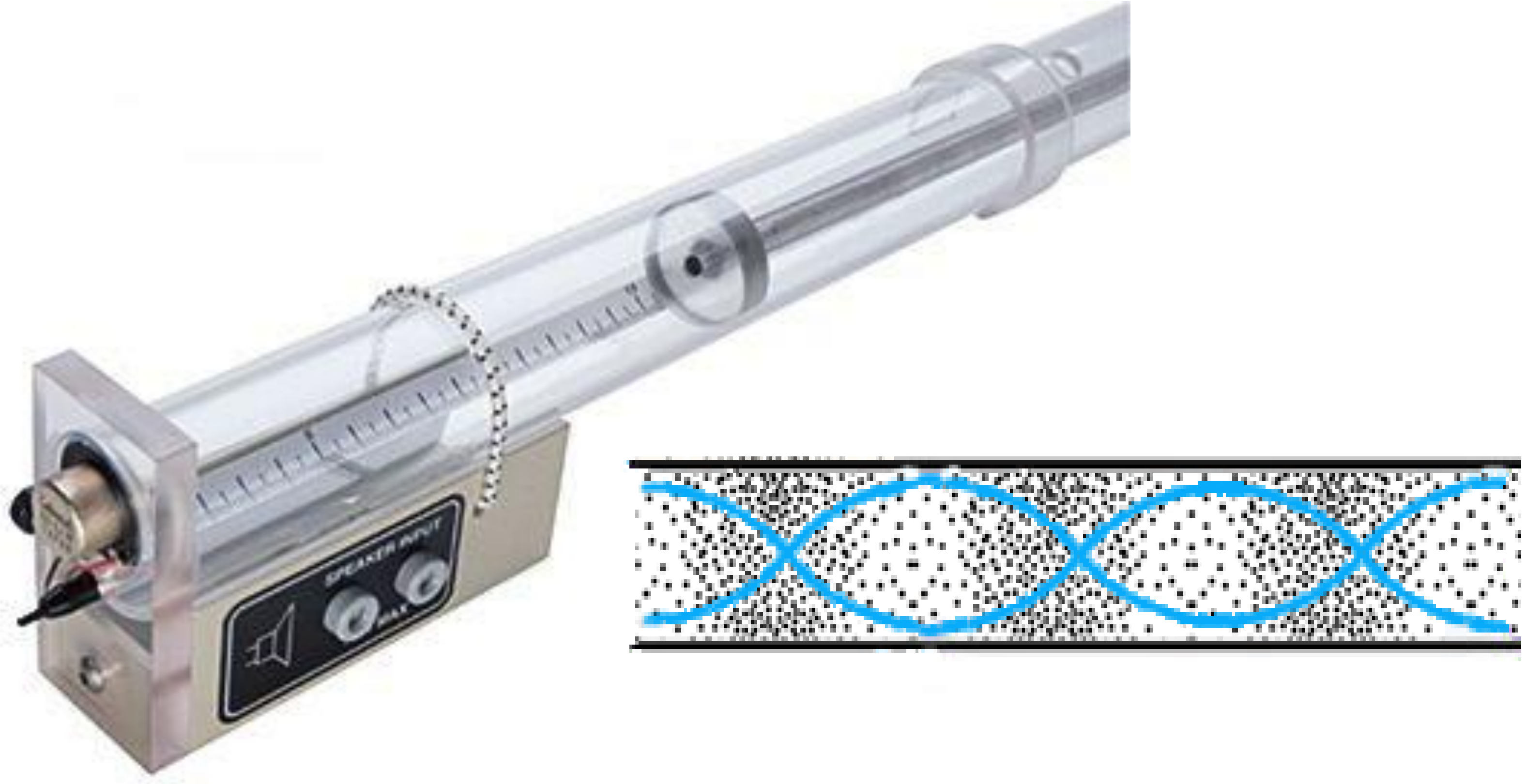
Ondas estacionarias. Tubo de Kundt

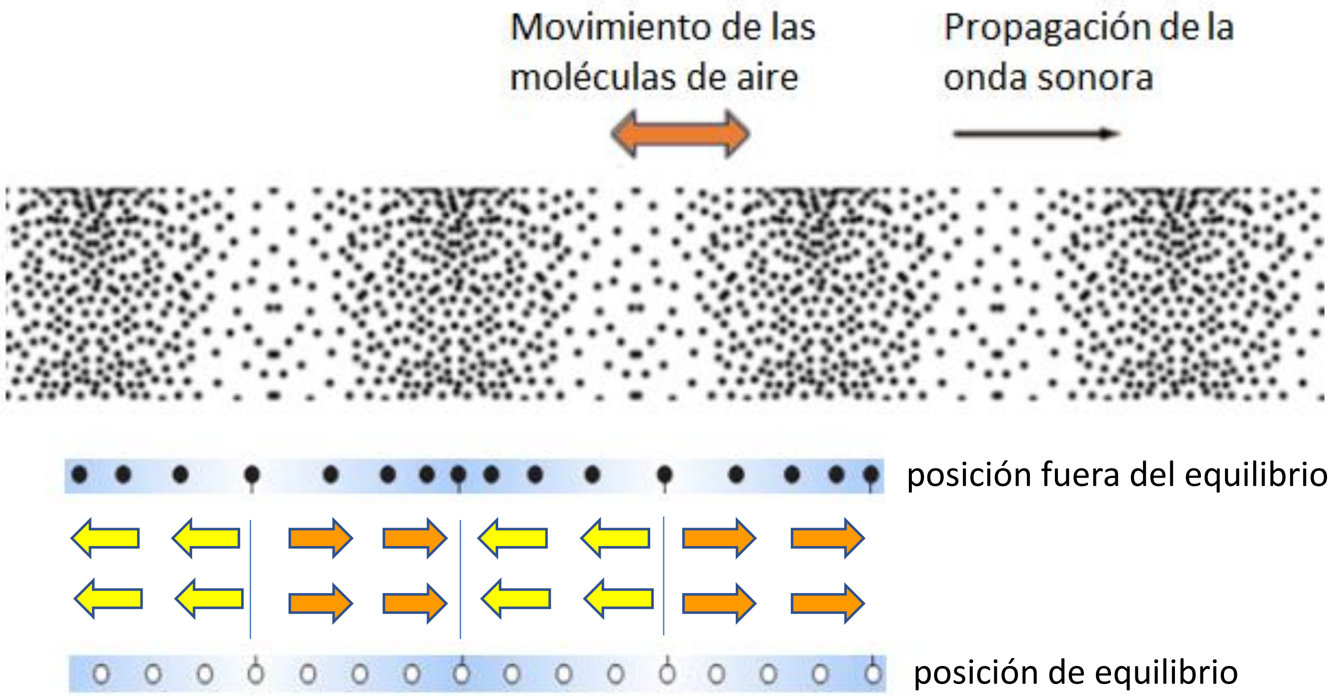


Laboraratorio 2. Primer cuatrimestre 2025
Departamento de Física. UBA

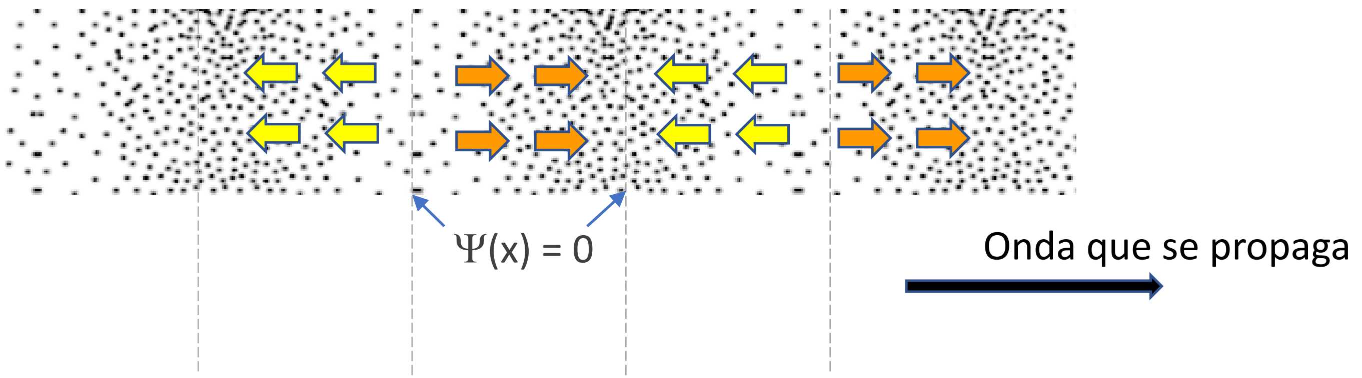
Ondas en gases

- Las moléculas de aire oscilan alrededor de una posición de equilibrio conforme la onda avanza

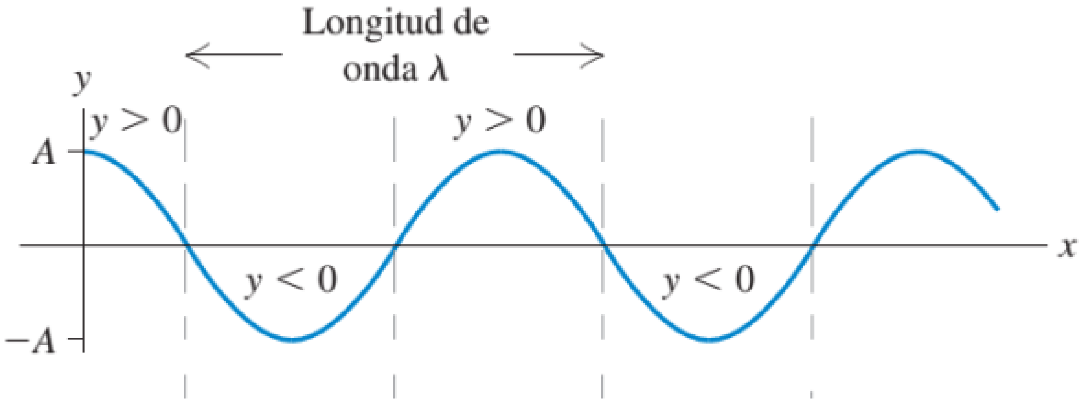
- La oscilación de las moléculas es longitudinal -> paralela a la dirección de propagación



Las moléculas de aire oscilan alrededor de una posición de equilibro conforme la onda avanza



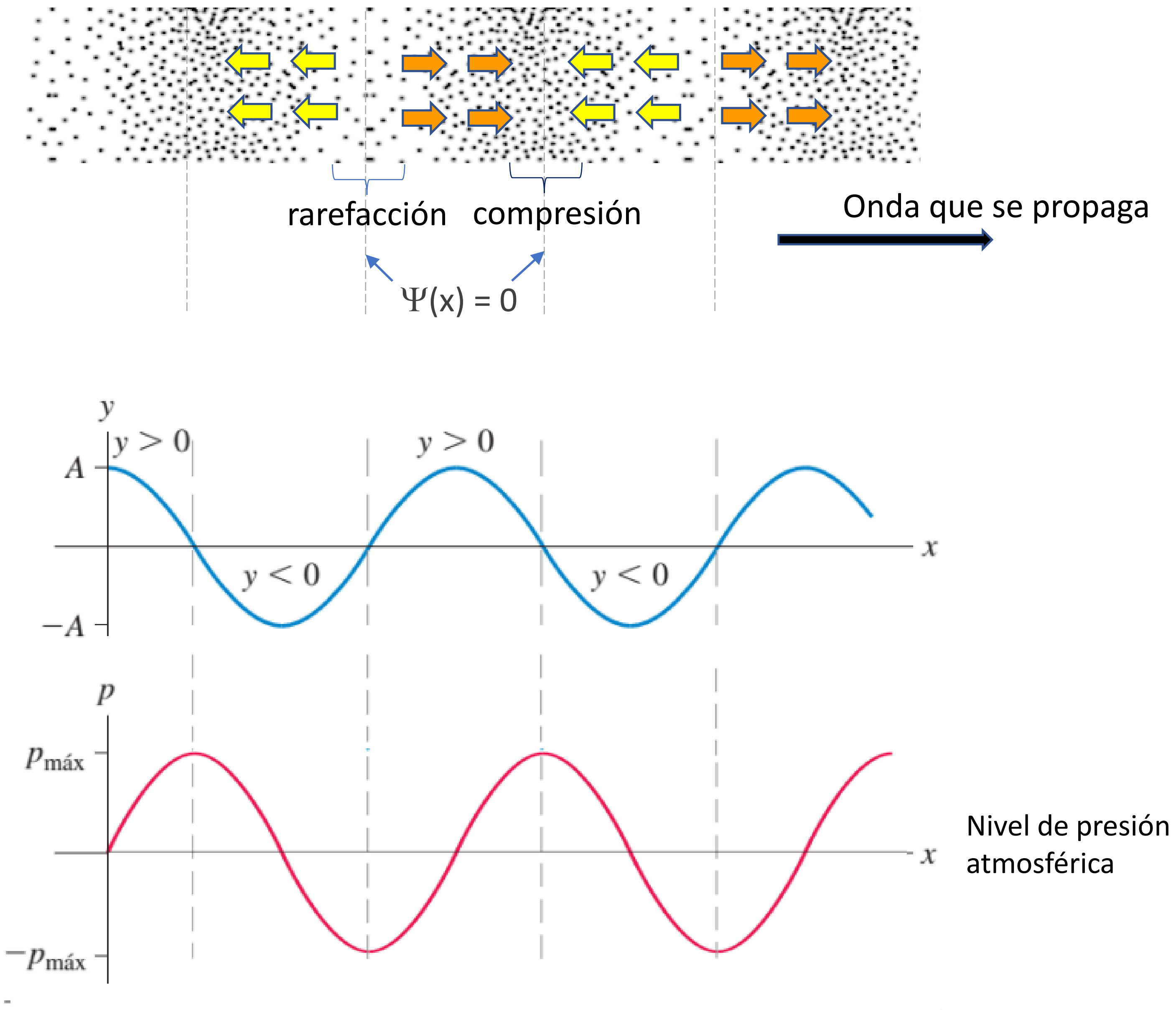
El desplazamiento se puede representar por una oscilación en el eje ‘y’ de amplitud A, y función Ψ(x)



Las moléculas de aire oscilan alrededor de una posición de equilibro conforme la onda avanza

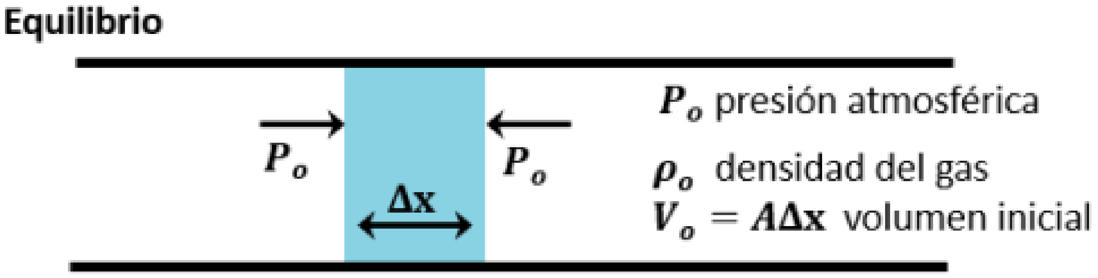
El desplazamiento se puede representar por una oscilación en el eje ‘y’ de amplitud A, y función $\Psi(x)$

El desplazamiento produce cambios en la presión respecto a la atmosférica, la cual puede representarse por otra oscilación



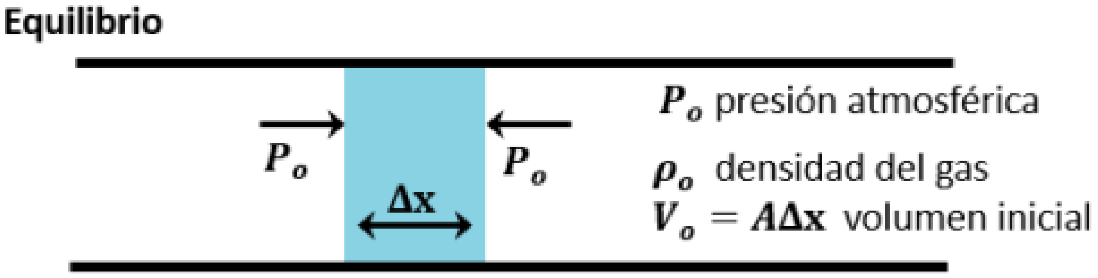
¿Cuál es la relación entre $\Psi(x)$ y $P(x)$?

Tengo un cilindro de área A, y observo un volumen de gas V_o en el tramo Δx, inmerso en presión atmosférica P_o

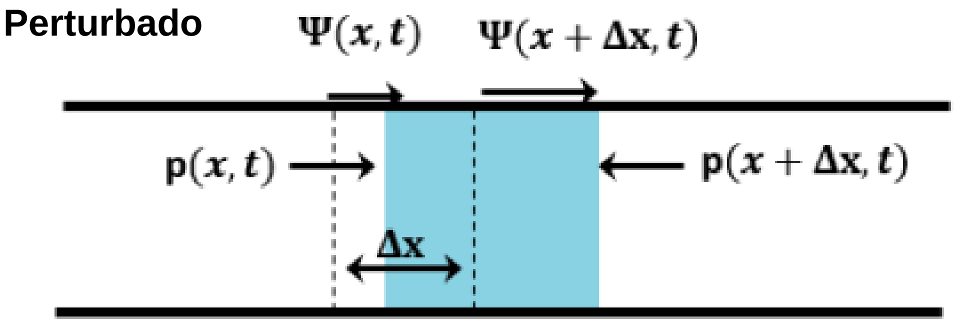


¿Cuál es la relación entre $\Psi(x)$ y $P(x)$?

Tengo un cilindro de área A, y observo un volumen de gas V_o en el tramo Δx, inmerso en presión atmosférica P_o



Conforme la onda avanza el volumen V_o se desplazará del equilibrio una cantidad dada por la perturbación. De modo que a un tiempo t los desplazamientos de los bordes serán $\Psi(x, t)$ y $\Psi(x + \Delta x, t)$



De igual modo la presión será diferente y habrá cambiado un Δp respecto a P_o

¿Cuál es la relación entre Ψ(x) y P(x)?

- La variación de presión se puede expresar a partir del cambio en volumen

$$\Delta V = A\ (\ \psi(x+\ \Delta x, t) - \psi(x,t)\ )\ \ \approx\ \ A\frac{\partial \psi}{\partial x}\,\Delta x \qquad (1)$$

Para apartamientos muy pequeños

- Del mismo modo la variación en presión se puede expresar como

$$\Delta P = \ \psi p(x+\ \Delta x, t) - \psi p(x,t) \approx \frac{\partial \psi_p}{\partial x}\,\Delta x \qquad (2)$$

Para variaciones de p muy pequeñas

¿Cuál es la relación entre Ψ(x) y P(x)?

- La variación de presión se puede expresar a partir del cambio en volumen

ΔV = $A\ (\ \psi(x+\ \Delta x,t)-\psi(x,t)\ )\ \ \approx\ \ A\dfrac{\partial\psi}{\partial x}\,\Delta x$ (1) Para apartamientos muy pequeños

- Del mismo modo la variación en presión se puede expresar como

ΔP = $\psi p(x+\ \Delta x,t)-\psi p(x,t)\approx\dfrac{\partial\psi_p}{\partial x}\,\Delta x$ (2) Para variaciones de p muy pequeñas

- Presión y volumen están relacionadas con algunas leyes de gases. Usamos la ley de Laplace, donde γ es un coeficiente adiabático (gas diatómico γ = 1.4)

$$P_0V_0^{\gamma}=Cte\qquad\Rightarrow\qquad(P_0+\psi\mathrm{p})(V_0+\Delta V)^{\gamma}=Cte\qquad(3)$$

¿Cuál es la relación entre Ψ(x) y P(x)?

- La variación de presión se puede expresar a partir del cambio en volumen

$$\Delta V = A\,(\,\psi(x+\ \Delta x, t) - \psi(x,t)\,) \ \approx\ A\frac{\partial \psi}{\partial x}\,\Delta x \qquad (1)$$

Para apartamientos muy pequeños

- Del mismo modo la variación en presión se puede expresar como

$$\Delta P = \ \psi p(x+\ \Delta x, t) - \psi p(x,t) \approx \frac{\partial \psi_p}{\partial x}\,\Delta x \qquad (2)$$

Para variaciones de p muy pequeñas

- Presión y volumen están relacionadas con algunas leyes de gases. Usamos la ley de Laplace, donde γ es un coeficiente adiabático (gas diatómico γ = 1.4)

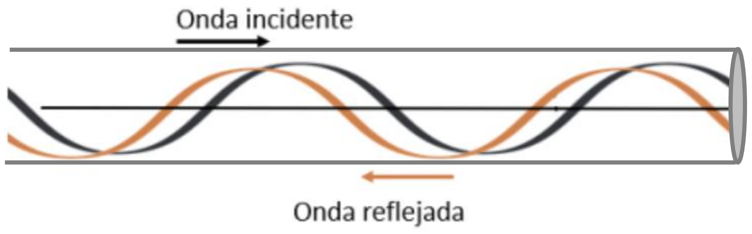
$$P_0 V_0^{\gamma} = Cte \quad \Rightarrow \quad (P_0 + \psi p)(V_0 + \Delta V)^{\gamma} = Cte \qquad (3)$$

Juntando (1), (2) y (3) y considerando ΔV_0 y ψp pequeños se llega a:

$$\boxed{\psi p(x) = \ -\gamma P_0 \frac{\partial \psi}{\partial x}}$$

La variación de presión es una onda que oscila en oposición de fase como habíamos visto

Ondas confinadas



Cuando la onda encuentra un borde se refleja.

Incidente: $\Psi_A(x,t) = A\cos(\omega t + kx + \phi_A)$

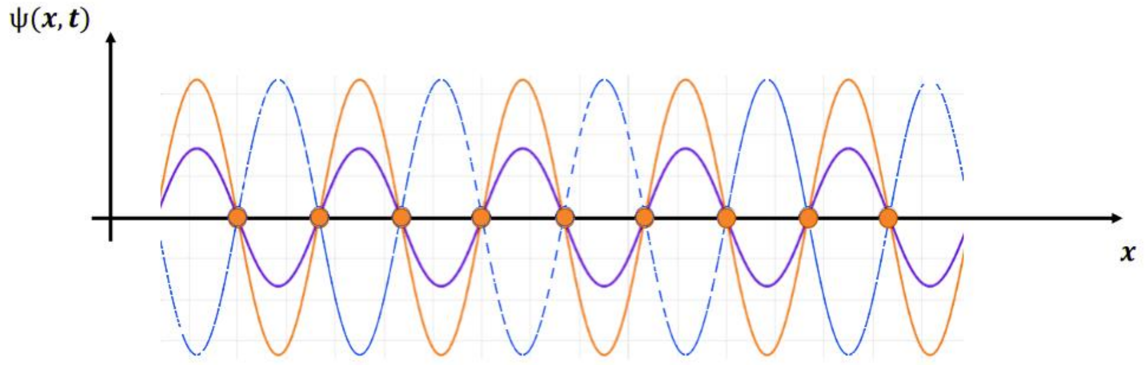
Reflejada: $\Psi_B(x,t) = B\cos(\omega t - kx + \phi_B)$

El resultado es una superposición de ondas cuya solución a la ecuación de ondas puede ser:

$$\frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \psi(x,t)}{\partial x^2}$$

$$\psi(x) = C \sin(kx + \alpha)\, \sin(\omega t + \beta)$$

El solución expresa una onda estacionaria
-> no hay transporte de materia
-> cada molécula oscila en el lugar con una amplitud establecida



Se obtendrán configuraciones de:

- Nodos = puntos sin oscilación
- Antinodos= puntos de máxima amplitud

Condiciones de contorno

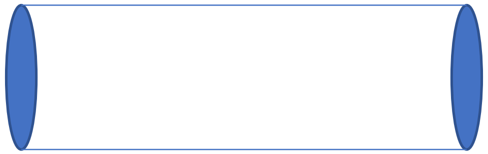
De forma general la solución puede ser la suma de ondas estacionarias de infinitas frecuencias

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

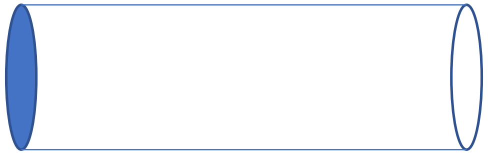
Los parámetros de esta ecuación quedan definidos por las condiciones de contorno, Estas establecerán frecuencias específicas en donde se producen las ondas estacionarias.

En el Tubo de Kundt, las condiciones pueden ser:

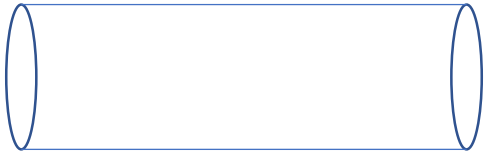
1) Tubo cerrado- cerrado



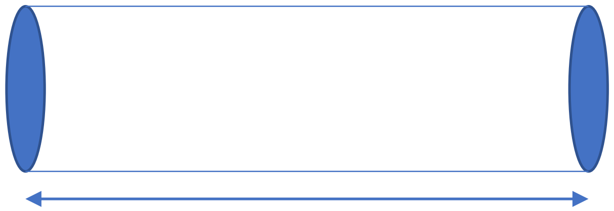
2) Tubo abierto- cerrado



3) Tubo abierto- abierto



1) Tubo cerrado



L

$$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \psi(L) = 0$$

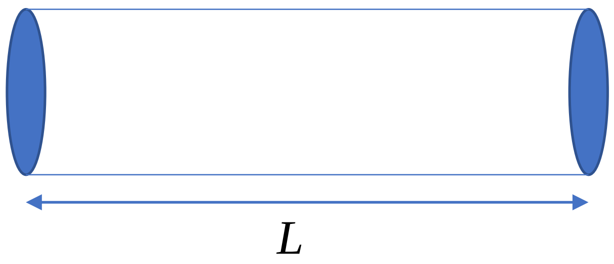
$$\psi p(0) = \psi p(L) = extremo$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

$$\sin(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \frac{m\pi}{L}$$

1) Tubo cerrado



$\psi(0) = 0$, $\psi(L) = 0$

$\psi p(0) = \psi p(L) = extremo$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

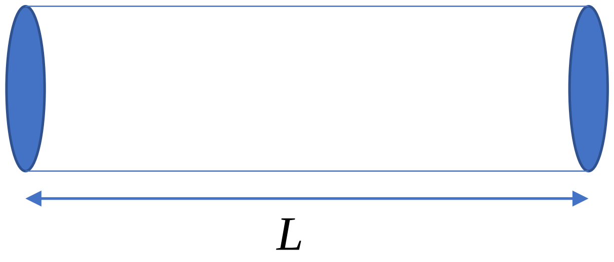
$$\sin(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \frac{m\pi}{L}$$

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \,, \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

$$\text{ó} \quad L = m\,\frac{\lambda_m}{2}$$

En el tubo entran múltiplos de media longitud de onda

1) Tubo cerrado



$$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \psi(L) = 0$$

$$\psi p(0) = \psi p(L) = extremo$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

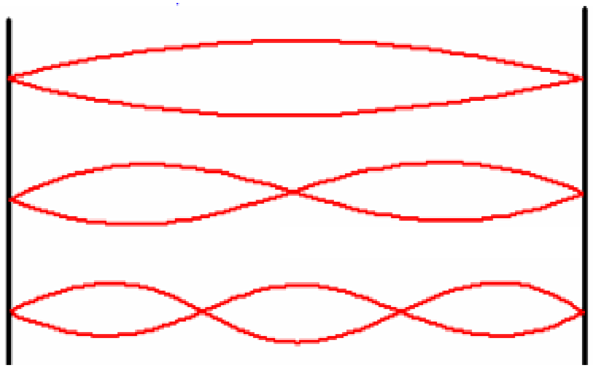
$$\sin(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \frac{m\pi}{L}$$

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \;, \qquad m = 1,2,3, \dots$$

$$ó \quad L = m\,\frac{\lambda_m}{2}$$

En el tubo entran múltiplos de media longitud de onda

Variaciones de desplazamiento

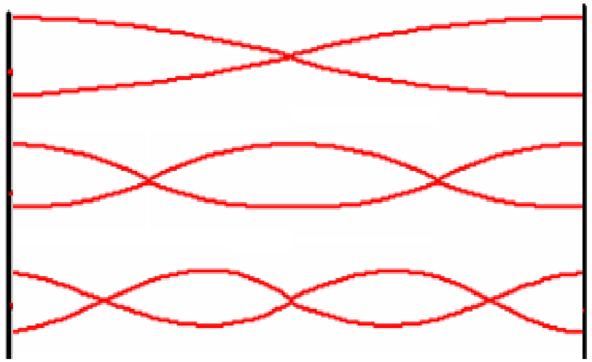


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

Variaciones de presión

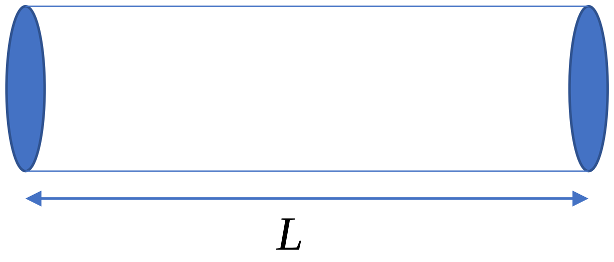


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

1) Tubo cerrado



$$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \psi(L) = 0$$

$$\psi p(0) = \psi p(L) = extremo$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

$$\sin(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \frac{m\pi}{L}$$

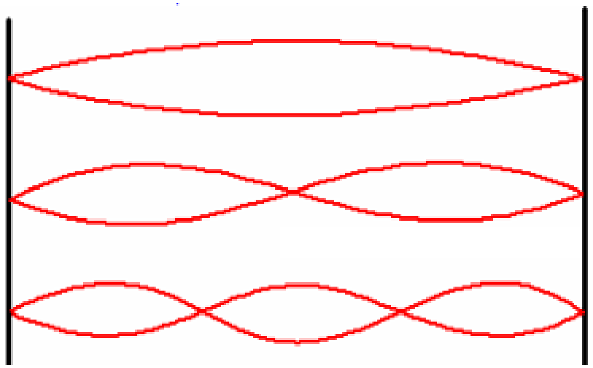
$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \; , \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

$$\text{ó} \qquad L = m\,\frac{\lambda_m}{2}$$

En el tubo entran múltiplos de media longitud de onda

Relación de dispersión $\quad \omega = v_s k \; , \qquad f = \dfrac{v_s}{\lambda}$

Variaciones de desplazamiento

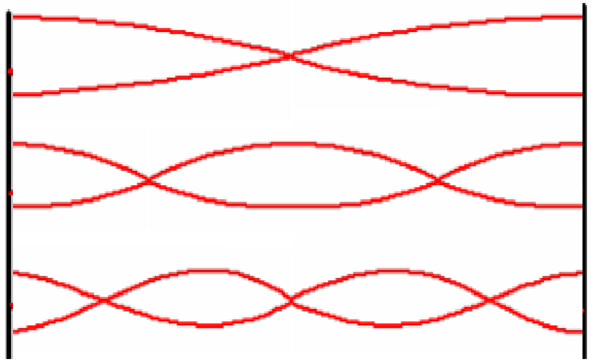


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

Variaciones de presión

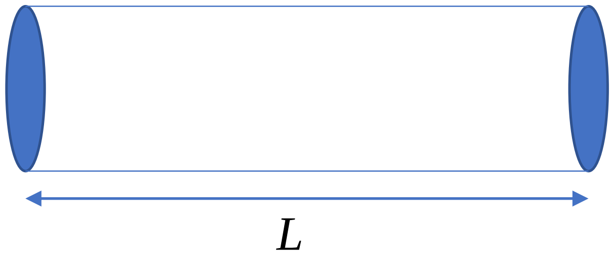


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

1) Tubo cerrado



$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \psi(L) = 0$

$\psi p(0) = \psi p(L) = extremo$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

$$\sin(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \frac{m\pi}{L}$$

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \,, \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

$$\text{ó} \quad L = m\,\frac{\lambda_m}{2}$$

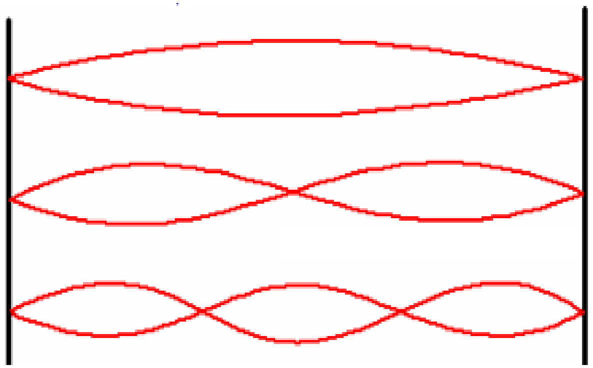
En el tubo entran múltiplos de media longitud de onda

Relación de dispersión $\quad \omega = v_s k \,, \qquad f = \dfrac{v_s}{\lambda}$

$$\boxed{f_m = m\,\frac{v_s}{2L} = m\, f_0}$$

Relación entre la frec fundamental y las frec de los armónicos

Variaciones de desplazamiento

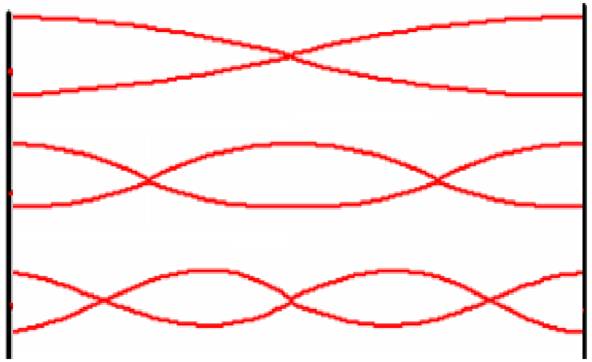


m = 1 , f_0 modo fundamental

m = 2 , f_1 primer armónico

m = 3 , f_2 segundo armónico

Variaciones de presión

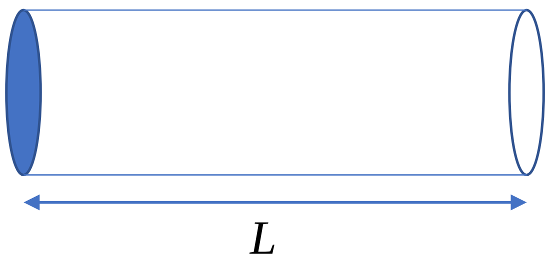


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

2) Tubo abierto - cerrado



$$\psi(0) = 0 \;\; , \qquad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = 0$$

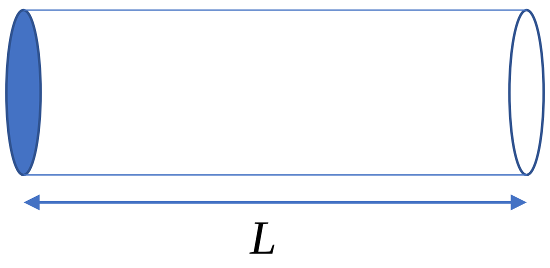
$$\psi p(0) = \text{extremo} \;\; , \;\; \psi p(L) = 0$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \qquad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

$$\cos(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \left(\frac{m - 1/2}{L}\right) \pi$$

2) Tubo abierto - cerrado



$$\psi(0) = 0 \;\;, \qquad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = 0$$

$$\psi p(0) = \text{extremo} \;\;, \;\; \psi p(L) = 0$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

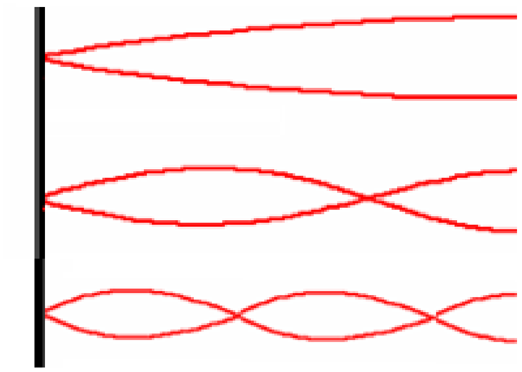
$$\sin(\alpha_m) = 0 \qquad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

$$\cos(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \left(\frac{m - 1/2}{L}\right)\pi$$

$$\lambda_m = \frac{4L}{2m-1} \;, \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

$$\text{ó} \;\; L = (2m-1)\,\frac{\lambda_m}{4} = m\,\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$$

Variaciones de desplazamiento

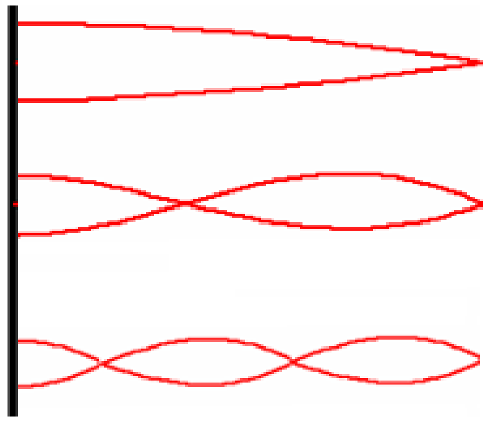


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

Variaciones de presión

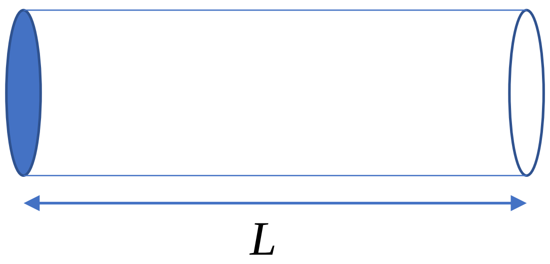


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

2) Tubo abierto - cerrado



$$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = 0$$

$$\psi p(0) = \text{extremo} \quad , \quad \psi p(L) = 0$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \qquad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

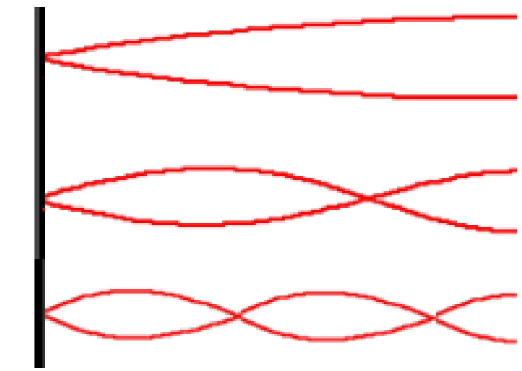
$$\cos(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \left(\frac{m - 1/2}{L}\right)\pi$$

$$\lambda_m = \frac{4L}{2m - 1} \; , \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

$$\text{ó} \;\; L = (2m - 1)\,\frac{\lambda_m}{4} = m\,\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$$

$$\boxed{\begin{aligned} f_m &= (2m - 1)\,\frac{v_s}{4L} \\ &= (2m - 1)\, f_0 \end{aligned}}$$

Variaciones de desplazamiento

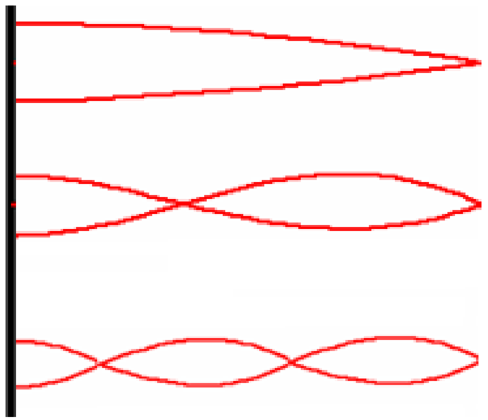


m = 1, f_0 modo fundamental

m = 2, f_1 primer armónico

m = 3, f_2 segundo armónico

Variaciones de presión

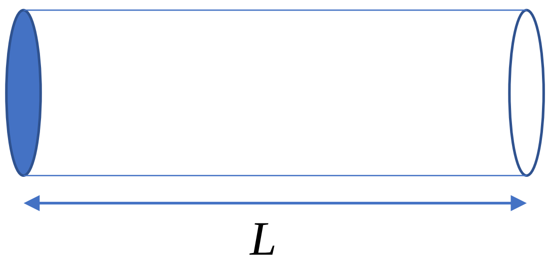


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

2) Tubo abierto - cerrado



$$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = 0$$

$$\psi p(0) = \text{extremo} \ , \ \psi p(L) = 0$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\sin(\alpha_m) = 0 \qquad \Rightarrow \quad \alpha_m = 0$$

$$\cos(k_m L) = 0 \quad \Rightarrow \quad k_m = \left(\frac{m - 1/2}{L}\right)\pi$$

$$\lambda_m = \frac{4L}{2m-1} \ , \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

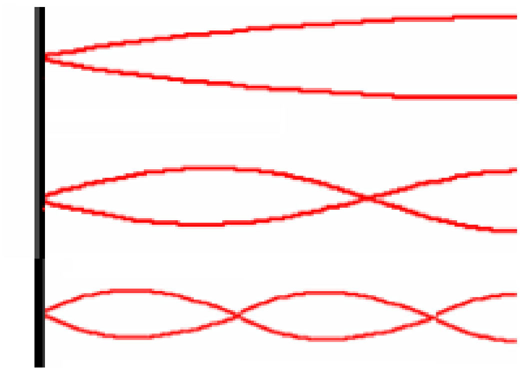
$$\text{ó} \ \ L = (2m-1)\frac{\lambda_m}{4} = m\,\frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4}$$

$$\boxed{\begin{aligned} f_m &= (2m-1)\frac{v_s}{4L} \\ &= (2m-1)\, f_0 \end{aligned}}$$

m = 2 , $f_1 = 3\, f_0$
m = 3 , $f_2 = 5\, f_0$
m = 4 , $f_1 = 7\, f_0$

Múltiplos impares de f_0

Variaciones de desplazamiento

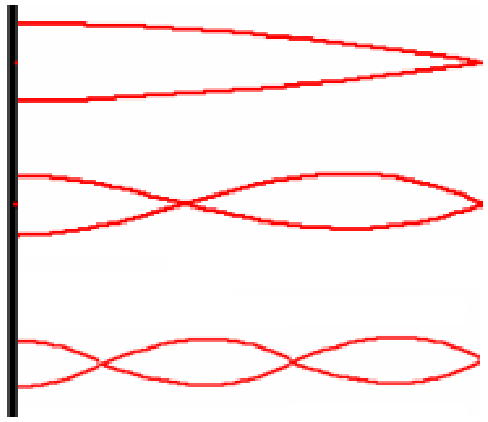


m = 1, f_0 modo fundamental

m = 2, f_1 primer armónico

m = 3, f_2 segundo armónico

Variaciones de presión

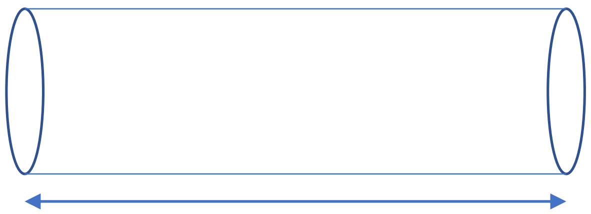


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

3) Tubo abierto



L

$$\frac{\partial\psi(0)}{\partial x} = 0, \qquad \frac{\partial\psi(L)}{\partial x} = 0$$

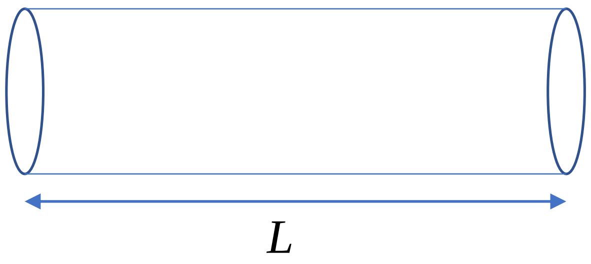
$$\psi p(0) = 0 \;,\; \psi p(L) = 0$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\cos(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos\left(k_m L + \frac{\pi}{2}\right) = 0 \;\; \Rightarrow \;\; k_m = \frac{m\pi}{L}$$

3) Tubo abierto



$$\frac{\partial \psi(0)}{\partial x} = 0, \qquad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = 0$$

$$\psi p(0) = 0 \ , \ \psi p(L) = 0$$

$$\psi p(x) = -\gamma P_0 \frac{\partial \psi}{\partial x}$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m) \sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\cos(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = \frac{\pi}{2}$$

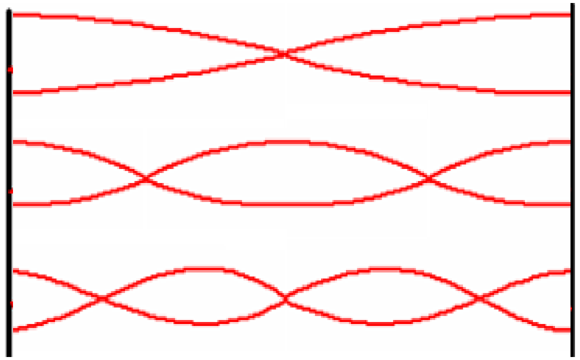
$$\cos\left(k_m L + \frac{\pi}{2}\right) = 0 \ \Rightarrow \ k_m = \frac{m\pi}{L}$$

$$\lambda_m = \frac{2L}{m} \ , \qquad m = 1,2,3, \ldots$$

$$\text{ó} \quad L = m\,\frac{\lambda_m}{2}$$

En el tubo entran múltiplos de media longitud de onda

Variaciones de desplazamiento

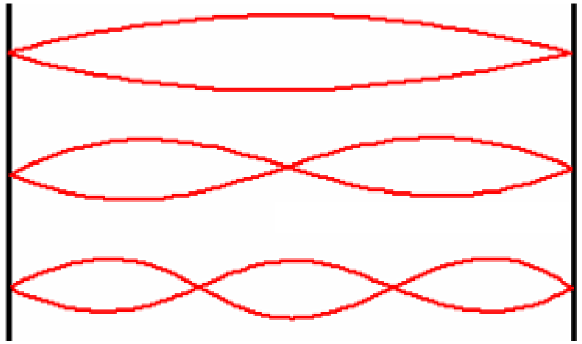


m = 1 , f_0 modo fundamental

m = 2 , f_1 primer armónico

m = 3 , f_2 segundo armónico

Variaciones de presión

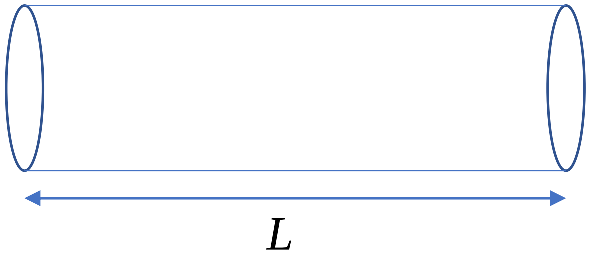


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

m = 3 segundo armónico

3) Tubo abierto



$$\frac{\partial\psi(0)}{\partial x} = 0, \qquad \frac{\partial\psi(L)}{\partial x} = 0$$

$$\psi p(0) = 0 \;,\; \psi p(L) = 0$$

$$\psi p(x) = -\gamma P_0 \frac{\partial\psi}{\partial x}$$

$$\psi(x) = \sum_{m=1}^{\infty} A_m \sin(k_m x + \alpha_m)\sin(\omega_m t + \beta_m)$$

$$\cos(\alpha_m) = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha_m = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos\left(k_m L + \frac{\pi}{2}\right) = 0 \;\Rightarrow\; k_m = \frac{m\pi}{L}$$

$$\lambda_m = \frac{2L}{m}\,, \qquad m = 1,2,3,\ldots$$

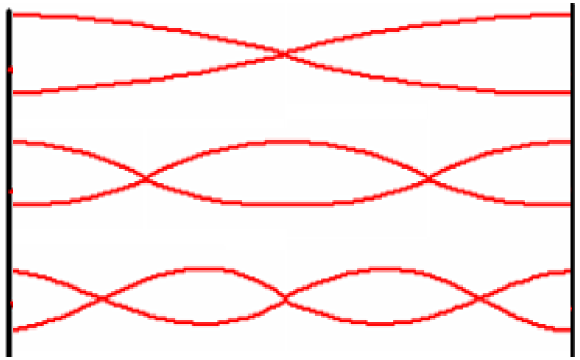
$$\text{ó} \quad L = m\,\frac{\lambda_m}{2}$$

En el tubo entran múltiplos de media longitud de onda

$$\boxed{f_m = m\,\frac{v_s}{2L} = m\,f_0}$$

Relación entre la frec fundamental y las frec de los armónicos

Variaciones de desplazamiento

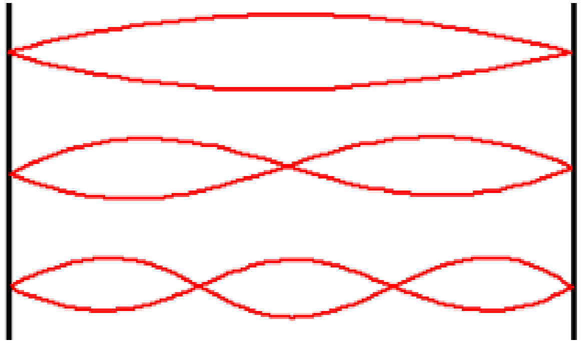


m = 1 , f_0 modo fundamental

m = 2 , f_1 primer armónico

m = 3 , f_2 segundo armónico

Variaciones de presión

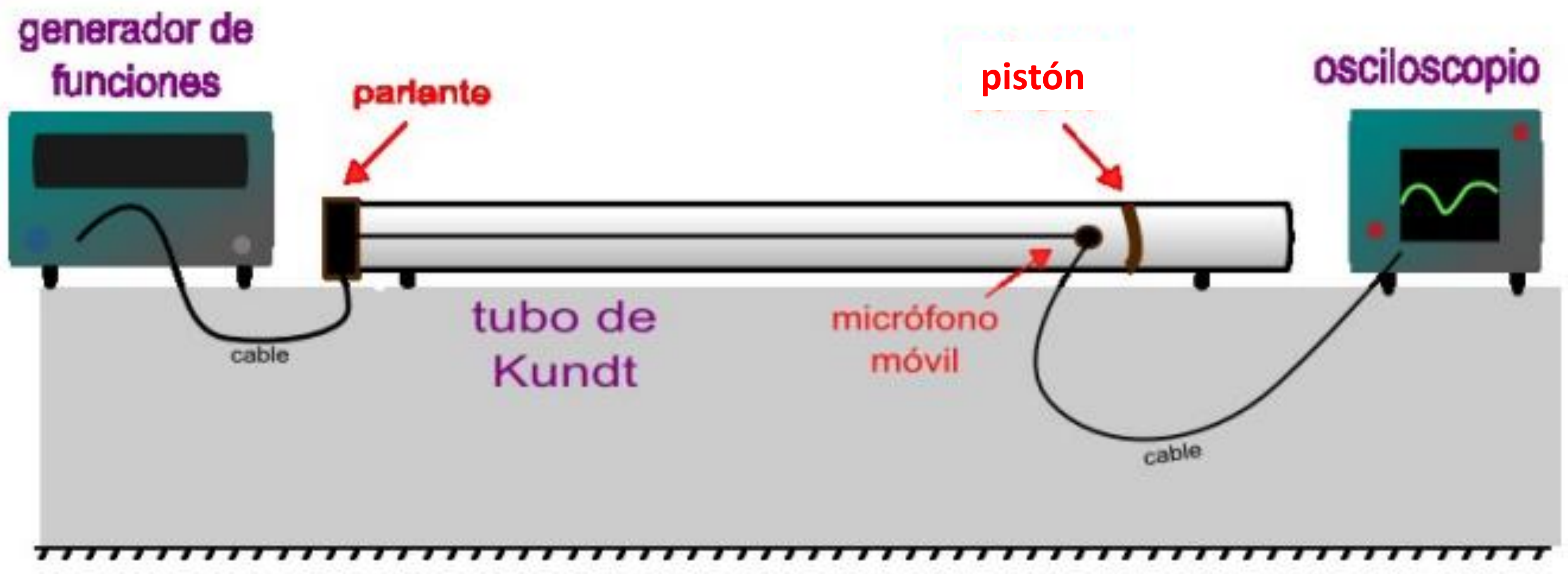


m = 1 modo fundamental

m = 2 primer armónico

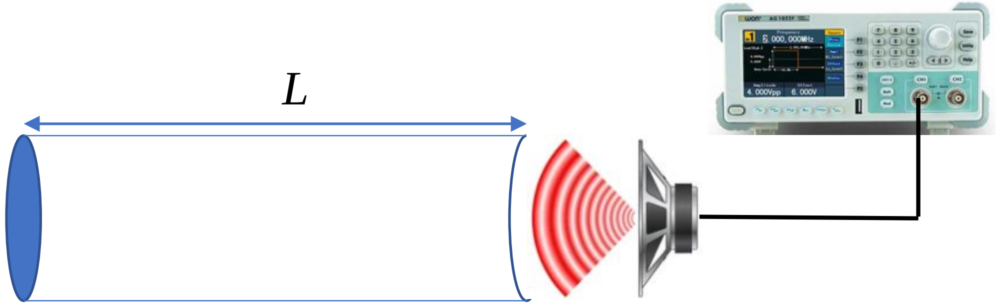
m = 3 segundo armónico

Dispositivo experimental



- Con el pistón genero un extremo cerrado
- Sin él el extremo es abierto en el borde del tubo

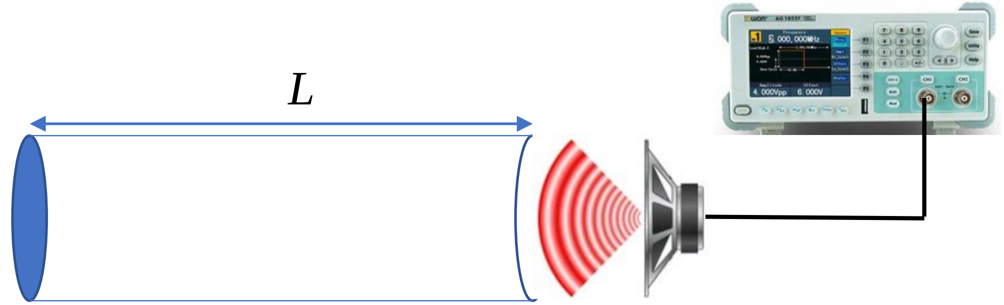
1) ¿Qué tipo de extremo genera el parlante?



El generador mueve el parlante con una onda del tipo $G(t) = D\ \cos(\omega_g t)$

$$\psi(0) = 0 \quad , \qquad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = ?$$

1) ¿Qué tipo de extremo genera el parlante?



El generador mueve el parlante con una onda del tipo $G(t) = D\ \cos(\omega_g t)$

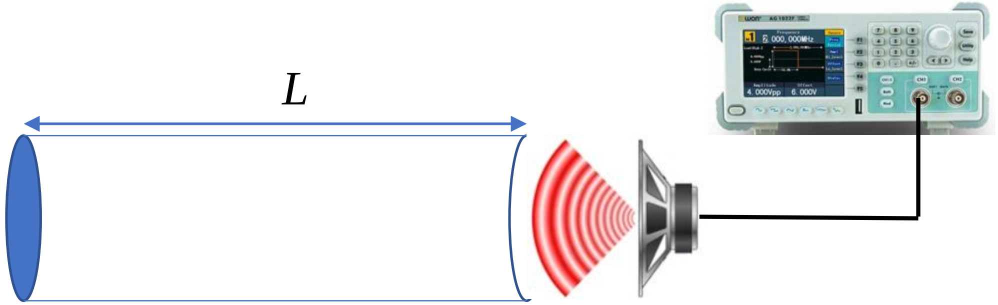
$$\psi(0) = 0 \quad , \quad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = D\ \cos(\omega_g t)$$

Extremo forzado! ⇨ condiciones de contorno cerrado - <u>abierto forzado</u>

Planteamos la solución:

$$\psi(x,t) = A_g\ \sin(k_g x + \alpha) \cos(\omega_g t)$$

1) ¿Qué tipo de extremo genera el parlante?



El generador mueve el parlante con una onda del tipo $G(t) = D\ \cos(\omega_g t)$

Extremo forzado! ⇨ condiciones de contorno cerrado - <u>abierto forzado</u>

$$\psi(0) = 0 \quad , \quad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = D\ \cos(\omega_g t)$$

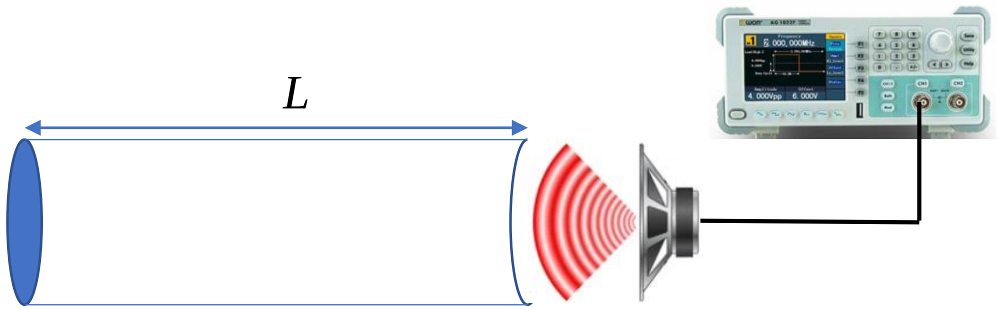
Planteamos la solución:

$$\psi(x,t) = A_g\ \sin(k_g x + \alpha)\cos(\omega_g t)$$

$$A_g\, k_g\, \cos(k_g L) = D \quad \Rightarrow \quad A_g = \frac{D}{k_g\, \cos(k_g L)}$$

$$\psi(x,t) = \frac{D}{\cos(k_g L)}\sin(k_g x + \alpha)\cos(\omega_g t)$$

1) ¿Qué tipo de extremo genera el parlante?



El generador mueve el parlante con una onda del tipo $G(t) = D\ \cos(\omega_g t)$

Extremo forzado! ⇨ condiciones de contorno cerrado - abierto forzado

$$\psi(0) = 0\ ,\quad \frac{\partial \psi(L)}{\partial x} = D\ \cos(\omega_g t)$$

Planteamos la solución:

$$\psi(x,t) = A_g\ \sin(k_g x + \alpha)\cos(\omega_g t)$$

$$A_g\, k_g \cos(k_g L) = D \quad \Rightarrow \quad A_g = \frac{D}{k_g \cos(k_g L)}$$

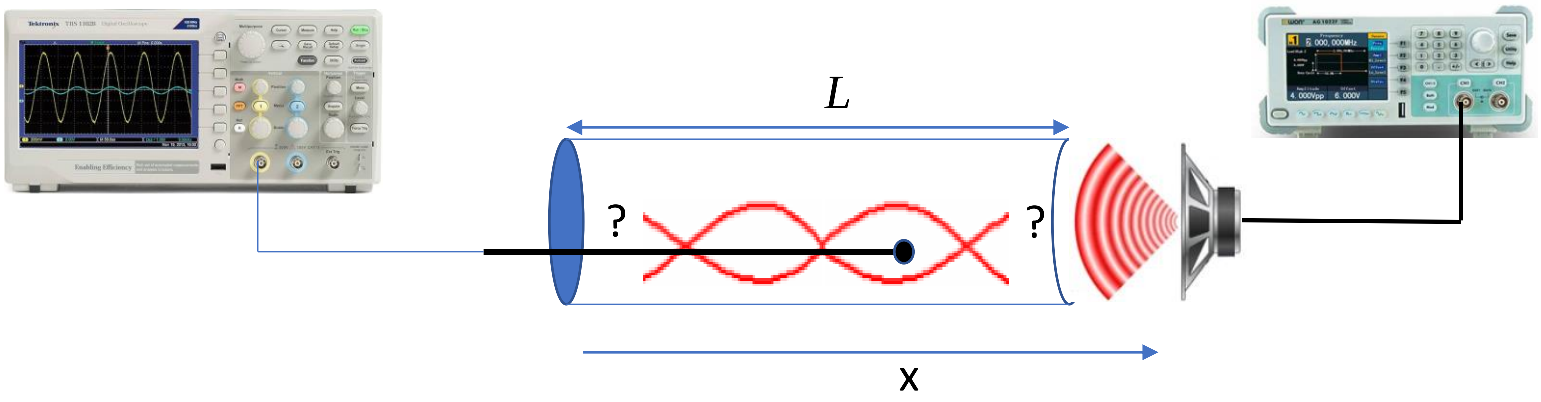
$$\psi(x,t) = \frac{D}{\cos(k_g L)} \sin(k_g x + \alpha)\cos(\omega_g t)$$

La amplitud se maximiza cuando:

$$\cos(k_g L) \ = 0 \quad \Rightarrow \quad k_g = \left(\frac{m - 1/2}{L}\right)\pi$$

Frecuencias de resonancia $\boxed{f_m = (2m-1)\ \frac{v_s}{4L}}$

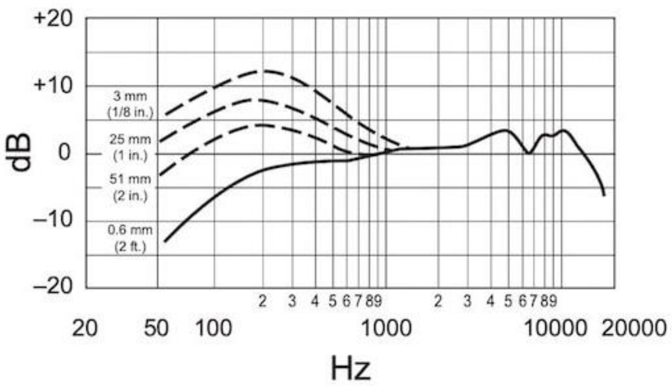
2) ¿Qué mide el micrófono?



- El micrófono captará la oscilación de la posición x. La onda estacionaria se “escucha” recorriendo L

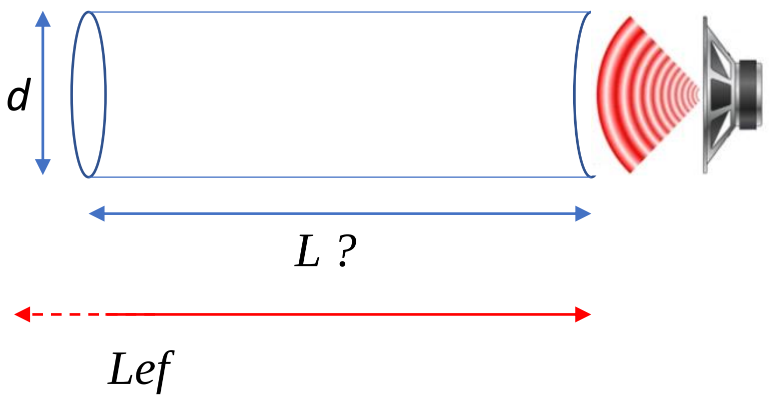
- A diferencia del PZT que trabaja a una frecuencia precisa, los micrófonos registran un amplio rango de frecuencias

- Capta presión o desplazamiento?



- Eje Y: sensibilidad relativa (dB)

3) El tubo no es unidimensional



- El diámetro en un extremo abierto genera una impedancia, de manera que la longitud efectiva observada es mayor que la longitud del tubo L

$$Lef = L + 0.6133\ d$$

• Levine, Harold; Schwinger, Julian (1948). "On the Radiation of Sound from an Unflanged Circular Pipe". *Physical Review*. **73** (4): 383–406.

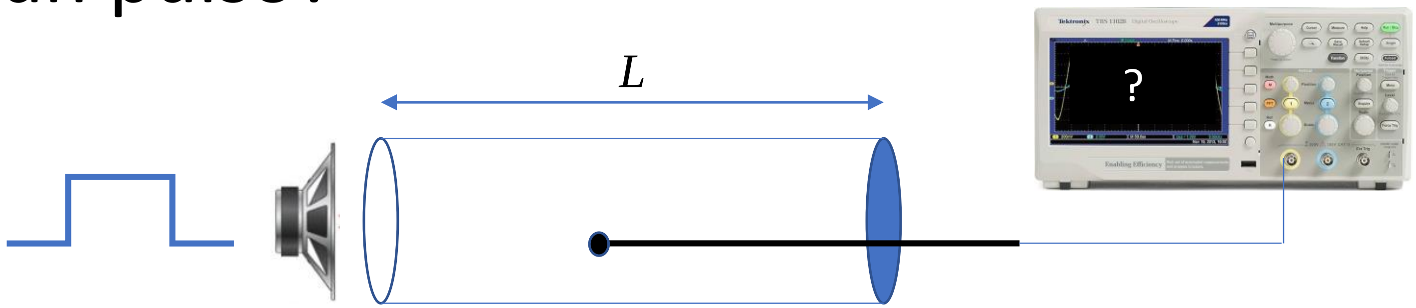
- La corrección de extremo también depende del modo. El manual del fabricante del tubo (PASCO scientific model WA-9612) recomienda la siguiente corrección empírica:

Tubo Abierto-Abierto: $$\lambda_m = \frac{2L}{m} + 0.8d, \qquad m = 1,2,3,\ldots$$

Tubo Abierto-Cerrado: $$\lambda_m = \frac{4L}{2m-1} + 0.4d, \qquad m = 1,2,3,\ldots$$

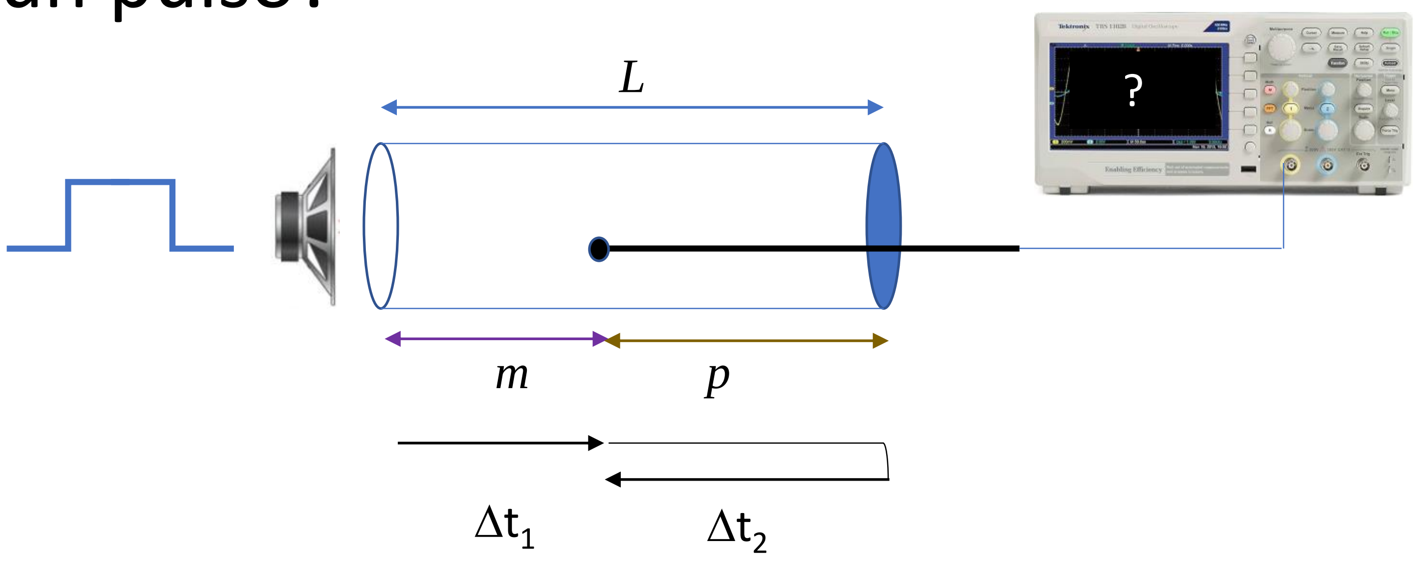
4) ¿Si alimentamos con un pulso?

¿Qué detecta el micrófono cuando le llega el impulso de la onda cuadrada?



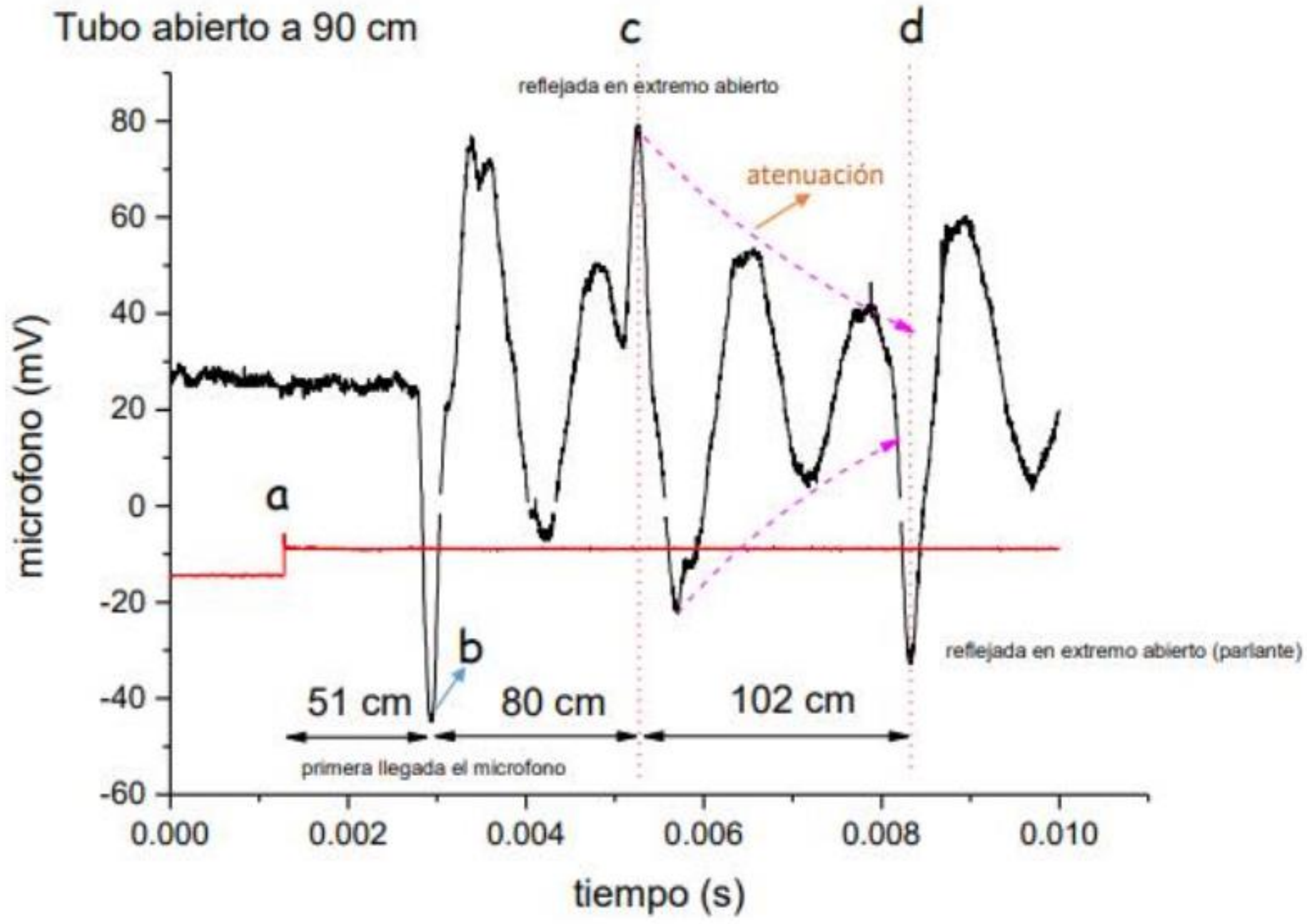
4) ¿Si alimentamos con un pulso?

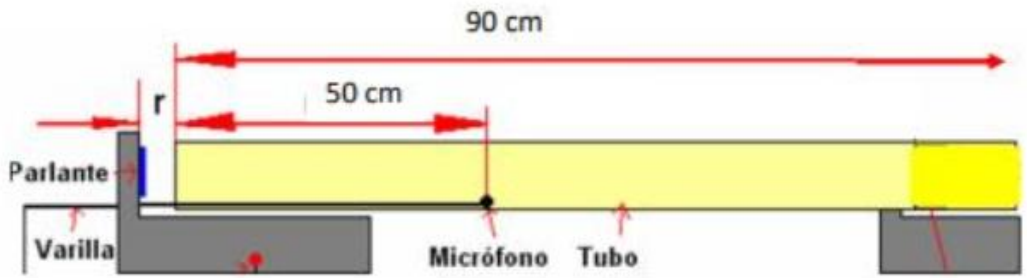
¿Qué detecta el micrófono cuando le llega el impulso de la onda cuadrada?



- La onda viaja una distancia *m* en un tiempo Δt_1 hasta donde la detecta el micrófono.
- Luego recorre una distancia *p* = *L* - *m* hasta que se refleja en el pistón.
- Esa onda reflejada pasa por el micrófono nuevamente luego de recorrer otra distancia *p.*
- El tiempo desde la detección en el micrófono de la onda incidente y su reflejada es Δt_2.

¿Cómo se ve esta excitación en el micrófono? ¿afecta si el tubo está cerrado abierto?





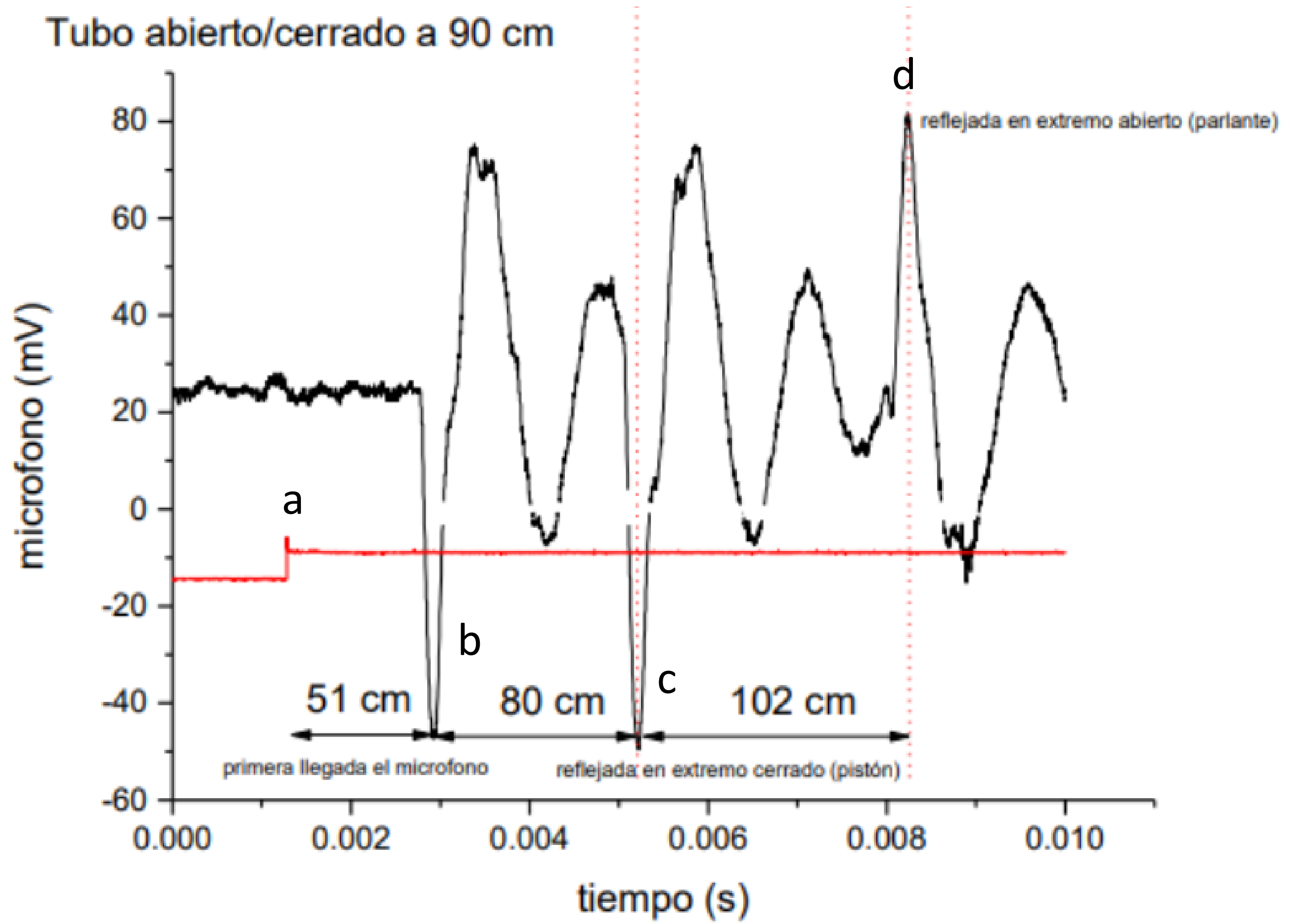
b. El pulso es detectado por primera vez por el micrófono. Luego queda oscilando en las frecuencias de los modos del sistema con atenuación, hasta que…

c. El pulso alcanza el final del tubo y se refleja, este reflejo se detecta como un pico montado sobre la oscilación normal.

   Fase: al ser un tubo abierto se refleja cambiando de fase, respecto a la incidente.

d. Al llegar al parlante se vuelve a reflejar y vuelve a cambiar la fase por ser el parlante un extremo abierto.

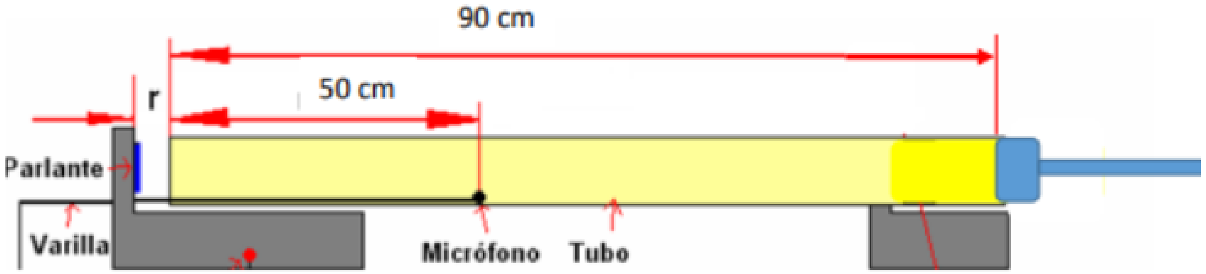
Se puede calcular vs midiendo distintas distancias y sus tiempos respectivos de tránsito, por ej: a-b, b-c, c-d



b. El pulso es detectado por primera vez por el micrófono.

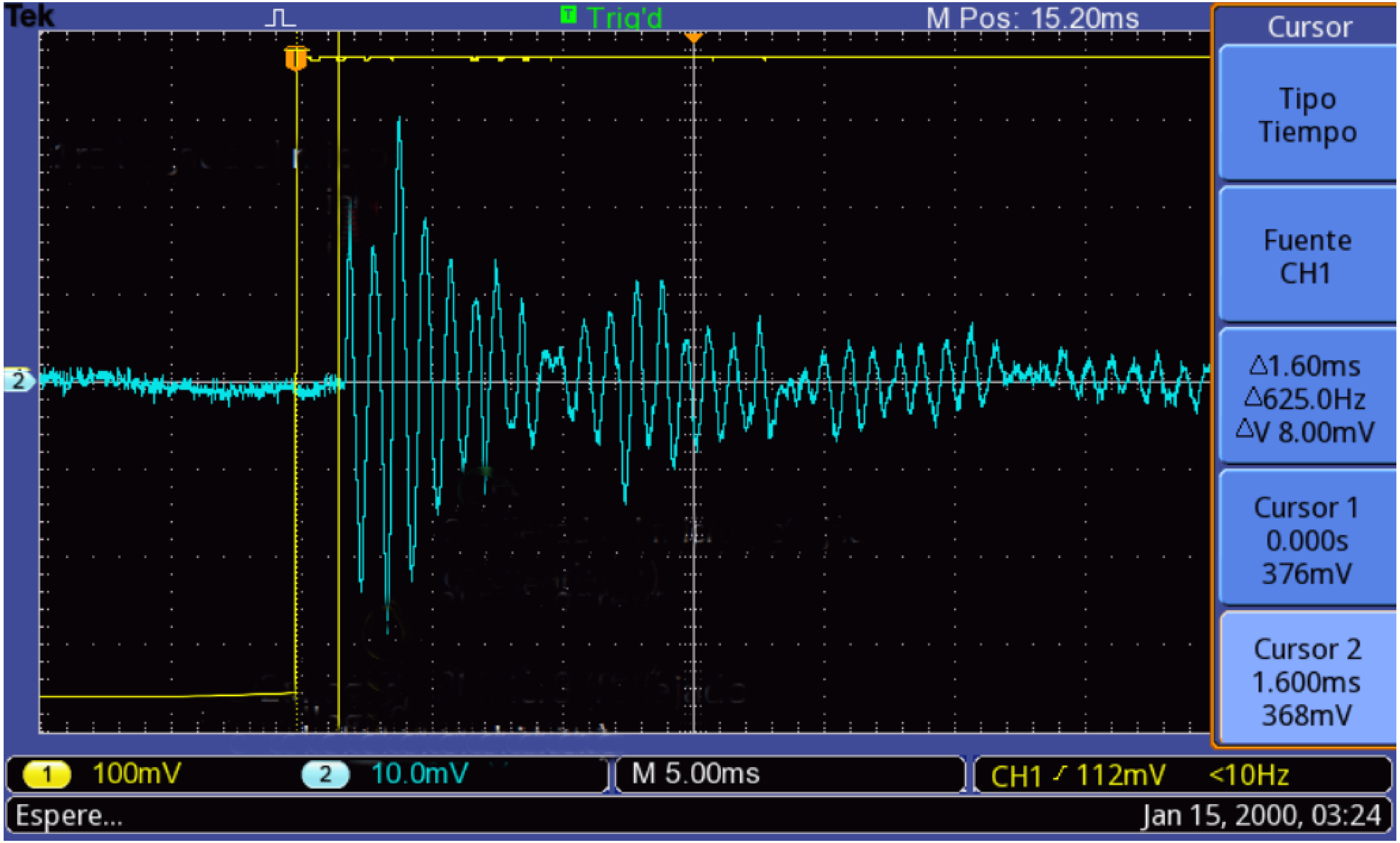
c. El pulso alcanza el pistón y se refleja sin cambio de fase respecto a la inicial

d. Al llegar al parlante se vuelve a reflejar y cambia la fase por ser el parlante un extremo abierto.



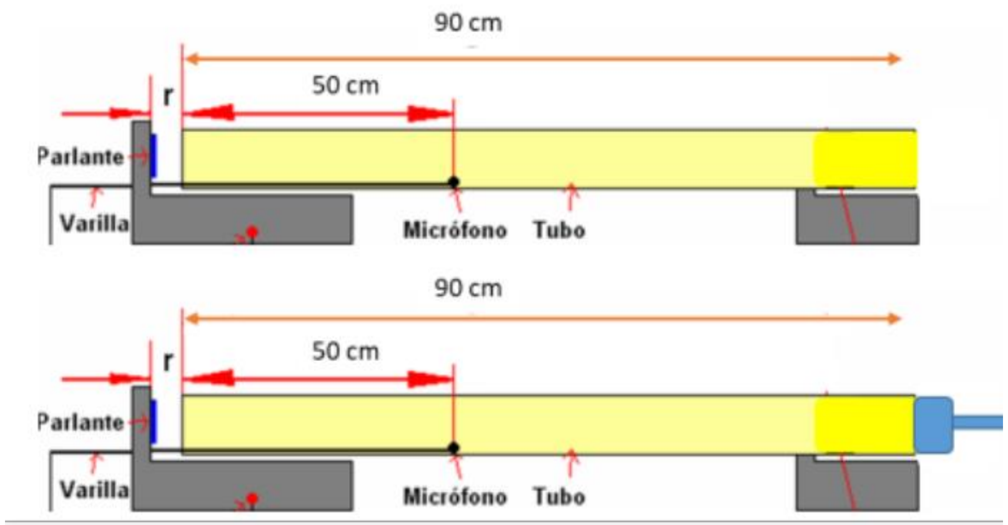
El cambio de fase en cada extremo nos indica en qué condiciones de contorno se está comportando el sistema

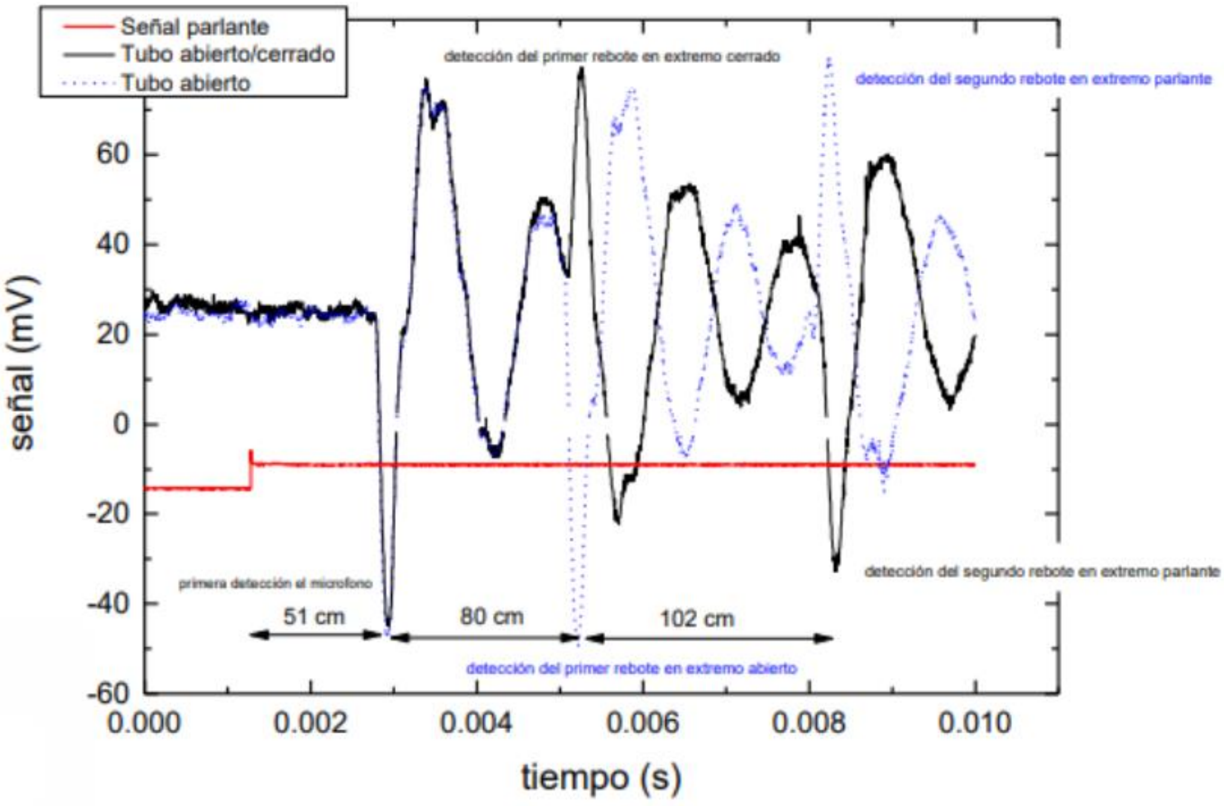
¿Abierto o cerrado?



¿Abierto o cerrado?

Si el pistón lo pongo justo al borde puedo superponer las ondas detectadas y observar el cambio de fase





Objetivos de la práctica

1. Utilizando un tubo de Kundt obtener los modos normales y registrar sus frecuencias para:
   a. Tubo abierto.
   b. Tubo abierto/cerrado.

2. A partir de la relación de dispersión obtener la velocidad de propagación en ambos casos (a. tubo abierto y b. abierto/cerrado)

3. Medir la presión en función de la posición dentro del tubo cuando se lo excita en un modo normal en ambos casos (a. tubo abierto y b. abierto/cerrado).
   Obtener la velocidad de propagación en cada caso.

4. Realizar una experiencia de tiempo de vuelo para ambos casos (a. tubo abierto y b. cerrado)
   a. Obtener la velocidad de propagación del sonido.
   b. Mediante análisis de Fourier encontrar la frecuencia fundamental para las condiciones experimentales de estas experiencias.