{\lambda_m}$$

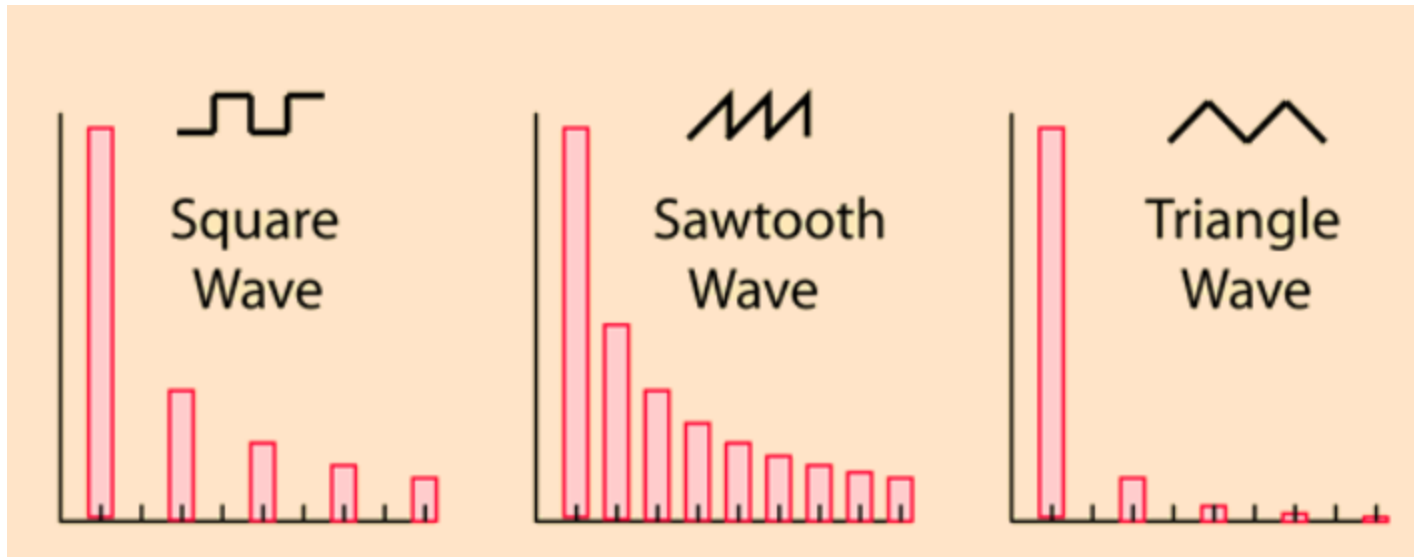
$$f_m = m \frac{v}{2L}$$



$$f_m = m f_1$$

APARECEN **TODOS** LOS MULTIPLOS DE LA FECUENCIA FUNDAMENTAL

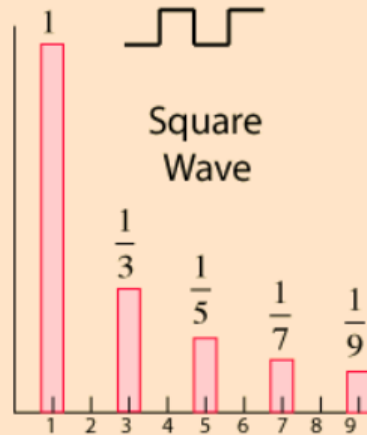
# *Contenido armónico*



## Square Wave

The square wave contains only odd harmonics with the amplitudes

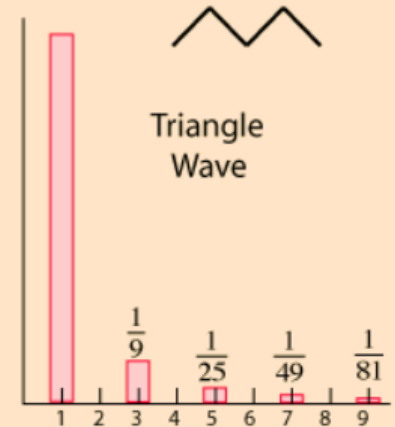
$$A_n = \frac{1}{n} A_1$$



## Triangle Wave

The triangle wave contains only odd harmonics with the amplitudes

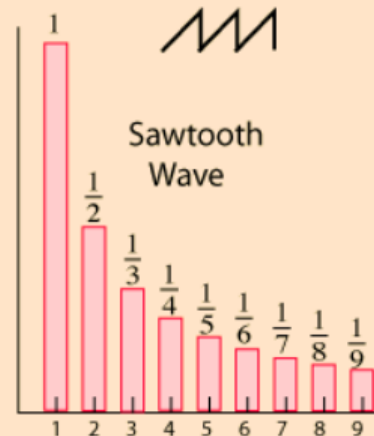
$$A_n = \frac{1}{n^2} A_1$$

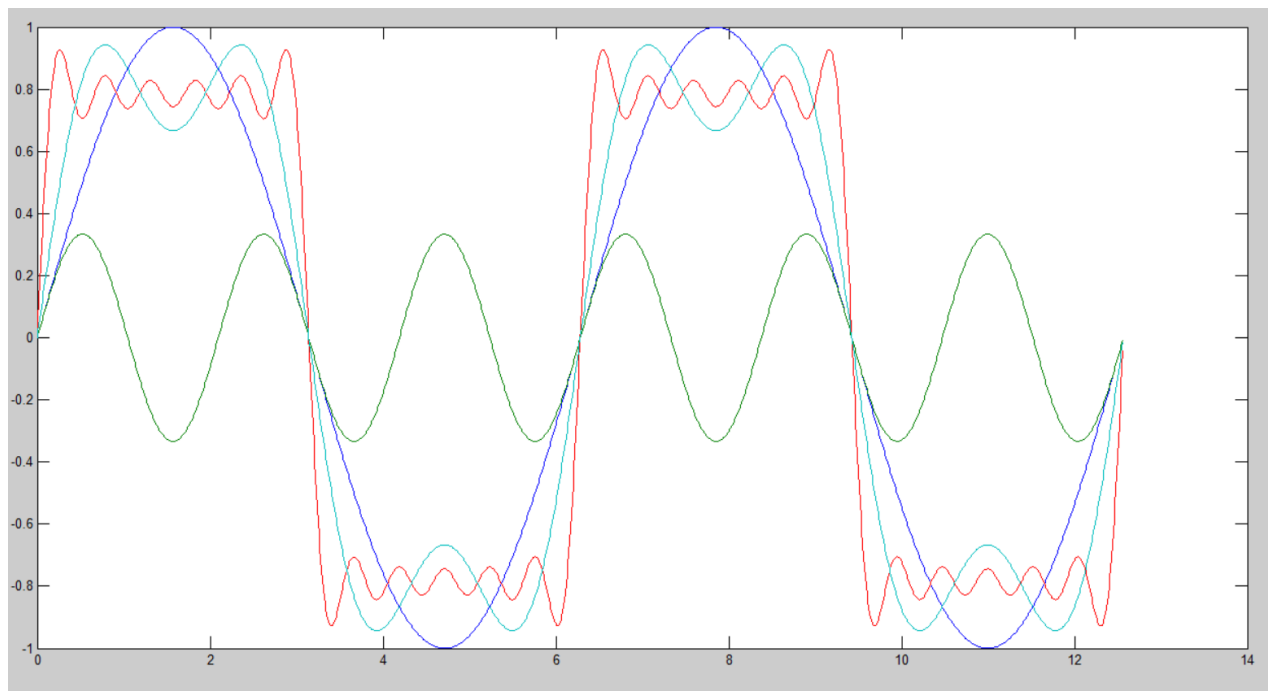
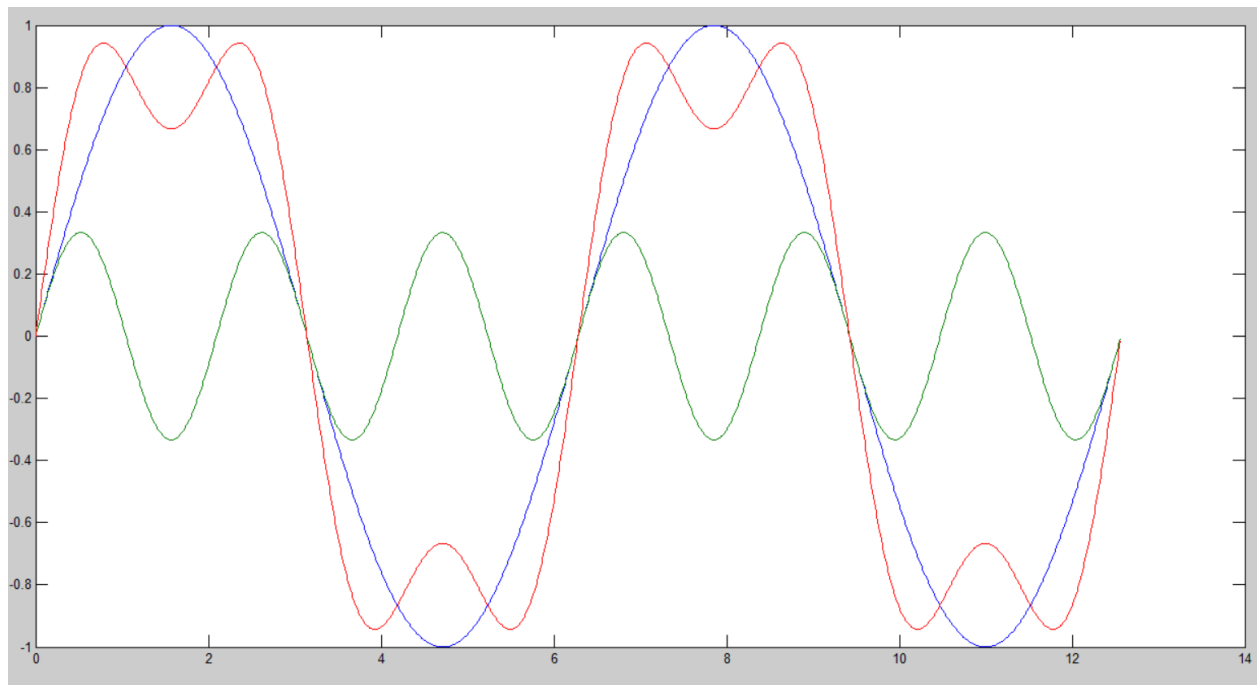


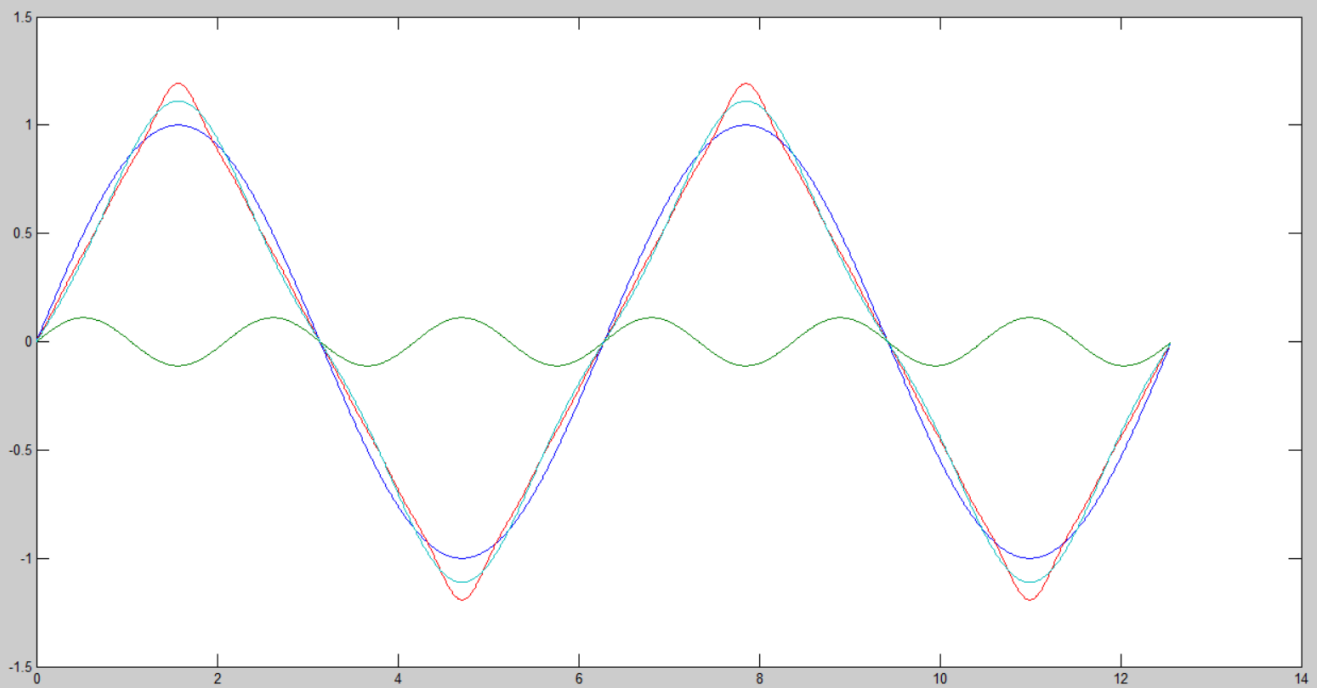
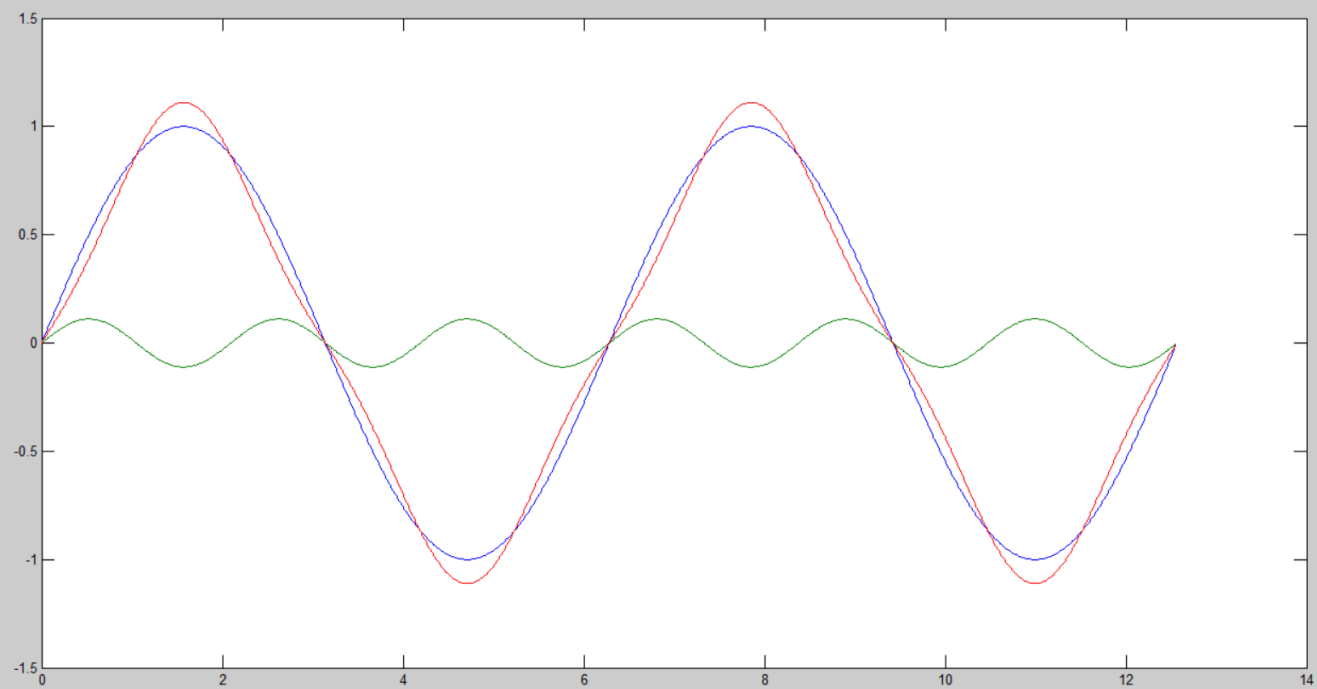
## Sawtooth Wave

The sawtooth wave is useful for synthesis since it contains all harmonics in the geometric ratio

$$A_n = \frac{1}{n} A_1$$

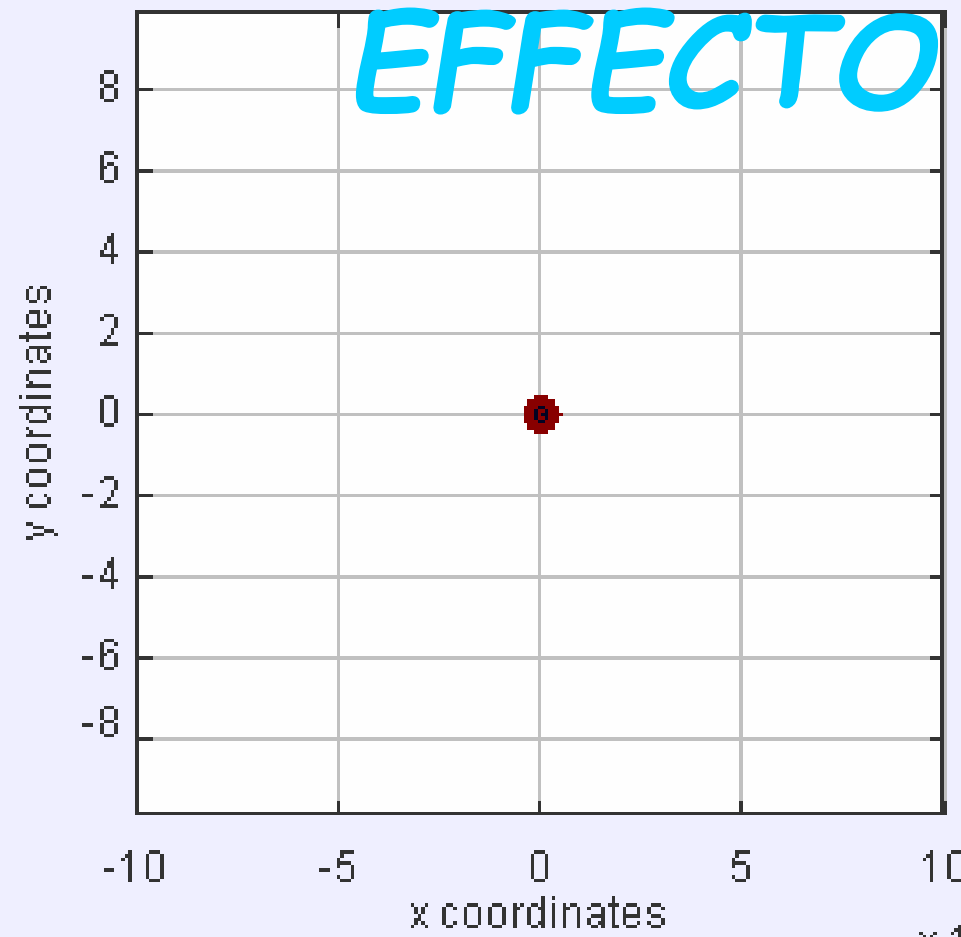




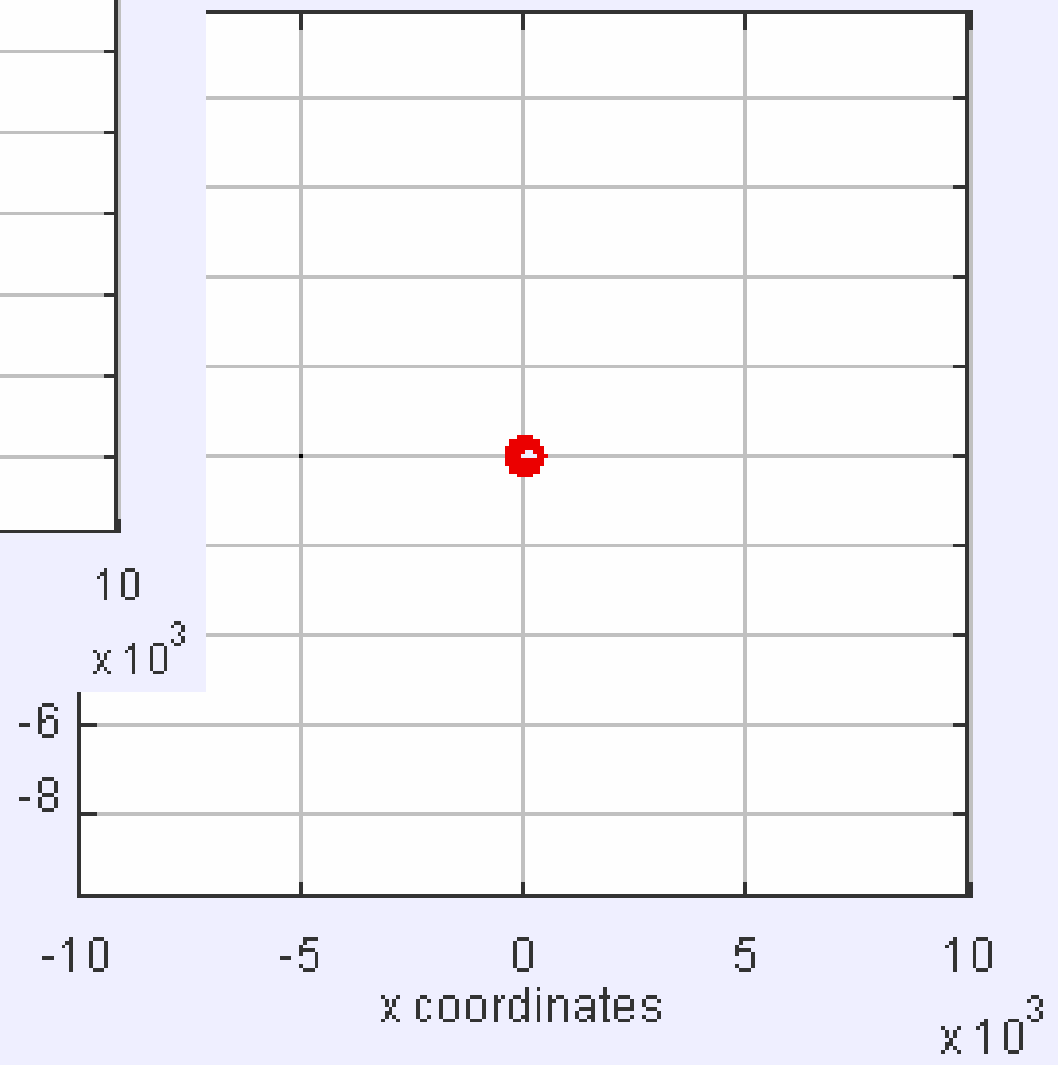


$\times 10^3$  Doppler Effect Model in 1 Doppler Effect

# EFFECTO DOPPLER



er Effect Model in 1 Doppler Effect



# Efecto Doppler

Cambio de frecuencia detectado en una onda cuando el receptor y/o emisor se mueven respecto al medio

$f_R$  Frecuencia observada por receptor

$f_F$  Frecuencia emitida la por fuente

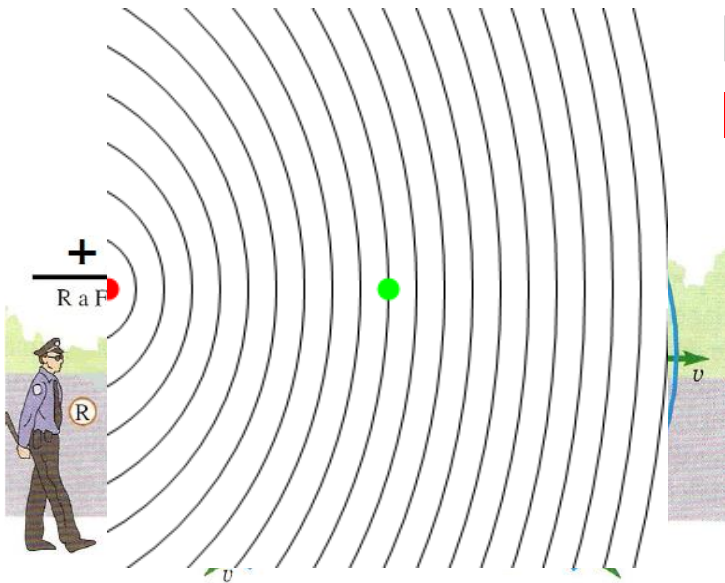
$f_R = f_F$  Si **NO** hay movimiento relativo entre fuente y observador

$f_R \neq f_F$  Si hay movimiento relativo entre fuente y observador

Frecuencias chicas sonidos más **GRAVES**

Frecuencias grandes sonidos más **AGUDOS**

# Fuente moviéndose



La velocidad del sonido **no depende de la velocidad de la fuente**, sino del medio

Cada vibración viaja una distancia  $v f_F^{-1}$  y cada longitud de onda se alarga en esa distancia

La longitud de onda que llega al observador si la fuente se aleja es

$v$  Velocidad del sonido, siempre positiva

$v_F$  Velocidad de la fuente

$$\lambda_R = \frac{v}{f_F} + \frac{v_F}{f_F}$$

$f_F$  Frecuencia emitida por la fuente

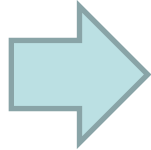
$$f_R = \frac{v}{\lambda_R} = \frac{v}{v + v_F} f_F$$

$f_R$  Frecuencia detectada por el observador



Si la fuente se aleja

$$\frac{1}{1 + \frac{v_F}{v}} < 1$$

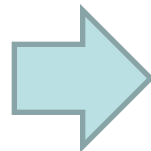


$$f_R = \frac{1}{1 + \frac{v_F}{v}} f_F$$

El policía escucha sonidos más **graves**

Si acerca la fuente

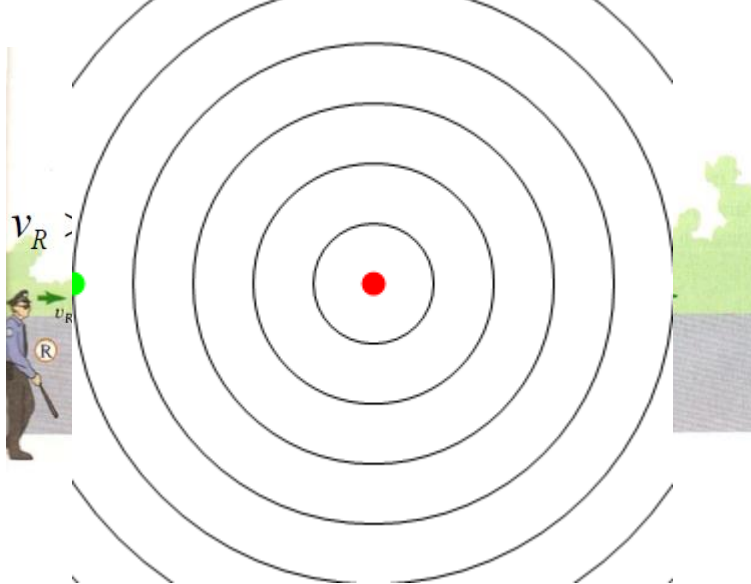
$$\frac{1}{1 - \frac{v_F}{v}} > 1$$



$$f_R > f_F$$

$$\lambda_R = \frac{v}{f_F} + \frac{v_F}{f_F}$$

El policía escucha sonidos más **agudos**



# Receptor moviéndose

El receptor (policía) se acerca a la fuente

Las crestas se acercan al receptor con una velocidad relativa  $v_R + v$

$v$  Velocidad del sonido

$v_R$  Velocidad del receptor u observador

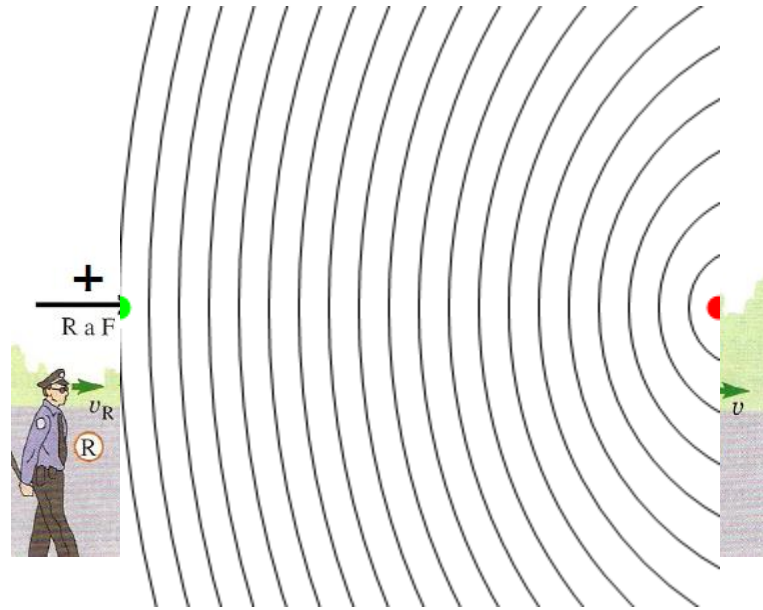
$f_F$  Frecuencia emitida por la fuente

$f_R$  Frecuencia detectada por el observador

$$f_R = \frac{v_R + v}{\lambda} = \frac{v_R + v}{v} f_F = \left( 1 + \frac{v_R}{v} \right) f_F$$

Escucha sonidos más agudos

# Fuente y receptor moviéndose



$$f_R = \frac{v \pm v_R}{v \pm v_F} f_F$$

La frecuencia:

- aumenta cuando receptor y fuente se acercan
- disminuye cuando receptor y fuente se alejan

# Aplicaciones

**Medicina:** ecodoppler (permite estudiar el flujo en las arterias, las venas, el corazón, etc.).



**Vida cotidiana:** ejemplo: medidores de velocidad (radar doppler).

**Astronomía:** medición de velocidades de objetos astronómicos en efecto doppler en luz

