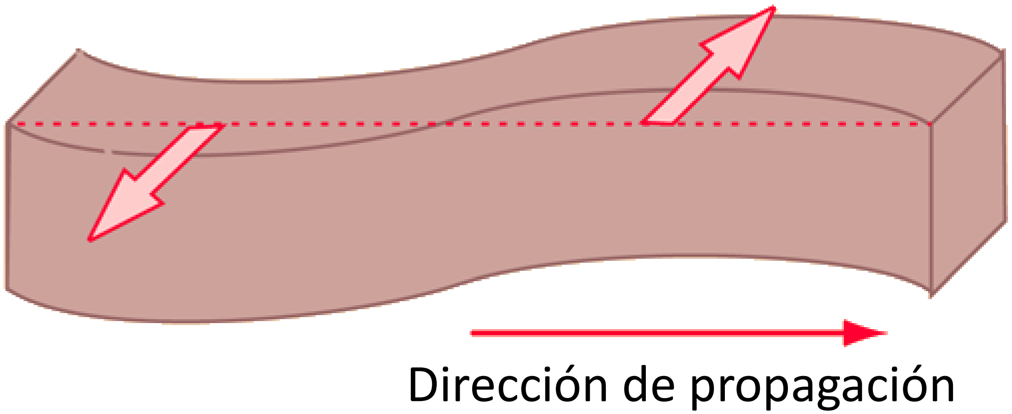
Laboratorio 2

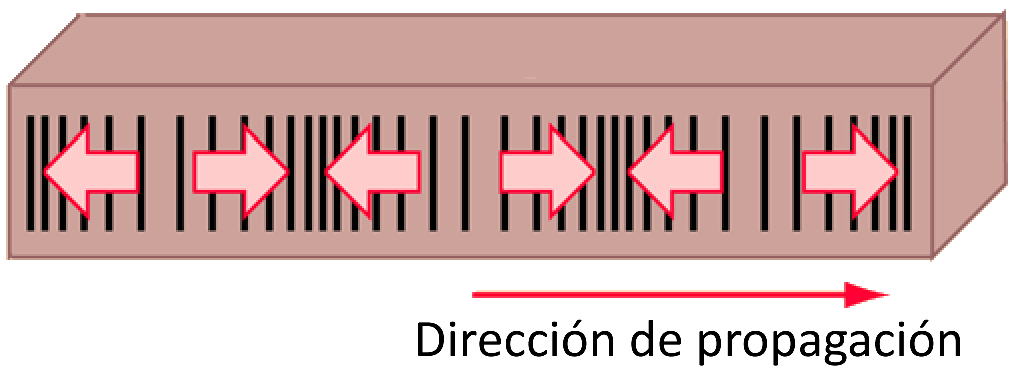
Ondas estacionarias - Tubo de Kundt

Ondas transversales:



Ej: las ondas EM y las vibraciones en cuerdas.

Ondas longitudinales:

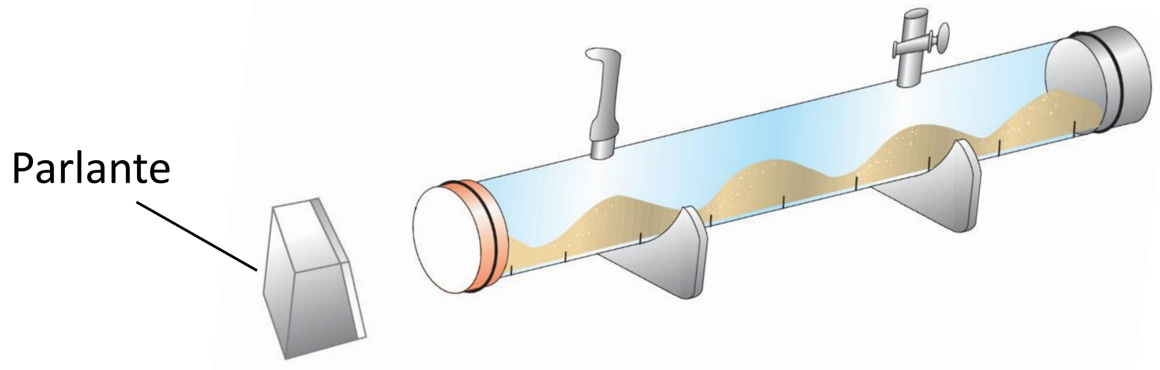


Ej: las ondas de sonido y ultrasonido, y todas las ondas en fluidos.

Pero un mismo sistema puede manifestar ambos tipos de ondas, por ejemplo los sólidos elásticos.

Tubo de Kundt

Queremos estudiar ondas de sonido que se propagan en un cilindro:



Podemos pensar al sonido como una onda de presión.

$$p \equiv P - P_0$$

Presión acústica

$$\nabla^2 p = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

Ecuación de ondas acústicas en 3D

Solución exacta $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ecuación de ondas en 3D} \\ \text{Condiciones de contorno sobre una superficie} \end{array} \right.$

También podemos pensar al sonido como oscilaciones de las partículas.

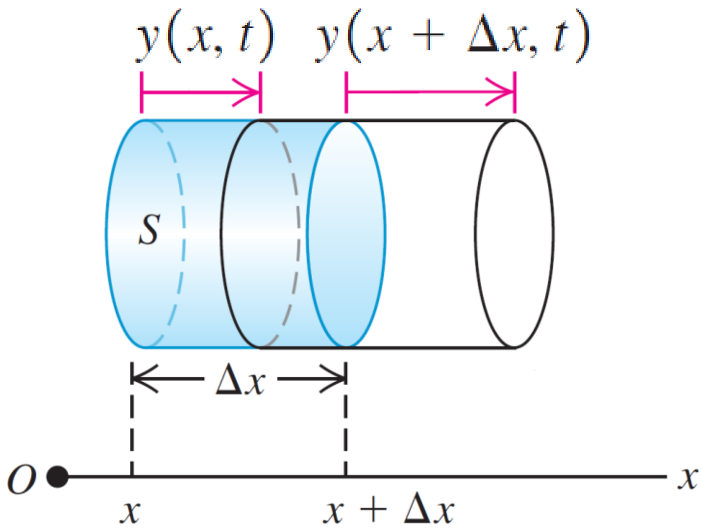
Vamos a suponer que dentro de cilindro viaja una onda plana en la dirección paralela al eje del cilindro, y que la única dependencia espacial es en esa coordenada.

Esta aproximación funciona bien en la medida en que el radio es pequeño comparado con la longitud de onda.

$$y(x, t) = A\cos(kx - \omega t)$$

Desplazamiento de las partículas respecto de su posición de equilibrio. Es **paralelo** a *x*!

El paso de la onda produce un cambio de volumen. Analizando esto podemos relacionar el desplazamiento con la presión.



$$\Delta V = S(y_2 - y_1)$$
$$= S[y(x+\Delta x,t) - y(x,t)]$$

$$\frac{dV}{V} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{S[y(x+\Delta x,t) - y(x,t)]}{S\Delta x}$$

$$\frac{dV}{V} = \frac{\partial y(x,t)}{\partial x}$$

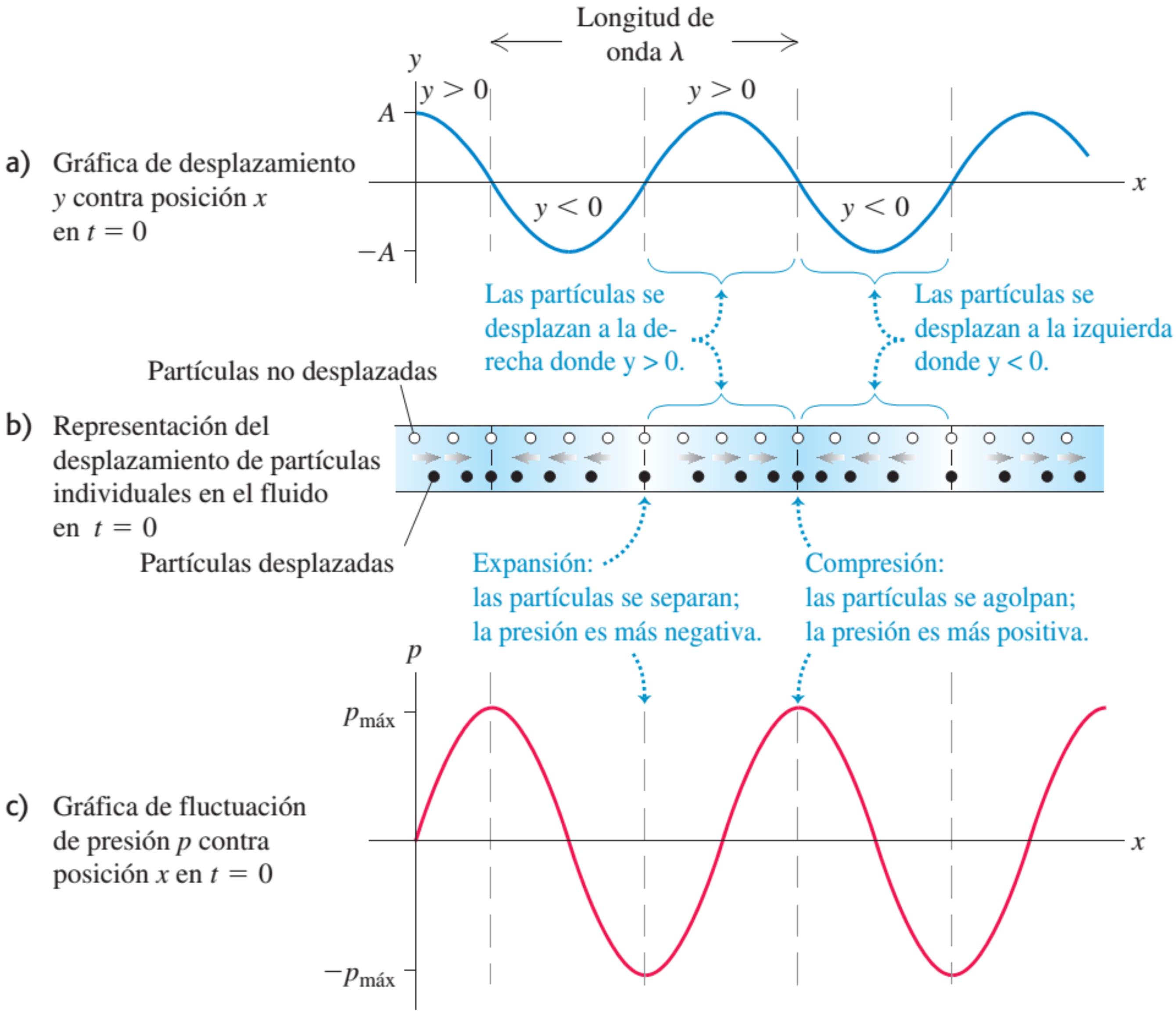
Usando la definición del Módulo de compresibilidad: $B = -p(x,t)/(dV/V)$

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

$$p(x,t) = BkA\,\mathrm{sen}(kx - \omega t)$$

$$y(x,t) = A\cos(kx - \omega t)$$

Es otra onda armónica como el desplazamiento, pero desfasada en $\pi/2$



Los ceros de desplazamiento son extremos de presión y viceversa.

Modos normales / ondas estacionarias

Buscamos soluciones de la ecuación de ondas 1D: $$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

dónde todas las partículas oscilen en fase. La forma más general es:

$$y(x,t) = (A\,\mathrm{sen}(kx) + B\cos(kx))\cos(\omega t)$$

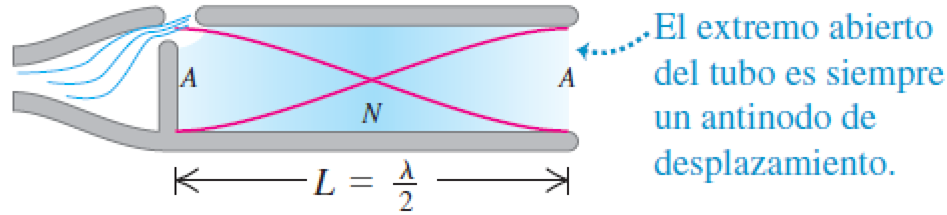
La solución se restringe al imponer condiciones de contorno:

Tubo con ambos extremos abiertos	$\frac{\partial y}{\partial x}(x=0,t)=0$	$\frac{\partial y}{\partial x}(x=L,t)=0$

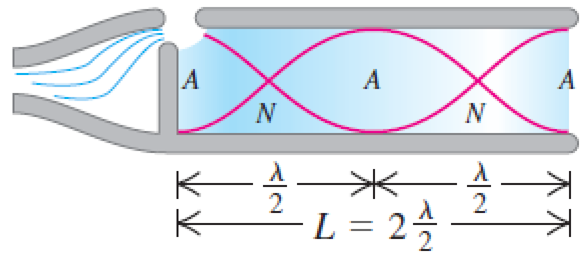
Tubo con un extremo abierto y uno cerrado	$\frac{\partial y}{\partial x}(x=0,t)=0$	$y(x=L,t)=0$

Modos normales con extremos abiertos

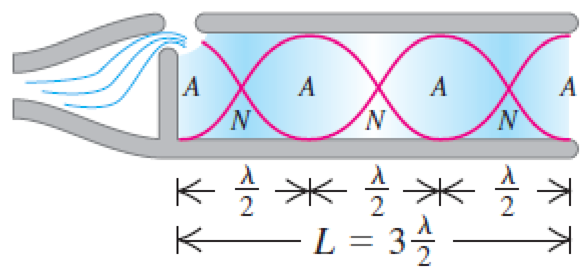
a)
Fundamental: $f_1 = \dfrac{v}{2L}$



b)
Segundo armónico: $f_2 = 2\dfrac{v}{2L} = 2f_1$



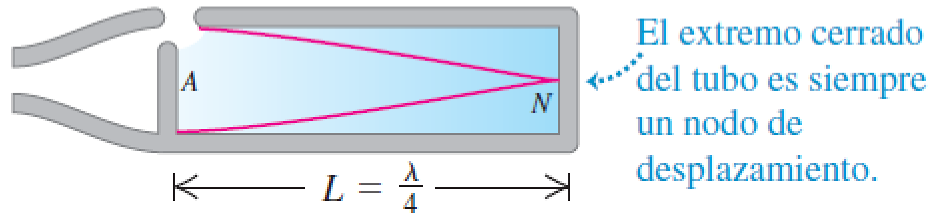
c)
Tercer armónico: $f_3 = 3\dfrac{v}{2L} = 3f_1$



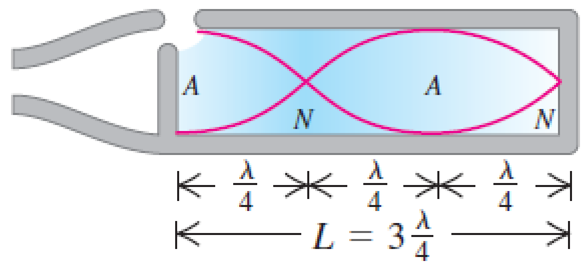
$$f_n = nf_1 \qquad (n = 1, 2, 3, \ldots)$$

Modos normales con extremos mixtos

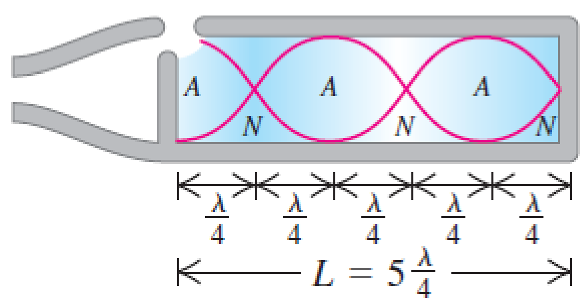
a)
Fundamental: $f_1 = \frac{v}{4L}$



b)
Tercer armónico: $f_3 = 3\frac{v}{4L} = 3f_1$

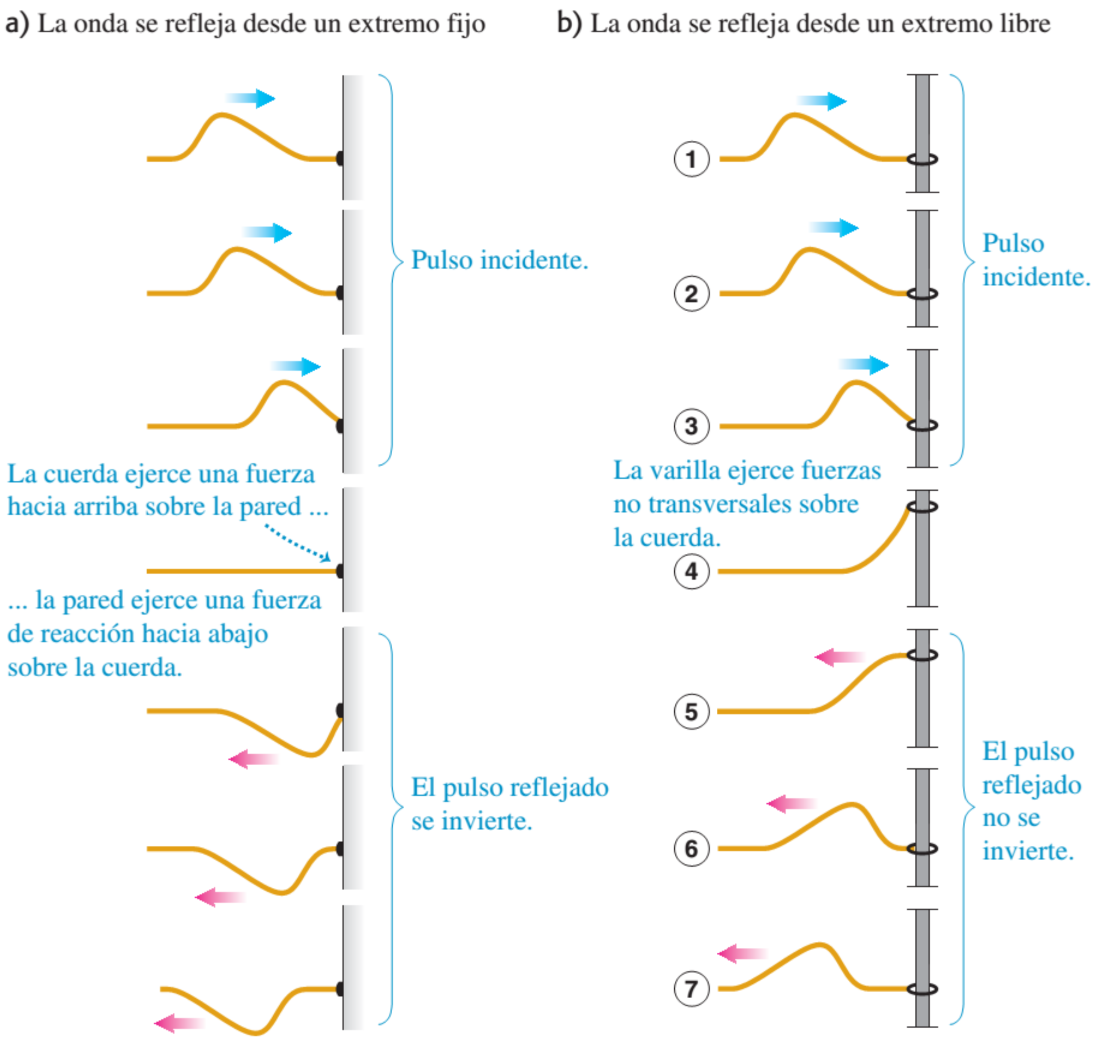


c)
Quinto armónico: $f_5 = 5\frac{v}{4L} = 5f_1$



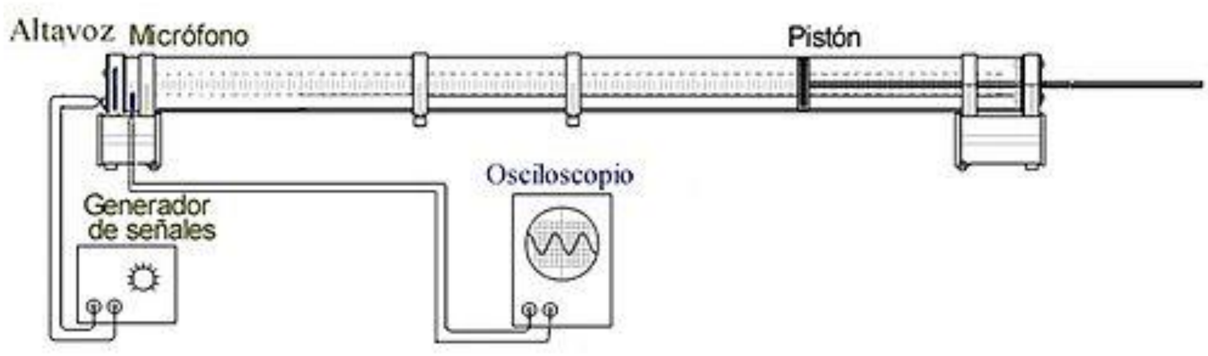
$$f_n = nf_1 \qquad (n = 1, 3, 5, \dots)$$

Cambio de fase en un reflexión



En general, ocurre cuando una onda se refleja incidiendo desde un medio de mayor velocidad a uno con menor velocidad

Montaje experimental



- El tubo cuenta con un micrófono incorporado en su interior que se puede desplazar libremente, y una regla para determinar su posición. También tiene un pistón que permite cerrarlo en un extremo y variar su longitud.

- El parlante se conecta directamente al generador de función.
No excedan los 2 Vpp (presionen el botón limitador)

- La señal del micrófono se conecta a un amplificador antes de registrarse con el osciloscopio.

- Midan la señal del micrófono y la señal del generador simultáneamente.

Experiencias a realizar hoy:

- Determinar las frecuencias de los primeros 5 modos, considerando 3 casos: con el tubo abierto, y con el tubo cerrado usando dos longitudes diferentes. Determinar la velocidad de propagación a partir de un ajuste adecuado.

- Registrar la señal del micrófono en función de la posición para un modo. Realizar esto para al menos una configuración con tubo abierto y una configuración con tubo cerrado. Ajustar por la función correspondiente al modo y analizar que información se puede extraer.

- Estudiar la respuesta en frecuencia del sistema, alrededor de la frecuencia de un modo, para dos configuraciones diferentes. ¿Se puede ajustar con algún modelo conocido?

- El fabricante propone una corrección empírica para el largo del tubo, comparen los resultados que obtienen según si la incorporan o no.

- Estudiar la propagación de un pulso, excitando el parlante con el flanco ascendente de una onda cuadrada de baja frecuencia.

Análisis de un pulso y sus reflexiones

Podemos generar un pulso tal como hicimos con el piezoeléctrico.

El micrófono permite detectar este pulso, y sus posteriores reflexiones.

Teniendo en cuenta la ubicación del micrófono dentro del tubo, se puede determinar la distancia recorrida por el pulso cada vez que es detectado, e inferir la velocidad del sonido a partir de un ajuste conveniente.