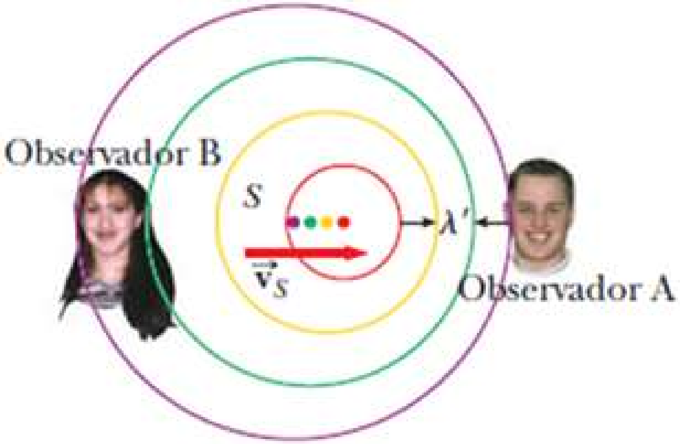
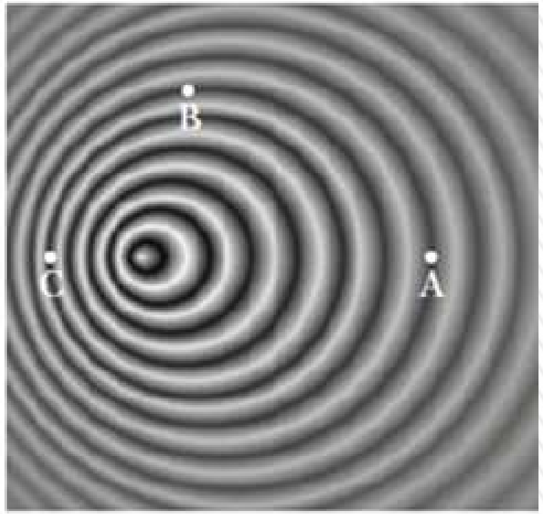
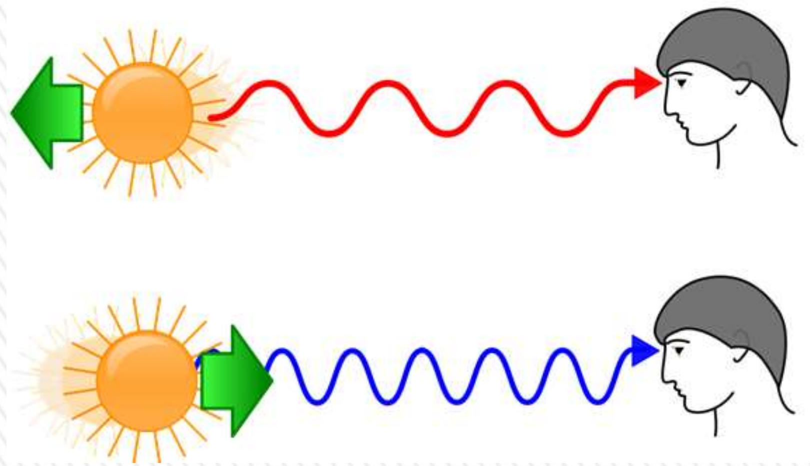
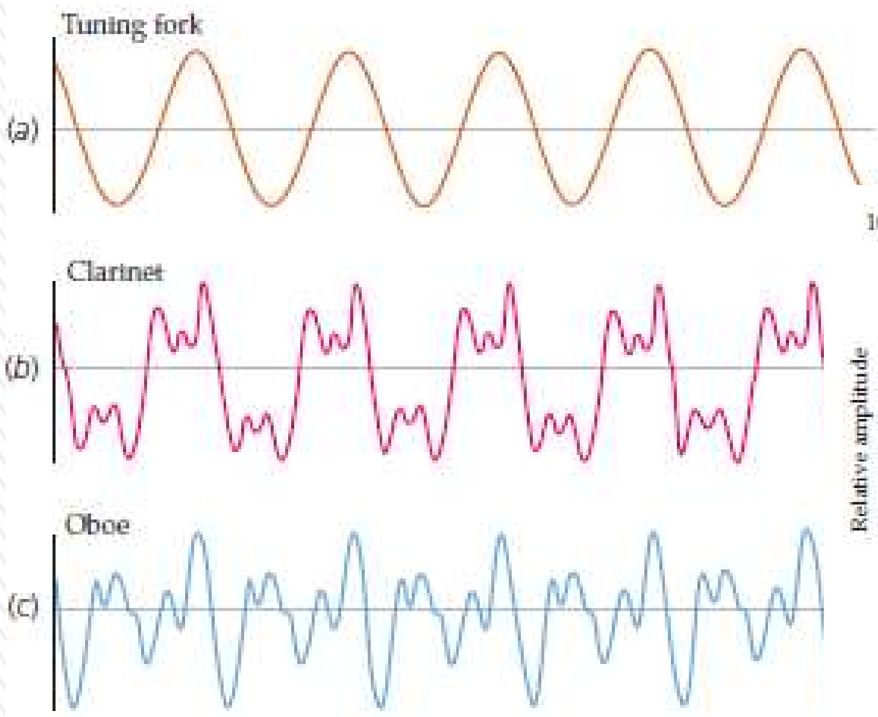
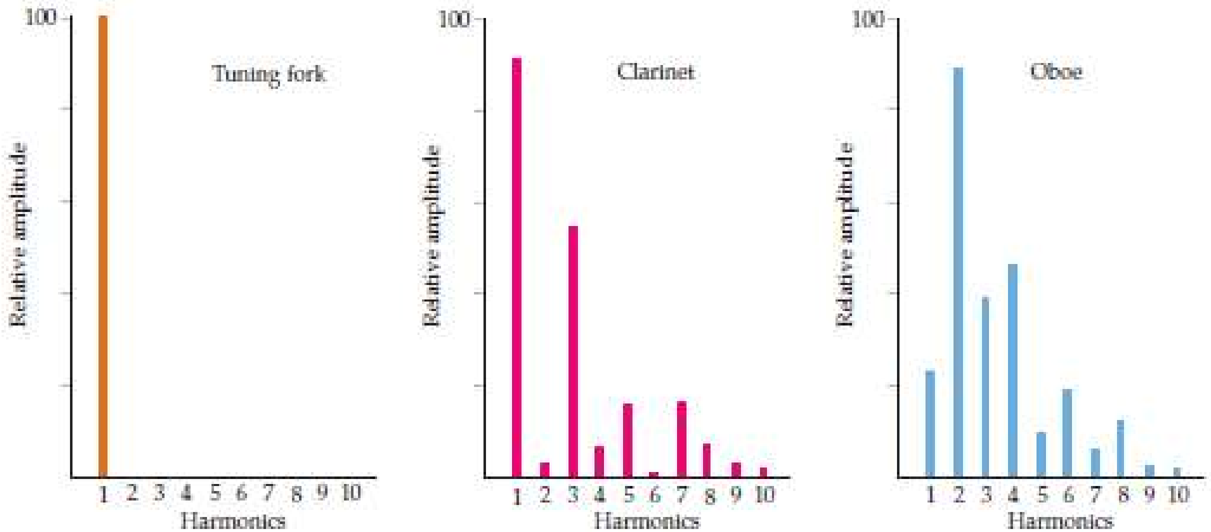
20- ONDAS SONORAS





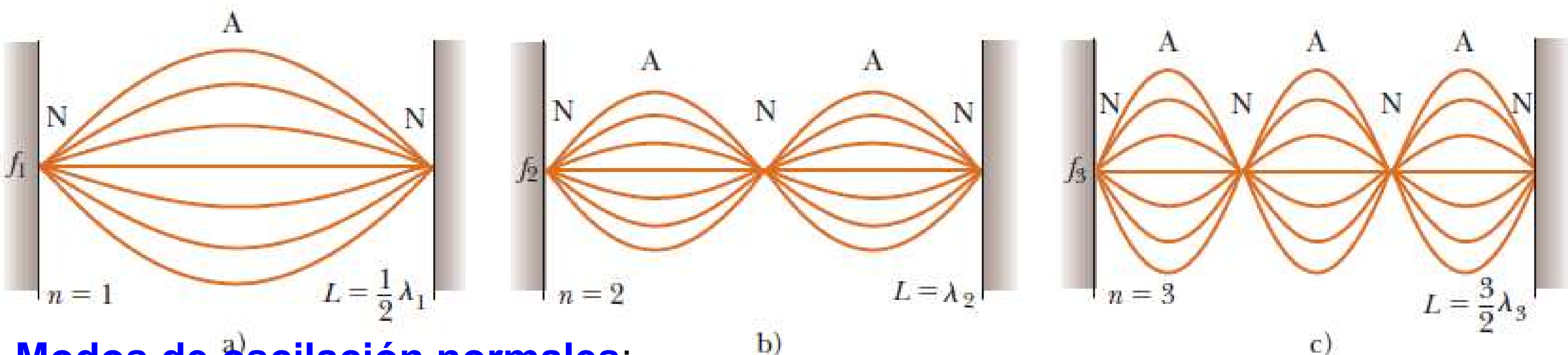






Repaso de lo visto anteriormente

ONDAS ESTACIONARIAS EN CUERDA FIJA EN AMBOS EXTREMOS



Modos de oscilación normales:

1er. modo normal: 2 nodos en extremos y 1 antinodo en medio (1 bucle): $\lambda_1 = 2L$.

2do.modo normal: cuerda vibra en dos bucles. $\lambda_2 = L$.

3er. modo normal $\lambda_3 = 2L/3$; *cuerda vibra en 3 bucles.*

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad n = 1,2,3 \ldots$$

Frecuencias naturales (f_n) asociadas con los modos de oscilación *($f = v/\lambda$) donde la rapidez de onda v es la misma para todas las frecuencias.*

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = n\frac{v}{2L} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$f_1 = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Frecuencia fundamental

Frecuencias modos restantes: son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental:

$f_n = n.f_1$

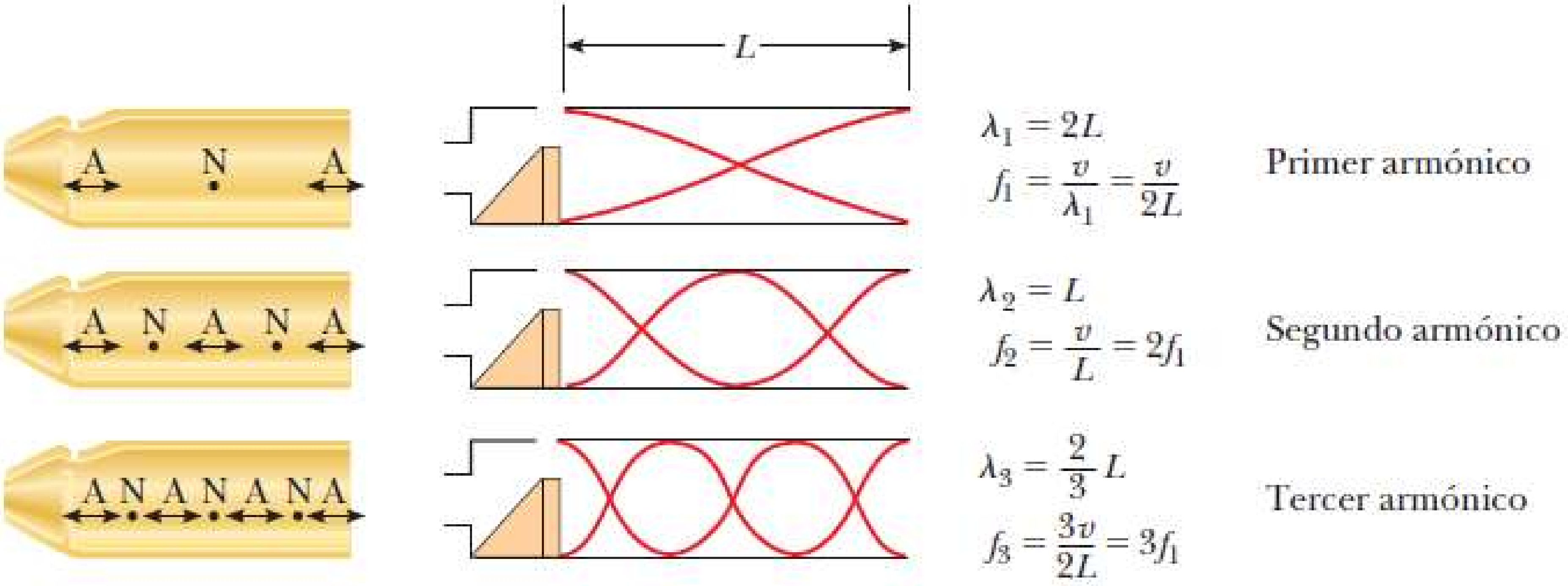
$$f_1 = \frac{v}{2L} \qquad f_n = n\frac{v}{2L}$$

Forman una **serie armónica, los modos normales se llaman armónicos.**

Repaso de lo visto anteriormente

ONDAS ESTACIONARIAS EN COLUMNAS DE AIRE

Tubo abierto en ambos extremos: ambos extremos son antinodos de desplazamiento



a) Abierto en ambos extremos

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

$$f_n = nf_1 = n\frac{v}{2L} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

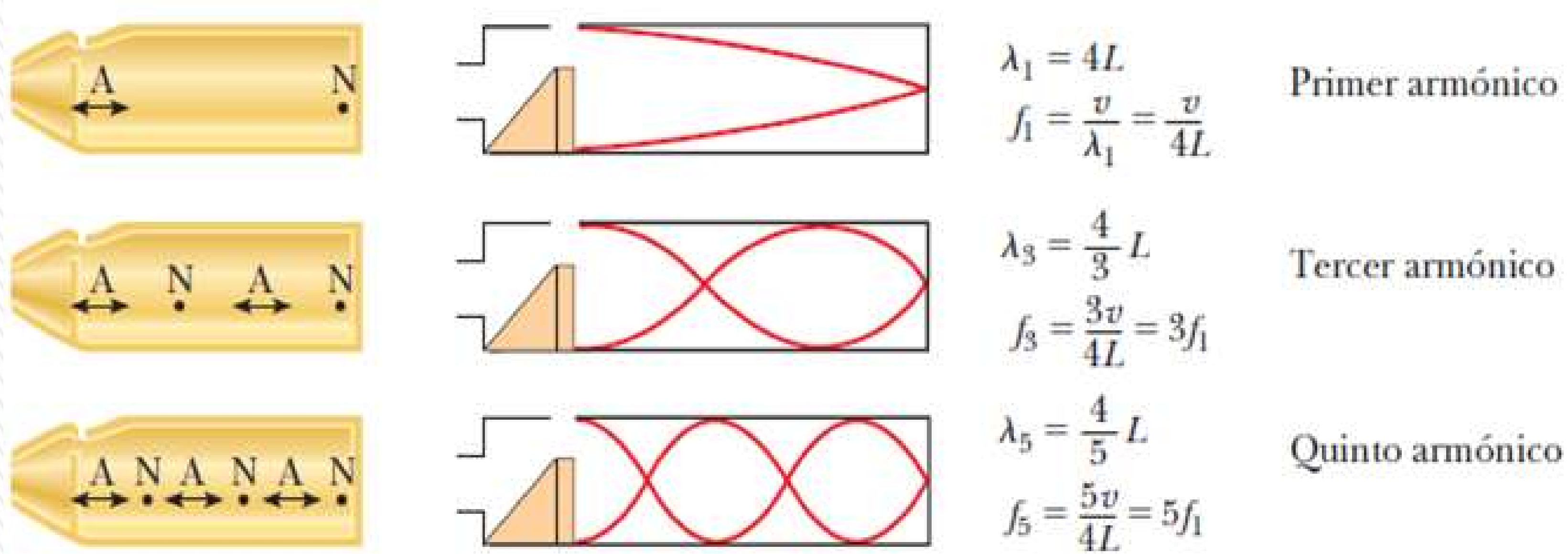
$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \qquad f_n = n\frac{v}{2L}$$

Las frecuencias naturales de oscilación forman una serie armónica que incluye todos los múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Idéntico a las frecuencias de una cuerda con extremos fijos, pero *v en esta ecuación es la rapidez* del sonido en el aire.

Repaso de lo visto anteriormente

Tubo con un extremo abierto y otro cerrado: Nodo de desplazamiento en extremo cerrado y antinodo en el abierto.



$$\lambda_1 = 4L\ ;\ \lambda_2 = \frac{4L}{3}\ ;\ \lambda_3 = \frac{4L}{5} \ldots\ \lambda_n = \frac{4L}{2n-1} \qquad n = 1,2,3\ldots$$

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{4L}\ ;\ f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{3v}{4L}\ ;\ f_3 = \frac{5v}{4L} \ldots\ f_n = \frac{(2n-1)v}{4L} \qquad n = 1,2,3\ldots$$

$$f_{2n-1} = (2n-1)\frac{v}{4L} \qquad n = 1,2,3,\ldots$$

Los armónicos superiores tienen frecuencias $3f_1$, $5f_1$, . . .

Tubo cerrado en un extremo, frecuencias naturales forman una serie armónica que incluye sólo múltiplos enteros impares de la frecuencia fundamental.

Repaso de lo visto anteriormente

Intensidad *I de una onda, o potencia por unidad de área* *se define como la* rapidez a la cual la energía (es decir la potencia) transportada por la onda se transfiere a través de una unidad de área *A perpendicular a la dirección de viaje de la onda.*

Intensidad del sonido a una distancia *r de la fuente es:*

$$I = \frac{\mathcal{P}}{A} = \frac{\mathcal{P}}{4\pi r^2}$$

NIVEL SONORO EN DECIBELES

$$\beta \equiv 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

I_0 es la intensidad de referencia (*umbral de audición*) (**I_0= 1,00×10^{-12} W/m^2**)

I intensidad en W/ m^2 que corresponde el nivel de sonido β, donde **β** se mide en **decibeles (dB).**

En esta escala, el umbral de dolor (*I_0= 1,00 W/m^2) corresponde a un nivel sonoro de* 120 dB.

Repaso de lo visto anteriormente

QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

Una onda sinusoidal de frecuencia ***f*** viaja a lo largo de una cuerda estirada. La cuerda llega al reposo, y en la cuerda se establece una segunda onda viajera de frecuencia ***2f***. Considere que no cambian las condiciones de la cuerda (se mantiene la tensión, el largo y su masa)

i) ¿Cuál es la rapidez de onda de la segunda onda?

a) el doble de la primera onda

b) la mitad de la primera onda

c) igual que la de la primera onda

d) imposible determinar

ii) A partir de las mismas opciones, describa la longitud de onda de la segunda onda.

a) el doble de la primera onda

b) la mitad de la primera onda

c) igual que la de la primera onda

d) imposible determinar

QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

La amplitud de una onda se duplica, sin que se hagan otros cambios a la onda. Como resultado de esta duplicación, ¿cuál de los siguientes enunciados es correcto?

a) La rapidez de la onda cambia,

b) La frecuencia de la onda cambia.

c) La máxima rapidez transversal de un elemento del medio cambia.

d) Los enunciados del inciso **(a)** al **(c)** son todos verdaderos.

e) Ninguno de los enunciados del inciso **(a)** al **(c)** es verdadero.

QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

Cuando una onda estacionaria se establece en una cuerda fija en ambos extremos, ¿cuál de los siguientes enunciados es verdadero?

a) El número de nodos es igual al numero de antinodos.

b) La longitud de onda es igual a la longitud de la cuerda dividida por un entero.

c) La frecuencia es igual al número de nodos por la frecuencia fundamental.

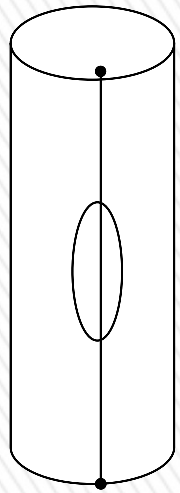
d) La forma de la cuerda en cualquier instante muestra una simetría en torno al punto medio de la cuerda.

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.2

Un instrumento musical consiste de un tubo cerrado en los dos extremos, con una apertura en la pared lateral, y una cuerda estirada fuera y paralela al tubo tal que pasa sobre la apertura. La cuerda y el tubo tienen la misma longitud de 50 cm. Al tocar la cuerda, los primeros 5 armónicos son excitados apreciablemente. Los armónicos de la cuerda dan lugar a un sonido fuerte solo si su frecuencia es cercana a una frecuencia resonante del tubo. La tensión en la cuerda es 588 N y su masa es 10 g.

a) ¿Cuáles son las frecuencias de los armónicos que están amplificados de esta manera?

b) ¿Cuáles serían las frecuencias si uno de los extremos del tubo se abre?



La cuerda tiene sus dos extremos fijos, por lo que aparecerán ondas estacionarias cuyas frecuencias (armónicas) están dadas por:

$$f_n = nf_1 = n\frac{v}{2L} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

Debo conocer la velocidad con que se propagan las ondas en la cuerda:

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Para la cuerda: L= 0,50 m m= 10 g = 0,010 kg T= 588 N

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0{,}010\,kg}{0{,}50\,m} = 0{,}020\,kg/m$$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} = \sqrt{\frac{588}{0{,}020}} = 171\,m/s$$ (171,46 m/s)

$$f_n = n\frac{v}{2L} = n\frac{171}{2(0{,}50)}$$

$f_1 = 1{,}7\times10^2$ **Hz**; $f_2 = 3{,}4\times10^2$ **Hz**; $f_3 = 5{,}1\times10^2$ **Hz**

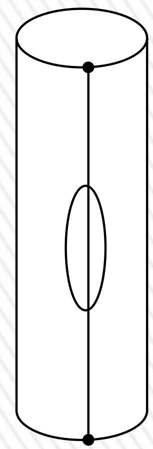
$f_4 = 6{,}9\times10^2$ **Hz**; $f_5 = 8{,}6\times10^2$ **Hz**;

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.2

Un instrumento musical consiste de un tubo cerrado en los dos extremos, con una apertura en la pared lateral, y una cuerda estirada fuera y paralela al tubo tal que pasa sobre la apertura. La cuerda y el tubo tienen la misma longitud de 50 cm. Al tocar la cuerda, los primeros 5 armónicos son excitados apreciablemente. Los armónicos de la cuerda dan lugar a un sonido fuerte solo si su frecuencia es cercana a una frecuencia resonante del tubo. La tensión en la cuerda es 588 N y su masa es 10 g.

a) ¿Cuáles son las frecuencias de los armónicos que están amplificados de esta manera?

b) ¿Cuáles serían las frecuencias si uno de los extremos del tubo se abre?



Los modos normales para un tubo con ambos extremos cerrados, son iguales a los correspondientes a uno con ambos extremos abiertos, ya que tiene un nodo en c/u de los extremos, por lo que la longitud de onda del primer modo vale: λ_1=2L (igual que cuando ambos extremos están cerrados).

Considero que la velocidad del sonido en el aire vale v_s = 343 m/s.

$$f_n = n\frac{v_s}{2L}$$

$$f_n = n\frac{v_s}{2L} = n\frac{343}{2\,(0{,}50)}$$

Los primeros armónicos son:

$f_1 = 3{,}4\times10^2$ Hz; $f_2 = 6{,}9\times10^2$ Hz; $f_3 = 1{,}0\times10^3$ Hz

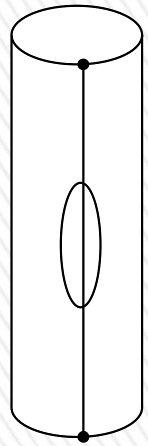
Se amplificarían los siguientes armónicos: $3{,}4\times10^2$ Hz, $6{,}9\times10^2$ Hz

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.2

Un instrumento musical consiste de un tubo cerrado en los dos extremos, con una apertura en la pared lateral, y una cuerda estirada fuera y paralela al tubo tal que pasa sobre la apertura. La cuerda y el tubo tienen la misma longitud de 50 cm. Al tocar la cuerda, los primeros 5 armónicos son excitados apreciablemente. Los armónicos de la cuerda dan lugar a un sonido fuerte solo si su frecuencia es cercana a una frecuencia resonante del tubo. La tensión en la cuerda es 588 N y su masa es 10 g.

a) ¿Cuáles son las frecuencias de los armónicos que están amplificados de esta manera?

b) ¿Cuáles serían las frecuencias si uno de los extremos del tubo se abre?



Si ahora el tubo tiene uno de los extremos abierto, las frecuencias de los modos normales están dados por:

$$f_{2n-1} = (2n-1)\frac{v}{4L} \qquad n = 1, 2, 3, \ldots$$

$$f_{2n-1} = (2n-1)\frac{v_s}{4L} = (2n-1)\frac{343}{4(0{,}50)} =$$

Los primeros armónicos son:

$f_1 = 1{,}7\times10^2$ **Hz;** $f_3 = 5{,}1\times10^2$ **Hz;** $f_5 = 8{,}6\times10^2$ **Hz…**

Se amplificarían los siguientes armónicos: 1,7×10² Hz, 5,1×10² Hz y 8,6×10² Hz

EFECTO DOPPLER

Si un vehículo se mueven mientras hacen sonar su bocina, la frecuencia del sonido que se oye es más alta (más agudo) cuando el vehículo se acerca y más baja cuando se aleja (más grave).

Este fenómeno es un ejemplo del ***efecto Doppler***.

Se oye el mismo efecto si el oyente se mueve y la bocina está fija: la frecuencia es más alta cuando nos acercamos a la fuente y más baja cuando nos alejamos.

Aunque el efecto Doppler se asocia más a menudo con el sonido, es común a todas las ondas, incluyendo las de luz (corrimiento hacia el rojo de galaxias que se alejan). Por ejemplo, el movimiento relativo de la fuente y el observador produce un corrimiento de frecuencia en las ondas luminosas.

El efecto Doppler se usa por ejemplo en los sistemas de radar policíacos para medir la rapidez de los vehículos o los astrónomos para determinar la rapidez de estrellas, galaxias y otros objetos celestes en relación con la Tierra.

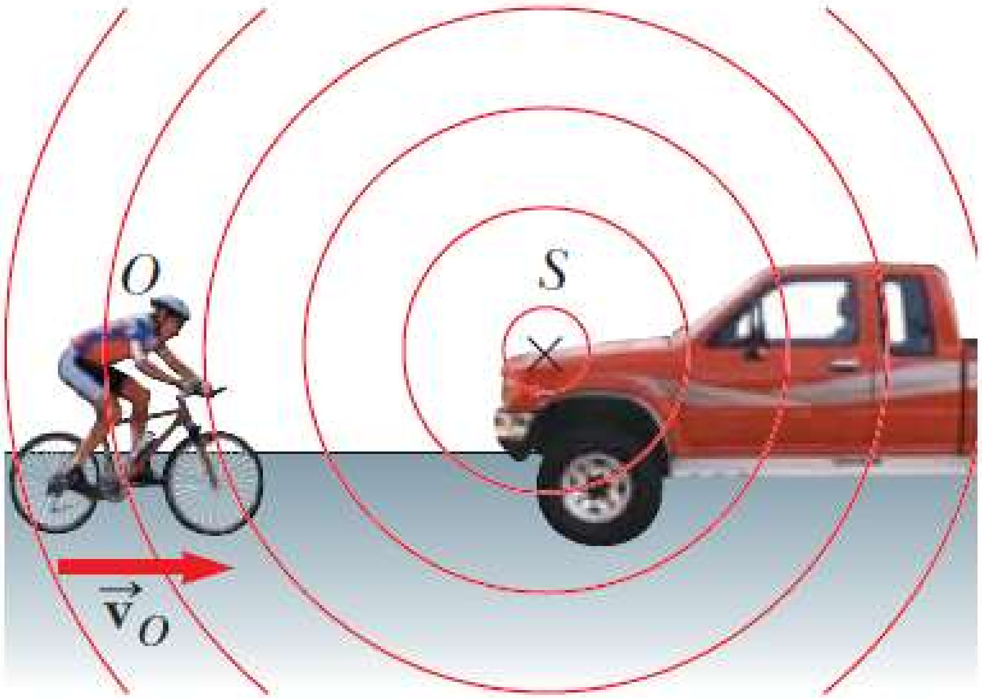
Nos restringiremos al efecto Doppler aplicado al sonido y supondremos que el aire está inmóvil y que todas las medidas de la velocidad están hechas en relación con este medio inmóvil.

La velocidad v_O corresponde al observador, v_S *es la velocidad de la fuente y v es la velocidad del sonido.*

Efecto Doppler - Apps. de Física Walter Fendt:
https://www.walter-fendt.de/html5/phes/dopplereffect_es.htm

EFECTO DOPPLER

Observador se mueve hacia la fuente



La longitud de onda no cambia.
Se percibe una frecuencia mayor.

Rapidez relativa de las ondas respecto al observador: $v' = v + v_O$

La longitud de onda no cambia, entonces detecta una frecuencia f':

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{v + v_0}{\lambda} = \frac{v + v_0}{\frac{v}{f}} = \frac{v + v_0}{v} f$$

$$f' = \frac{v + v_0}{v} f$$

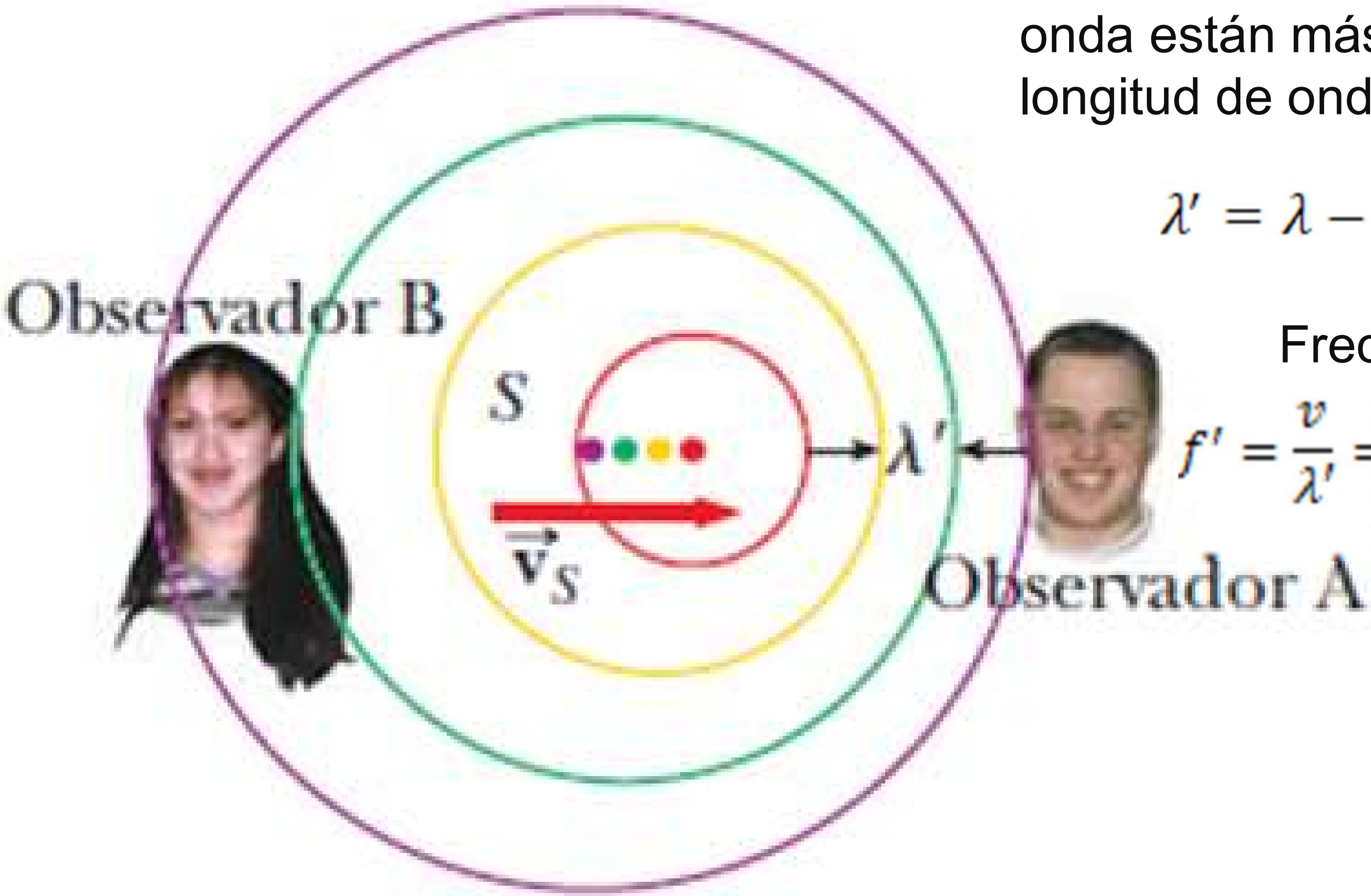
Un observador O (el ciclista) se mueve con una rapidez v_0 hacia una fuente puntual estable S, la bocina de una camioneta estacionada.
El observador escucha una frecuencia f' mayor que la frecuencia de la fuente.

Si en cambio el observador se aleja de la fuente:

$$f' = \frac{v - v_0}{v} f$$

EFECTO DOPPLER

Fuente en movimiento (velocidad v_S) y observadores en reposo



Para el observador A los frentes de onda están más juntos y se acorta la longitud de onda en un valor $\Delta\lambda = v_S . T$

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda = \lambda - v_s T = \lambda - \frac{v_s}{f}$$

Frecuencia percibida por A

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{\lambda - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{v - v_s} f$$

$$\boxed{f' = \frac{v}{v - v_s} f}$$

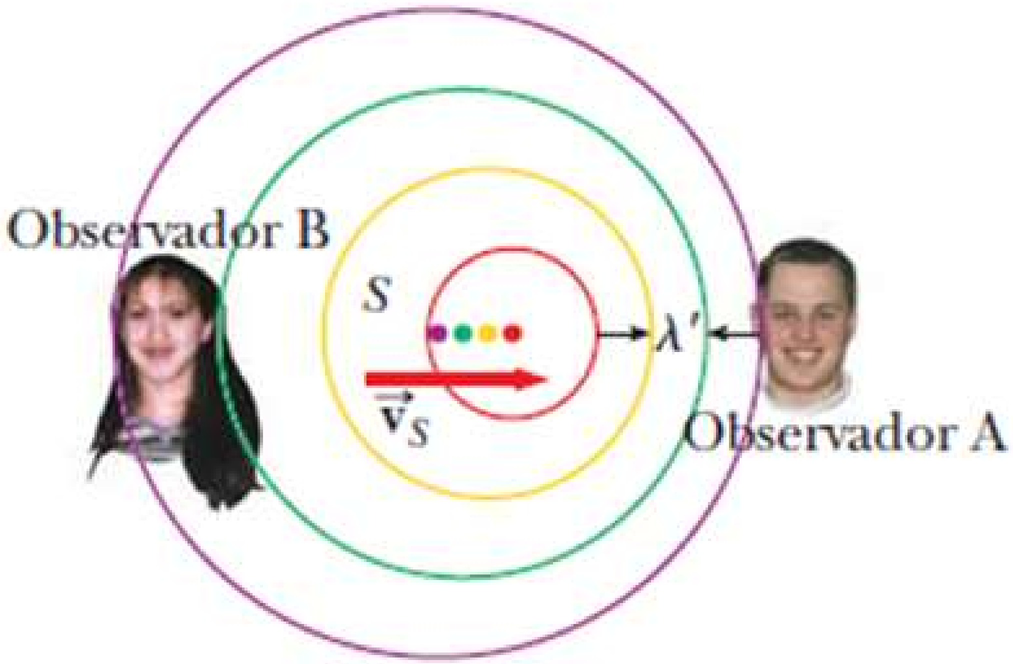
(fuente acercándose)

Si la fuente se aleja del observador estacionario (B) que mide una λ' *mayor* que λ y escucha una frecuencia:

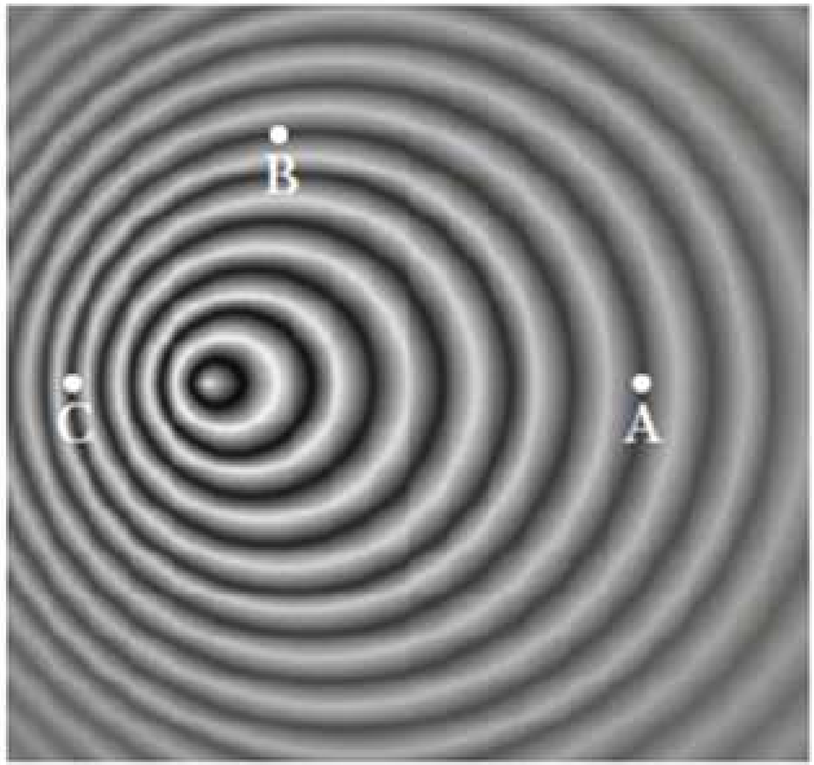
$$\boxed{f' = \frac{v}{v + v_s} f}$$

EFECTO DOPPLER

Fuente en movimiento (velocidad v_S) y observadores en reposo



a)



b)

a) Una fuente *S* se mueve con una rapidez v_S hacia un observador estable A y se aleja de un observador estable B. El observador A escucha una frecuencia mayor y el observador B una frecuencia reducida.
b) El efecto Doppler en el agua, observado en un tanque de ondas. Una fuente puntual que se mueve con rapidez v_S.

EFECTO DOPPLER

Se pueden combinar los dos casos, para usar una única ecuación:

$$f' = \frac{v + v_0}{v - v_s} f$$

En esta expresión se deben usar los signos de las velocidades de la siguiente forma:

***v_0* es positiva si el observador se acerca a la fuente**, si se aleja es negativa

***v_S* es positiva si la fuente se acerca al observador**, si se aleja es negativa

El valor positivo de se usa para el movimiento del observador o de la fuente hacia el otro acercándose, asociada con el aumento de la frecuencia percibida.
El valor negativo se usa para el movimiento de uno alejándose del otro, asociada con una disminución de la frecuencia percibida.

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.8

Un auto de policía que suena una sirena con una frecuencia de 1200 Hz viaja a 126 km/h . Otro automóvil viaja en sentido contrario a una velocidad de 72,0 km/h. Considere que la velocidad del sonido en el aire vale 343 m/s. ¿Cuánto vale, en Hz, la diferencia entre la frecuencia que percibe el conductor del auto antes y después de que lo pase el auto de policía?

v = 343 m/s f = 1.200 Hz v_S= 126 km/h = 35,0 m/s v_O= 72.0 km/h = 20,0 m/s

Antes de cruzarse, se están aproximando por lo que la frecuencia que percibe el conductor del auto f_A estará dada por:

$$f_A = \frac{v + v_O}{v - v_s} f = \frac{343 + 20{,}0}{343 - 35{,}0}(1.200\ Hz) = 1.414{,}29\ Hz$$

Después de cruzarse, el conductor del auto percibe una frecuencia f_D que estará dada por:

$$f_D = \frac{v - v_O}{v + v_s} f = \frac{343 - 20{,}0}{343 + 35{,}0}(1.200\ Hz) = 1.025{,}40\ Hz$$

$\Delta f = f_A - f_D$ = 1414,29-1025,40 =388,89 Hz

Δf = 389 Hz

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.7

4.2.7- Murciélagos- Aunque los murciélagos emiten una amplia variedad de sonidos, cierto tipo produce pulsos de sonido que tienen una frecuencia de entre 39,0 y 78,0 kHz. Considere que la velocidad del sonido en el aire es de 343 m/s.

a) ¿Cuál es el intervalo de longitudes de onda de los sonidos que emite?

b) Los murciélagos pueden detectar objetos muy pequeños, como un insecto cuya longitud sea aproximadamente igual a una longitud de onda del sonido el murciélago. Si un murciélago emite chillidos a una frecuencia de 60,0 kHz ¿cuál es el tamaño del insecto más pequeño que el murciélago puede detectar emitiendo a esa frecuencia?

c) Si un murciélago emite chillidos de corta duración a una frecuencia de 60,0 kHz y vuela hacia una pared inmóvil a su máxima velocidad de 126 km/h , ¿cuál es la frecuencia de la onda reflejada que percibe el murciélago?

d) Si ahora el murciélago se mueve a 5,00 m/s persiguiendo a una polilla que trata de escapar y emite un chillido de 40,0 kHz y recibe un eco a 40,4 kHz, ¿cuál es la velocidad del insecto? ¿Si el murciélago mantiene su rapidez, es capaz de atrapar al insecto? Explique.

a) $\lambda_{máx} = \dfrac{v}{f_{mín}} = \dfrac{343}{39{,}0\times10^{3}} = 8{,}79\times10^{-3}\ m$

$\lambda_{mín} = \dfrac{v}{f_{máx}} = \dfrac{343}{78{,}0\times10^{3}} = 4{,}397\times10^{-3}\ m$

$\lambda_{mín} = 4{,}40$ mm; $\lambda_{máx} = 8{,}79$ mm

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.7

b) Los murciélagos pueden detectar objetos muy pequeños, como un insecto cuya longitud sea aproximadamente igual a una longitud de onda del sonido el murciélago. Si un murciélago emite chillidos a una frecuencia de 60,0 kHz ¿cuál es el tamaño del insecto más pequeño que el murciélago puede detectar emitiendo a esa frecuencia?

b) $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{343}{60{,}0 \times 10^{3}} = 5{,}72 \times 10^{-3}\ m$

d = 5,72 mm

c) Si un murciélago emite chillidos de corta duración a una frecuencia de 60,0 kHz y vuela hacia una pared inmóvil a su máxima velocidad de 126 km/h , ¿cuál es la frecuencia de la onda reflejada que percibe el murciélago?

c) En este caso hay un efecto Doppler doble. Inicialmente el murciélago actúa como fuente, que se acerca al receptor (la pared) con una velocidad v_S=126 km/h=35,0 m/s, por lo que la frecuencia que se percibe en la pared valdría:

$$f_1 = \frac{v}{v - v_s} f = \frac{343}{343 - 35.0}(60{,}0 \times 10^{3}) = 66{,}818 \times 10^{3}\ Hz$$

El eco del muro se emite con esa frecuencia f_1 y ahora el murciélago es un receptor que se acerca a la fuente, ahora con una v_O= 35,0 m/s:

$$f_2 = \frac{v + v_O}{v} f_1 = \frac{343+35{,}0}{3430}(66{,}818 \times 10^{3}) = 73{,}636 \times 10^{3}\ Hz$$

f = 73,6 kHz

EJEMPLO- Ejercicio 4.2.7

d) Si ahora el murciélago se mueve a 5,00 m/s persiguiendo a una polilla que trata de escapar y emite un chillido de 40,0 kHz y recibe un eco a 40,4 kHz, ¿cuál es la velocidad del insecto? ¿Si el murciélago mantiene su rapidez, es capaz de atrapar al insecto? Explique.

En este caso ahora hay dos efectos Doppler con receptor y fuente en movimiento.
El primer efecto es debido a la emisión del eco por parte del murciélago (fuente) que se va acercando con rapidez v_M al insecto (observador) que se va alejando con rapidez v_I. Ese eco se refleja con una frecuencia: $f_{reflejada}$.
La expresión del efecto Doppler para fuente y observador acercándose es:

$$f_1 = \frac{v+v_O}{v-v_S} f$$

Entonces tendremos que: $\mathbf{v_O = -v_I}$ (porque el insecto, se aleja) y respecto a la fuente que se acerca: $\mathbf{v_S = v_M}$
Por lo tanto la frecuencia reflejada ($\mathbf{f_{reflejada}}$) valdrá

$$f_{reflejada} = \frac{v-v_I}{v-v_M} f$$

Ahora hay un segundo efecto Doppler. Esa frecuencia reflejada es emitida por el insecto que actúa como una fuente que se aleja, y es recibida por el murciélago que ahora es un observador que se acerca.
El murciélago recibe entonces una frecuencia que llamaremos frecuencia de retorno.
Tenemos ahora que: $\mathbf{v_O = v_M}$ (porque el murciélago se acerca) y respecto a la fuente que se acerca: $\mathbf{v_S = -v_I}$ (porque el insecto se aleja)