

INCLUYE  
PROBLEMAS  
RESUELTOS

# ASIMOV

TEÓRICO DE

# ONDAS

---



ESCHER, Ondulaciones en el agua (1950)

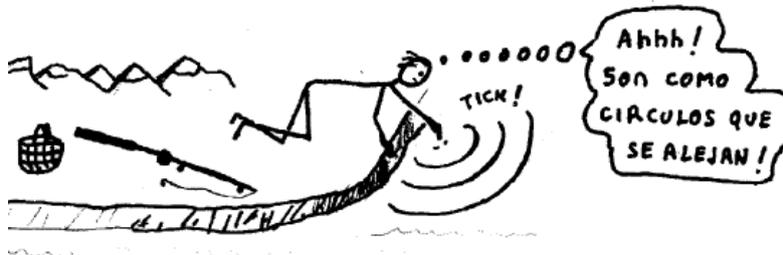
- POR ANIBAL -

[www.asimov.com.ar](http://www.asimov.com.ar)

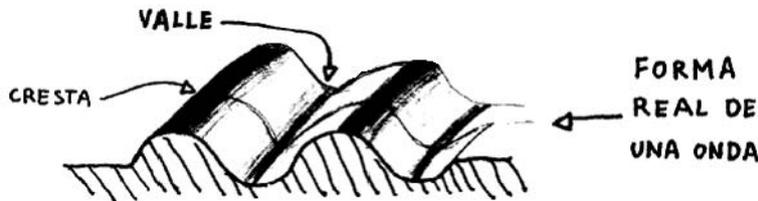
# ONDAS

## ONDAS MECANICAS

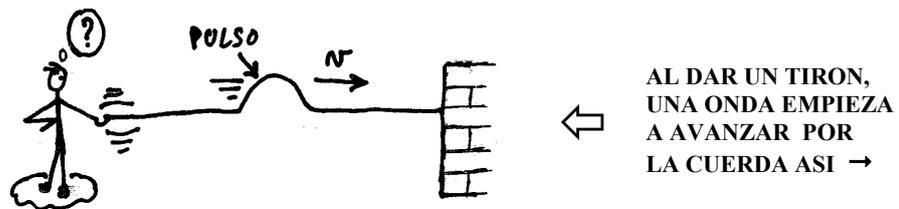
Cuando uno tira una piedra al agua ve olas que se alejan. Estas olas son ONDAS.



Lo que uno ve es una especie de montañita que avanza con cierta velocidad por el agua. Si uno mira de cerca una ola va a ver una cosa así :

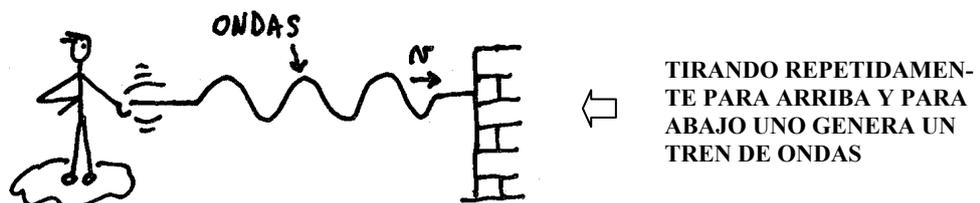


Algo parecido se puede ver si uno ata una sog a una pared y le pega un tirón. Probá hacer esto y vas a ver que uno ve como que hay una montañita que va avanzando por la cuerda. ( Esto se puede hacer y sale fenómeno ). Vendría a ser una cosa así:



Lo que uno ve es una especie de montañita que se mueve con cierta velocidad por la cuerda. Lo que avanza es la montañita en la cuerda. A grandes rasgos, esta montañita que se mueve es una onda. ( Gran explicación, eh ? ).

Ahora hagamos algo que alguna vez debés haber hecho. Agarremos la cuerda y empecemos a dar tirones para arriba y para abajo . ( Esto también lo podés hacer y también sale perfecto ).



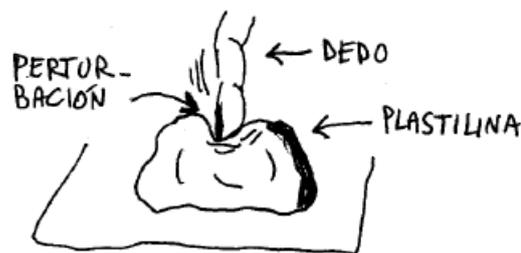
Lo que uno ve es un montón de viboritas que se alejan. Estas son las ondas que uno está generando con el movimiento de la mano. Fijate que LA CUERDA NO SE MUEVE. No es la cuerda la que avanza. La cuerda está atada a la pared. Hay algo que se mueve POR la cuerda.

### ¿ POR QUÉ SE GENERA UNA ONDA ?

Ellos explican esto así: La cuerda es un medio que puede deformarse. ( Medio elástico ). Al pegar un tirón, uno deforma a ese medio elástico. Esa deformación no se queda quieta, sino que empieza a avanzar. Atención, lo que avanza es la deformación. Lo que avanza es la perturbación del medio elástico. Entonces :

**ONDA: ES UNA PERTURBACIÓN QUE AVANZA EN UN MEDIO ELÁSTICO. EL MEDIO NO SE MUEVE. LO QUE SE MUEVE ES LA PERTURBACIÓN.**

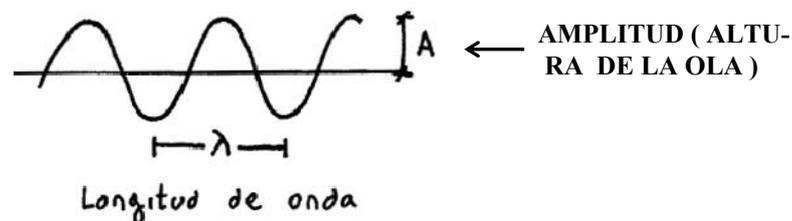
En una ola pasa lo mismo. Al tirar una piedra al agua, uno deforma al medio elástico ( el agua ). Esa perturbación empieza a avanzar. Fijate que el medio tiene que ser elástico para que las ondas se propaguen. Vos podés agarrar una plastilina y deformarla. Pero esta deformación no se va a propagar. Se va a quedar ahí quieta.



LA PLASTILINA NO ES UN MEDIO ELÁSTICO Y LA PERTURBACIÓN NO AVANZA

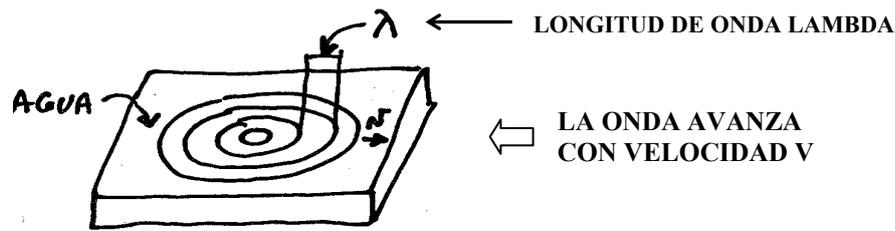
### LONGITUD DE ONDA, PERIODO Y FRECUENCIA

A la altura de la onda se la llama amplitud  $A$ . Entre las ondas hay cierta separación. A esa distancia se la llama LONGITUD DE ONDA  $\lambda$  ( Lambda ). Lambda vendría a ser la separación que hay entre una ola y la otra.



En general ellos suelen decir que la longitud de onda es la distancia que hay entre cresta y cresta. ( O entre valle y valle ).

Las ondas nunca están quietas. Siempre están avanzando. A la velocidad con la que se mueven las ondas se la llama  $v$ . ( VELOCIDAD DE LA ONDA )



Al tiempo que tarda la onda en recorrer una distancia igual a la de su longitud de onda se lo llama PERIODO T.

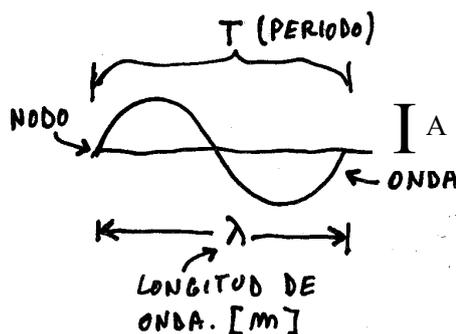
La cantidad de veces por segundo que la onda sube y baja se llama FRECUENCIA DE LA ONDA (Efe). La frecuencia  $f$  es la inversa del período. Se mide en Hertz. ( $[f] = 1/s = \text{Hz}$ )

$$f = \frac{1}{T}$$

← LA FRECUENCIA ES LA INVERSA DEL PERIODO ( $[f] = \text{Hz}$ ).

### EXPLICACION DE LA ECUACION $v = \lambda \cdot f$

Voy a dibujar una onda y voy a poner todos los elementos que necesitás conocer.



$v =$  Velocidad [m/s]

$\lambda =$  Long. de onda [m]

$f =$  frecuencia [Hz] ( $= 1/s$ )

A = Amplitud

Donde una cuerda está atada hay un punto que no se mueve. A ese punto se lo llama nodo. Un nodo vendría a ser la parte de la onda que no está vibrando en ese momento. La longitud de onda también se puede definir como la distancia entre 2 nodos.

Por ejemplo, si veo que unas olas en el agua van viajando separadas una distancia de 20 cm, digo que la longitud de onda es  $\lambda = 20 \text{ cm}$ . Si veo que recorren 10 cm en cada segundo, digo que la velocidad de la onda es de 10 cm/s.

El período  $T$  para esta onda sería de 2 seg. (Es el tiempo que tarda en recorrer 20 cm, que es la longitud de onda).

La frecuencia sería  $f = 1/T \Rightarrow f = 1/2 \text{ seg} \Rightarrow f = 0,5 \text{ Hz}$ .

Hay una relación entre la velocidad de propagación, la longitud de onda y la frecuencia. Si lo pensás un poco, vas a ver que esta relación es:  $v = \lambda \cdot f$ . Fijate: La onda recorre una distancia  $\lambda$  ( $\lambda$ ) en un período  $T$ . Quiere decir que su velocidad es  $v = \lambda / T$ . Pero  $1/T$  es la frecuencia. Entonces queda la ecuación:

$$v = \lambda \cdot f$$

$\frac{m}{s}$       $m$       $Hz$

← RELACION ENTRE  
V, Lambda y f.

### PROPAGACION DE UNA ONDA

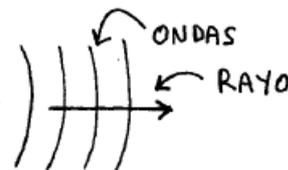
Analicemos un poco el asunto de la propagación de una onda. Una onda necesita un medio donde poder moverse. En el caso del agua, el medio es el agua. En el caso de una soga, el medio es la soga. También puede haber ondas sonoras. Don ondas que se propagan por el aire. ( sonido ).

A las ondas que necesitan un medio para poder moverse se las llama ONDAS MECANICAS. Ejemplo de ondas mecánicas: Ondas en cuerdas, ondas en el agua, ondas en un resorte, ondas en el aire ( = Sonido ).

Hay ondas que **NO** necesitan un medio para poder moverse. Es el caso de las ondas electromagnéticas. ( Como la luz, las ondas de radio y todo eso ). El hecho de que haya ondas que no necesiten un medio para propagarse... es un poco difícil de explicar. Te diría que **BASTANTE** difícil de explicar. Algo de esto te van a explicar en física II. Nosotros acá vamos a ver sólo ondas mecánicas. Es decir, ondas que se propagan en un medio material.

### ECUACIÓN DEL RAYO

La ecuación del rayo te dice como se propaga la onda. Esta ecuación me da la altura de la onda ( y ) en un momento ( t ) determinado y en una posición ( x ) determinada.



Se la suele llamar ecuación del rayo porque es como si fuera la fórmula que me da el avance de un punto perpendicular al frente de onda. ( Que vendría a ser un rayo de la onda ). La ecuación es esta :

$$y = A \sin(\omega t - kx)$$

← ECUACIÓN DEL RAYO

En esta fórmula :

- \* Y es la altura de la onda en ese momento para una posición x determinada
- \* A es la amplitud de la onda ( va en metros ).
- \* K es lo que se llama "Número de onda" . Va en 1/metro. (  $m^{-1}$  ). Atención, esta k no tiene nada que ver con la k que aparece en la ley de Hooke para resortes (  $F = K \cdot X$  )
- \* X es la posición donde uno quiere calcular la altura  $y$

\*  $\omega$  es la velocidad angular del movimiento armónico asociado a la onda. Más bien se la suele llamar pulsación porque acá no hay ningún movimiento circular. Va en 1/seg ( $s^{-1}$ ).

\*  $t$  es el tiempo ( va en segundos )

Tenés estas relaciones que te van a servir :  $v = \lambda \cdot f$  o  $v = \lambda / T$ . Jugando un poco llegás también a :

$$\frac{x}{\lambda} = \frac{t}{T} \quad \frac{x}{t} = \frac{\lambda}{T}$$

También tenés:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$      $K = \frac{2\pi}{\lambda}$

Dividiendo queda :  $\frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{K}$  ( Fijate que  $\lambda / T = v$  )

Jugando un poco más y combinando todas estas cosas uno puede poner la ecuación de rayo de varias maneras. Por ejemplo, estas :

$$y = A \operatorname{Sen} 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$y = A \operatorname{Sen} K ( \omega t - x )$$

$$y = A \operatorname{Sen} \frac{2\pi}{\lambda} ( \omega t - x )$$

← OTRAS MANERAS DE  
ESCRIBIR LA ECUACIÓN  
DEL RAYO

La deducción de la ecuación del rayo es un poco complicada. ( En los libros está ). Te recomiendo no meterte demasiado con esta fórmula. Ellos sólo quieren que la sepas usar. No te van a pedir más que eso. Si vas a los libros te vas a encontrar con fórmulas complicadas y ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. ( Olvídalo ).

Vamos a analizar un poco el asunto de esta ecuación rarófila. Lo que uno está calculando con la ecuación del rayo es la altura de las onda ( $y$ ) para un determinado tiempo y para una determinada posición. Fijate que es una ecuación complicada porque tiene 2 variables. Estas variables son el tiempo  $t$  y la posición  $x$ .

El signo menos de la ecuación molesta un poco. Daría la impresión de que tendría que ir un + . Pero no. Tiene que ser un menos. Al poner el menos, la onda avanza para la derecha ( $\rightarrow$ ). Si ponés un signo + , la onda avanza para la izquierda. ( $\leftarrow$ ).

Para entender la ecuación del rayo hay que jugar un poco y resolver algunos problemas. Por ejemplo, si lo pensás un poco, vas a ver que si uno fija el tiempo  $t$ , lo que ve es una función seno, que te da la forma de la onda. Es como que uno ve una foto de la onda para ese instante  $t$ .

Por otro lado, al fijar la posición  $x$ , lo que uno ve es un movimiento armónico. Es el movimiento armónico que tiene un determinado punto de una cuerda. O también el

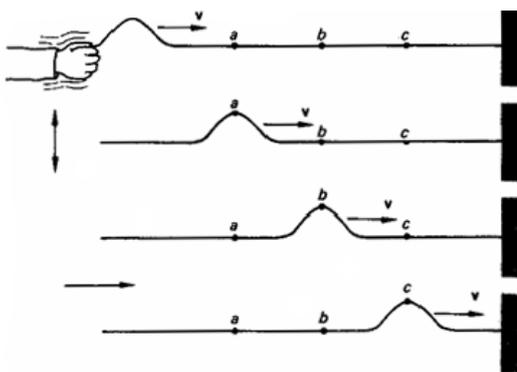
movimiento que tiene un determinado punto en el agua por donde van pasando las olas. Sería algo así :



Fijate que si vos ponés un corcho en el agua, cuando pasa la ola el corcho sube y baja, pero no se traslada. Se queda flotando ahí.

ONDAS TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Las ondas pueden ser transversales o longitudinales. Tengo una onda transversal cuando la vibración se produce en forma perpendicular a la dirección de propagación de la onda. En una onda transversal, la vibración es para arriba y para abajo. Las ondas en cuerdas son transversales. Las ondas en el agua son transversales. Mirá el dibujo:

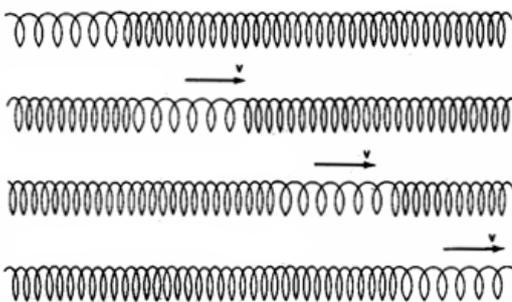


← ONDA TRANSVERSAL

La dirección de vibración es así :  $\downarrow\uparrow$ . La dirección de avance de la onda es así :  $\rightarrow$

Los puntos a, b y c vibran para arriba y para abajo. Es decir, en forma transversal.

Tengo una onda longitudinal cuando la vibración de la onda se produce en la misma dirección de la propagación de la onda. En una onda longitudinal la vibración es hacia adelante y hacia atrás. Acá tenés ondas longitudinales en un resorte :

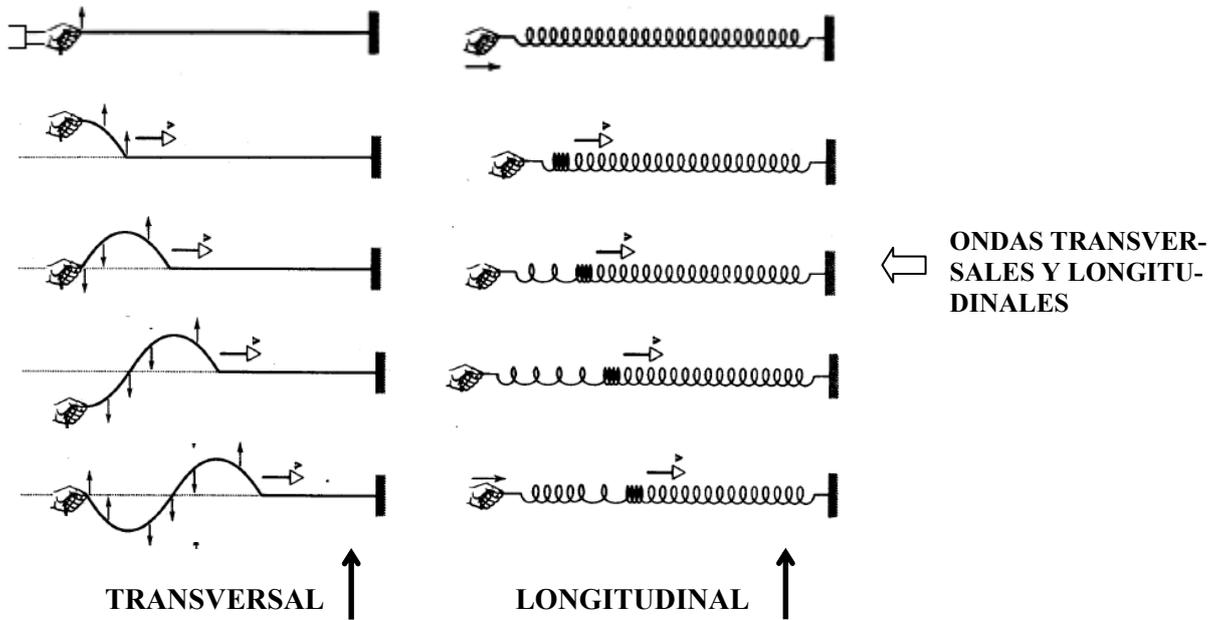


← ONDA LONGITUDINAL

La dirección de vibración es así :  $\rightarrow$ . La dirección de avance de la onda es así :  $\rightarrow$

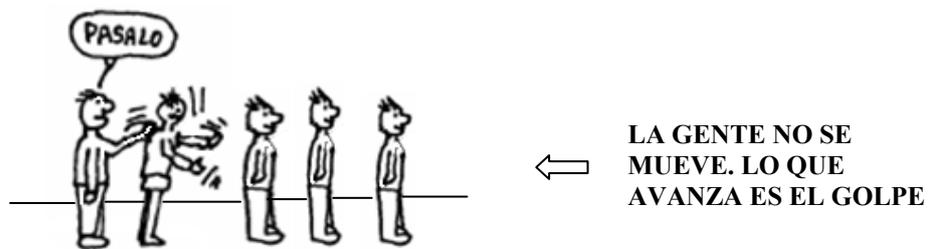
Los puntos vibran para adelante y para atrás, en forma transversal a la dirección de propagación.

Las ondas del sonido son longitudinales. En un resorte, las ondas pueden ser transversales o longitudinales. Fijate que para que la onda se propague, la cuerda tiene que estar tensionada. Si vos tirás una soga al suelo y la pateás, no hay onda propagada. Acá tenés otro dibujito con los 2 tipos de ondas :

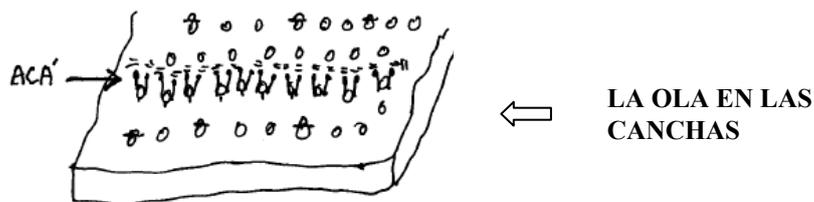


ONDAS EN LA VIDA DIARIA

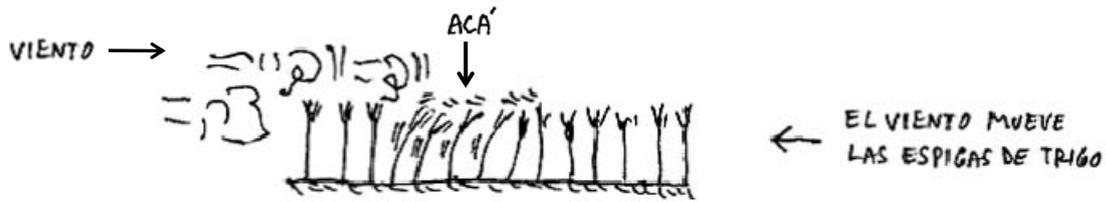
Muchas veces ves ondas pero no les prestás atención. Fijate estos ejemplos. Suponé que le digo uno: Che, avisaron que atrasan el parcial. Al rato todo el mundo lo sabe. Tenés una onda que se propaga. Fijate que la gente no avanza. Lo que se avanza es el rumor. De la misma manera, supongamos que yo pongo a un montón de gente en una fila y le pego un empujón al primero. El primero empuja al segundo, el segundo empuja al tercero y así siguiendo. Fijate que la gente no se mueve. Lo que se propaga es el empujón. Lo que va avanzando es el golpe.



Tenés una onda cuando la gente en las tribunas de las canchas se va parando o levanta los brazos a medida que le llega la ola.



También a veces se puede ver una onda sobre un campo de trigo cuando una ráfaga de viento sopla. Uno ve como las espigas se van doblando sucesivamente a medida que el viento pasa sobre ellas.



Otra onda a la que nunca le prestaste atención es la onda verde de los semáforos. La onda va pasando de semáforo en semáforo. Fíjate que los semáforos no se trasladan. Pero por los semáforos viaja la onda verde.

Otra cosa con los semáforos: Cuando el semáforo está rojo, todos los autos están parados esperando para arrancar. Cuando el semáforo se pone verde, el primer auto arranca, después arranca el que está atrás y así sucesivamente. Si miraras todo esto de arriba verías una onda que se propaga para atrás... Lo que avanza es la onda de autos arrancando.

VELOCIDAD DE UNA ONDA EN UNA CUERDA

Para que una onda se propague en una cuerda, la cuerda tiene que estar tensionada. La fórmula que da la velocidad es esta :

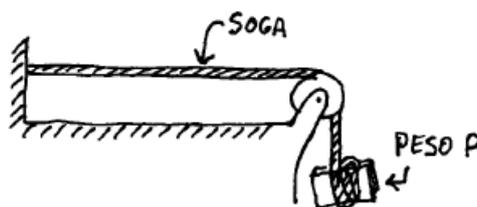
$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

TENSION (N) ← VELOCIDAD DE UNA ONDA EN UNA CUERDA  
 MASA POR UNIDAD DE LONGITUD ( $\mu$ ) [Kg/m]

A la tensión la llamé Tau para no confundirla con el período T. Algunos libros la llaman F. El valor  $\mu$  ( mu ) es la masa de la cuerda dividida por su longitud. La fórmula también se puede poner así :

$$v = \sqrt{\frac{T}{m/l}} \quad \text{O así} \quad v = \sqrt{\frac{T \cdot l}{m}}$$

EJEMPLO: CALCULAR LA VELOCIDAD DE LA ONDAS EN UNA CUERDA DE LONGITUD 1 m QUE TIENE COLGADO UN PESO DE 1,5 KG

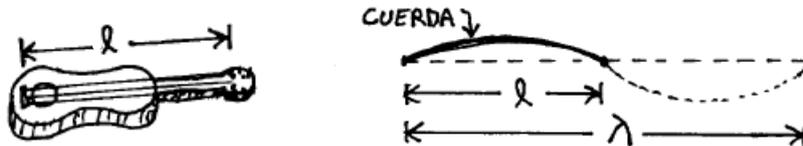


$$v = \sqrt{\frac{\tau}{\mu}} = \sqrt{\frac{\tau \cdot l}{m}} = \sqrt{\frac{15 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}}{0,2 \text{ Kg}}}$$

$$\rightarrow \underline{v = 8,66 \text{ m/Seg}}$$

### CONCLUSIONES IMPORTANTES DE LA FÓRMULA $v = \sqrt{\tau/\mu}$

Esta fórmula me dice varias cosas importantes. Vamos a la primera: la frecuencia es lo que nosotros llamamos "tono" en la vida diaria. ( o sea, grave o agudo, también llamados altos y bajos ). A mayor frecuencia, tono más agudo. Imagínate que tenés la cuerda de una guitarra vibrando. La longitud de la cuerda está fija: Vale ele.



La longitud de onda también está fija. Vale 2 ele. Como  $v = \lambda \cdot f$ , a mayor velocidad, mayor frecuencia. ( Porque lambda está fija ). Pero la velocidad depende de la tensión. Quiere decir que si yo tensiono más la cuerda, aumento la velocidad de las ondas y por lo tanto, la frecuencia. La conclusión entonces es que aumentando la tensión, el tono de la cuerda se hace más agudo. Esta conclusión coincide con lo que uno ya sabe de la vida diaria, a saber, que cuando uno aprieta más las clavijas de la guitarra, el sonido sale más agudo.

Vamos a este otro análisis: En la fórmula  $v = \sqrt{\tau / \mu}$  la velocidad de las ondas en la cuerda disminuye al aumentar  $\mu$ . Quiere decir que si pongo una cuerda con más  $\mu$ , la frecuencia tiene que disminuir. En la práctica aumentar la masa por unidad de longitud es hacer una cuerda más pesada. Por eso las cuerdas bajas son más gruesas que las cuerdas agudas. En el bajo, todas las cuerdas son más gruesas que en la guitarra.



← CUERDA CON OTRA CUERDA  
ARROLLADA ALREDEDOR  
PARA AUMENTAR  $\mu$

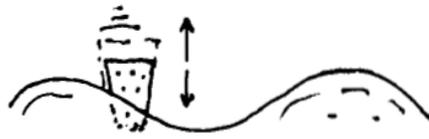
A veces se arrolla una cuerda alrededor de la otra para aumentar el peso. Me parece que las cuerdas de piano se fabrican así.

Pregunta 1: Si toco una cuerda de la guitarra escucho cierto tono. Si toco apretando la cuerda por la mitad se escucha un tono más agudo. ¿ Por qué ?

Pregunta 2: Los adultos tiene voz grave. Los chicos tiene voz aguda. ¿ Por qué ?

## LAS ONDAS NO TRANSPORTAN MATERIA

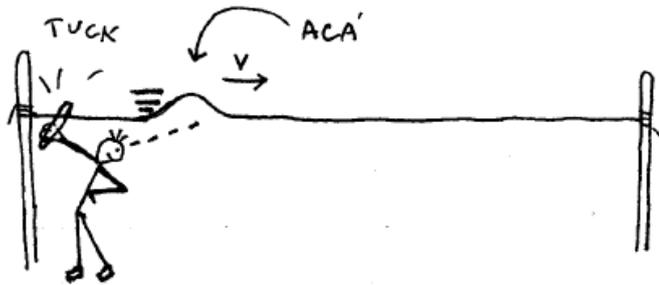
Las ondas no transportan materia, pero transportan energía y cantidad de movimiento. Fijate que si ponés un corcho flotando en el agua, cuando pasa la ola el corcho sube y baja. Pero el corcho no es arrastrado por la ola



EL CORCHO SUBE Y  
BAJA CUANDO PASA  
UNA OLA.

La propia agua tampoco es arrastrada por la ola. Si vos tirás tinta a una parte del mar, cuando pase una ola, esa agua coloreada subirá y bajará, pero no será arrastrada por la ola. El agua con tinta no se trasladará

Sin embargo, si bien las olas no arrastran materia, **SÍ ARRASTRAN ENERGÍA** (atento). Fijate: Le pego un palazo a una cuerda y genero una onda :



La cuerda no arrastra materia, pero la energía del golpe se traslada con la onda. La cantidad de movimiento también. Fijate que una ola te puede dar un buen golpe cuando te pega. Eso te está diciendo que esa ola venía llevando energía y cantidad de movimiento.

Un latigazo es una onda que viaja por un látigo. Cuando el látigo te pega, te pega. Lo que genera el golpe es la energía que tiene la onda.

LÁTIGO →



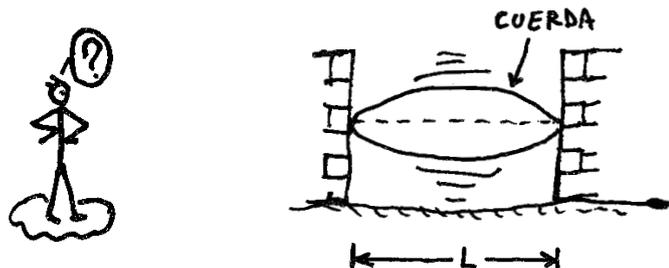
← EN SU CORCEL,  
CUANDO SALE  
LA LUNA

Por cierto, dicen que el chasquido del látigo se debe a que la punta supera la velocidad del sonido. De manera que el "chas" que se escucha sería la onda de choque generada por la punta al romper la barrera del sonido.

Pregunta: ¿ cómo se llamaba el caballo de El Zorro ?

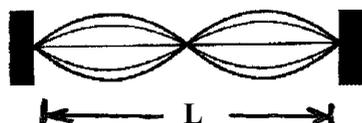
ONDAS ESTACIONARIAS

Si uno ata una cuerda entre 2 paredes y la pone a vibrar, la cuerda va a adoptar esta forma:



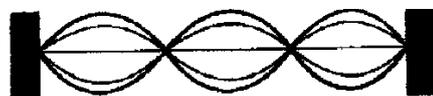
Forma que adopta una cuerda al vibrar. ( Modo fundamental o primer modo de vibración, n = 1 )

En los 2 puntos donde la soga está atada a las paredes hay nodos. En el medio de la cuerda hay un vientre. Habrás visto esto alguna vez al mirar como vibran las cuerdas de una guitarra. Se dice que en la cuerda se produjo una onda ESTACIONARIA. Se la llama así porque esta onda no se traslada. Se queda ahí. Está " estacionaria ". La cosa es que esta no es la única manera como puede vibrar una cuerda. En ciertas situaciones especiales la soga también puede vibrar así:



← 2do modo de vibración ( n = 2 )

E incluso puede llegar a vibrar adoptando esta otra forma :

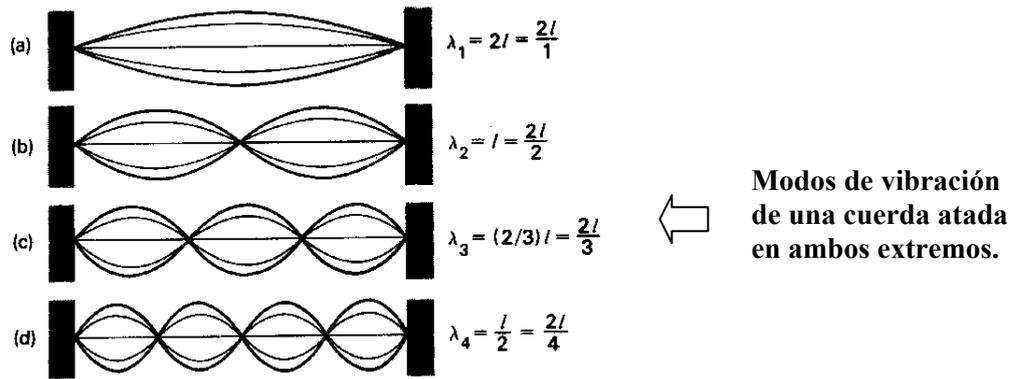


← 3er modo de vibración ( n = 3 )

Se dice que estos son los tres primeros modos de vibración para una cuerda atada en las puntas. Se los llama modos de vibración para n = 1, n = 2 y n = 3. ( Ene sería el Nro de modo de vibración ).

Fijate en lo siguiente: Si la longitud de la cuerda es ele ( L ), para n = 2 la longitud de la cuerda es justo la longitud de onda lambda. Pensando un poco vas a ver que para n = 1,  $L = \lambda/2$  . Y también podés ver que para n = 3,  $L = 3/2 \lambda$  .

Resumamos todo en el siguiente cuadro:



Con esto podemos formar una fórmula de recurrencia, es decir, una fórmula que dé la longitud de onda en función del número de modo de vibración. En este caso, esa fórmula sería :

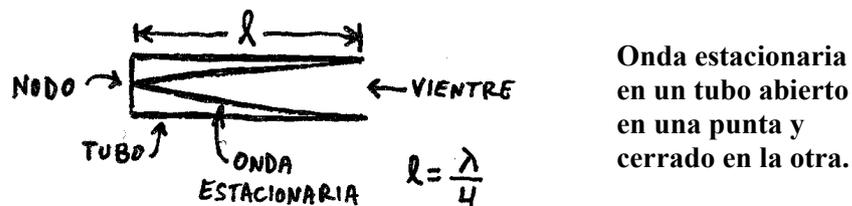
$$L = m \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \leftarrow \text{FORMULA DE RECURRENCIA}$$

¿ Para qué sirve esta fórmula ? Bueno, en principio digamos que no sirve para nada. Pero a veces se usa en algunos problemas.

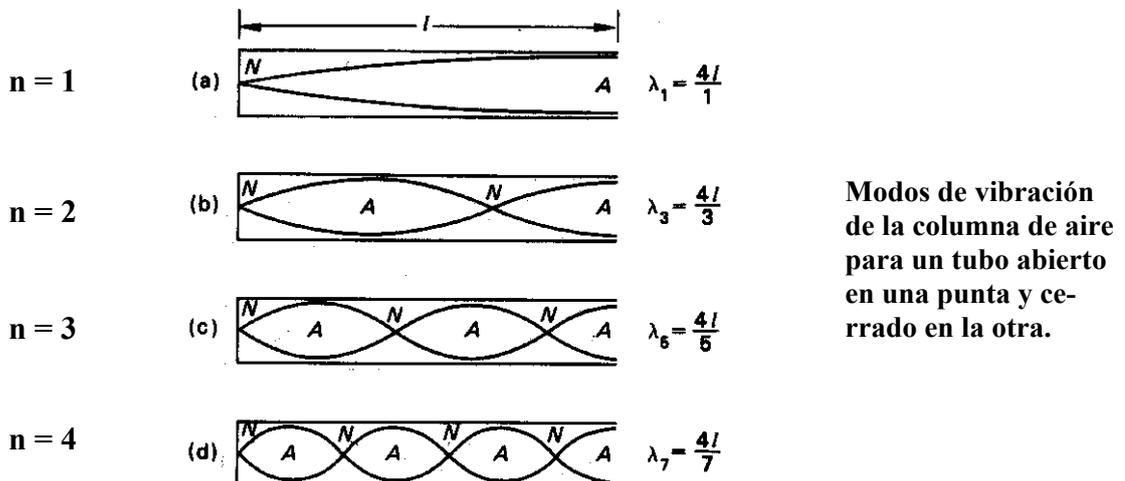
ONDAS ESTACIONARIAS EN TUBOS.

A veces para ciertos instrumentos musicales se usan tubos. Es el caso de los órganos, flautas, trompetas y demás. En estos tubos también se producen ondas estacionarias. Esto es un poco difícil de explicar. Pero es así.

Fijate como serían las ondas estacionarias que se formarían en un tubo abierto en un lado y cerrado en el otro :

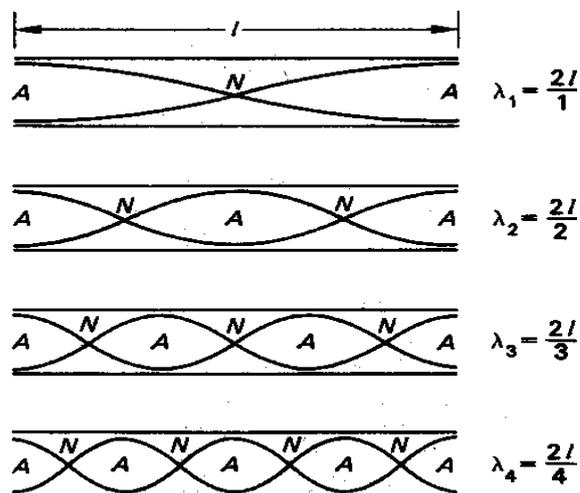


Ahora, fijate como serían los diferentes modos de vibración de la columna de aire dentro del tubo:



En este caso, la fórmula de recurrencia sería  $L = (2n - 1) \lambda / 4$ . ¿Cómo deduje esta fórmula? Rta: Mirando el dibujito y pensando.

También puede haber tubos que estén abiertos en las 2 puntas o cerrados en las 2 puntas. Para un tubo cerrado en las 2 puntas, las ondas quedan igual que para una cuerda atada entre 2 paredes. Fijate como serían las ondas estacionarias para un tubo abierto en las 2 puntas:



Fijate a ver si podés deducir solo la fórmula de recurrencia.

NOTA FEA: Al primer modo de vibración de la onda, algunos libros lo llaman modo fundamental. Otros libros lo llaman 1er armónico ( o primer sobretono ).

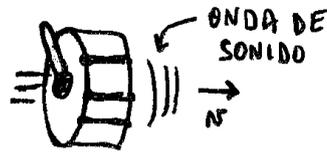
Esto confunde porque a veces en los problemas dice : "calcule tal y tal cosa para el 4<sup>to</sup> armónico" . Entonces uno no sabe si se están refiriendo a  $n = 3$  o a  $n = 4$ .

Quedemos entonces en lo siguiente: Para el primer modo de vibración , decimos que  $n$  vale 1, para el 2do modo decimos que  $n$  vale 2 y así siguiendo. Es decir, evitamos hablar de fundamental, armónicos, sobretonos y demás.

---

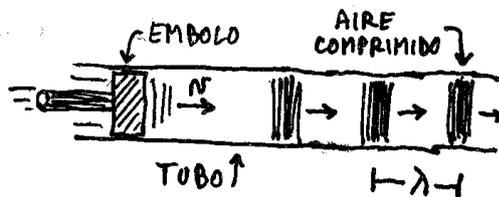
## ONDAS DEL SONIDO

El sonido también es una onda. La onda que se propaga es una onda de presión. Cuando vos golpeás un tambor, el parche vibra y golpea al aire. A su vez cada molécula de aire golpea a la que tiene al lado y así se va propagando una onda de presión.



Al golpear el tambor aparece una onda de sonido que se propaga.

El sonido vendría a ser una onda de aire comprimido que avanza. Imaginate que vos tenés un tubo con un émbolo. Al empujar de golpe el émbolo, el aire se comprime. Esta compresión es la que se va propagando por el tubo.



Al empujar de golpe el émbolo, la compresión del aire empieza a viajar por el tubo.

Cuando esta compresión llega al oído, golpea al tímpano y lo empuja. Esta compresión se traduce a impulsos nerviosos y uno oye. Si te fijás un poco, la onda de presión avanza en la misma dirección que la onda de sonido. Es decir, el sonido es una onda longitudinal.

La velocidad del sonido en el aire depende de la temperatura, la humedad, la presión y otras cosas más. Para una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  es de alrededor de  $330\text{ m/s}$ . Para presión normal y a  $20^{\circ}\text{C}$ , es de  $344\text{ m/s}$ . Es decir, el sonido recorre aproximadamente 3 cuadras en un segundo. Este valor de  $344\text{ m/s}$  es el que se toma generalmente para resolver los problemas.

$$v_{\text{sonido}} = 344 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$



Velocidad del sonido para una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ .

En el agua o en los metales el sonido viaja más rápido. De ahí el método de poner el oído en la tierra para escuchar si viene alguien.



SONIDO VIAJAR MÁS RÁPIDO EN METAL QUE EN AIRE.

## POTENCIA E INTENSIDAD EN ONDAS DEL SONIDO

Todas las ondas transportan energía. Esto también pasa con las ondas del sonido. La potencia en watts de la onda sonora estará dada por la cantidad de energía ( joules ) que la onda esté entregando por segundo. Es decir :

$$Pot = \frac{\text{Energía}}{\text{tiempo}} \quad [\text{watts}]$$

↖ Joules  
 ↙ seg

← Potencia entregada por una onda sonora .  
 [watts]

Por ejemplo, un parlante chiquito puede entregar una potencia de unos 10 watts. Si dividimos esta potencia por el área tenemos la **INTENSIDAD DE LA ONDA SONORA**. La intensidad se mide en  $\text{watts} / \text{m}^2$ .

$$I \left[ \frac{\text{Watt}}{\text{m}^2} \right] = \frac{\text{Potencia}}{\text{Area}}$$

Intensidad de una onda sonora [ Watts / m<sup>2</sup> ]

## INTENSIDAD A CIERTA DISTANCIA DE UNA FUENTE

Supongamos un parlante que emite una potencia de 10 watts. Calculemos que intensidad llega al oído de una persona que está a 10 m de distancia . Para esto hay que suponer que toda la potencia emitida se distribuye en forma esférica alrededor de la fuente de sonido. ( Pensarlo ). De manera que a 10 m de distancia, todo el sonido se distribuye sobre la superficie de una esfera de 10 m de radio. Te comento que la superficie de una esfera es  $4 \pi \text{radio}^2$  :



ESFERA

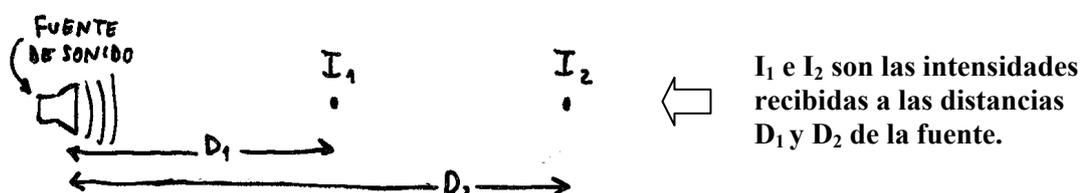
$$\text{Area}_{\text{esfera}} = 4 \pi R^2$$

La intensidad de la onda recibida a 10 m de distancia será:

$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{area}} = \frac{10 \text{ watts}}{4 \cdot \pi \cdot (10 \text{ m})^2}$$

$$\underline{I = 7,9 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2}$$

De acá podés sacar como conclusión que la intensidad recibida disminuye con el cuadrado de la distancia. Es decir, a distancia doble, la intensidad será 4 veces menor. Supongamos que una fuente emite con cierta potencia y hay 2 personas escuchando. Una está a la distancia  $D_1$  y la otra está a otra distancia  $D_2$ .



La relación entre las intensidades que llegan a cada una de las personas será:

$$I_1 \cdot (D_1)^2 = I_2 \cdot (D_2)^2$$



$I_1$  e  $I_2$  son las intensidades recibidas.  $D_1$  y  $D_2$  son las distancias a la fuente.

EJEMPLO :

Una fuente emite sonidos con una cierta potencia. Sabiendo que la intensidad escuchada a 10 m de distancia es  $0,01 \text{ w / m}^2$ ,

- Calcular la potencia de la fuente que emite el sonido.
- Calcular la intensidad que es recibida a una distancia de 50 m.

a) Para calcular la potencia de la fuente planteo:

$$I = \frac{\text{Potencia}}{\text{area}} \Rightarrow 0,01 \text{ w/m}^2 = \frac{\text{Pot}}{4 \cdot \pi \cdot (10 \text{ m})^2}$$

$$\rightarrow \underline{\text{Pot} = 12,56 \text{ watts}}$$

b) Para calcular la intensidad que recibe una persona a 50 m de distancia hago:

$$I_1 \cdot (D_1)^2 = I_2 \cdot (D_2)^2 \Rightarrow$$

$$0,01 \text{ w/m}^2 \times (10 \text{ m})^2 = I_2 \cdot (50 \text{ m})^2$$

$$\Rightarrow \underline{I_2 = 0,0004 \text{ w/m}^2}$$

### INTENSIDAD DE UNA ONDA SONORA EN FUNCION DE LA AMPLITUD DE PRESION

La intensidad de una onda del sonido en función de la amplitud de presión está dada por el siguiente choclazo:

$$I \left[ \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \right] = \frac{(\Delta P)^2}{2 \delta N_{\text{son}}}$$

↑ INTENSIDAD                      ↑ DENSIDAD DEL AIRE                      ↑ VELOCIDAD DEL SONIDO  
 ← VARIACIÓN DE PRESIÓN

En esta ecuación:  $I$  = intensidad de la onda sonora [ Watts/m<sup>2</sup> ]

$\Delta P$  = Amplitud de presión de la onda [ Pascales = N/m<sup>2</sup> ]

$\delta$  = Densidad del aire ( $\approx 1,3 \text{ Kg / m}^3$ )

$V_{\text{son}}$  = Velocidad del sonido ( $\approx 344 \text{ m/s}$ )

EJEMPLO:

Calcular la intensidad de una onda sonora que tiene una amplitud de presión  $\Delta P = 10$  Pascales.

Rta: Suponiendo que la densidad del aire delta vale  $\delta_{\text{aire}} = 1,3 \text{ Kg / m}^3$  y la velocidad del sonido es de 344 m/s :

$$I = \frac{(10 \text{ N/m}^2)^2}{2 \times 1,3 \text{ Kg/m}^3 \times 344 \text{ m/s}}$$

$$\Rightarrow I = 0,11 \text{ w/m}^2$$

### LA INTENSIDAD DE UNA ONDA ES PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA FRECUENCIA Y AL CUADRADO DE LA AMPLITUD.

Hay una fórmula que relaciona la intensidad de una onda con la frecuencia y con la amplitud. No tiene sentido que ponga la fórmula porque es gigantesca y no te la van a tomar. Pero lo que sí tenés que saber es que esa fórmula dice que la intensidad de la onda es proporcional al  $^2$  de la amplitud de la onda y al  $^2$  de su frecuencia.

**UNA ONDA DE FRECUENCIA  $f$  Y AMPLITUD DE PRESION  $\Delta P$  TIENE UNA INTENSIDAD  $0,1 \text{ Watt /m}^2$  .**

- ¿ QUE OCURRE CON LA INTENSIDAD SI SE DUPLICA SU FRECUENCIA ?
- ¿ QUE OCURRE SI SE DUPLICA SU AMPLITUD DE PRESION ?
- ¿ QUE OCURRE SI SE DUPLICAN AMBAS A LA VEZ ?

Rta : como al intensidad de la onda depende de del cuadrado de la frecuencia y del cuadrado de la amplitud, si la frecuencia se duplica, la intensidad pasará a ser 4 veces mayor. Es decir :

$$I_2 = I_1 \times 4 = 4 \times 0,1 \text{ watt /m}^2 = \underline{0,4 \text{ watt /m}^2}$$

Si se duplica la amplitud de presión pasa lo mismo, es decir  $I_2 = 0,4 \text{ watt /m}^2$ .

Si se duplican ambas a la vez, la intensidad pasará a ser 16 veces mayor, es decir:

$$\underline{I_2 = 1,6 \text{ watt /m}^2}$$

Eso es todo lo que tenés que saber.

### NIVEL DE INTENSIDAD - DECIBELES

Lo que en física se llama intensidad  $I$  ( en  $\text{w/m}^2$  ), en la vida diaria se llama volumen. Al bajar el volumen de la radio, estás disminuyendo la intensidad que está llegando a tu oído. Parece ser que el oído no responde linealmente a la intensidad sonora. Es decir, cuando la intensidad se duplica, el oído no escucha el doble. Parece que el oído responde logarítmicamente a la intensidad. Eso significa que a intensidad doble, el oído no escucha el doble sino sólo un poco más.

Por este motivo se inventó una escala que da una idea de cuánto escucha el oído en realidad. A lo que escucha el oído lo llamamos NIVEL DE INTENSIDAD . Se lo designa con la letra beta (  $\beta$  ). Para saber el nivel de intensidad, se compara la intensidad que uno está escuchando con el mínimo nivel de intensidad que puede escuchar una persona.

$$\text{ECUACION } \beta = 10 \text{ Log } ( 10^{12} I )$$

Los experimentos muestran que el sonido mas bajo que puede escuchar una persona es de  $10^{-12}$  watts / m<sup>2</sup>. A esta intensidad de  $10^{-12}$  watts / m<sup>2</sup> se la llama intensidad **umbral** (= Mínima).

Entonces si la intensidad que está llegando al oído es I, la comparación que se hace es dividir esta I por la mínima intensidad que el oído es capaz de escuchar. La cuenta sería:  $I / 10^{-12}$  watts / m<sup>2</sup>. Como el número  $10^{-12}$  está dividiendo, lo puedo pasar arriba y me queda  $I \times 10^{12}$ . Ahora, para traducirlo a lo que el oído escucha, hay que tomar el logaritmo.

La cuenta quedaría:  $\text{Log } ( I \times 10^{12} )$ . A esta unidad se la llama Bel. El Bel no se usa porque es una unidad demasiado grande. Se usa el **decibel** (dB).

Finalmente la cuenta definitiva que hay que hacer para sacar el nivel de intensidad beta es :

$$\beta = 10 \text{ Log } ( 10^{12} \times I )$$

$\nearrow$  NIVEL DE INTENSIDAD (DECIBELLS)       $\uparrow$  INTENSIDAD QUE LLEGA AL OIDO (EN WATTS / m<sup>2</sup>)       $\longleftarrow$  NIVEL DE INTENSIDAD. (DECIBELES)

El nivel de intensidad vendría a ser una especie de comparación entre lo que está escuchando el oído y lo mínimo que puede escuchar. Esta fórmula es un poco fea de usar ( por el logaritmo ). Sin embargo la toman y hay que saberla. Voy a poner ahora algunos ejemplos para que veas como se usa.

Ejemplo:

**UNA FUENTE EMITE SONIDO DE MANERA QUE LLEGA AL OIDO UNA INTENSIDAD DE  $10^{-4}$  w/m<sup>2</sup>. CALCULAR EL NIVEL DE INTENSIDAD EN DECIBELES RECIBIDO POR EL OIDO.**

Solución: El nivel de intensidad beta que llega al oído lo caculo con la famosa fórmula  $\beta = 10 \text{ Log } ( 10^{12} \times I )$  :

$$\beta = 10 \text{ log } ( 10^{12} \times I ) \quad \leftarrow 10^{-4} \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

$$\Rightarrow \beta = 10 \text{ log } 10^8$$

$$\Rightarrow \underline{\beta = 80 \text{ dB}} \quad \leftarrow \text{NIVEL DE INTENSIDAD ESCUCHADO POR EL OIDO}$$

OTRO EJEMPLO

**CALCULAR LA INTENSIDAD I QUE LLEGA AL OIDO DE UNA PERSONA SABIENDO QUE EL NIVEL DE INTENSIDAD QUE ESCUCHA ES DE 60 DECIBELES.**

Solución: Ahora me dan el nivel de intensidad beta que llega al oído de la persona. Para calcular la intensidad en watts por  $m^2$  aplico la fórmula pero al revés :

$$\begin{aligned}
 60 \text{ dB} &= 10 \log (10^{12} \cdot I) \\
 \Rightarrow 6 &= \log (10^{12} \cdot I) \\
 10^6 &= 10^{12} \cdot I \\
 \Rightarrow I &= 10^{-6} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad \leftarrow \text{INTENSIDAD QUE LLEGA AL OIDO}
 \end{aligned}$$

### OTRO EJEMPLO

**UNA AMBULANCIA HACE SONAR UNA SIRENA CON UN NIVEL DE INTENSIDAD DE 100 DECIBELES. CALCULAR EL NIVEL DE INTENSIDAD QUE ES ESCUCHADO CUANDO SE COLOCA AL LADO OTRA AMBULANCIA QUE TAMBIEN EMITE CON UN NIVEL DE 100 DECIBELES.**

Solución: Ahora tengo 2 ambulancias emitiendo cada una con un nivel de 100 decibeles. Los niveles de intensidad no se pueden sumar. Es decir, las 2 ambulancias juntas no emiten 200 decibeles. Lo que hay que hacer es sumar las intensidades en  $\text{watt}/m^2$  emitidas por cada una de las ambulancias. Veamos. Calculo la intensidad emitida por una sola ambulancia:

$$\begin{aligned}
 100 \text{ dB} &= 10 \log (10^{12} \cdot I) \\
 \Rightarrow 10 &= \log (10^{12} \cdot I) \\
 \Rightarrow 10^{10} &= 10^{12} \cdot I \\
 \Rightarrow I &= 10^{-2} \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \quad \leftarrow \text{Intensidad PARA UNA AMBULANCIA.}
 \end{aligned}$$

Ahora, al estar emitiendo las 2 sirenas juntas, la intensidad será la suma de las intensidades. Es decir:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{TOT}} &= I_1 + I_2 = 2 \times 10^{-2} \text{ watt}/\text{m}^2 \\
 \Rightarrow I_{\text{TOT}} &= 2 \times 10^{-2} \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

Ahora me fijo a qué nivel de intensidad corresponde una  $I$  de  $2 \times 10^{-2} \text{ w}/\text{m}^2$ .

$$\begin{aligned}
 \beta &= 10 \log (10^{12} \times 2 \times 10^{-2}) \\
 \beta &= 10 \log (2 \times 10^{10})
 \end{aligned}$$

$$\beta = 10 \times 10,3$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta = 103 \text{ dB}}$$

← NIVEL DE INTENSIDAD  
ESCUCHADO POR EL OIDO.

Fijate que al estar sonando las 2 sirenas juntas, el nivel de intensidad escuchado por el oído sube muy poco. ( Solamente 3 dB ). Te digo más, si pusieras 10 ambulancias juntas, el nivel de intensidad solamente subiría 10 decibeles. Es decir, se iría a 110 dB.

### TABLA CON NIVELES DE INTENSIDAD

Fijate esta tabla que tiene los niveles de intensidad típicos de sonidos de la vida diaria. Nivel de intensidad es lo que en la vida diaria llamamos sonido fuerte o débil. El umbral mínimo de audición tiene una intensidad de  $1 \times 10^{-12} \text{ w/m}^2$ . Esto representa aproximadamente el ruido que hace una hoja al caer de un árbol.

Al mínimo nivel de intensidad escuchable le corresponde **0 dB**. ( Ojo ). La intensidad máxima que puede escuchar el oído es aproximadamente de  $1 \text{ w/m}^2$ . Esto equivale a unos 120 decibeles. ( sensación dolorosa ).

SONIDO EMITIDO	NIVEL DE INTENSIDAD BETA EN DECIBELES
UMBRAL MINIMO DE AUDICION	0 db ( Ojo, cero )
PERSONA HABLANDO EN SECRETO	10 dB
MOVIMIENTO DE LAS HOJAS DE UN ARBOL	20 dB
RADIO MUY, MUY BAJITO	30 dB
RADIO A POCO VOLUMEN	40 dB
RADIO O TELE A VOLUMEN NORMAL	50dB
CONVERSACION NORMAL	60dB
VARIAS PERSONAS HACIENDO RUIDO	70dB
RUIDO EN EL OBELISCO A LAS 18 HS	80 dB
ESTEREO MUY FUERTE	90dB
ESTEREO ATRONANDO	100 Db
BOLICHE BAILABLE - RECITAL	110 dB
BOLICHE, CABEZA EN EL CONO DEL PARLANTE	120 dB

← VER

Moraleja: Cuando vayas a bailar, nunca metas la cabeza en el cono del parlante.

## EFEECTO DOPPLER

La frecuencia de una onda es la cantidad de veces por segundo que una onda vibra. A más vibraciones por segundo, mayor frecuencia. Es importante que sepas que lo que en la vida diaria se llama sonido grave o agudo, en física se lo llama sonido de baja frecuencia o sonido de alta frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia del sonido, más agudo es. Es decir :

FRECUENCIA MAYOR  $\rightarrow$  SONIDO AGUDO.

FRECUENCIA MENOR  $\rightarrow$  SONIDO GRAVE.

Habrás notado alguna vez que cuando una ambulancia se acerca el sonido de la sirena es mas agudo que cuando se aleja. Lo mismo pasa con los trenes que llegan a la estación y pasan sin frenar. Quiero decir, cuando el tren se acerca, el sonido es agudo. Pero una vez que pasó, el sonido es grave. También se puede escuchar esto cuando el auto de carrera pasa frente a uno.

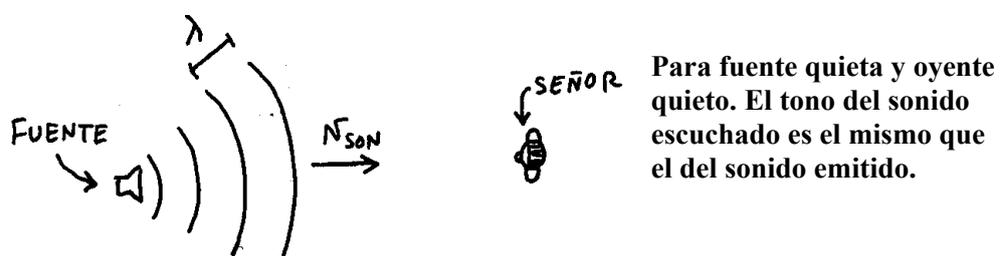


Este cambio en la frecuencia del sonido cuando la fuente de sonido se acerca o se aleja de la persona que escucha se llama EFEECTO DOPPLER .

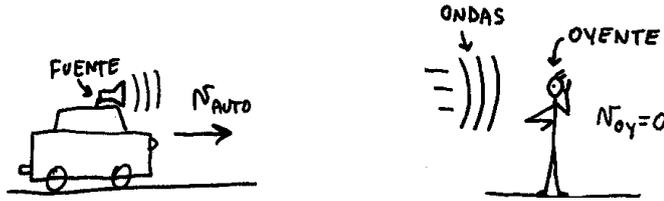
¿ Por que se produce este cambio en el tono del sonido que es escuchado por el oyente cuando la fuente se mueve ?

Rta: Bueno, esto no es fácil de explicar. La idea es la siguiente. Supongamos una fuente que emite sonido de cierta frecuencia. Pongamos 100 Hz ( = 100 vibraciones por segundo ). Si la fuente que emite el sonido está quieta y el observador está quieto, no hay problema, el tono del sonido que va a escuchar el oyente es el mismo tono que el que emite la fuente. Es decir, el tipo va a escuchar 100 Hz.

Miremos lo que ocurre desde arriba :

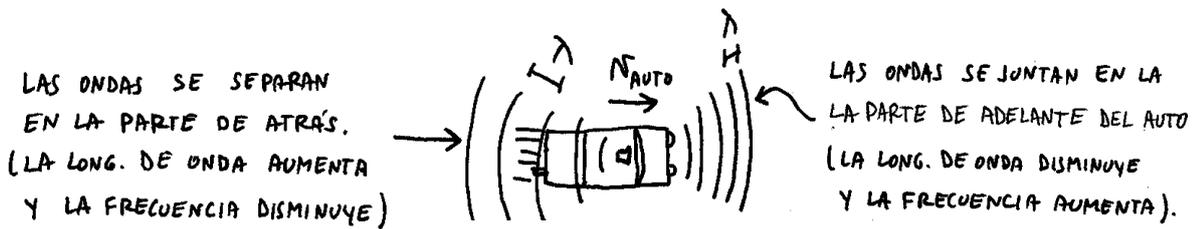


Fijate lo que pasa si la fuente de sonido se mueve hacia el tipo que escucha:

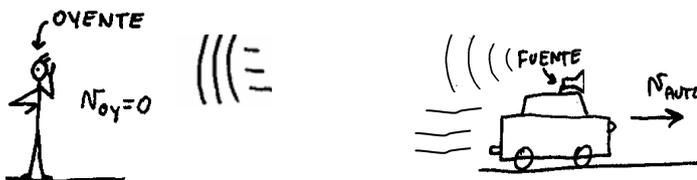


Fuente acercándose:  
frecuencia escuchada  
mayor.

Ahora las ondas que salen hacia delante del auto se juntan todas delante del auto. Eso quiere decir que la longitud de onda disminuye. Al disminuir la longitud de onda, a uno le llegan más cantidad de ondas por segundo. Y la cantidad de ondas por segundo que uno recibe es justamente la frecuencia.



Para alguien que escucha al auto mientras lo ve alejarse, lo que ocurre es exactamente lo contrario. La longitud de las ondas aumenta y la cantidad de ondas que le llegan por segundo disminuye. Es decir, la frecuencia con la que llegan las ondas disminuye y el sonido se escucha mas grave.

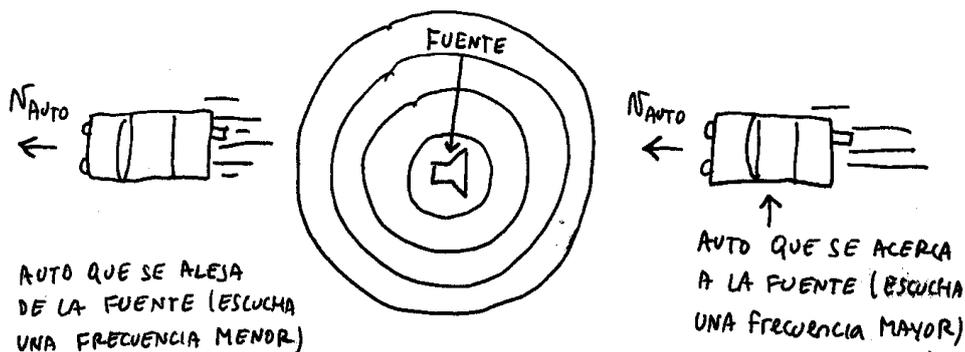


Fuente alejándose:  
La frecuencia que  
escucha es menor.

Conclusión:

FUENTE ACERCANDOSE → MAYOR FRECUENCIA
FUENTE ALEJANDOSE → MENOR FRECUENCIA

El mismo razonamiento puede hacerse si la fuente que emite el sonido está quieta y el que se mueve es el oyente.

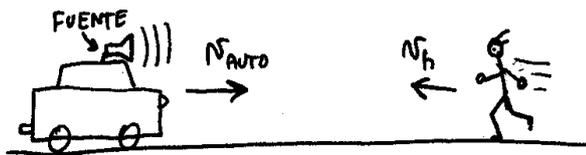


Por ejemplo, el oyente al acercarse a la fuente corta mayor cantidad de ondas por segundo. Eso hace que la frecuencia que escucha sea mayor. Exactamente lo contrario pasa si el oyente se está alejando de la fuente de sonido. Se va alejando de las ondas, de manera que recibe menos ondas por segundo y la frecuencia disminuye. Conclusión:

OYENTE ACERCANDOSE → MAYOR FRECUENCIA  
 OYENTE ALEJANDOSE → MENOR FRECUENCIA

También pueden moverse tanto el oyente como la fuente. Ahí los efectos se sumarán o se restarán, depende el caso.

Ejemplo, si la fuente de sonido viaja hacia el oyente y a la vez el oyente viaja hacia la fuente, los efectos se sumarán.



Oyente y fuente yendo uno al encuentro del otro. Los efectos se superponen.

FORMULA PARA EL EFECTO DOPPLER

La fórmula para calcular el efecto Doppler da la frecuencia que escucha el oyente cuando la fuente se mueve, o cuando el oyente se mueve, o cuando los 2 se mueven. La fórmula choclaza es esta :

$$f_{OY} = \frac{344 \pm v_{OY}}{344 \pm v_{FU}} \times f_{FU}$$

Labels for the formula:  
 -  $f_{OY}$ : FRECUENCIA QUE ESCUCHA EL OYENTE [Hz]  
 - 344: VELOCIDAD DEL SONIDO (m/s)  
 -  $v_{OY}$ : VELOCIDAD DEL OYENTE (m/s)  
 -  $v_{FU}$ : VELOCIDAD DE LA FUENTE (m/s)  
 -  $f_{FU}$ : FRECUENCIA EMITIDA POR LA FUENTE. (VA EN HERTZ)

EFECTO DOPPLER. FORMULA PARA CALCULAR LA FRECUENCIA QUE ESCUCHA EL OYENTE.

Fijate como se usa esta fórmula. Vamos primero al número 344. Este 344 es la velocidad del sonido. ( 344 m/s ). Ojo, este es el valor normal que suele tomarse para la velocidad del sonido. Este valor depende de la presión , la temperatura y varias cosas más. Puede cambiar de un problema a otro. Vos tenés que usar el valor que ellos te digan. El problema al usar la fórmula de Doppler son los signos. Fijate que en la ecuación hay dos ± . ¿ Cómo sabe uno cuando usar + o cuándo usar - ?

Rta: Bueno, hay que razonarlo para cada problema en particular. Es decir, uno mira la fórmula y se fija si tiene que poner signo positivo o negativo en el numerador o en

el denominador para que la frecuencia escuchada dé mayor o para que la frecuencia escuchada dé menor.

Para saber el signo siempre me baso en las reglas que puse antes:

**FUENTE ACERCANDOSE AL OYENTE → MAYOR FRECUENCIA ESCUCHADA.  
FUENTE ALEJANDOSE DEL OYENTE → MENOR FRECUENCIA ESCUCHADA.**

**OYENTE ACERCANDOSE A LA FUENTE → MAYOR FRECUENCIA ESCUCHADA.  
OYENTE ALEJANDOSE DE LA FUENTE → MENOR FRECUENCIA ESCUCHADA.**

Estas reglas no hay que aprendérselas de memoria. Hay que razonarlas para cada problema en particular.

Vamos a un ejemplo:

**UNA SIRENA EMITE CON UNA FRECUENCIA DE 100 Hz. CALCULAR LA FRECUENCIA QUE ESCUCHA UNA PERSONA EN LOS SIGUIENTES CASOS:**

- a) – FUENTE QUIETA. OYENTE MOVIENDOSE HACIA LA FUENTE CON  $V = 40$  m/s.
- b) – FUENTE QUIETA. OYENTE ALEJANDOSE DE LA FUENTE CON  $V = 40$  m/s.
- c) – OYENTE QUIETO. FUENTE MOVIENDOSE HACIA EL OYENTE CON  $V = 40$  m/s.
- d) – OYENTE QUIETO. FUENTE ALEJANDOSE DEL OYENTE CON  $V = 40$  m/s.
- e) – FUENTE Y OYENTE MOVIENDOSE UNO HACIA EL ENCUENTRO CON EL OTRO CADA UNO CON VELOCIDAD 40 m/s.

Solución:

a) El oyente se mueve hacia la fuente y la fuente está quieta. La frecuencia escuchada tiene que ser mayor a 100 Hz. Quiere decir que en la fórmula, en el numerador, donde dice ( $344 \pm V_{oyente}$ ) tengo que usar el signo + para que el número de lo más grande posible.

Por otra parte, en el denominador va CERO porque la velocidad de la fuente es cero. Entonces me queda:

$$f_{oy} = \frac{344 + 40}{344 + 0} \times 100 \text{ Hz}$$

← VER

← Frecuencia escuchada por el oyente en el caso a)

b) – Fuente quieta. Oyente alejándose de la fuente con  $v = 40$  m/s.

Ahora la frecuencia del sonido tiene que disminuir porque el oyente se aleja. Quiere decir que en el numerador ahora va un signo menos. Entonces:

$$f_{oy} = \frac{344 - 40}{344 + 0} \times 100 \text{ Hz}$$

← VER

$$f_{oy} = 88,3 \text{ Hz}$$

← Frecuencia escuchada por el oyente en el caso b)

c) – Oyente quieto. Fuente moviéndose hacia el oyente con  $v = 40$  m/s.

Si la fuente se mueve hacia el oyente, la frecuencia escuchada tiene que aumentar. Entonces en el denominador los 40 m/s van con signo MENOS.

$$f_{oy} = \frac{344 + 0}{344 - 40} \times 100 \text{ Hz}$$

$$f_{oy} = \underline{113,1 \text{ Hz}}$$

VER

Frecuencia escuchada por el oyente en el caso c )

d ) - Oyente quieto. Fuente alejándose del oyente con  $v = 40 \text{ m/s}$ .

$$f_{oy} = \frac{344 + 0}{344 + 40} \times 100 \text{ Hz}$$

$$f_{oy} = \underline{89,5 \text{ Hz}}$$

Frecuencia escuchada por el oyente en el caso d )

e ) - Fuente y oyente moviéndose uno hacia el encuentro con el otro cada uno con velocidad 40 m/s.

Ahora ambos efectos se superponen. La frecuencia aumenta. Tiene que ir signo mas arriba y signo menos abajo. Entonces:

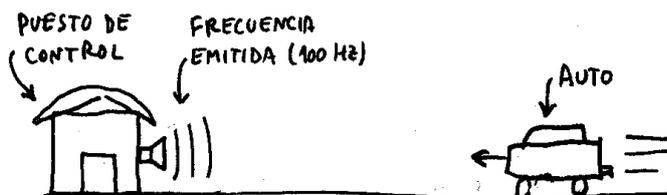
$$f_{oy} = \frac{344 + 40}{344 - 40} \times 100 \text{ Hz}$$

$$f_{oy} = \underline{126,3 \text{ Hz}}$$

Frecuencia escuchada por el oyente en el caso e )

### OTRO EJEMPLO

**DESDE UN PUESTO CAMINERO SE EMITE UN SONIDO CON UNA FRECUENCIA DE 100 Hz. ESTE SONIDO REBOTA EN UN AUTO QUE SE ACERCA A 40 m/s. DETERMINAR LA FRECUENCIA RECIBIDA EN EL PUESTO CAMINERO.**



Acá hay que tener cuidado. Este problema hay que calcularlo en 2 partes. Calculemos 1ro con qué frecuencia escucha el auto el sonido que le llega desde el puesto de control. La fuente está quieta y el auto se acerca a 40 m/s.

Quiere decir que la frecuencia escuchada por el tipo será mayor.

Los 40 m/s irán en el numerador con signo + . Me queda:

$$f_{oy} = \frac{344 + 40}{344 + 0} \times 100 \text{ Hz}$$

$$f_{oy} = 111,6 \text{ Hz}$$

← Frecuencia que llega al auto

Pero ahora , ojo, este sonido rebota en el auto y vuelve a llegar al puesto de control. Del auto rebota sonido con una frecuencia de 111,6 Hz. Pero este sonido ahora sale del auto que se está moviendo a 40 m/s.



Ahora el auto funciona como fuente y el puesto caminero como oyente. Entonces la ecuación es:

$$f_{oy} = \frac{344 + 0}{344 - 40} \times 100 \text{ Hz}$$

$$f_{oy} = 126,2 \text{ Hz}$$

← frecuencia que llega al puesto.

### El problema del murciélago

Un murciélago emite chillidos de corta duración a una frecuencia de 80.000 Hz. Si vuela hacia un obstáculo (pared plana) con una velocidad de 20 m/s, ¿cuál es la frecuencia de la onda reflejada captada por el murciélago?

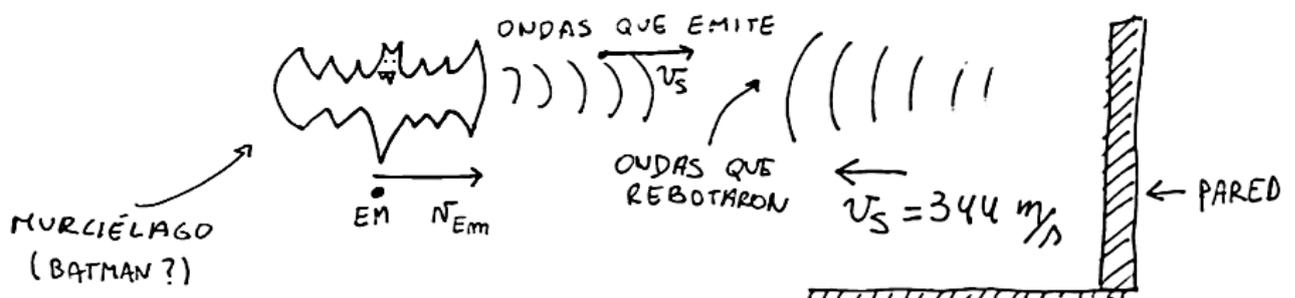
En este problema , el murciélago es el emisor y el observador al mismo tiempo. Las ondas que emite rebotan en la pared y él las escucha. Ahora, acá hay un problema.

En un 1er momento las ondas del sonido van hacia la pared  $\vec{v}_s \rightarrow$

Después de rebotar... ¿Qué pasa ?

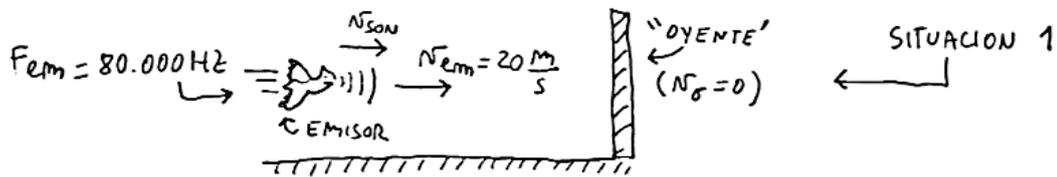
Pasa que las ondas del sonido van para el otro lado. ( $\vec{v}_{son} \leftarrow$ ).

Hagamos un dibujito del asunto:



Entonces lo que tengo que hacer es plantear Doppler 2 veces, una cuando el sonido va y otra cuando el sonido vuelve. Veamos.

SITUACION 1: EL SONIDO VA DEL MURCIELAGO A LA PARED:



En este caso la velocidad del emisor (el murciélago) es de  $+20 \frac{m}{s}$ . (Va como la del sonido). Ahora...

¿Cuál es la velocidad del oyente?

RTA: Bueno, el oyente es "La pared". (Las paredes oyen). Su velocidad será 0 (cero). Veamos que frecuencia "escucha" la pared:

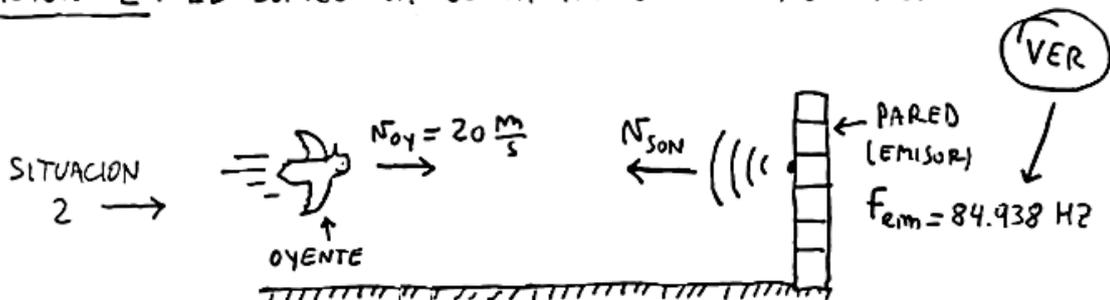
$$f_{oy} = \frac{v_{son} - v_{oy}}{v_{son} - v_{em}} \cdot f_{em}$$

$$f_{oy} = \frac{344 - 0}{344 - 20} \cdot 80.000 \text{ Hz} \Rightarrow$$

$$\underline{f_{oy} = 84.938 \text{ Hz.}} \quad \leftarrow \text{FRECUENCIA QUE LLEGA A LA PARED.}$$

Ahora, esta misma frecuencia de 84.938 Hertz rebota en la pared. Entonces, al estar emitiendo la pared una frecuencia de 84.938 Hz la situación es la siguiente:

SITUACIÓN 2: EL SONIDO VA DE LA PARED AL MURCIELAGO.



Vuelvo a plantear efecto Doppler para calcular que frecuencia escucha el murciélago. Ahora la velocidad del sonido va así  $\leftarrow v_{son}$  y la velocidad del murciélago va a ir con signo  $\ominus$ . (Va al revés). Entonces:

$$f_{oy} = \frac{v_{son} - v_{oy}}{v_{son} - v_{em}} \cdot f_{em} \Rightarrow$$

$$f_{oy} = \frac{344 - (-20)}{344 - 0} \cdot 84938 \text{ Hz}$$

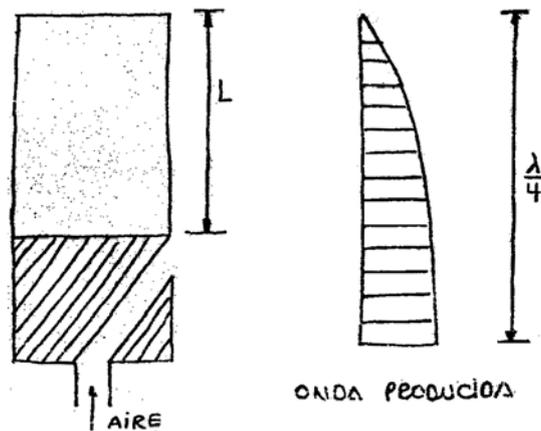
$$\Rightarrow \boxed{f_{oy} = 89.876 \text{ Hz}} \quad \leftarrow \text{FRECUENCIA QUE ESCUCHA EL MURCIELAGO.}$$

Este asunto del efecto Doppler es el que se usa en las rutas para medir la velocidad de los autos. (como cuando dice "RADAR VIGILA" o como cuando hay un indicador de velocidad que te dice a que velocidad uno está yendo).

Calcular la frecuencia de la vibración fundamental y de los dos primeros armónicos de un tubo de un órgano de 0,85 m de largo. Siendo  $V = 340$  m/seg la velocidad del sonido en el aire. a) Cuando el tubo es cerrado. b) Cuando el tubo es abierto.

Un tubo sonoro es un tubo cilíndrico con una abertura chica por donde se sopla aire. (por ejemplo un tubo de órgano). El chorro de aire al chocar contra una cosita que vibra produce el sonido.

En el tubo de órgano cerrado se produce un vientre en el bisel y un nodo al reflejarse en el extremo (salto de fase de  $\pi$ ). Es decir que la longitud de un tubo es igual a  $\frac{1}{4}$  de la longitud de onda. La onda indicada que se produce en el tubo cerrado corresponde a la frecuencia fundamental de vibración (tono fundamental).



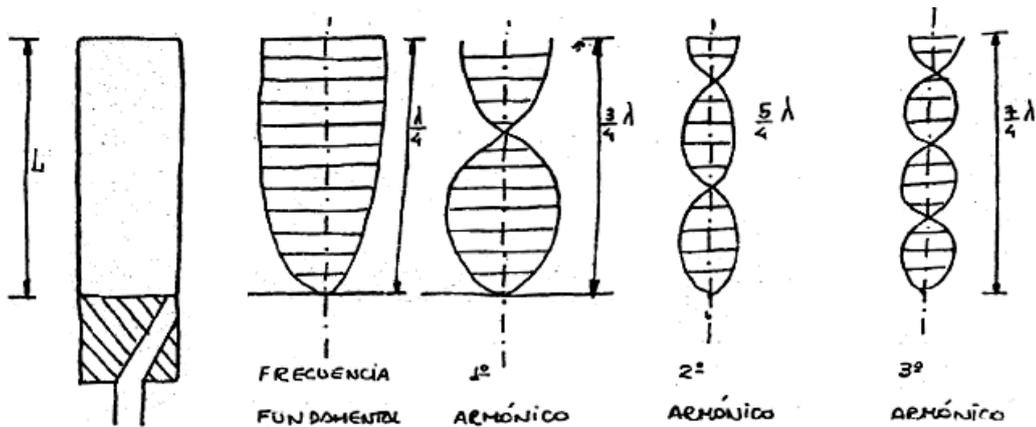
Pero también se producen frecuencias armónicas de forma tal que siempre presentan un nodo en el extremo cerrado y un vientre en el abierto. Las frecuencias de resonancia están dadas por:

$$f_0 = \frac{v}{4L} \quad ; \quad f_1 = \frac{3v}{4L} \quad ; \quad f_2 = \frac{5v}{4L}$$

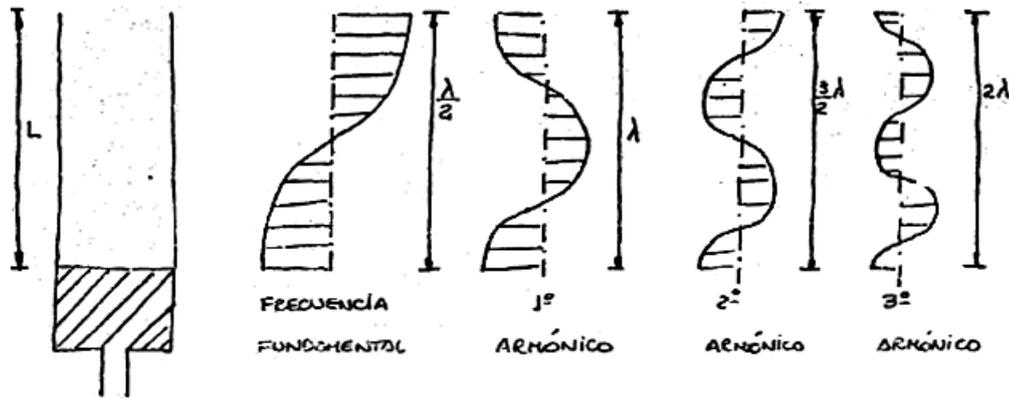
Y en general la ecuación será:

$$\boxed{f = \frac{v}{4L} (2k + 1)} \quad \text{CON } k = 0, 1, 2, \dots \text{ ETC.}$$

Y las ondas armónicas se producirán de la siguiente manera:



Para el tubo abierto se produce un vientre en el bisel y otro en el extremo abierto, de la siguiente manera:



En general será:

$$f = \frac{v}{2L} \cdot k$$

CON  $k = 1, 2, 3, \dots$  ETC.

Las soluciones a las preguntas planteadas:

a) Tubo cerrado:

$$k=0 \quad f_0 = \frac{340 \text{ m/SEG}}{4 \times 0,85 \text{ m}} (2 \times 0 + 1) = \underline{100 \text{ Hz}}$$

$$k=1 \quad f_1 = \frac{340 \text{ m/SEG}}{4 \times 0,85 \text{ m}} (2 \times 1 + 1) = \underline{300 \text{ Hz}}$$

$$k=2 \quad f_2 = \frac{340 \text{ m/SEG}}{4 \times 0,85 \text{ m}} (2 \times 2 + 1) = \underline{500 \text{ Hz}}$$

b) Tubo abierto:

$$k=1 \quad f_0 = \frac{340 \text{ m/SEG}}{2 \times 0,85 \text{ m}} \times 1 = \underline{200 \text{ Hz}}$$

$$k=2 \quad f_1 = \frac{340 \text{ m/SEG}}{2 \times 0,85 \text{ m}} \times 2 = \underline{400 \text{ Hz}}$$

$$k=3 \quad f_2 = \frac{340 \text{ m/SEG}}{2 \times 0,85 \text{ m}} \times 3 = \underline{600 \text{ Hz}}$$