



COLEGIO DE BACHILLERES

# FÍSICA III

FASCÍCULO 2. TRANSMISIÓN ONDULATORIA DE LA ENERGÍA

**Autores:** Gerardo Miguel Castillo Aragón  
Miguel Lara Muciño  
Oseas Mecinas Contreras  
María Isabel Villaseñor Díaz



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO 1. TRANSMISIÓN DE ONDAS MECÁNICAS</b>	<b>7</b>
<b>PROPÓSITO</b>	<b>9</b>
<b>1.1 ONDAS MECÁNICAS</b>	<b>11</b>
1.1.1 ONDAS TRANSVERSALES	11
1.1.2 ONDAS LONGITUDINALES	15
1.1.3 INTERFERENCIA	17
1.1.4 ONDAS ESTACIONARIAS	19
1.1.5 REFLEXIÓN	23
1.1.6 DIFRACCIÓN	25
1.1.7 REFRACCIÓN	27
<b>1.2 EL SONIDO</b>	<b>32</b>
1.2.1 GENERACIÓN DEL SONIDO	32
1.2.2 EL SONIDO COMO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN DE LAS MOLÉCULAS DE AIRE	34
1.2.3 FRECUENCIA O TONO	38
1.2.4 VOLUMEN, INTENSIDAD O AMPLITUD	40
1.2.5 TRANSMISIÓN DEL SONIDO	43
a) Transmisión del sonido en líquidos y sólidos	46
b) Velocidad de propagación	46
c) Variación de la velocidad del sonido con el medio y con la temperatura	48
1.2.6 PROPIEDADES DEL SONIDO	50
a) Reflexión	50
b) Difracción	52
c) Refracción	53
d) Interferencia	55

<b>1.3 ONDAS SÍSMICAS Y ULTRASONIDO</b>	<b>58</b>
1.3.1 SISMO O TERREMOTO	58
1.3.2 ONDAS ULTRASÓNICAS	60
<b>RECAPITULACIÓN</b>	<b>64</b>
<b>ACTIVIDADES INTEGRALES</b>	<b>65</b>
<b>AUTOEVALUACIÓN</b>	<b>66</b>
 <b>CAPÍTULO 2. TRANSMISIÓN DE LA LUZ</b>	 <b>67</b>
<b>PROPÓSITO</b>	<b>69</b>
<b>2.1 PROPIEDADES DE LA LUZ</b>	<b>71</b>
2.1.1 PROPAGACIÓN RECTILÍNEA	72
2.1.2 CUERPOS OPACOS	73
2.1.3 VELOCIDAD DE LA LUZ	76
<b>2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ</b>	<b>80</b>
2.2.1 REFLEXIÓN	80
2.2.2 REFRACCIÓN	87
2.2.3 DIFRACCIÓN	90
2.2.4 DISPERSIÓN	92
<b>2.3 FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LENTES</b>	<b>99</b>
2.3.1 COMPORTAMIENTO DE LA LUZ EN LAS LENTES	102
<b>RECAPITULACIÓN</b>	<b>109</b>
<b>ACTIVIDADES INTEGRALES</b>	<b>110</b>
<b>AUTOEVALUACIÓN</b>	<b>112</b>
 <b>RECAPITULACIÓN GENERAL</b>	 <b>113</b>
<b>ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN</b>	<b>115</b>
<b>AUTOEVALUACIÓN</b>	<b>117</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>119</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b>	<b>120</b>

## INTRODUCCIÓN

Hasta el momento hemos estudiado la energía de los cuerpos en movimiento, la energía en forma de calor y la asociada con la electricidad.

Otra forma importante mediante la que se puede transferir energía es a través del movimiento ondulatorio, que aunque abarca muchos fenómenos, aquí nos concretaremos a conocer lo que se refiere a las ondas mecánicas y luminosas.

Por lo tanto, **el objetivo de este fascículo es que analices la transmisión ondulatoria de la energía en ondas mecánicas y en la luz; mediante la experimentación y utilización de los conceptos de reflexión, refracción, difracción, velocidad y propagación; con la intención de explicar las transformaciones de energía y predecir el comportamiento de algunos sistemas.**

Para lograr lo anterior, el contenido de este fascículo comprende dos capítulos:

En el **Capítulo 1** veremos aspectos como los siguientes: cuando la mayoría de nosotros oye la palabra *onda*, tenemos la imagen mental de las ondas de agua que se mueven en la superficie de un lago, o bien, de una bandera ondeando al impulso del aire. De hecho, todos hemos tenido alguna experiencia sencilla con ondas, por ejemplo en el agua, e incluso asociamos el movimiento ondulatorio con las vibraciones de una lámina o regla cada vez que escuchamos el peculiar sonido que producen, y hay razón para hacer esa asociación, pues como veremos, la forma de explicar el sonido es estudiarlo como onda o movimiento ondulatorio.

Es interesante hacer notar que el oído, uno de los sentidos más importantes del hombre, requiere la transferencia de energía mediante pulsos o conjunto de pulsos a los que llamamos ondas; esa transferencia depende de las propiedades físicas del medio transmisor, ya que oímos sonidos lejanos o cercanos, pues los sonidos tardan en recorrer cualquier distancia. Podemos decir que nunca oiremos algo en el momento en que ocurre, por tanto, en este primer capítulo describiremos y entenderemos la transmisión del sonido haciendo uso del modelo físico de las ondas mecánicas.

El **Capítulo 2** tiene como punto de partida la pregunta: ¿Qué es la luz? Ese misterioso haz brillante que emana del Sol, de una vela encendida o de los juegos pirotécnicos. Esta pregunta ha inquietado al hombre desde la antigüedad, mas las continuas observaciones e investigaciones sobre la luz ampliaron los conocimientos que se tienen de ella.

Entre los griegos que plantearon diferentes ideas sobre la luz está Pitágoras, quien concluyó que todo objeto visible emite una corriente constante de partículas; por otra parte, Aristóteles llegó a la conclusión de que la luz viaja en forma parecida a las ondas y, por su lado, Herón de Alejandría experimentó con espejos y estudió la reflexión de la luz.

Otros investigadores, como el matemático holandés Snell, observó que al introducir una estaca recta en agua, deja de parecer recta a los ojos del observador, y dedujo que la luz viaja en línea recta a través del aire y cuando pasa a otro medio, en este caso agua, cambia de dirección, pero dentro de la misma conserva su trayectoria rectilínea. Snell intentó medir estas desviaciones mediante materiales traslúcidos. Otro holandés, Huygens, relacionó estas observaciones con el hecho de que la luz cambia su velocidad dependiendo del medio en el que viaja.

Newton descubrió otra propiedad básica de la luz: la forma en que se puede descomponer un haz de luz blanca en los colores que todos observamos en el arco iris; en tanto Grimaldi, contemporáneo de Newton, estudió el fenómeno de la difracción en la luz. De hecho, este fenómeno es uno de los argumentos más fuertes para demostrar que la luz tiene un comportamiento ondulatorio.

Hoy en día estos fenómenos se estudian y aplican en la vida cotidiana, por ejemplo en los medios de comunicación, en las fibras ópticas en telefonía, en el tratamiento a personas con problemas en la vista o también para la recreación como en el caso del cine. Por lo anterior, en el segundo capítulo de este fascículo, te invitamos a analizar el comportamiento de la luz y a entender cómo pudo haber sido la labor de observación e investigación de los hombres que por primera vez se plantearon el reto de explicarla.

Recuerda que, para obtener el mayor provecho en el estudio del fascículo, cuentas con el apoyo de tu asesor, quien te guiará en el contenido y el conductor de laboratorio, en las actividades experimentales.

# CAPÍTULO 1

## TRANSMISIÓN DE ONDAS MECÁNICAS

### 1.1 ONDAS MECÁNICAS

- 1.1.1 Ondas Transversales
- 1.1.2 Ondas Longitudinales
- 1.1.3 Interferencia
- 1.1.4 Ondas Estacionarias
- 1.1.5 Reflexión
- 1.1.6 Difracción
- 1.1.7 Refracción

### 1.2 EL SONIDO

- 1.2.1 Generación del Sonido
- 1.2.2 El Sonido como Compresión y Expansión de las Moléculas de Aire
- 1.2.3 Frecuencia o Tono
- 1.2.4 Volumen, Intensidad o Amplitud
- 1.2.5 Transmisión del Sonido
  - a) Transmisión del sonido en líquidos y sólidos
  - b) Velocidad de propagación
  - c) Variación de la velocidad del sonido con el medio y con la temperatura
- 1.2.6 Propiedades del Sonido
  - a) Reflexión
  - b) Difracción
  - c) Refracción
  - d) Interferencia

### 1.3 ONDAS SÍSMICAS Y ULTRASONIDO

- 1.3.1 Sismo o Terremoto
- 1.3.2 Ondas Ultrasónicas





## PROPÓSITO

Antes de empezar el estudio de este capítulo es importante señalarte los objetivos que debes lograr al término del mismo, los contenidos necesarios para consolidarlos y las habilidades que pondrás en acción, lo que te permitirá organizar tus actividades académicas en función de esas metas y aprovechar adecuadamente la información y las aplicaciones prácticas que contiene.

**¿Qué vas a aprender?**

El significado de pulso, tren de pulsos y onda mecánica, y su utilidad para explicar en términos físicos el sonido. Así como que todo sonido está asociado a la vibración del objeto que lo produce, que el sonido necesita de un medio para transmitirse y que el sonido tarda cierto tiempo en viajar de un punto a otro.

**¿Cómo lo lograrás?**

Manipulando las variables de que depende la producción y transmisión del sonido, así como generando ondas mecánicas en diferentes medios elásticos en una y dos dimensiones.

**¿Para qué te va a servir?**

Para establecer que es posible transmitir energía sin que el medio utilizado se desplace como un todo, e interpretar algunas aplicaciones de las ondas mecánicas en la comunicación, la medicina y en la comprensión de los movimientos telúricos.



# **CAPÍTULO 1**

## **TRANSMISIÓN DE ONDAS MECÁNICAS**

### **1.1 ONDAS MECÁNICAS**

¿Podría haber movimiento ondulatorio sin la existencia de una fuente que lo produzca?  
¿Qué es una onda mecánica? ¿Qué es una onda electromagnética?

Es un hecho conocido que si lanzas una piedra en la superficie de un lago tranquilo, se generan una serie de ondulaciones a partir del punto donde cae la piedra.

Por el contacto diario que tienes con la naturaleza te encuentras con cosas que oscilan o se sacuden, es decir, con fenómenos cuyo comportamiento es ondulatorio. Sin embargo, no siempre puedes dar una explicación que, con base en actividades experimentales y de acuerdo con la Física, te contestará las preguntas arriba planteadas, y otras que seguramente se te pueden ocurrir.

Existen varios fenómenos físicos en los que, para su explicación, se hace uso del *modelo ondulatorio de transmisión de la energía*, pero no todos ellos necesitan de un medio elástico (por ejemplo, el modelo ondulatorio de la luz) para transmitirse como sucede con las ondas electromagnéticas.

#### **1.1.1 ONDAS TRANSVERSALES**

Las ondas mecánicas se originan debido a una perturbación, y para propagarse en oscilaciones periódicas requieren de un medio material, como por ejemplo las ondas producidas en un resorte, en una cuerda, en el agua, o al hacer vibrar un cuerpo para producir un sonido.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 1

### OBJETIVO:

- Comprobar experimentalmente que la energía que se le transmite a un objeto en una de sus partes, es a su vez transmitida al resto del cuerpo, sin que éste experimente un desplazamiento de su posición original una vez iniciado el proceso.
- Identificar el tipo de movimiento característico de las ondas transversales.

### MATERIAL:

- una manguera de látex de 5 a 8 m de longitud

### PROCEDIMIENTO:

Guiándote por el esquema de la siguiente figura, con uno de tus compañeros de equipo, sujeten la manguera por cada uno de sus extremos, de manera que su longitud sea la original; paso siguiente, denle en uno de sus extremos un impulso (tirón) hacia arriba. (La distancia entre las personas que sujetan la manguera debe permanecer constante durante toda la actividad experimental y ser la misma de la manguera).



Figura 1.

¿Qué movimiento realizó la manguera?

---

A continuación marca una parte de la manguera (puedes hacerlo con una tira de masking-tape) y que un tercer compañero se coloque justo enfrente de la marca, nuevamente aplíquenle un tirón hacia arriba en uno de sus extremos. Rótense para que cada uno observe el comportamiento de la marca.

¿Hubo movimiento en la marca de la manguera?

---

¿En qué dirección fue el movimiento?

---

¿Una vez iniciado el movimiento de la manguera en una dirección (hacia arriba o hacia abajo), continuó así u observaste algún cambio?

---

¿Se desplazó horizontalmente la marca de la manguera después de haber pasado por ella el impulso?

---

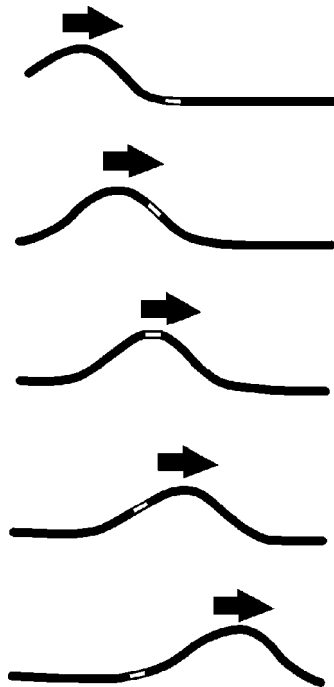
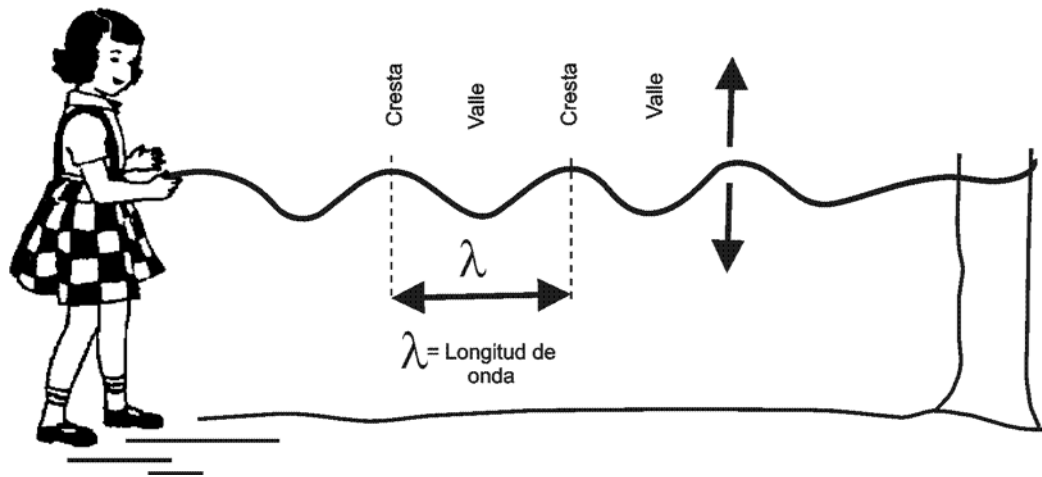
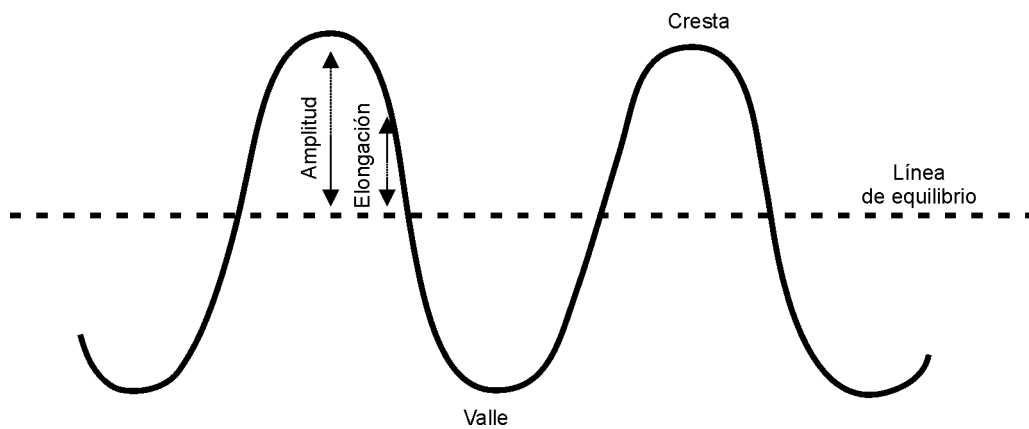


Figura 2.

La serie de pulsos producidos alternadamente hacia arriba y hacia abajo, que se propagan a lo largo de la manguera, constituyen una **onda**, así como se observa en la *Figura 3*:



a) Formación de ondas en una cuerda.



b) Características de una onda.

Figura 3.

Al aplicarle un impulso a la manguera, lo que se está haciendo es transmitirle energía. El movimiento de la manguera es perpendicular a la dirección de transmisión del impulso y las partes de la misma realizan un movimiento ascendente y descendente (*oscilatorio*), pasando varias veces por su posición de equilibrio.

Cuando el movimiento del medio es perpendicular (*transversal*) a la dirección en que viaja la onda se llama **onda transversal**.

Veamos lo anterior en la siguiente figura:

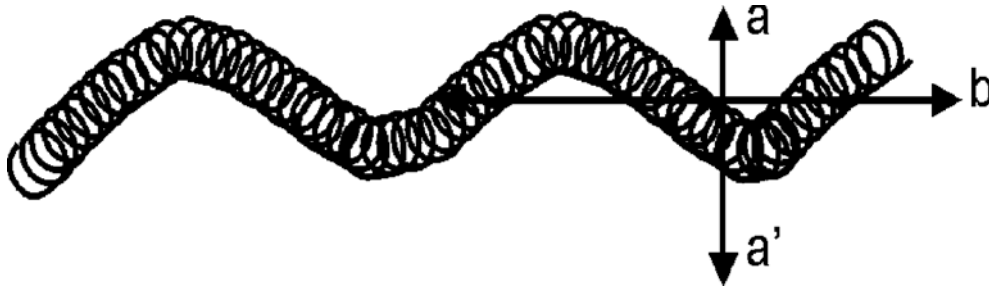


Figura 4. Al agitar este resorte de arriba hacia abajo, el material vibra en la dirección aa' y la onda se transmite en la dirección b; estas ondas son transversales.

### 1.1.2 ONDAS LONGITUDINALES

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 2

### OBJETIVO:

El estudiante identificará de manera experimental el tipo de movimiento característico de las ondas longitudinales.

**MATERIAL:**

- un resorte que estirado no debe sobrepasar los 3 m

**PROCEDIMIENTO:**

Con dos de tus compañeros de equipo, tomen al resorte por cada uno de sus extremos, separados por una distancia no mayor de 3 m. Pónganle una marca y luego junten más espiras en uno de los extremos, suelten las espiras y observen cómo se comporta el resorte.

Observa la siguiente figura:

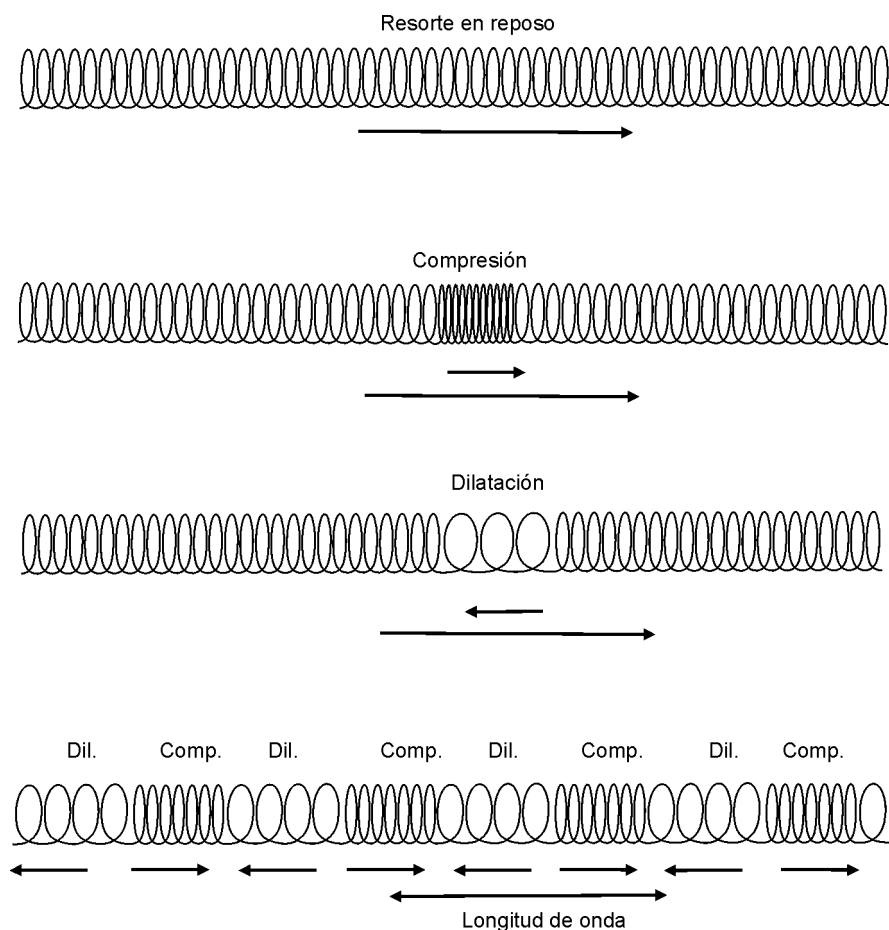


Figura 5. Onda longitudinal de un resorte. Al comprimir el resorte y soltarlo, la onda se traslada horizontalmente y las moléculas vibran en esta dirección; a estas ondas se les llama longitudinales.



¿A qué conclusión llegas? ¿Se comportan igual el resorte y la manguera?

---

Como te diste cuenta, el resorte se movió hacia atrás y hacia adelante en la misma dirección en la que se transmitía el pulso, comprimiéndose en unos casos y alargándose en otros.

Habíamos dicho que el sonido se transmite mediante una sucesión de compresiones y refracciones, moviéndose las partículas del medio en la misma dirección de transmisión del sonido. Cuando esto sucede se trata de una **onda longitudinal**.

Volvamos a nuestra experiencia con la manguera de látex.

Aplíquense un solo tirón en uno de sus extremos y esperen hasta que la manguera por sí misma vuelva al reposo. Ahora contesta las siguientes preguntas:

¿Cómo se comportó durante todo el proceso la manguera?

---

¿Cómo explicarías con tus propias palabras dicho comportamiento?

---

Observaste que no sólo siguió un movimiento oscilatorio perpendicular a la dirección de transmisión del pulso, sino que además al llegar al extremo que permaneció fijo *rebotó*, y luego al llegar al extremo en donde se le aplicó el pulso volvió a rebotar, y así sucesivamente hasta que finalmente quedó quieta. El hecho de que la manguera se comporte de esa forma es porque el pulso se refleja cada vez que llega a los extremos.

### 1.1.3 INTERFERENCIA

¿Qué crees que pase ahora si le aplicas un tirón al extremo de la manguera donde se refleja el tirón anterior?

Si pones mucha atención en tus observaciones notarás que llega un momento en que las ondas incidente y reflejada se cruzan, se interfieren describiendo la siguiente figura:

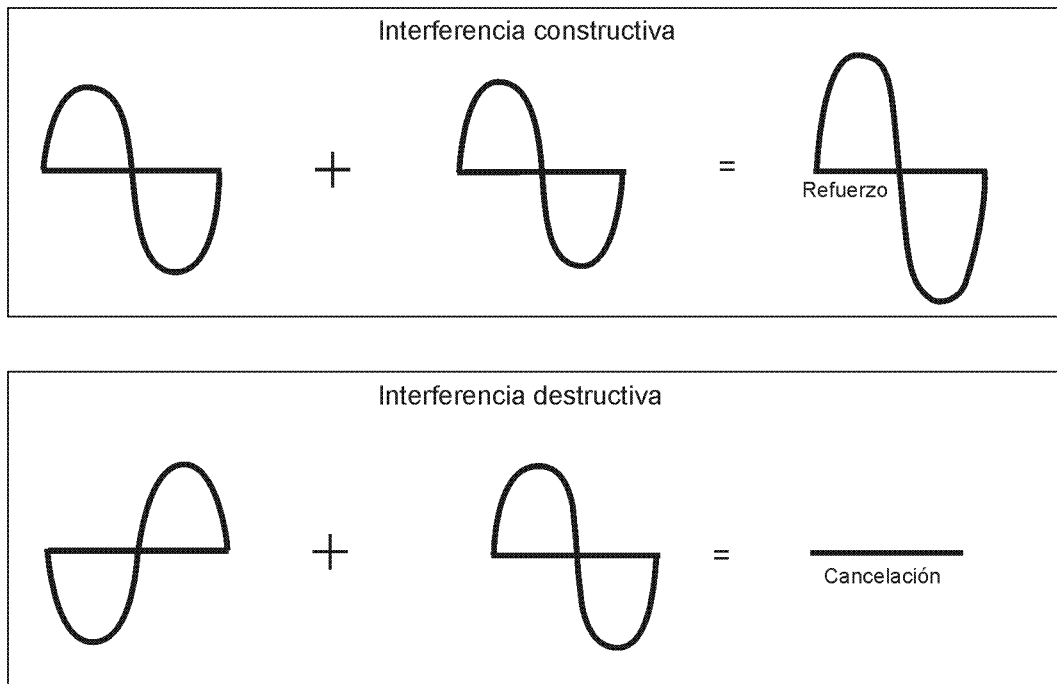


Figura 6. Interferencia constructiva y destructiva en una onda transversal.

El anterior fenómeno es interesante porque en la historia de tu vida has aprendido que dos cuerpos diferentes no pueden compartir el mismo espacio en el mismo tiempo, sin embargo, las vibraciones sí pueden existir más de una en el mismo espacio y al mismo tiempo.

Lo anterior lo puedes corroborar si dejas caer dos piedras en el agua, verás que las ondas que se generan en ambos puntos llegan a superponerse, formando lo que se conoce como *patrón de interferencia*. Observa la figura:

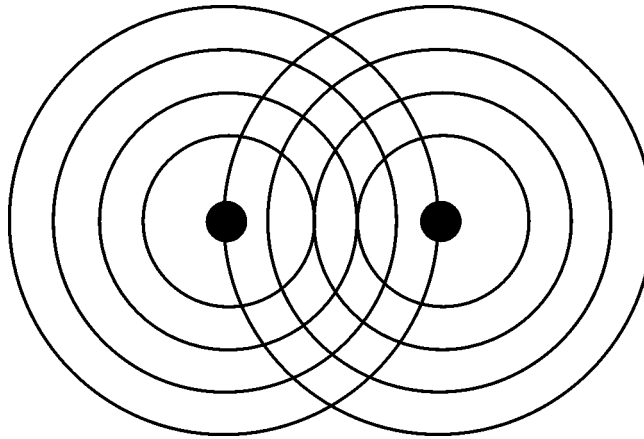


Figura 7. Interferencia de ondas de agua.

*Dentro del patrón de interferencia podrás observar que los efectos ondulatorios de cada una de las ondas originales, en el punto de cruce, se pueden incrementar, anularse o solamente disminuir. Lo mismo sucede con la manguera: cuando la cresta de la onda que va en una dirección coincide con la cresta de la que se desplaza en sentido opuesto, entonces ambas crestas se suman, dando como resultado una cresta de mayor amplitud. A esto se le llama **interferencia constructiva** (figura 6).*

Quando la cresta de una onda que va en una dirección coincide con el valle de la otra, entonces sus efectos individuales se reducen, dando como resultado una cresta de menor amplitud. A este evento se le conoce como **interferencia destructiva** (figura 6).

No siempre coinciden en el encuentro la cresta de una onda con el valle de la otra, ni tampoco el valle de una (o cresta) con el valle (o cresta) de la otra.

El fenómeno de interferencia es característico de todo tipo de movimiento ondulatorio (ondas luminosas, en agua, sonoras, etc.); lo poseen tanto las ondas transversales como las longitudinales.

#### 1.1.4 ONDAS ESTACIONARIAS

Las podemos observar cuando dos personas detienen una manguera por sus extremos, coordinándose de tal manera que le aplican tirones de la misma intensidad y al mismo tiempo; entonces será posible que la *onda incidente* y la *reflejada* formen una *onda estacionaria*.

Las **ondas estacionarias** son resultado de la interferencia: cuando dos conjuntos de ondas, que se desplazan en direcciones opuestas, tienen la misma amplitud y la misma longitud de onda, dichas ondas están continuamente en fase y fuera de fase, produciendo regiones estables de interferencia destructiva y constructiva.

Al pulsar una guitarra o tocar una tecla del piano se generan ondas estacionarias en las cuerdas de dichos instrumentos. Si ladeas repetidamente una taza de café con la frecuencia correcta puedes generar ondas de este tipo.

Sacude una cuerda hasta producir una onda estacionaria de media longitud de la manguera, sacúdela con doble frecuencia y se producirá una onda estacionaria con dos segmentos y así sucesivamente. Observa la siguiente figura:

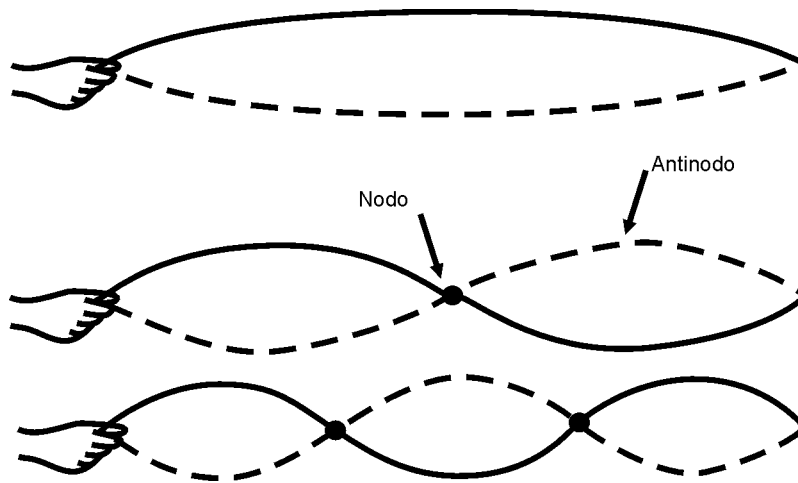


Figura 8. Una onda estacionaria es el producto de ondas idénticas que se mueven en direcciones opuestas, aparecen puntos nodales a lo largo de la trayectoria, donde parece que el medio vibra en segmentos.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 3

### OBJETIVO:

Identificar cómo influye la frecuencia y la variación de ésta en la velocidad de propagación de una onda, reconociendo cada uno de sus elementos: frecuencia ( $f$ ), longitud de onda ( $\lambda$ ) y periodo ( $T$ ).

### MATERIAL:

- un dispositivo de cuba de ondas
- 1.5 L de agua

Arma el dispositivo según se muestra en la *Figura 9*.

*Aclaración:* La *cuba de ondas* la seguirás utilizando para el desarrollo de los subtemas de reflexión, difracción y refracción.

Es importante que sepas que las propiedades de las ondas planas que estudiarás con la cuba de ondas sólo son aplicables a las ondas superficiales, pues no consideraremos las ondas que se generan en las profundidades de los líquidos.

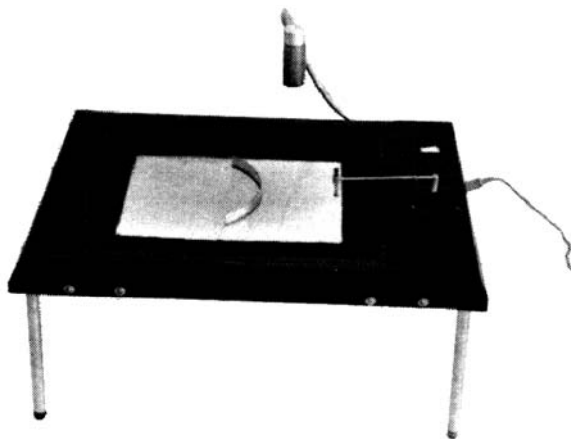


Figura 9.

## PROCEDIMIENTO:

Genera una sucesión de ondas planas a intervalos iguales de tiempo, ya que vas a utilizar un generador de ondas que está accionado mediante un motor y provisto de un regulador de frecuencias.

La sombra de las ondas las puedes observar en una hoja de papel blanca colocada abajo, en la superficie de la mesa, que hace las veces de pantalla. Es recomendable que las luces del laboratorio estén apagadas.

¿Cómo será el patrón de ondas para distintas frecuencias (distintas velocidades del motor)?

---

Observa la configuración de las ondas que se generan para tres frecuencias diferentes.

Ahora pasemos al modelo matemático de las ondas. En términos generales, tenemos que para determinar la velocidad de propagación de la onda debes recordar que:

$$v = \frac{d}{t}, \text{despejando } d = v \cdot t$$

Para el caso del agua, en la sombra de la pantalla puedes determinar la distancia, si conoces cuál es la distancia en un segundo puedes determinar la velocidad a la que se propaga la onda (puedes tomar como referencia una cresta de la onda).

La distancia que recorre una onda en un tiempo igual al periodo  $T$  es lo que se conoce como longitud de onda  $\lambda$ . Por lo tanto:

$$\lambda = v \cdot T$$

y si recuerdas que:  $T = 1/f$

sustituyendo el valor de  $T$ , queda:  $\lambda = v \cdot \frac{1}{f}$

despejando a  $v$ :

$$v = \lambda \cdot f$$

Esta ecuación es útil en toda clase de ondas, se aplica por igual en ondas de luz, sonido de radio, ondas mecánicas en sólidos y líquidos.

La longitud de onda  $\lambda$  la puedes determinar midiendo con una regla graduada en centímetros la longitud que existe entre dos líneas oscuras o claras (cresta o valle).

De la relación  $\lambda = v.T$  se despeja a (v), quedando como:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Lo anterior se aplica para determinar la velocidad con la que se propaga una onda.

Ahora realiza la siguiente experiencia: emplea el generador de ondas y selecciona tres valores de frecuencia f, midiendo  $\lambda$  en centímetros; finalmente calcula en el siguiente cuadro el periodo T y la velocidad de la onda.

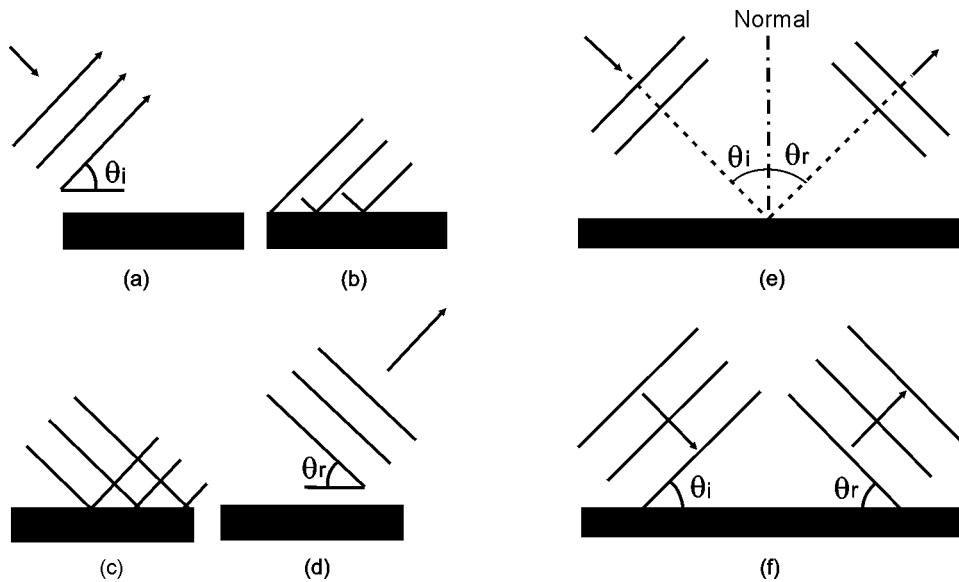
EXPERIENCIA	f $\left( \frac{\# \text{ ondas}}{t \text{ (seg)}} \right)$	$\lambda$ (cm)	$T = \frac{1}{f} \left( \frac{1}{\text{ondas}} \right)$	$v = \frac{\lambda}{T}$ (cm/s)
1				
2				
3				

### 1.1.5 REFLEXIÓN

¿Las ondas en el agua también se reflejan? En la actividad experimental en la que utilizaste la cuba de ondas puedes investigar la reflexión de las ondas mecánicas.

Para la misma frecuencia de generación de ondas, coloca una tabla para que obstruya la transmisión de las ondas. Realiza la actividad para distintas posiciones de la tabla, primero paralela a las ondas y después con diferentes ángulos. Observa y contesta la siguiente pregunta: cuando el ángulo mide 30°, ¿cuánto mide el ángulo de reflexión? Repite la misma medición para 45° y 60°.

Podrás observar que las ondas que inciden en la tabla se *reflejan* (*rebotan*), pero si usas un transportador y mides el ángulo con que inciden y el de reflexión, encontrarás una relación interesante entre ellos dos.



Reflexión de un tren de ondas

Relación del ángulo de incidencia  $\theta_i$  con respecto al ángulo de reflexión  $\theta_r$

Figura 10.

¿Cuál fue la relación que encontraste entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión?, ¿son iguales o diferentes?

---

Cabe aclarar que, en el fenómeno de la **reflexión**, la superficie de choque es el obstáculo que impide el paso de las ondas. La normal es una línea imaginaria perpendicular a la superficie, que sirve de referencia para medir los ángulos incidente y reflejado.



¿Qué dice la ley de la reflexión?

¿Cómo se demuestra la ley de la reflexión?

### 1.1.6 DIFRACCIÓN

¿Será posible observar el fenómeno de difracción de las ondas con la cuba de ondas?

Pon a funcionar el motor y establece una frecuencia de onda. Enseguida coloca un obstáculo paralelo a las ondas incidentes, que tenga una abertura como la que se muestra en la *Figura 9*.

Observa con atención el comportamiento de las ondas que inciden y las que salen por la abertura (también se puede suplir por dos barreras paralelas dispuestas en línea, dejando un espacio entre ellas).

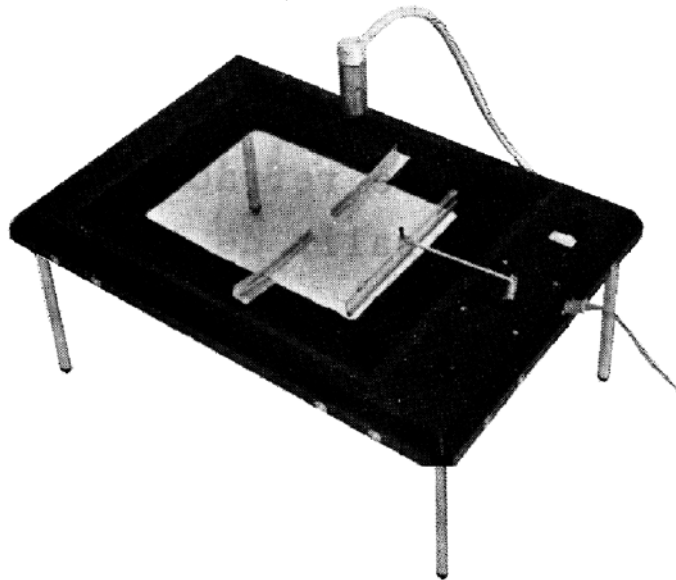


Figura 11.

¿Cómo son las ondas en la parte central, más allá de la barrera?

---

¿Cómo son las ondas en los bordes de las aberturas?

---

Manteniendo constante la abertura, varía la frecuencia y contesta las siguientes preguntas:

¿Qué pasa con la longitud de onda?

---

¿Cómo son en cada caso las ondas generadas pasando los límites de la abertura?

---

¿En qué caso es más notorio el patrón de difracción?

---

Las ondas se difractan intensamente cuando pasan a través de una abertura de tamaño comparable a su longitud, y su difracción es casi nula si la longitud de onda es muy pequeña en comparación con la anchura de la abertura.

Por tanto, podemos concluir que la **difracción** de las ondas se origina cuando una onda encuentra un obstáculo en su camino y lo rodea o lo contornea.

Este fenómeno se aprecia más a medida que son mayores las longitudes de onda y si el tamaño de la abertura que atraviesa la onda es menor.

### 1.1.7 REFRACCIÓN

La **refracción** se presenta cuando un pulso (energía) pasa de un medio a otro diferente. En el caso de las ondas superficiales en agua, la velocidad depende de su profundidad, es decir, aguas de dos profundidades distintas deben considerarse como medios distintos en los que se propagan las ondas.

Cambiando la profundidad en las aguas de la cuba de ondas podrás observar dicho comportamiento. ¿Cómo tener dos medios distintos en la cuba de ondas?

Introduce una lámina de vidrio que ocupe un volumen de la mitad de la altura de la cuba de ondas con lo que queda dividida en dos secciones de distinta profundidad, procurando que la línea divisoria sea paralela a las ondas originales. Cambia sucesivamente la frecuencia y en cada caso observa el comportamiento. Contesta lo siguiente:

¿Se altera la longitud de onda cuando pasa al segundo medio menos profundo?

---

Recuerda medir la longitud de onda cada vez que varíes la frecuencia.

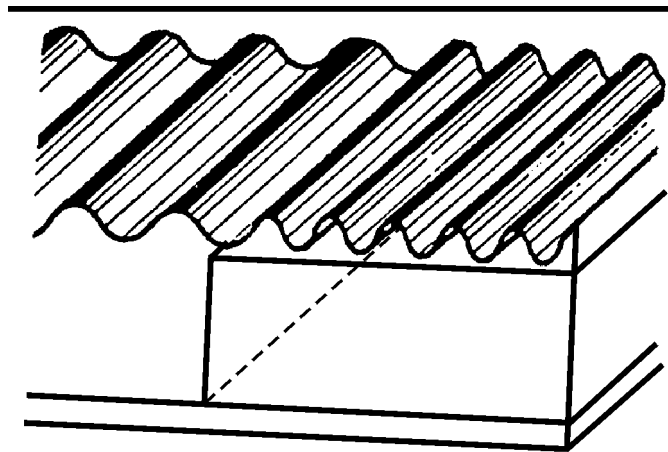


Figura 12.

De acuerdo con los resultados anteriores podemos deducir que:

La longitud de onda  $\lambda$  varía cuando la onda cambia de medio de propagación.

Procede a cambiar la posición de la lámina de vidrio de tal manera que forme un ángulo con respecto a las ondas incidentes.

¿Cómo se comportan las ondas después de incidir en la lámina de vidrio? Mide los ángulos de incidencia y de refracción para dos o tres casos de frecuencias distintas y registra los datos en el cuadro:

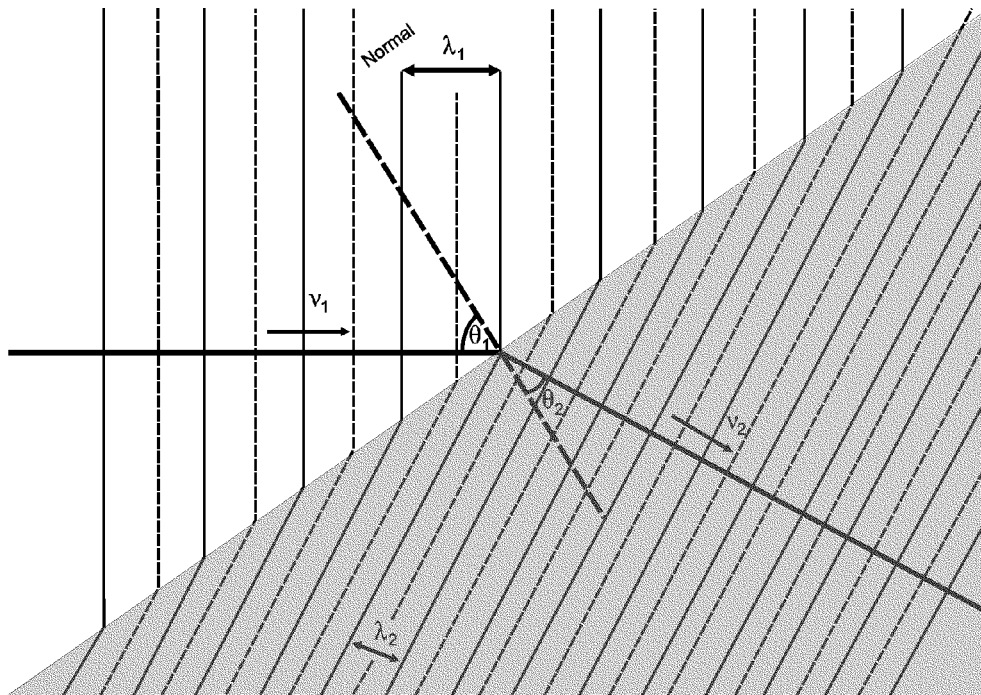


Figura 13.

ÁNGULO DE INCIDENCIA $\theta_1$	ÁNGULO DE REFRACCIÓN $\theta_2$
30°	
45°	
60°	

¿Son iguales o diferentes los ángulos de incidencia y refracción?

---

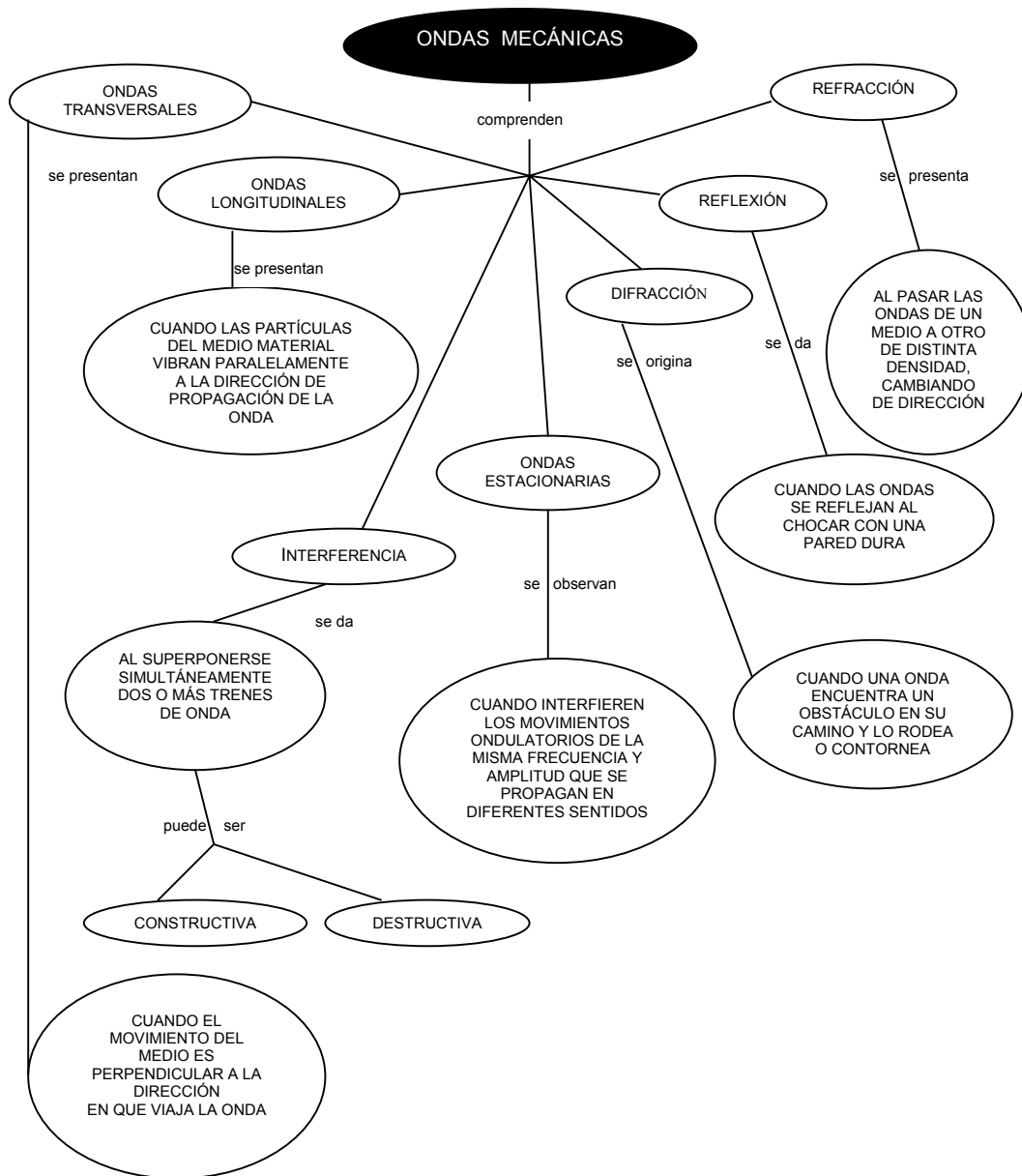
## ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que ejercites tus conocimientos llena el siguiente cuadro, describiendo brevemente las características de las **ondas mecánicas**, y da un ejemplo de cada una de ellas:

CONCEPTO	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLO Y DIBUJO
ONDAS TRANSVERSALES		
ONDAS LONGITUDINALES		
INTERFERENCIA		
INTERFERENCIA CONSTRUCTIVA		
INTERFERENCIA DESTRUCTIVA		
ONDAS ESTACIONARIAS		
REFLEXIÓN		
DIFRACCIÓN		
REFRACCIÓN		

## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

El siguiente esquema te muestra en forma general las características de las ondas mecánicas que viste en este tema.



## 1.2 EL SONIDO

Seguramente te has preguntado qué es el sonido, ya que estamos inmersos en un mundo de ellos. ¿Qué es lo que produce el sonido?, ¿cómo se transmite el sonido?, ¿sabes por qué oyes?

El mundo que nos rodea está lleno de sonidos: el timbre del teléfono, la voz de un amigo, la música en la radio, el claxon de un auto, el llanto de un bebé, la sirena de una ambulancia, el sonido de una campana, el agua en una fuente, entre otros; y gracias a que nuestro oído tiene la capacidad de percibirlos y nuestro cerebro de interpretarlos es que podemos ampliar nuestro conocimiento acerca de los fenómenos que ocurren en la naturaleza.

Es la acústica la parte de la Física que se encarga del estudio del sonido; es decir, estudia la generación, transmisión y recepción de la energía en forma de ondas o vibraciones en la materia.

Después del sentido de la vista, el oído es quizás el que más utilizamos para obtener información del mundo que nos rodea. Sin embargo, a pesar de ser tan importante y tan común para nosotros, siempre tenemos grandes interrogantes acerca de él. ¿Todos los objetos son capaces de producir sonido?, ¿cuál es la diferencia entre el sonido de una flauta y el de una guitarra?, ¿cómo viaja el sonido?

Menciona varios sonidos que te resulten agradables y otros tantos que te resulten desagradables, ¿cuáles son tus razones para preferir a unos con respecto de otros?

### 1.2.1 GENERACIÓN DEL SONIDO

Infla un globo y sosténlo con tus manos de tal manera que permanezca en contacto con tus labios al mismo tiempo que hablas. ¿Cómo te explicas las vibraciones que percibes en tus labios? Ahora, ¿cuál de los siguientes cuerpos crees que produzcan algún sonido al golpearlos?

- Un diapasón.
- Un bloque de mantequilla o de cera.
- Un montón de ropa.
- Una campana o un cascabel.
- Un montón de arena.
- Una tabla de madera.
- Dejar caer un balón en un colchón o en hule espuma.

De los cuerpos anteriores, ¿cuáles produjeron sonido y cuáles no?



¿Por qué hay diferencias tan grandes entre la mantequilla y la madera, o entre el montón de arena y las cuerdas de la guitarra?

Como has visto en tu curso de Química, existen grandes diferencias en la constitución material de la cera y el metal de que están hechas las cuerdas de la guitarra; mientras que la cera es un cuerpo blando y difícil de hacer vibrar, en el dispositivo de cuerdas vibrantes tienes cuerpos tensos. También existen diferencias entre el montón de arena y la campana, entre el hule espuma y la tabla de madera, pues unos materiales amortiguan al sonido y otros no, unos pueden vibrar con cierta fuerza y otros no.

Las experiencias anteriores te mostraron que hay materiales que son muy “malos productores de sonido”, mientras que otros lo producen más fácilmente.

También te diste cuenta de que al rasguear las cuerdas de la guitarra o golpear el diapasón, ambos cuerpos permanecen vibrando mientras se escucha sonido, lo que no sucedió cuando golpeaste el montón de ropa. También cuando hablaste manteniendo tus labios en contacto con el globo percibiste ciertas vibraciones. Entonces podemos concluir que **el sonido está relacionado invariablemente con la vibración del cuerpo que lo produce.**

El cuerpo emisor del sonido (*fente emisora*), debe poseer la característica de vibrar cuando recibe un golpe para que cumpla las propiedades de ser fuente emisora del sonido.

¿Cuál crees que sea la fuente emisora de la voz? Si hablas con distintas fuerzas (intensidades) de voz, tocando con tu mano la garganta, sentirás una mayor vibración en la palma de tu mano cuando hablas fuerte, a diferencia de cuando hablas bajo. La vibración que sentiste fue la vibración de las cuerdas vocales. Por lo tanto, *son las cuerdas vocales la fuente emisora del sonido de la voz.*

### 1.2.2 EL SONIDO COMO COMPRESIÓN Y EXPANSIÓN DE LAS MOLÉCULAS DE AIRE

Realiza la siguiente experiencia: En tu recámara debes tener una ventana abierta, pero cubierta por una cortina. Primero abre la puerta de tu recámara y luego ciérrala; en ambos casos fíjate qué le ocurre a la cortina.

¿Cuál crees que es el motivo por el que se mueve la cortina?

---

Cuando abres la puerta ¿la cortina es empujada hacia fuera de la ventana?

---

Cuándo cierras la puerta ¿la cortina es jalada hacia adentro del cuarto?

---

Cuando abres la puerta, ésta empuja a las moléculas de aire adyacentes, alejándolas de sus posiciones iniciales; estas moléculas golpean a sus vecinas, las que a su vez son impulsadas hacia sus vecinas, y así sucesivamente. *Se ha movido de la puerta a la cortina un pulso de aire comprimido.* Las moléculas de aire primero se alejaron de la puerta, y enseguida, después de haber empujado a sus vecinas, regresaron hacia la puerta.

Lo anterior se muestra por el hecho de que la cortina aletea hacia fuera.

Cuando cierras la puerta, ésta empuja las moléculas de aire hacia fuera de la habitación, lo que produce un área de baja presión detrás de la puerta. Las moléculas vecinas se mueven entonces hacia ella, dejando tras de sí una zona de baja presión, a su vez las que se encuentran más lejos de la puerta, se mueven hacia las regiones enrarecidas, y nuevamente se desplaza por la habitación una perturbación. (Ver *Figura 14*). Esto debido a que la cortina aletea hacia adentro.

Las vibraciones sonoras son un proceso que consiste en **compresiones y descompresiones** de las moléculas de aire que se encuentran a su alrededor, en un movimiento que hace mover a las partículas hacia adelante y hacia atrás, en dirección de la onda que se propaga.

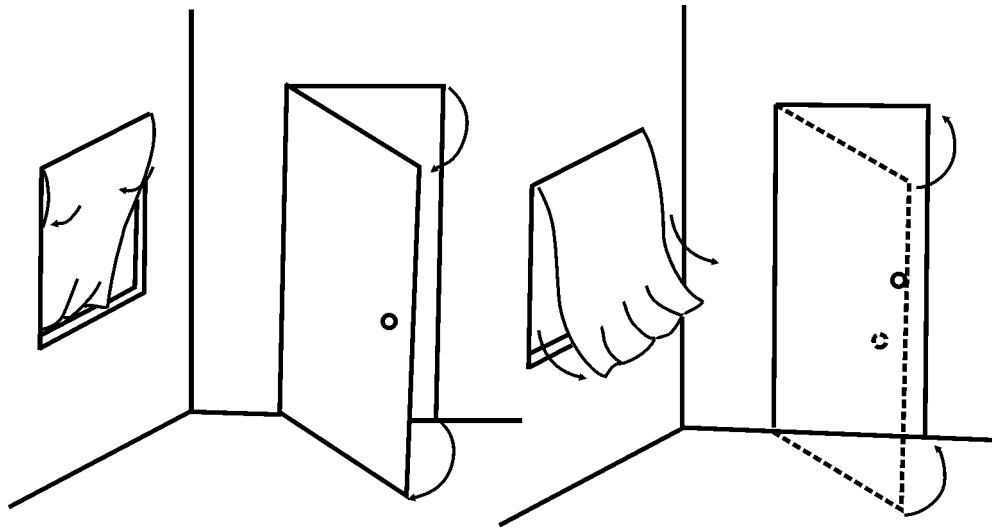


Figura 14.

A medida que las moléculas de un fluido o sólido se desplazan de sus configuraciones normales, surge una fuerza elástica restauradora. (Como la que aparece al estirar de su posición de equilibrio un resorte: *fuerza de tensión*, o el aumento de presión cuando un gas se comprime). La *fuerza elástica restauradora*, acoplada con la inercia del sistema, es la que permite que la materia participe en vibraciones oscilatorias y como consecuencia genere y transmita ondas acústicas.

Cabe aclarar que las partículas del medio (y el medio en su conjunto) no se propagan con la perturbación; lo único que se propaga a través del medio es la energía.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 4

### OBJETIVO:

- Verificar experimentalmente cómo a partir de la expansión y compresión (vibración) de las moléculas de aire, éstas generan el sonido (tono) al contacto con un cuerpo en movimiento.
- Identificar la relación existente entre longitud, frecuencia y tono.

### MATERIAL:

- una regla de 30 cm.

### PROCEDIMIENTO:

Coloca la regla sobre una mesa (ver *Figura 15*), de manera que sobresalga unos 15 cm del borde. Da un golpe al extremo libre y observa cómo empieza a vibrar, es decir, se mueve velozmente en ambos sentidos, produciendo ondas sonoras.

Estas ondas las percibes cuando llegan a tus oídos. En su movimiento para arriba y para abajo, la regla ejerce presión en el aire que la rodea, esto es: *lo comprime*, haciendo que sus partículas se junten. Al ir hacia arriba, la compresión ocurre en la parte superior; al moverse hacia abajo, en la inferior. Entonces deja una zona en la que hay menos aire de lo normal, llamada *zona de expansión o rarefacción*.

¿Cómo será el sonido que emite la regla al vibrar si haces más grande (o más chica) la longitud que sale del borde? Investígalo realizando la actividad con diferentes amplitudes.

Como observaste, las oscilaciones hacia arriba y hacia abajo fueron variando según la longitud de la regla que salía del borde de la mesa, y lo mismo ocurrió con el **tono** que percibiste en cada caso.

En el primer caso, el sonido (**tono**) que escuchaste era grave (cuando la longitud de la regla fue mayor); siendo en el otro caso más agudo (cuando la longitud de la regla fue menor). En el caso en que la amplitud de vibración fue mayor, escuchaste un sonido más intenso, lo contrario ocurre cuando la amplitud es menor.

También cuando la longitud de la regla que sale de la mesa es mayor, hay menos **oscilaciones** (vibraciones) por unidad de tiempo para un mismo golpe, y cuando la longitud de la regla que salía del borde de la mesa fue menor, el número de oscilaciones por unidad de tiempo fue mayor.

El número de oscilaciones por unidad de tiempo recibe el nombre de **frecuencia**, y el **tono** del sonido depende de la frecuencia de oscilación.

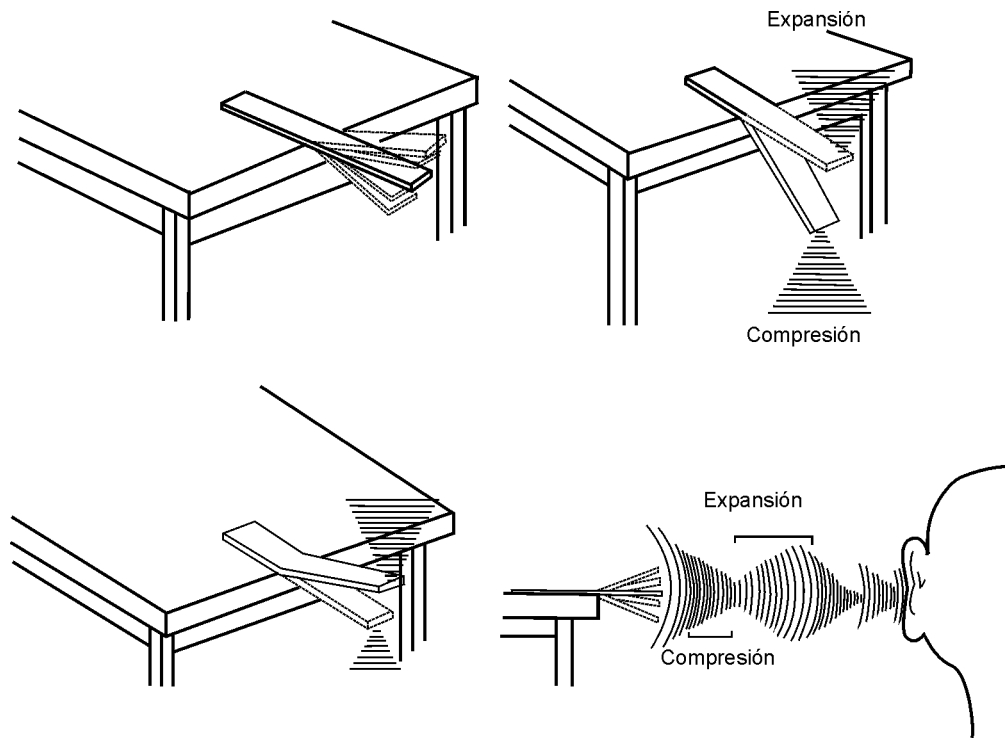


Figura 15.

Entonces, entre más intenso sea el sonido mayores serán las variaciones de presión y cuando el sonido sea más alto o agudo (*tono o altura*), mayor será el número de oscilaciones por unidad de tiempo (*frecuencia*) de la fuente emisora.

### 1.2.3 FRECUENCIA O TONO

Para enriquecer lo anterior, te pedimos que nuevamente produzcas diferentes sonidos haciendo vibrar una regla. La diferencia será que ahora variaremos la longitud de la regla que vibra. Realiza esta experiencia y contesta las siguientes preguntas:

a) ¿Cómo logras que la regla produzca sonidos graves?

---

b) ¿Cómo logras que la regla produzca sonidos más agudos?

---

c) ¿Qué variables están en juego para cada caso?

---

Desde el punto de vista de la Ingeniería, nuestros oídos son una maravilla que nos permite captar sonidos generados por objetos que vibran desde 20 veces por segundo hasta aquéllos que lo hacen a una velocidad del orden de 20 mil veces en un segundo (ciclos por segundo). Cuando pusiste a oscilar la regla variando su longitud, aunque el golpe o impulso que le hayas dado sea exactamente igual, el sonido que escuchaste no es el mismo, esto se debe a que las oscilaciones o vibraciones que se producen en cada caso son diferentes. Esta característica del sonido recibe el nombre de frecuencia, y las unidades más comunes en las que se mide son ciclos por segundo (también conocidos como Hertz, en honor a Heinrich Hertz, quien produjo por primera vez las ondas electromagnéticas, y cuya abreviatura es Hz). Esta unidad es muy importante, porque además de emplearse para medir la frecuencia del sonido es utilizada para medir la frecuencia de otras perturbaciones, tales como la luz, las ondas de radio y televisión, el radar, las microondas y los rayos X, entre otros.

La **frecuencia** es el número de vibraciones que realiza un cuerpo en la unidad de tiempo. Se acostumbra representarla con  $\nu$ , o también con  $f$ .

Al poner a vibrar una regla ¿cómo logras mayor número de ciclos por segundo? Cuando la regla vibra a mayor frecuencia ¿qué cambios percibes en el sonido que escuchas?

Para familiarizarnos más con este concepto, utilizaremos tu equipo de sonido, el cual seguramente cuenta con un ecualizador. ¿Sabes cuál es la función del ecualizador?

Como tú sabes, un ecualizador tiene varios controles deslizables, si observas con cuidado encontrarás que a cada uno de estos controles le corresponde un número, después del cual aparecen las letras Hz, que como vimos anteriormente es la abreviatura de las unidades en que se mide la frecuencia, así como, el dB (decibel) y el KHz (KiloHertz).

Tomando como referencia al ecualizador que aparece en la siguiente figura, observamos que cuenta con cinco controles deslizables; decimos que se trata de un ecualizador de cinco bandas.

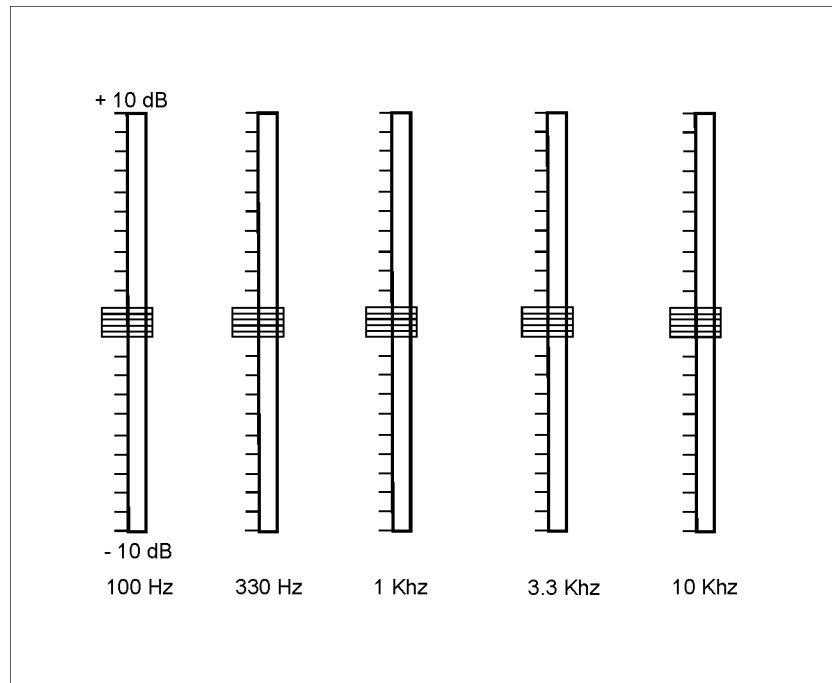


Figura 16.

Asociado al primer control se encuentra el valor de 100 Hz., esto significa que con este control tú puedes aumentar o disminuir la intensidad (subir o bajar el volumen) de los sonidos cuya frecuencia se encuentra cercana a los 100 Hz.; en los demás sonidos, es decir, aquéllos cuya frecuencia no es cercana a este valor, la intensidad permanece constante. Lo mismo sucede con el siguiente control, en el que se aprecia el valor de 330 Hz., al accionar este control, aumentas o disminuyes la intensidad de los sonidos cuya frecuencia se encuentra cercana a los 330 Hz., y así sucesivamente con los demás controles, los que se encuentran relacionados con las frecuencias cercanas a 1 KHz., 3.3 KHz. y 10 KHz.

La función del ecualizador se aprovecha para aumentar o disminuir la intensidad o volumen de los sonidos correspondientes a un determinado intervalo de frecuencias, sin afectar a los sonidos cuyas frecuencias se encuentran fuera de este intervalo, de esta manera puedes darle mayor énfasis a la voz de un cantante, o bien, reducir el siseo que produce la aguja al contacto con un disco convencional.

A continuación se muestra una Tabla que puede servirte como guía para que utilices adecuadamente el ecualizador de tu grabadora o equipo de sonido.

100 Hz	Refuerza o acorta los graves profundos
330 Hz	Ajusta la potencia, la espaciosidad y la calidez del sonido
1 KHz	Proporciona mayor intensidad a los sonidos
3 KHz	Refuerza un sonido más vivo o refuerza la estridencia

En el caso anterior, también podemos observar que este ecualizador tiene la característica de subir o de bajar hasta diez veces la intensidad de los sonidos de determinado intervalo de frecuencias (+10 dB ó -10 dB).

#### 1.2.4 VOLUMEN, INTENSIDAD O AMPLITUD

Hasta este momento has aprendido cómo se producen y qué son los sonidos, sin embargo, todos sabemos que existe una gran variedad de sonidos. ¿Qué es lo que hace diferente el sonido de una guitarra del de un piano?, ¿por qué es diferente la voz de una mujer de la de un hombre?, ¿cuáles son las diferentes características que nos permiten distinguir un sonido de otro?, ¿qué diferencia hay entre un sonido débil y otro fuerte?, ¿cómo se producen los sonidos graves y los agudos?

A una superficie metálica, que puede ser un bote o una lámina, golpéala con un objeto rígido, por ejemplo con una moneda, mientras colocas tu otra mano en el extremo opuesto. Si golpeas al bote con diferente fuerza ¿qué diferencia existe en el volumen de los sonidos producidos?, ¿son siempre de la misma intensidad?

Con una cuerda de guitarra produce sonidos de diferente volumen o intensidad, al mismo tiempo que observas con mucha atención si existe alguna diferencia en la amplitud de la vibración de la cuerda cuando cambia la intensidad del sonido que emite.

Cuando escuchas tu equipo de sonido, te has preguntado alguna vez ¿de dónde sale la música? Seguramente responderás que de las bocinas. Enciende tu equipo de sonido y coloca una mano frente a alguna de sus bocinas, ¿qué sientes?, ¿qué diferencias percibes cuando aumentas el volumen?



En realidad y en términos muy sencillos, las bocinas de un equipo de sonido, una grabadora, una radio, etcétera; tienen una membrana delgada y un electroimán, siendo entonces que cuando subes el **volumen** la corriente eléctrica que pasa por el electroimán aumenta y la fuerza que ejerce éste sobre la membrana también aumenta, por lo tanto, sus oscilaciones son más grandes, es decir, de mayor **amplitud**, y en consecuencia las *expansiones* y *rarefacciones* de las moléculas de aire por donde viaja la onda sonora son mayores, y su **intensidad** también.

Lo que comúnmente llamamos *volumen*, en Física puede referirse como ***intensidad o amplitud***.

El intervalo de intensidades que nuestro oído puede captar es realmente grande; podemos escuchar el sonido de un mosquito, o bien, sonidos que son un billón (1 000 000 000 000) de veces más intensos, como es el ruido producido por un cañón o por un avión supersónico.

Te parecerá increíble que el intervalo entre el sonido más bajo y el más alto sea de un billón, pues un número tan grande es difícil de comprender. La energía en el sonido es extremadamente pequeña, comparada con la energía empleada en los rayos X, las señales de radio o televisión, o bien la energía de la luz visible. Para hacerte una idea de las diferencias de energía involucradas, considera lo siguiente: ¿sabías que se necesitarían 10 000 000 de personas hablando al mismo tiempo para producir energía equivalente a la necesaria para encender un foco de uso común?

¿Cómo le harías si tu hermana te pide que le subas el volumen a la radio hasta el doble? Intentalo y verás que no es fácil, ¿por qué?, algunas razones son las siguientes: Los experimentos han demostrado que los efectos psicológicos que provoca el volumen en los seres humanos son muy complicados y no dependen solamente de la intensidad del sonido o de la energía que transporta, sino que también de otras características que existen en ellos. También es importante señalar que las características del oído cambian con la edad y es por esta razón que los sonidos intensos causan molestias a las personas mayores.

*La intensidad de un sonido se puede medir en dos tipos de unidades, en watts por metro cuadrado ( $w/m^2$ ), o bien, en una unidad llamada decibeles (dB).*

Primeramente hablaremos de los *watts sobre metro cuadrado* ( $w/m^2$ ), es decir, la relación entre unidades de potencia (watts) y unidades de superficie ( $m^2$ ), para esta unidad las intensidades audibles van desde  $10^{-12}$  a  $10^1$   $w/m^2$ .

Ahora hablaremos de la segunda unidad en la que se mide la intensidad de un sonido, esta unidad es el *decibel* (un decibel es la décima parte de un Bell). El nombre de esta unidad se adoptó en reconocimiento al inventor del teléfono, el norteamericano Alexander Graham Bell. El uso de los decibeles está relacionado a una escala logarítmica que nos permite comprimir el gran intervalo de valores de la intensidad del sonido que nuestro oído es capaz de captar.

Para explicarte un poco más lo anterior, te diremos que cuando un sonido aumenta un 10 dB, su intensidad aumenta 10 veces; si el sonido aumenta 20 dB su intensidad aumenta 100 veces; para un aumento de 30 dB significa que su intensidad aumentó 1000 veces, y así sucesivamente; por lo tanto, un sonido que aumenta su intensidad 120 dB, significa que su energía aumentó 1 000 000 000 000 (un billón) de veces.

A continuación te presentamos una Tabla en la que se muestran los valores de las intensidades de diferentes sonidos, medidas en decibeles.

**TABLA DE SONIDOS Y NIVELES DE RUIDO COMUNES**

FUENTE DE SONIDO	NIVEL DE RUIDO (dB)
Avión a reacción a 30 m de distancia	140
Sirena antiaérea	125
Música disco amplificada	115
Máquina remachadora	95
Tráfico en una calle de mucha circulación	70
Conversación en el hogar	65
Radio en el hogar a bajo volumen	40
Murmullos al hablar	20
Susurro de las hojas	10
Umbral de audición	0

En tus cursos de Física I y II aprendiste que la energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma; y que la energía total de un sistema cerrado siempre se conserva. ¿Qué pasa con la energía que se transmite en el sonido? ¿Por qué después de algún tiempo el sonido desaparece? ¿A dónde se va la energía del sonido? A medida que nos alejamos de la fuente sonora disminuye la intensidad de un sonido, debido a varios factores, uno de ellos es que *la energía que transmite el sonido se disipa en la atmósfera en forma de calor*.

Otro factor es que *la intensidad del sonido disminuye en proporción inversa con el cuadrado de la distancia entre la fuente sonora y el receptor*.

Como puede apreciarse en la siguiente figura, *cuando se genera un sonido éste se propaga de manera uniforme en todas direcciones*, si analizamos una parte del sonido emitido vemos que a una distancia de un metro el sonido que se propaga atraviesa una unidad de área, cuando la distancia aumenta a dos metros el área correspondiente aumenta a cuatro unidades, si la distancia aumenta tres metros el área involucrada será de nueve unidades, y así sucesivamente.

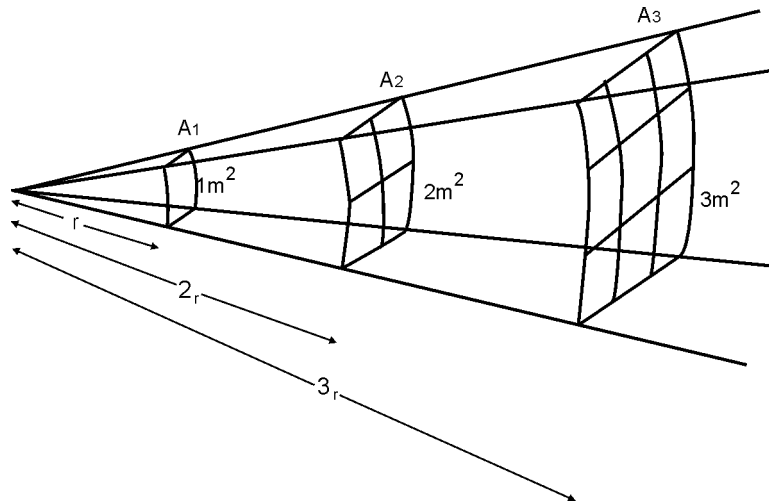


Figura 17.

### 1.2.5 TRANSMISIÓN DEL SONIDO

Con las experiencias anteriores aprendiste que al sonido lo generan los cuerpos cuando vibran, naturalmente que también descubriste que esto sólo es posible bajo ciertas condiciones, ya que cuando dejaste caer el balón sobre el hule espuma, sus moléculas no fueron capaces de transmitir esa vibración a las moléculas de aire, y *para que el **sonido** se transmita es necesario que la fuente emisora sea capaz de transmitir un mínimo de energía para así iniciarse la propagación de la perturbación.*

¿Podrá transmitirse el sonido en el vacío?

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 5

### OBJETIVO:

Comprobar experimentalmente la presencia del aire como un medio necesario para la generación y transmisión del sonido.

### MATERIAL:

- campana de vidrio al vacío.
- Timbre
- interruptor
- foco con base
- compresora
- cables para conexiones
- manguera

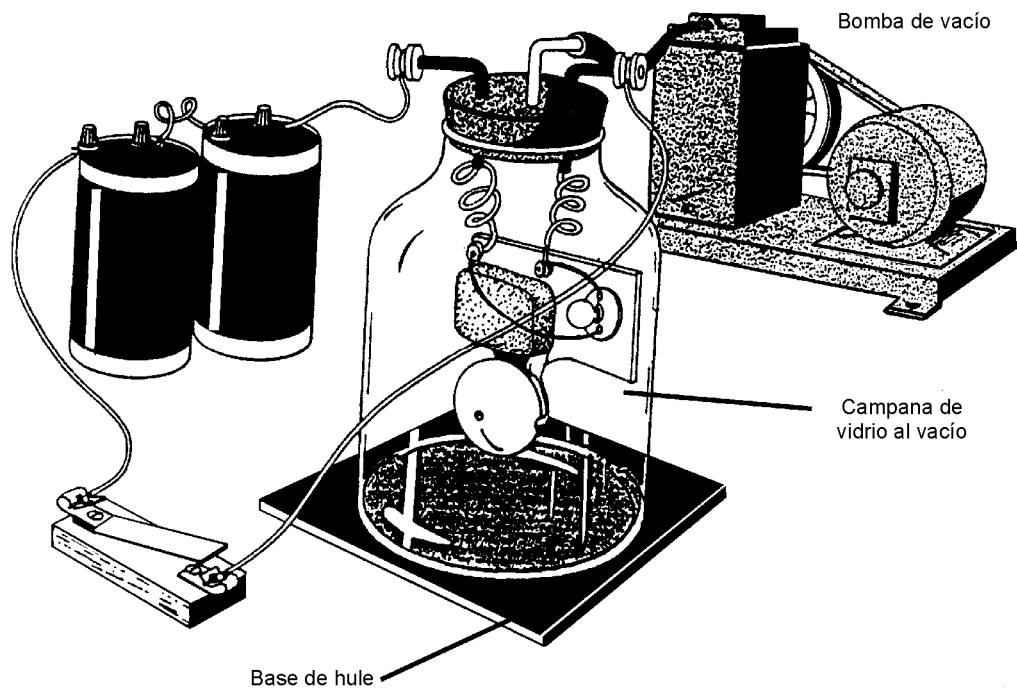


Figura 18.

**PROCEDIMIENTO:**

Enseguida conecta el timbre y el foco, como se muestra en la figura anterior, de manera que al cerrar el interruptor se accionen de manera simultánea.

Ahora, anota lo observado:

---

---

Coloca la campana de vidrio sobre su base y nuevamente acciona el interruptor.

¿Percibes algún cambio en el nivel de intensidad del sonido?.

Ya sea que tu respuesta sea afirmativa o no, explica el porqué:

---

---

¿Podemos considerar que esta actividad nos permite responder a la interrogante acerca de la transmisión del sonido en el vacío?

---

Pon a funcionar la compresora, para extraer el aire contenido dentro de la campana, al mismo tiempo acciona el interruptor y manténlo así durante todo el proceso.

Anota lo que sucede a medida que el aire se extrae:

---

---

Explica detalladamente a qué se deben los cambios que escuchaste en la intensidad del sonido:

---

---

---

La conclusión que podemos obtener de este experimento es que *mientras la luz sí se puede transmitir en el vacío, no es así para el sonido*; es decir, el sonido no se transmite en el vacío.

#### **a) Transmisión del sonido en líquidos y sólidos**

Cuando te sumerges en una alberca, ¿puedes escuchar las voces de las personas que se encuentran alrededor de la misma o sólo percibes silencio?, ¿puedes escuchar el golpeteo que otras personas hacen en el agua con las manos o los pies? Si no has tenido la oportunidad de hacerlo, en tu casa puedes sumergir la cabeza en una tina, cubeta grande o pileta, házlo y comenta con tus compañeros si lograste escuchar algún sonido dentro del agua.

Con base en tu experiencia, podemos afirmar que *el sonido puede transmitirse a través de un medio líquido*.

Coloca tu oído sobre la superficie de la mesa y golpéala suavemente, procurando que los golpes sean siempre con la misma intensidad, ahora sin dejar de golpear, separa tu oído de la superficie de la mesa y responde:

¿En cuál de los dos casos escuchas al sonido con mayor intensidad?

---

Repite la experiencia anterior utilizando otros materiales, un tubo de cobre o de cualquier otro material, la estructura de una ventana, un palo de escoba; en todos los casos recuerda que los sonidos que generes deberán ser de poca intensidad, ya que un sonido muy intenso podría dañar tu oído.

Estas sencillas actividades ejemplifican *la transmisión del sonido en diferentes medios*.

#### **b) Velocidad de propagación**

Cuando arrojas una piedra a un charco o a un estanque, la perturbación que se origina forma círculos concéntricos que se desplazan hasta llegar a la orilla. Desde el momento en que la piedra toca la superficie del agua, hasta que la perturbación alcanza la orilla, transcurre un cierto intervalo de tiempo, esto se debe a que *la perturbación se desplaza a una determinada velocidad*. ¿Piensas que sucede algo similar con el sonido?, es decir, cuando se produce un sonido ¿se desplaza instantáneamente o tiene una velocidad finita de desplazamiento?

Cuando en la escuela dejas caer una moneda sobre la mesa o te habla un amigo, ¿el sonido producido requiere de un cierto intervalo de tiempo para llegar a tus oídos o éste se transmite instantáneamente?

Todos hemos comprobado que en una noche de lluvia el sonido originado por los rayos llega a nosotros después de que éstos son observados, es decir, primero los vemos y después los oímos. No hace falta ser muy observador para descubrir que cuanto más lejos ocurre el rayo, más tiempo tarda en escucharse, y cuando las descargas ocurren muy cerca, el destello luminoso y el sonido son prácticamente simultáneos. Si nosotros conocemos exactamente la distancia a la que ocurre un rayo y medimos el tiempo que tardamos en escuchar el trueno, entonces podremos fácilmente encontrar la velocidad de propagación del sonido. En realidad no es fácil determinar con precisión la distancia a la que ocurre un rayo, ni tampoco es posible producir rayos en el momento en que nosotros así lo determinemos, por tales razones se idearon otros procedimientos más prácticos que nos permiten calcular la velocidad del sonido.

Algunas de las primeras mediciones de la velocidad del sonido se basaron en medir el tiempo que tardaba en llegar a un observador el sonido del disparo de un cañón situado a una distancia conocida.

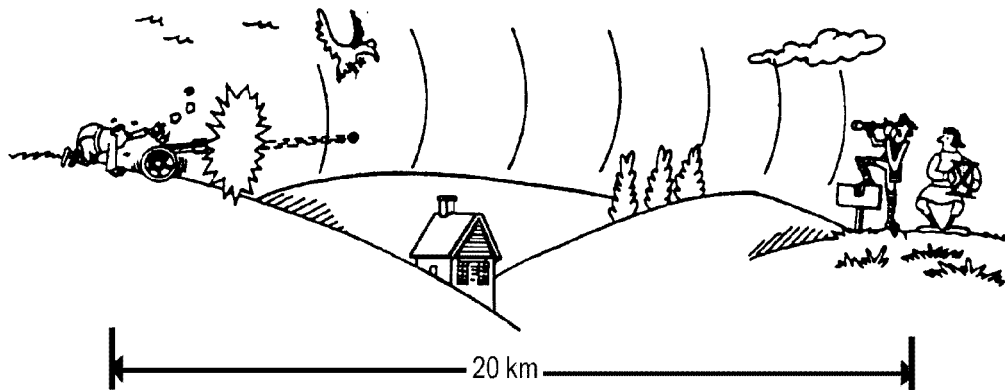


Figura 19.

La expresión matemática que nos permite calcular la velocidad, cuando se trata de un movimiento rectilíneo uniforme (que como recordarás en tu curso de Física I es aquél en que el cuerpo se desplaza a velocidad constante) es la siguiente:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \text{ ( m/s )}$$

Aplicando lo anterior al fenómeno del sonido, encontramos que la velocidad de éste en el aire es de 340 m/s aproximadamente. Aunque como el movimiento de las moléculas forman zonas de mayor y de menor densidad, la rapidez de propagación del sonido dependerá de la densidad del medio (  $\rho$  ) y del módulo de elasticidad (K).

Y entonces:

$$V = \left( \frac{K}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{ó} \quad V = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

### c) Variación de la velocidad del sonido con el medio y con la temperatura

Una vez que la velocidad del sonido en el aire fue determinada, surgen varias interrogantes: ¿A qué velocidad viajan las ondas sonoras en otros medios? La velocidad del sonido en un medio determinado ¿siempre es la misma? o ¿cambia con base en otros factores?, de ser así, ¿con base en qué?

En tu curso de Física II, aprendiste que cuando le proporcionas energía en forma de calor a un cuerpo, éste aumenta su energía interna, provocando que las moléculas que lo constituyen se muevan con mayor rapidez. También aprendiste que el parámetro con el que se mide el incremento de la energía interna de un sistema es su temperatura, esto seguramente ya te inquietó y condujo a que te hicieras un planteamiento similar a éste:

¿La temperatura del medio influirá en la velocidad de propagación del sonido?

Cuando la temperatura del aire baja a 0 °C, que es la temperatura de congelación del agua a la presión de una atmósfera, el sonido viaja a una velocidad de 331.31 m/s; si la temperatura a la cual se determina la velocidad del sonido es de 100 °C, que es la temperatura de ebullición del agua, la velocidad aumenta a 385.87 m/s.

El agua a 20 °C transmite el sonido con una rapidez cuatro veces mayor que el aire a la misma temperatura, es decir, 1479 m/s. Por cada grado centígrado que la temperatura del aire se eleva por encima de los cero grados, la rapidez del sonido se incrementa en 0.6 m/s.



La temperatura del medio transmisor repercute en la velocidad del sonido, ya que si el medio es calentado, las moléculas tienen mayor movimiento y consecuentemente se aumenta la velocidad del sonido; mientras que, si la temperatura disminuye, las moléculas se mueven más lentamente, reduciéndose la velocidad a la que se propaga el sonido.

*La velocidad del sonido también depende de otras circunstancias, como la velocidad del viento y la humedad atmosférica, entre otras.*

*El vapor de agua incrementa ligeramente la velocidad del sonido. También en un día frío, o durante la noche, cuando la capa de aire cercana a la superficie de la Tierra es más fría que el aire situado encima, la velocidad del sonido se reduce en las proximidades de la Tierra; lo contrario ocurre en un día caluroso.*

*La velocidad del sonido no sólo depende de la temperatura, sino también de las propiedades intrínsecas del medio. A continuación se muestra una Tabla con la velocidad del sonido en diferentes medios y a determinada temperatura.*

#### VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO

MEDIO	TEMPERATURA (°C)	RAPIDEZ	
		m/s	pies/s
Aire	0	331.3	1080
Hidrógeno	0	1286	4220
Oxígeno	0	317.2	1041
Agua	15	1450	4760
Plomo	20	1230	4030
Aluminio	20	5100	16700
Cobre	20	3560	11700
Hierro	20	5130	16800
Valores Extremos:			
Granito	0	6000	19700
Hule vulcanizado	0	54	177

Por tus experiencias pudiste observar que hay *medios* que no transmiten el sonido y concluiste que existe “algo” que permite que el sonido se transmita. Ese “algo” es el *medio transmisor* del sonido, sin el cual no es posible que pueda llegar a tus oídos. Y estarás de acuerdo en que no todos los medios físicos son buenos transmisores del sonido. *Además se requieren ciertas condiciones del medio que rodea a la fuente emisora para que el sonido pueda transmitirse; y es que una vez que la fuente emisora vibra con el mínimo de energía necesaria para que se genere el sonido, dicha vibración debe a su vez poseer un mínimo de energía para que la transmita a las moléculas contiguas y pueda así propagarse la perturbación.*

El aire es una mezcla de gases y partículas sólidas, es decir, es un medio material, por lo tanto el sonido no se transmite en el vacío, concluyendo pues que *el medio material es otro factor importante para la transmisión del sonido*.

Hasta aquí ya aprendiste que existe una fuente sonora y un medio transmisor, pero ¿qué pasaría si no existiera la fuente receptora?, es decir, tus oídos.

¿Crees que exista el sonido o que tenga sentido hablar de él cuando no existe un aparato receptor (fuente receptora) o el sentido del oído?

*El proceso es el siguiente:*



Reflexiona en lo siguiente: *Manuel, tu compañero del plantel, afirma que cuando alguno de los tres pasos del proceso falta ya no tiene sentido hablar del sonido. Gerardo, su compañero de equipo, niega la afirmación. ¿Quién crees que tiene la razón?*

### 1.2.6 PROPIEDADES DEL SONIDO

El sonido tiene las propiedades que poseen las ondas mecánicas; es decir, que en el proceso del sonido se realizan los siguientes fenómenos:

**Reflexión**  
**Difracción**  
**Refracción**  
**Interferencia**

#### a) Reflexión

¿Has tenido la experiencia de escuchar la repetición de tu voz cuando hablas?

---

¿Por qué sucede lo anterior?

---

---

*Lo anterior ocurre porque el sonido tiene la característica de, bajo ciertas condiciones, **reflejarse**.*

Realiza una encuesta de las condiciones que deben de cumplir los lugares que tienen la propiedad de reflejar el sonido.

Para adentrarnos en este fenómeno, realiza la siguiente actividad: con un reloj de cuerda (no electrónico) y un par de platos hondos colocados como se muestra en la siguiente figura, varía su distancia e inclinación hasta que escuches el *tic-tac* del reloj; para obtener mejores resultados escoge un lugar donde no haya mucho ruido.

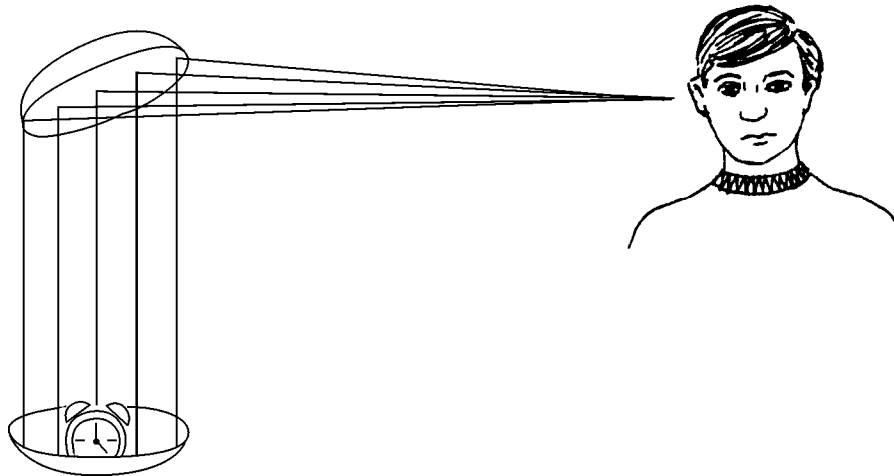


Figura 20.

¿A qué se debe que puedas escuchar el sonido del reloj? ¿Por qué al quitar los platos el sonido desaparece?

*Cuando se genera un sonido éste se propaga en todas direcciones. Si en su camino las ondas sonoras encuentran un obstáculo entonces se reflejan, es decir, chocan y cambian de dirección; por esta razón, en ciertos casos, cuando una persona escucha la radio desde otra habitación las ondas sonoras provenientes de la bocina de la radio chocan en varias ocasiones y modifican su trayectoria hasta que finalmente llegan a su oído.*

Cuando las ondas sonoras chocan con cuerpos irregulares rebotan en diferentes direcciones, si la superficie que encuentran en su camino es lisa y uniforme, entonces el sonido es reflejado en una dirección que podemos determinar, esto es lo que sucedió cuando colocamos el reloj y los platos hondos. ¿Alguna vez has escuchado el eco en alguna habitación o espacio abierto?

¿Sabes qué es el eco? Relata brevemente algunas experiencias que hayas tenido con el eco, mencionando cómo y dónde se produjo.

Como sabes, *para que se produzca el eco es necesario que se conjuguen varias circunstancias*, una de ellas es que las ondas sonoras encuentren un obstáculo en su camino y que sean *reflejadas* hacia el punto en que fueron originadas, una segunda condición es que la distancia que recorren en su camino, de ida y vuelta, sea tal que el *tiempo* empleado le permita a nuestro oído diferenciar los sonidos.

El eco no puede ser clasificado como algo conveniente o inconveniente, ya que en ciertas ocasiones es mejor minimizarlo y en otros casos acentuarlo; por ejemplo, tratándose de un concierto, los ecos no son deseados porque causan una impresión desagradable, por esta razón, en los lugares donde se requiere una buena audición (sala de conciertos, teatros, etcétera), se toman varias medidas para reducir este efecto.

De las aplicaciones más conocidas del eco tenemos al sonar, este dispositivo es utilizado en los barcos para detectar objetos bajo la superficie del agua. Durante la Segunda Guerra Mundial los barcos emitían ondas sonoras para detectar la presencia de submarinos, ya que cuando las ondas encontraban algún objeto (submarino) en su camino se reflejaban y regresaban al punto de partida, conociendo la propagación de las ondas y el tiempo que empleaban para realizar el recorrido se podía calcular la distancia a la que se encontraba el submarino. El sonar no tiene solamente aplicaciones bélicas, también con su ayuda los barcos pesqueros localizan los bancos de peces, haciendo más productiva su actividad; también es utilizado en la realización de cirugías oculares, facilitando la localización de cuerpos extraños.

## **b) Difracción**

¿Te has dado cuenta que muchas veces cuando te acercas al cruce de dos calles escuchas el claxon de un carro que se aproxima por una de ellas sin que lo veas?

El motivo por el que tus oídos pueden percibir los sonidos en este caso se debe a la propiedad que tienen todas las ondas de difractarse.

La **difracción** es la propiedad que posee una onda de rodear un obstáculo al ser interrumpida su propagación parcialmente por él.

Un caso de este fenómeno es cuando escuchamos a otras personas que se encuentran atrás de un muro, sus voces, o sea las ondas sonoras emitidas por ellas, en virtud de la difracción rodean el obstáculo y llegan a nuestro oído.

Los sonidos graves o bajos al tener una mayor longitud de onda se difractan mejor, por eso a grandes distancias se pierden los sonidos agudos mientras que podemos apreciar los graves.

### c) Refracción

Otra propiedad del sonido es la refracción. Pero ¿qué es la refracción del sonido? ¿Qué propiedades deben cumplirse para hablar de la refracción del sonido?

Retomemos lo ya analizado para el caso de la velocidad de transmisión del sonido en medios como la atmósfera, en la que a medida que se asciende con respecto a la superficie de la Tierra, la presión y la temperatura disminuyen; lo mismo sucede con la densidad (atmósfera estándar). Por lo anterior, podemos hablar de dos medios diferentes.

Como la superficie de la Tierra, en un día normal, se calienta por la energía que recibe del Sol, y a su vez, transmite energía a la parte más baja de la atmósfera (tropósfera), que es la más densa; entonces tenemos dos medios diferentes: Uno más denso (mayor número de moléculas por unidad de volumen), que es la parte inferior de la tropósfera, y que además tiene mayor presión (78 KPa en la Cd. de México); el otro medio es la parte superior de la tropósfera, que es menos densa, tiene menor presión y menor temperatura.

Aunque no podemos poner una pared física que separe en dos o tres partes con propiedades diferentes a la tropósfera, sí podemos escoger dos puntos, A y B, que se encuentren a una distancia vertical significativa como para encontrar diferencias en las propiedades del medio donde están situados (ver *Figura 21*).

Ahora pongamos al punto A en la parte más baja y al punto B en la parte superior de la tropósfera.

Para un sonido que se genera con cierta energía, ¿cómo será su velocidad de transmisión en los alrededores y en el punto A?, ¿y respecto al punto B?

La señora Luisa, mamá de Antonio, que está escuchando la lectura que en unión con sus compañeros hace del fascículo, muy emocionada contesta que el sonido lleva menor velocidad en el punto B. ¿Tú qué responderías y por qué?

Pedro retoma la discusión y, moviendo su mano alrededor de su taza con café caliente, dice que el hecho de que las capas de la atmósfera que están en contacto con la superficie terrestre posean mayor energía, genera en ellas una desviación ascendente, y que todo sonido generado en tal medio se desviará “como si se quebrara”, alejándose del suelo.

¿Qué pasa en la madrugada cuando ya la capa baja de la tropósfera ha cedido su energía a la tropósfera superior? ¿En qué dirección se desviará el sonido en este caso?

A tu maestro de Física le interesa que tu respuesta la conozcan todos tus compañeros.

Cuando el sonido en su transmisión pasa de un medio a otro, experimenta una desviación en su trayectoria que es causada por las propiedades distintas de los medios; entonces decimos que el **sonido se refracta**.

Aunque, rigurosamente hablando, en el proceso están involucrados cambios a nivel microfísico, en nuestro análisis nos limitaremos al nivel de mesoescala.

*Cuando las ondas sonoras pasan de un medio que tiene ciertas propiedades físicas a otro medio que posee propiedades físicas diferentes, experimentando un cambio en la dirección de su trayectoria, en donde la velocidad de propagación del primer medio es diferente de la velocidad del segundo medio, entonces **el sonido se refracta**.*

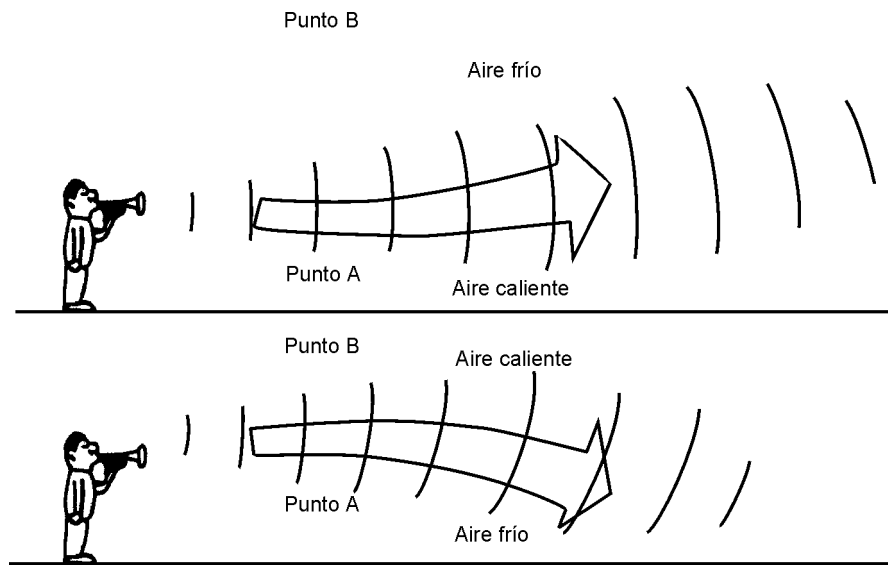


Figura 21. Los frentes de onda del sonido se desvían en el aire, que tiene temperaturas desiguales.

La refracción del sonido es particularmente observable en el agua de los océanos, donde la salinidad y la presencia de capas frías y calientes de agua producen refracción de las ondas sonoras (ver *Figura 22*).

Los submarinos por eso se sumergen a profundidades del mar donde la temperatura es muy baja y la densidad alta, para que el ruido proveniente de las hélices y maquinaria sea difícilmente detectado por su enemigo.

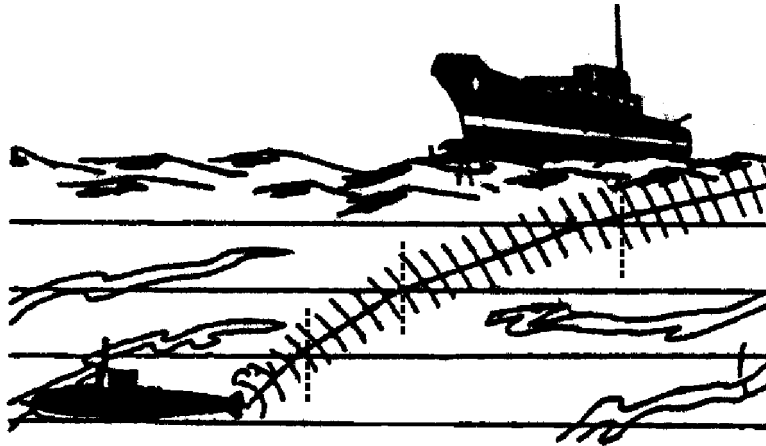


Figura 22. Las ondas sonoras se refractan.

Para finalizar, te proponemos que reflexiones en lo siguiente: ¿Habrá objetos conocidos que viajan a velocidades parecidas a las del sonido? ¿Has oído hablar de los aviones supersónicos? Son aviones que vuelan a velocidades mayores que la velocidad del sonido en el aire.

Los ingenieros han establecido una unidad de medida para los aviones que viajan a velocidades iguales o mayores que la velocidad del sonido. Dicha unidad es el *mach*. Un *mach* es la rapidez de desplazamiento de un avión con velocidad igual a la del sonido en el aire.

Por ejemplo, si el avión se desplaza al doble de la velocidad del sonido el número de mach es igual a 2; si es el triple, entonces su velocidad es de 3 mach, y así sucesivamente.

#### d) Interferencia

*Si dos fuentes que tienen la misma frecuencia suenan al mismo tiempo, el sonido que se escucha es alternativamente fuerte y débil.* La vibración dolorosa que se escucha cuando se tocan dos silbatos desentonados es un resultado de este fenómeno, conocido como *pulsaciones*, y se origina por la **interferencia** de dos ondas.

## ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Aplica lo que has aprendido hasta el momento al resolver las siguientes actividades en tu cuaderno.

1. Completa el siguiente cuadro, describiendo brevemente las características del sonido:

DEFINICIÓN DEL SONIDO	
DEFINICIÓN DE LA ACÚSTICA	
¿CÓMO SE TRANSMITE EL SONIDO EN EL AIRE?	
DEFINE QUÉ ES EL TONO DEL SONIDO	
DEFINE QUÉ ES LA INTENSIDAD DEL SONIDO	
FACTORES QUE ALTERAN LA VELOCIDAD DEL SONIDO	
VELOCIDAD DEL SONIDO EN: AIRE, AGUA, ALUMINIO	

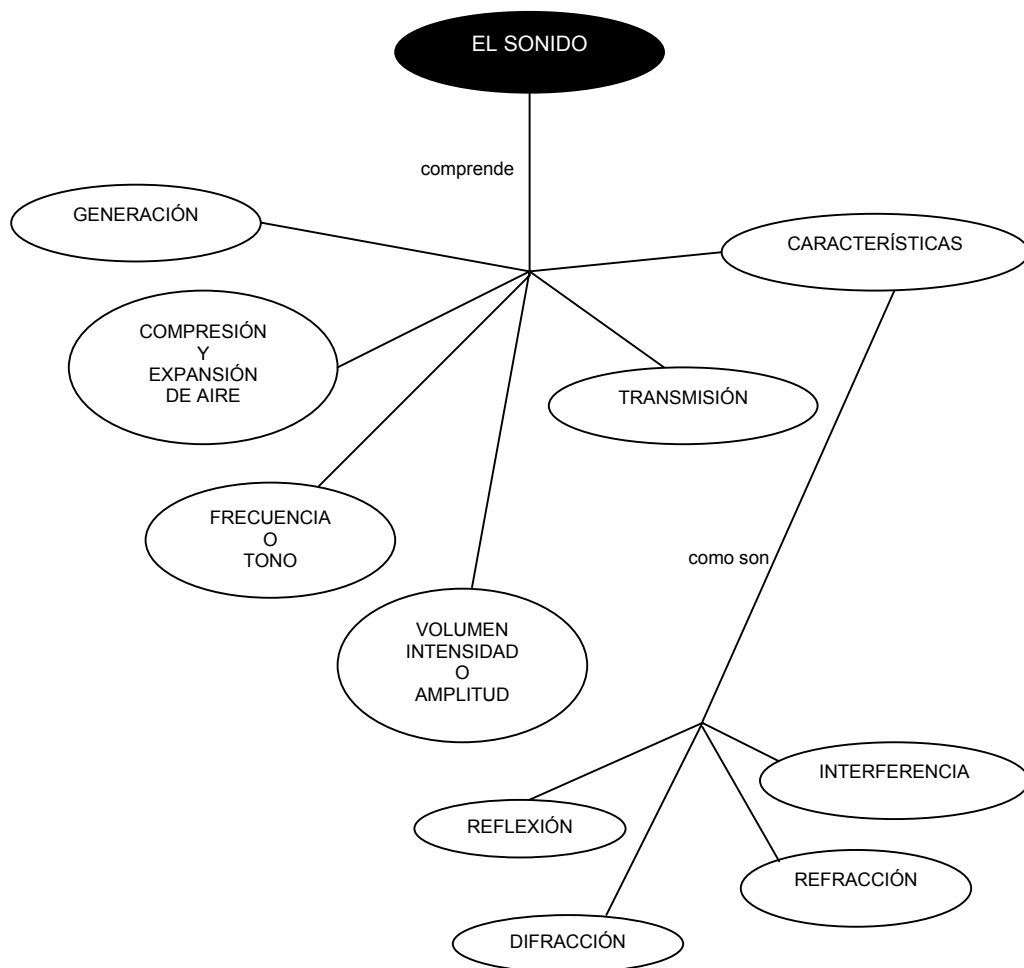
2. Explica mediante dibujos y por escrito las siguientes propiedades del sonido:

REFLEXIÓN	
DIFRACCIÓN	
REFRACCIÓN	
INTERFERENCIA	



## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

A continuación se te presenta un mapa conceptual con los aspectos generales que se involucran en el sonido. Complétalo, incorporando características y ejemplos para cada concepto.



## 1.3 ONDAS SÍSMICAS Y ULTRASONIDO

Seguro te preguntarás ¿qué tienen que ver los sismos y los terremotos con las ondas?

Para que descubras su importancia trata de contestar las siguientes preguntas: ¿Cómo crees que se transmiten los sismos? ¿Crees que un sismo (o terremoto) siempre se transmite con la misma velocidad?

Si estás pensando que los sismos se propagan por medio de ondas, tienes razón. En cuanto a la segunda pregunta, debes saber que estos fenómenos se transmitirían con la misma velocidad siempre que la composición de la Tierra fuera uniforme en todos sus puntos (isomorfo), y en todas direcciones (isótropo).

### 1.3.1 SISMO O TERREMOTO

*Este fenómeno es una fuerte trepidación causada por intensos movimientos de la corteza terrestre que son transmitidos a grandes distancias, cuyo origen (en su mayoría) está en las fallas que atraviesan el manto rocoso, debido al acomodamiento de los bloques terrestres de uno y otro lado, para establecer el equilibrio.*

Es la Sismología, rama de la Geofísica, la parte de la Física que se encarga del estudio de los sismos. Cuando el acomodamiento de las capas de la corteza terrestre es repentino, va acompañada de la *liberación de gran cantidad de energía*, que produce una fuerte vibración del manto, la cual se transmite a varios miles de kilómetros.

Pero la anterior, si bien es la más importante, no es la única causa de los sismos. Existe una segunda causa, que es el escurrimiento subterráneo del magma en regiones de volcanismo activo (como en las islas Hawai). Dichos movimientos producen temblores que no llegan más que a unos cuantos kilómetros.

*La energía de un sismo se transmite por medio de tres tipos principales de ondas, de acuerdo a su velocidad según el medio que atraviesan:*

Las primeras son las **ondas longitudinales**: ondas primarias.

Las segundas son las **transversales**: ondas secundarias.

Las terceras son las **ondas largas**.

A las **ondas primarias** también se les conoce como *ondas P* y son siempre transmitidas en la dirección de propagación del pulso.

Las primeras ondas que llegan a un punto distante siguen una línea ligeramente curvada hacia el centro de la Tierra, donde la densidad mayor de la roca permite una velocidad de transmisión también mayor.

A las **ondas secundarias** también se les conoce como *ondas S* y *vibran en ángulo recto con respecto a las primarias*.

Las **ondas largas** *siguen la circunferencia de la Tierra y tienen menor velocidad que las anteriores, pero su amplitud es mayor*. Son éstas las ondas que causan los mayores daños, ya que viajan siguiendo la circunferencia de la Tierra.

El sacudimiento de un terremoto es generalmente mayor en la cercanía de la falla que lo origina.

Los peores daños de los terremotos afectan a construcciones sobre terreno no consolidado, lo que no ocurre en terrenos rocosos. Como excepción puede citarse la cuenca de México, cuyo relleno de arcilla bentónica sirve de amortiguamiento.

El sacudimiento provocado por un terremoto raras veces dura más de uno o dos minutos, suficiente tiempo de duración para que eche a tierra edificios, abra grietas profundas en el terreno y cause considerables pérdidas de vidas humanas.

Los terremotos submarinos frecuentemente generan olas que alcanzan hasta los 12 m de altura y miden hasta 300 km de longitud entre sus crestas; dichos terremotos se transmiten por el mar a velocidades extremadamente grandes y causan gran destrucción y pérdida de vidas. Se les ha dado el nombre japonés de *tsunami*.

El instrumento utilizado para medir la intensidad y duración de un terremoto se llama *sismógrafo*. Es un instrumento muy sensible que registra los terremotos y otros fenómenos sísmicos con base en la inercia de un péndulo horizontal (o en otra posición), el cual mide el tiempo e intensidad del movimiento. Un sismógrafo consta de un péndulo suspendido delicadamente, que tiende a quedar estacionario cuando un terremoto sacude el resto de las piezas del mecanismo, además cuenta con un sistema de registro. Las hojas del registro indican el tiempo de llegada de la onda y su amplitud, e incluso los mejores instrumentos pueden indicar la dirección de su procedencia.

El sismógrafo es un instrumento indispensable en toda estación meteorológica de mediana calidad. Con este instrumento se lleva un registro de los temblores que ocurren en el mundo.

A los movimientos causados por un terremoto también se les conoce como movimientos telúricos. Aunque durante un año hay cientos de movimientos telúricos registrados por los sismógrafos, sólo alrededor de 10 ó 15 de dichos sacudimientos, como promedio anual, son de intensidad notable.

Recientemente, los terremotos se restringen a lugares de actividad volcánica. Hay dos zonas principales: una es la zona que rodea al Océano Pacífico, y se denomina *Cinturón de fuego*; la otra se extiende a través de Asia Meridional y del Mar Mediterráneo. Ambas pertenecen a regiones inestables que tienen cordilleras montañosas de edad geológica reciente y en ciertos lugares están todavía en movimiento ascendente.

Afortunadamente la mayoría de los terremotos de fuerza desastrosa ocurren en lugares poco habitados o en el mar.

Para llevar un buen registro de los terremotos deben de distribuirse dos o más sismógrafos situados en distintos lugares, para que permitan localizar el foco del terremoto, y con anticipación puedan dar la noticia antes de que llegue a lugares poblados y cause daños.

Actualmente existe una red de monitoreo de los sismos que ocurren en la región del Pacífico, para dar la voz de alarma a tiempo y poner a salvo a la población de las regiones que atraviese. El hecho de que se anuncie que se tiene un número determinado de segundos para que llegue la onda a cierto lugar y de que además se conozca la distancia desde el foco al punto de interés, no quiere decir que se pueda calcular la velocidad con que viaja la onda. ¿Por qué? Lo que solamente puedes obtener es una velocidad promedio. Te sugerimos que leas en la *Enciclopedia de la ciencia y de la técnica* (páginas 270-272) los factores que están involucrados en la velocidad de transmisión de una onda sísmica.

### 1.3.2 ONDAS ULTRASÓNICAS

En el segundo tema de este capítulo aprendiste que los sonidos son perturbaciones que se transmiten por medio de movimientos ondulatorios, y cuando analizaste las ondas mecánicas, también aprendiste que dichas perturbaciones se producen por el movimiento vibracional de los cuerpos en medios elásticos, que el número de dichas vibraciones por segundo es lo que se llama frecuencia, y que mientras menor sea el número de vibraciones por segundo, más grave es el sonido. Que el sonido de más baja frecuencia que puede percibir el oído humano es de 16 vibraciones ó 16 ciclos por segundo, y que *el sonido más agudo audible por el hombre tiene una frecuencia de alrededor de 20,000 ciclos por segundo. Los sonidos que tienen una frecuencia más alta están en la llamada zona ultrasónica.*

Los perros y algunos otros animales pueden oír sonidos de frecuencia ultrasónica. Se sabe que los murciélagos pueden guiarse al volar en la oscuridad gracias a su capacidad para percibir los ecos producidos por las notas ultrasónicas que emiten.

*A los sonidos ultrasónicos también se les llama sonidos silenciosos, éstos pueden ser producidos por el hombre con medios artificiales.*

El método más sencillo para producir un ultrasonido consiste en hacer incidir un chorro de aire de alta presión, procedente de una hendidura que tiene una ranura estrecha, contra una arista metálica afilada.

*Las frecuencias más elevadas se obtienen por medio de transductores electroacústicos, que son sistemas que transforman la energía eléctrica en energía acústica, constituyéndose así en un método de transformación de energía.*

Se tienen datos experimentales de que los transductores empleados en la producción de ultrasonidos, trabajando de forma reversible, pueden dar lugar a señales electrónicas cuando sobre ellos inciden ondas ultrasónicas. Ésta es otra forma de transformación de energía.

Las diversas propiedades que tienen las ondas ultrasónicas se han aprovechado en la tecnología moderna como lo explicaremos enseguida.

Una de las primeras aplicaciones que se le dio, en los días de la Segunda Guerra Mundial, fue el del aparato llamado *sonar*. Dicho aparato instalado en las embarcaciones lanza ondas ultrasónicas a través del agua y los ecos no homogéneos con el medio son percibidos e identificados por el aparato (como minas, submarinos, bancos de peces, etcétera).

Una segunda aplicación es la *cavitación*, fenómeno físico que consiste en la creación, dentro de un líquido, de diminutas burbujas de vacío que estallan violentamente. Esta propiedad se aprovecha para lograr mezclas muy homogéneas en el caso de ciertas aleaciones y para aumentar la maleabilidad y ductibilidad de los metales.

Una tercera aplicación es con fines de aseo: la agitación producida por la cavitación originada por las ondas ultrasónicas en un líquido permite lograr el desprendimiento de toda materia extraña sumergida en el líquido. Ya existen en el mercado lavadoras domésticas de vajillas en las que la limpieza se realiza por medio de *sonido silencioso*.

Una aplicación más es para examinar piezas de maquinaria y objetos sólidos de metal, vidrio o cerámica, con el propósito de encontrar fallas imperceptibles desde el exterior. El *reflectoscopio ultrasónico* es el aparato utilizado, el cual emite ondas desde 500,000 hasta de 15,000,000 de ciclos por segundo.

Otro uso común es en las herramientas de los dentistas, quienes usan las vibraciones ultrasónicas para taladrar, pulir y desbaratar materiales de gran dureza con la ayuda de una sustancia abrasiva, en las que usan frecuencias de 27,000 hasta 33,000 ciclos por segundo.

También se usa para la soldadura de plásticos, utilizando el calor generado al chocar contra un cuerpo sólido las ondas de alta frecuencia.

En Medicina tienen un amplio uso los *ultrasonidos*, como su empleo para la curación de la artritis; para encontrar anomalías dentro del cuerpo humano, sin los riesgos de las radiaciones de los rayos X, y para el examen del feto intrauterino.

Recientemente, los ultrasonidos han sido empleados en las calculadoras electrónicas para construir dispositivos capaces de memorizar, durante un tiempo finito, impulsos eléctricos del orden de fracciones de milisegundos.

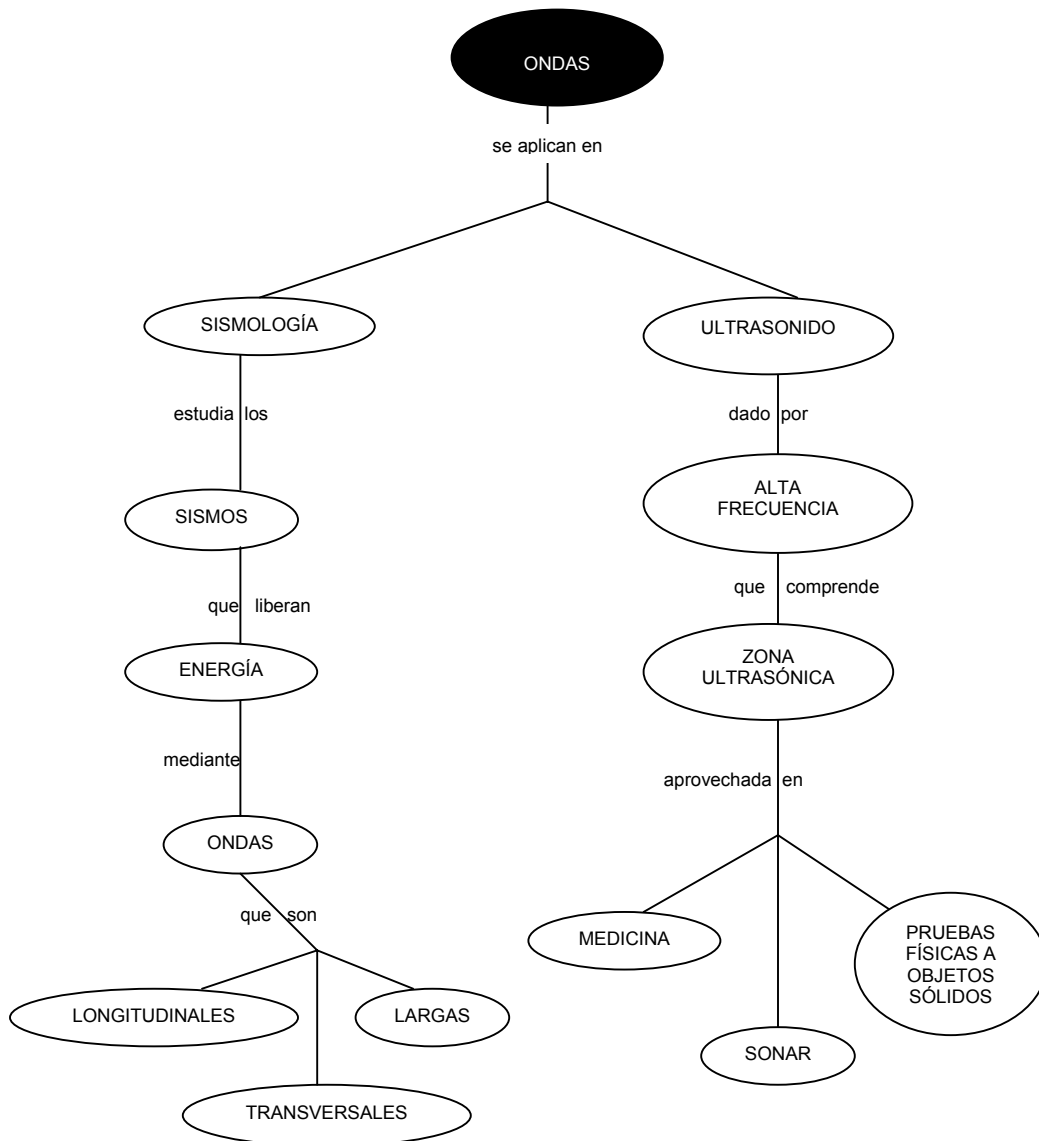
## ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Para que apliques lo aprendido, completa el siguiente cuadro sobre las características de un sismo y de las ondas ultrasónicas.

CONCEPTO	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS
SISMO		1. _____ _____ 2. _____ _____ 3. _____ _____
ONDAS ULTRASÓNICAS		1. _____ _____ 2. _____ _____ 3. _____ _____

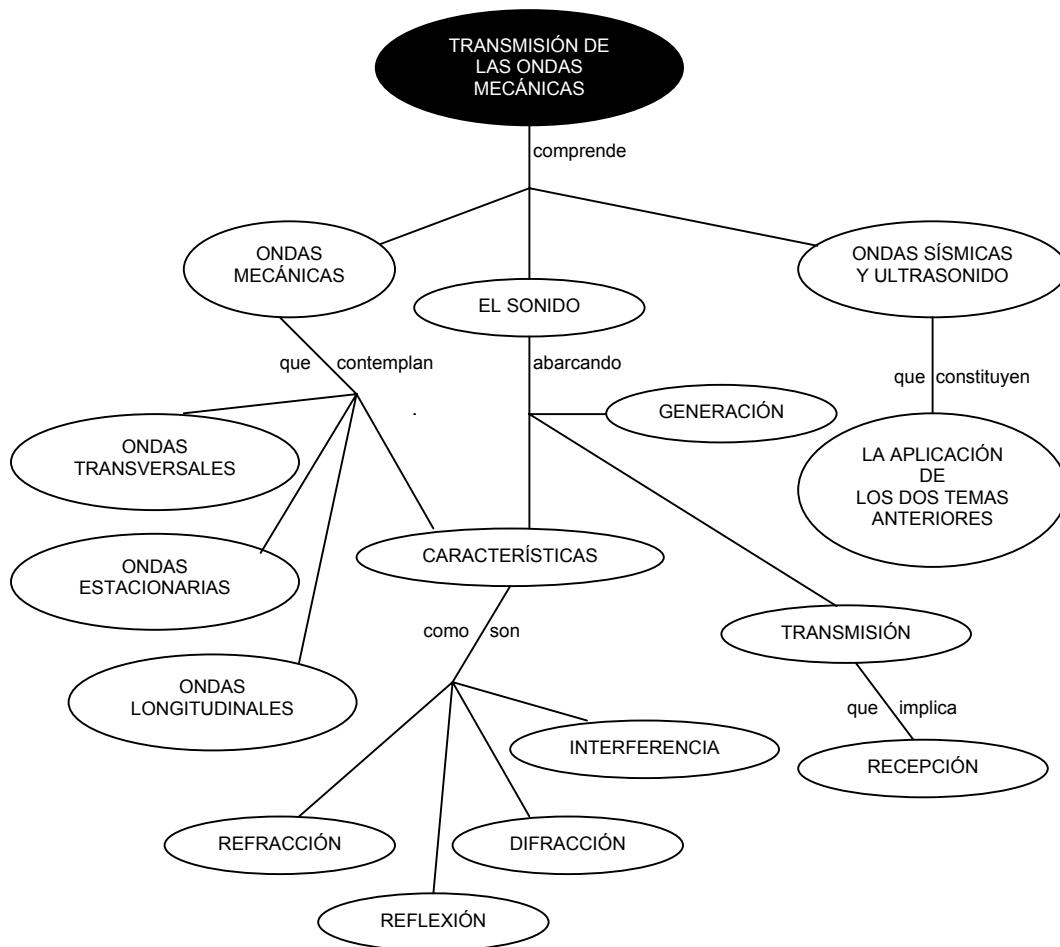
## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

En el siguiente mapa conceptual podrás observar los aspectos más importantes relacionados con las ondas sísmicas y el ultrasonido.



## RECAPITULACIÓN

Elabora una síntesis a partir de los conceptos que se te presentan en el siguiente esquema del Capítulo 1.





## ACTIVIDADES INTEGRALES

Para que apliques lo aprendido sobre la transmisión de ondas mecánicas, realiza lo que se te pide:

I. Responde a las siguientes preguntas:

1. ¿Cómo se produce el sonido?
2. ¿Qué entiendes por movimiento ondulatorio?
3. ¿Qué es una onda longitudinal? ¿Qué es una onda transversal?

II. Resuelve los siguientes problemas:

1. Durante una tempestad una persona observa un relámpago y solamente hasta después de 10 segundos escucha el ruido del trueno correspondiente, ¿a qué distancia se produjo la descarga eléctrica que provocó el relámpago y el trueno?
2. ¿Cuál es aproximadamente el intervalo de tiempo que tarda en llegar el estruendo de un cañón disparado a 20 km de distancia?
3. Sabiendo que contamos con 50 segundos para prevenirnos de un temblor, investiga la distancia entre las costas de Guerrero y la Cd. de México y calcula la velocidad de la onda sísmica.

## AUTOEVALUACIÓN

En este apartado te proporcionamos los elementos que debiste utilizar para resolver las Actividades Integrales.

I. Para responder las preguntas:

1. Considera en tu respuesta estos factores: la vibración del cuerpo, su constitución material y la forma en que se transmite el sonido.
2. Debes contemplar los siguientes casos: el sonido, las ondas en el agua, con una reata y con un resorte, explicando porqué son movimientos ondulatorios.
3. En esta respuesta puedes emplear esquemas que ejemplifiquen las formas de cada tipo de onda.

II. Para resolver los problemas debiste aplicar lo siguiente:

1. Usa la expresión  $d = v \cdot t$

donde  $d$  está dada en metros  
 $v$  está dada en m/s  
 $t$  está dada en segundos

$$d = \left( 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) (10 \cancel{\text{s}}) = 3400 \text{ m}$$

2. Usa la expresión:  $t = \frac{d}{v} (\text{s})$

$1 \text{ Km} = 1000 \text{ m}$

y considera la velocidad de la luz.

$$t = \frac{20000 \cancel{\text{m}}}{340 \cancel{\text{m/s}}} = 58.8 \text{ s}$$

3. Usa la expresión:  $v = \frac{d}{t} \text{ m/s}$

$d = 500 \text{ Km}$

$$v = \frac{500,000 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 10,000 \text{ m/s}$$

## **CAPÍTULO 2**

### **TRANSMISIÓN DE LA LUZ**

#### **2.1 PROPIEDADES DE LA LUZ**

- 2.1.1 Propagación Rectilínea
- 2.1.2 Cuerpos Opacos
- 2.1.3 Velocidad de la Luz

#### **2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ**

- 2.2.1 Reflexión
- 2.2.2 Refracción
- 2.2.3 Difracción
- 2.2.4 Dispersión

#### **2.3 FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LENTES**

- 2.3.1 Comportamiento de la Luz en las Lentes



## PROPÓSITO

Antes de empezar con el estudio de este capítulo te sugerimos consideres lo siguiente:

¿Qué vas a aprender?

Que la luz tiene un comportamiento corpuscular, pero en algunos fenómenos éste es ondulatorio y se puede demostrar experimentalmente; que además la luz está asociada a un tiempo de transmisión finito y sufre variaciones en su velocidad igual que el sonido, dependiendo del medio en que viaje.

¿Cómo lo lograrás?

Experimentalmente descubrirás ciertos fenómenos asociados con el comportamiento de la luz, como: la difracción, la reflexión y refracción, mismos que ya estudiaste relacionados con ondas en el agua.

¿Para qué te va a servir?

Para explicar sistemas ópticos sencillos, por ejemplo, el funcionamiento de una cámara fotográfica, comprender algunos fenómenos de la luz como el arco iris y la formación de colores, entre otros.



## CAPÍTULO 2

### TRANSMISIÓN DE LA LUZ

#### 2.1 PROPIEDADES DE LA LUZ

¿Qué es la luz? Como habíamos mencionado anteriormente, es ese misterioso haz brillante que emana del Sol, de una vela encendida o de los juegos pirotécnicos. Esta pregunta ha sido el punto de partida de las continuas observaciones e investigaciones que el hombre ha emprendido sobre la luz, ampliando en el curso de la historia los conocimientos que se tienen de ella.

La luz es una onda, la luz es una partícula. Estas dos proposiciones son correctas, y sin embargo, contradictorias entre sí. *Hay dos teorías sobre la naturaleza de la luz: una sostiene que la luz consiste en ondas electromagnéticas, y la otra, propone que son partículas que se mueven a gran velocidad.*

Por ahora no se discute sobre estas teorías, simplemente se aceptan. En determinadas situaciones aplican la que es más útil, pues se ha convenido en que, después de todo, las dos teorías no son antagónicas. Más bien se consideran como dos puntos de vista sobre la misma situación.

Ahora bien, ¿por qué los investigadores han dejado de discutir al respecto? Todo depende del punto de vista. *La interpretación de la luz es de acuerdo con el tamaño de las cosas contra las que choca.* La historia de la naturaleza de la luz todavía no ha terminado, puesto que se entiende que está íntimamente relacionada con la comprensión, por parte del hombre, de la naturaleza, de la materia y de la energía. Por consiguiente, existen muchos hechos por conocer. Pero por el momento nos abocaremos al estudio de las propiedades y características de ese haz brillante.

### 2.1.1 PROPAGACIÓN RECTILÍNEA

Los objetos que nos rodean son un ejemplo claro de la necesidad de adquirir información del mundo con ayuda de una fuente luminosa. *Un efecto inmediato de la luz es que mediante ella podemos distinguir el tamaño, forma y color de los cuerpos.* Para comprender la importancia que tiene para los seres humanos, realiza la siguiente actividad:

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 6

### OBJETIVO:

Comprobar experimentalmente la importancia que tiene la luz en la identificación de las características físicas de los cuerpos opacos.

### MATERIAL:

- una caja de cartón pintada de negro en su interior, con una pequeña abertura que no exceda de 1cm\*
- diferentes cuerpos (como clavo, canica, pelota, espejo, vidrio, plástico, etc.)\*

---

\* Material que debe aportar el alumno.

### PROCEDIMIENTO:

Pon un papel translúcido (albanene, china, etcétera) como pantalla a la mitad de la caja de cartón.

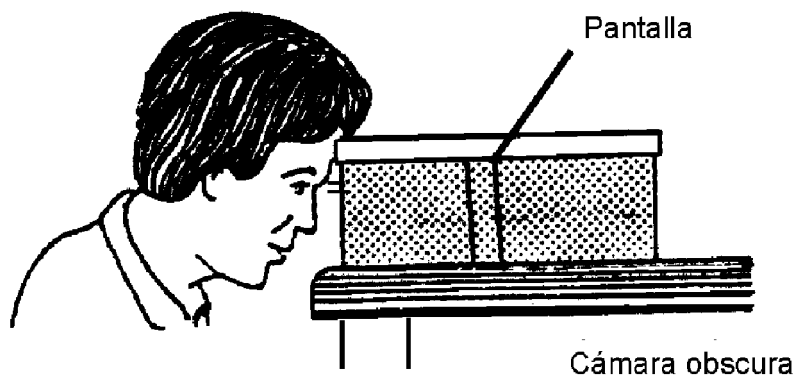


Figura 23.



En una habitación con poca luz, coloca los objetos dentro de la caja y por la pequeña abertura identifica sus características físicas, como su color, tamaño y posición.

Para hacer más interesante el experimento, pide a un amigo que coloque cualquier objeto sin que tú veas qué es, e identifica lo que hay en la caja.

¿Cuáles objetos pudiste identificar?

---

¿Qué hace falta para poder señalar las características de los cuerpos?

---

Ahora haz un orificio en cualquier parte de la caja, de manera que entre un rayo de luz, y repite el experimento.

En el estudio de luces y sombras debemos identificar, en primer lugar, los **cuerpos luminosos**, como el Sol, la lámpara de tu casa cuando está conectada a la corriente, una vela encendida, una linterna, etcétera. Los **cuerpos opacos** reciben la luz proveniente de una fuente luminosa y parte de la luz reflejada puede percibirse por los ojos del observador. ¿Qué tipo de cuerpos usaste en tu experimento? ¿Luminosos u opacos?

¿Qué pasa con los cuerpos opacos si no hay fuente de luz?

---

### 2.1.2 CUERPOS OPACOS

Al examinar nuestra sombra proyectada por el Sol sobre una superficie lisa, se observa que no existe la misma nitidez entre los contornos de los pies y de la cabeza. Esta diferencia es aún más notable en la sombra de un bastón o varilla vertical. Aparentemente, la sombra aparece más amplia y menos definida conforme aumenta la distancia entre el objeto y el borde de ésta (también influye la forma del cuerpo luminoso). *Las sombras proyectadas por fuentes luminosas diminutas están generalmente definidas, indicando que la luz se propaga en esta línea.*

El hecho de que una fuente luminosa tan pequeña (que pueda considerarse como puntal) forme sombras muy definidas nos explica porqué las sombras del Sol son más borrosas. Cada punto de la superficie solar nos envía luz y la sombra del conjunto no es realmente una sombra simple, sino la combinación de varias, proyectadas por la luz de cada punto de la superficie solar.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 7

### OBJETIVO:

Identificar de manera experimental el modelo rectilíneo de propagación de la luz sobre los cuerpos opacos.

### MATERIAL:

- tres focos de gota (para linterna) con sóquet\*
- tres pilas de 9 V, en buen estado\*
- un bloque de madera
- una pantalla

---

\* Material que debe aportar el estudiante.

### PROCEDIMIENTO:

1. Fija la pantalla y el bloque de madera a una distancia de 5 cm de separación.
2. Ilumina al cuerpo desde su costado izquierdo, de tal manera que observes una sombra bien definida.
3. Coloca una fuente en el extremo derecho del cuerpo, de tal manera que formen un ángulo de  $45^\circ$ . (Ver la *Figura 24*).

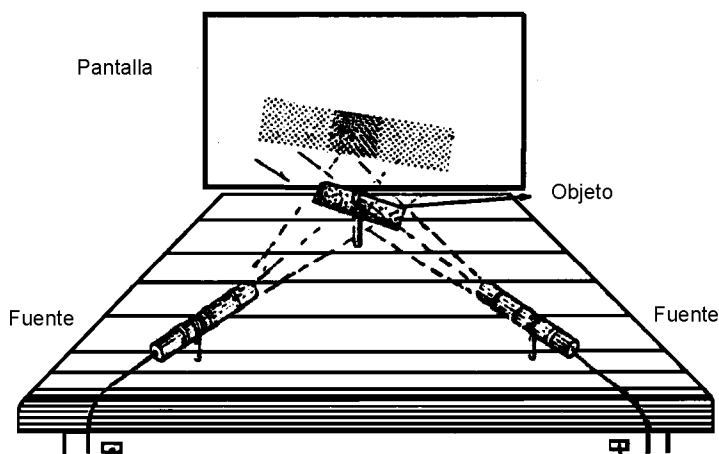


Figura 24.

¿De qué forma se observa la sombra al colocar la segunda fuente?

Traza la trayectoria de los rayos de luz de cada una de las fuentes y mide el tamaño de las sombras.

¿Qué sucede al colocar una tercera fuente de luz en medio de las anteriores? ¿Te gustaría investigarlo? ¡Inténtalo!

Si se trazan los rayos de luz de cada una de las fuentes notarás que abarcan distintas áreas; el área más oscura no recibe luz de ninguna fuente, mientras que las laterales a ésta son iluminadas por algunas de ellas, por lo que se observa en la pantalla una zona oscura (*sombra*) y otras semioscuras (*penumbras*). Un fenómeno similar sucede en los eclipses de Sol; si tomamos a la Tierra como pantalla, el eclipse total se observaría en las zonas en donde ningún haz de luz llega y mientras nos salimos de ella empezariamos a ver el círculo solar, entrando a la zona de eclipse parcial o área de penumbra. El *modelo rectilíneo de la luz* nos permite predecir en qué parte de la República sucederá un eclipse total y dónde un parcial.

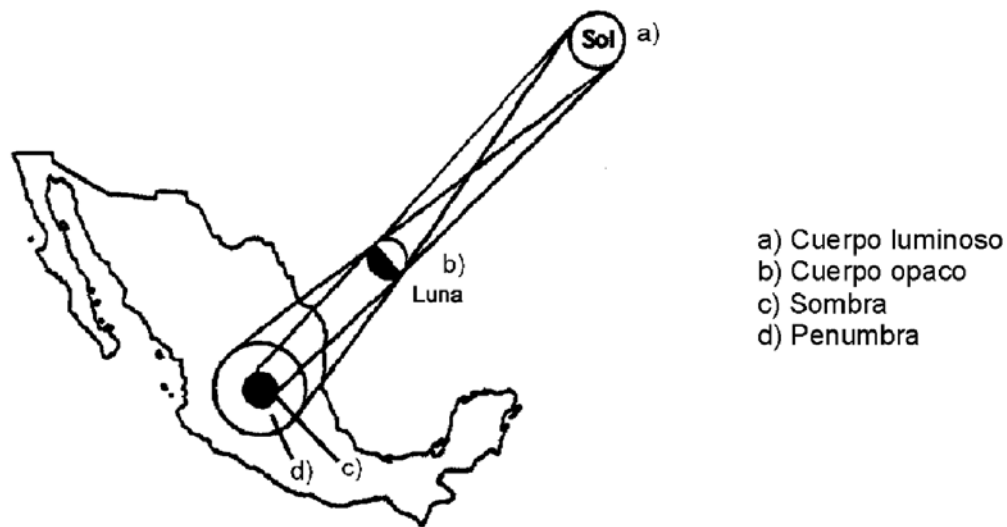


Figura 25.

Un **cuerpo opaco**, por tanto, es aquél que *no permite el paso de la luz a través de él*, y si recibe rayos luminosos proyectará una sombra definida. El perfil de dicha sombra lo definen las rectas que salen de la fuente y pasan en forma paralela por el objeto.

Un **cuerpo transparente** *permite pasar los rayos luminosos*, dejando ver con claridad el objeto que se encuentra al otro lado de él.

Un **cuerpo translúcido** *deja pasar la luz, pero la difunde de tal manera que las cosas no pueden distinguirse claramente a través de él*.

### 3.1.1 VELOCIDAD DE LA LUZ

La **velocidad de la luz** es de  $300\,000\text{ km/segundo}$ , valor en que están de acuerdo los investigadores, el cual ha sido calculado y comprobado por varios. Los métodos y el equipo empleado para calcularlo son muy complejos, sin embargo, en el siglo XVII se midió la velocidad de la luz de un modo muy sencillo:

En 1676, el astrónomo danés Olaf Roemer, al observar la aparición de las lunas de Júpiter para tratar de establecer el horario de su aparición, advirtió que las revoluciones no coincidían con el mismo horario. Además de notar esta irregularidad en los periodos de las órbitas de las lunas, encontró la pauta de ésta: la velocidad de la luz.

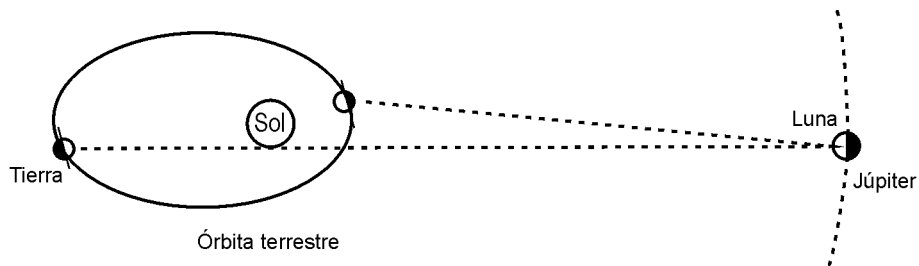


Figura 26.

Observó que el tiempo requerido para una revolución de una luna era mayor si la Tierra se alejaba de Júpiter, y menor cuando ésta se acercaba, seis meses después. Roemer analizó sus datos y encontró que el aumento total en el periodo orbital en seis meses era de 22 minutos, que se recuperaban en los siguientes seis meses.

Para explicar estas irregularidades supuso que los 22 minutos era el tiempo requerido por la luz de las lunas de Júpiter para cruzar el diámetro de la órbita de la Tierra. ¿Podrían estos datos proporcionar alguna información sobre la velocidad de la luz? Incluso a finales del siglo XVII se consideraba que se conocía con exactitud el diámetro de la órbita de la Tierra, se creía que era de 290 000 000 kilómetros.

Para calcular la velocidad de la luz se puede usar la expresión para calcular la velocidad del movimiento rectilíneo uniforme; ¿qué resultados obtienes?

---

---

Esta velocidad no es muy exacta para las normas modernas, sin embargo, fue una tentativa muy importante acerca de la luz, pues demostró que *ésta no viaja instantáneamente y que superaba en mucho a la velocidad del sonido*. Un siglo después de la época de Roemer se logró medir la velocidad de la luz con bastante precisión.

## ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Con lo que haz aprendido hasta el momento, resuelve lo que se te pide:

1. Las dos posiciones más conocidas sobre el comportamiento de la luz son:

a) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. Si la luz en un segundo recorre 300 000 km y el diámetro del Ecuador de la Tierra es de 40 000 km ¿cuántas vueltas daría un haz de luz en un segundo si pudiera hacer ese recorrido?

3. Dibuja el eclipse de luna que muestra el modelo rectilíneo de propagación de la luz.

## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

Recuerda, lo más importante sobre las propiedades que posee la luz es que...

*La luz* es una manifestación de energía radiante que se propaga en el vacío a una velocidad de 300 000 km/s.

*Su propagación es en forma recta*, prueba de ello son las sombras bien definidas que se proyectan por fuentes luminosas (como las sombras chinescas o los eclipses).

Un *cuerpo opaco* no permite pasar la luz a través de él, un *cuerpo transparente* deja pasar los rayos luminosos, y un cuerpo translúcido deja pasar la luz, difundiéndola de tal forma que las cosas no pueden verse con claridad a través de él.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ

### 2.2.1 REFLEXIÓN

Al chocar un haz de luz con un cuerpo, parte de esta luz regresa en dirección a la fuente luminosa, pero, ¿cómo es este rebote?, ¿qué materiales permiten observar este fenómeno?

Los metales pulidos, las superficies líquidas y los espejos que regresan la luz de tal manera que los haces luminosos están bien definidos, reciben el nombre de *reflectores especulares*. Cuando los materiales reflejan la luz hacia diferentes direcciones se observa una *reflexión difusa*. Estos fenómenos puedes verlos en tu casa utilizando una lámpara sorda.

En un cuarto oscuro ilumina un espejo, una cuchara de metal y una de plástico; con ayuda de una hoja blanca, como se muestra en la *Figura 27*, observa si el rebote proyecta una luz bien definida. La luz que regresa de cada uno de los cuerpos ¿es uniforme o difusa?

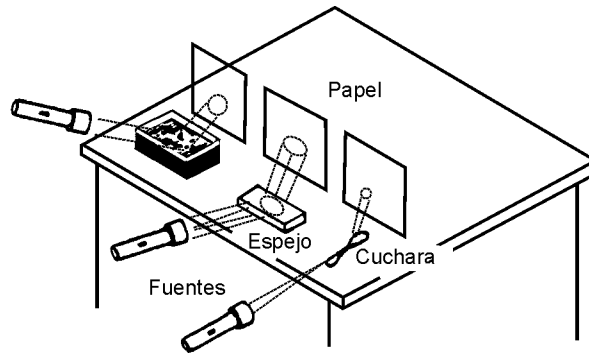


Figura 27.

*El regreso de la luz cuando choca con un cuerpo se llama **reflexión**, y debido a que ésta en los cuerpos no pulidos es en todas direcciones, sería difícil analizar las características de este fenómeno, por lo que utilizaremos la **reflexión especular** para nuestro análisis.*

Observa la reflexión que sucede en un espejo y responde lo siguiente: ¿De qué factor depende la dirección hacia donde se reflejan los rayos de luz? ¿Qué condiciones se deben considerar para que la luz que incide sobre un cuerpo se refleje totalmente?



## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 8

### OBJETIVO:

Identificar y relacionar a partir del fenómeno de reflexión, la variación de ángulos de los rayos reflejados e incidentes

### MATERIAL:

- marcadores de color rojo, verde y azul\*
- un espejo de 3 x 2 cm\*
- una cartulina blanca cortada en forma circular, cuyo diámetro sea de 40 cm, marcando el centro con un pequeño punto\*

---

\* Material que debe aportar el alumno.

### PROCEDIMIENTO:

Con la fuente luminosa obtén un rayo de luz procurando que sea lo más fino posible, y hazlo pasar en forma rasante sobre el disco de cartón o cartulina conforme a la siguiente figura:

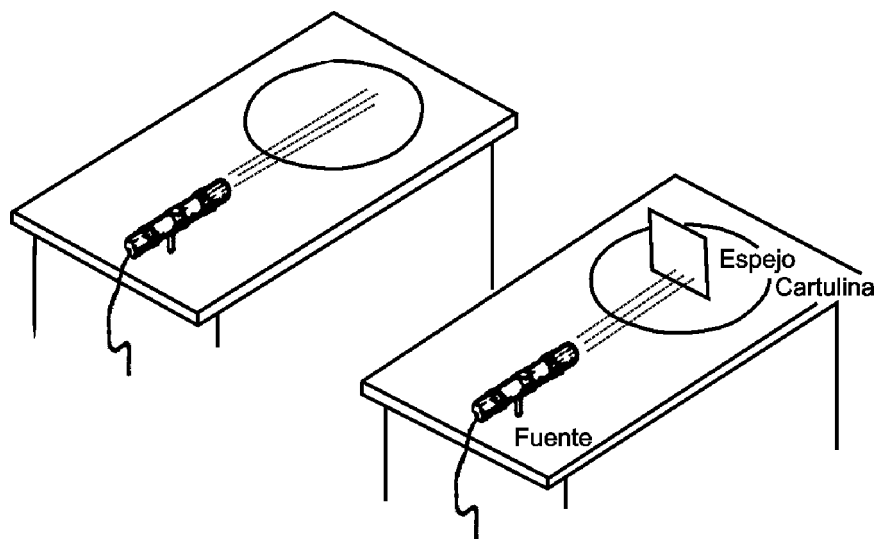


Figura 28.

Coloca el espejo en el centro del disco de tal manera que el rayo choque con el espejo frontalmente, y en esa posición marca el rayo proyectado y reflejado con rojo, asegurándote que cada rayo siga la misma trayectoria. Sin alterar las condiciones del espejo y disco, mueve la fuente a la izquierda 5 cm, apuntando al centro del espejo, marca sobre la cartulina el rayo que llega al espejo con azul y con verde el rayo que sale; las marcas roja, verde y azul únelas con el centro del disco. Finalmente con ayuda del transportador mide el ángulo verde y luego el azul, tomando como referencia el rayo rojo.

¿Cuánto mide el ángulo descrito por el rayo que llega al espejo y el que sale de éste?

---

¿Tienen el mismo valor?

---

¿Qué sucede al mover la fuente luminosa hacia la izquierda: que los ángulos que formen el rayo incidente y el reflejo midan lo mismo, que tengan distinto valor o que el rayo reflejado regrese por la misma trayectoria? Verifica tu predicción.

---

---

¿Qué relación tiene este fenómeno con las imágenes observadas en los espejos?

---

---

*Cuando la reflexión es total o especular, el rayo que llega al espejo describe un ángulo igual al rayo que refleja.* El rayo rojo trazado al chocar frontalmente con el espejo se llama *normal*, y se toma como referencia para comparar los ángulos de los rayos que llegan al espejo y el reflejado. Esto lo podemos sintetizar con las **Leyes de la Reflexión**.

El fenómeno de reflexión sucede en el mismo plano.  
El rayo que llega o choca con el espejo se llama rayo incidente.  
El rayo que sale del espejo se llama rayo reflejado.

Consecuencia de este experimento es la imagen que se observa en un espejo, la que aparentemente se forma atrás del espejo.

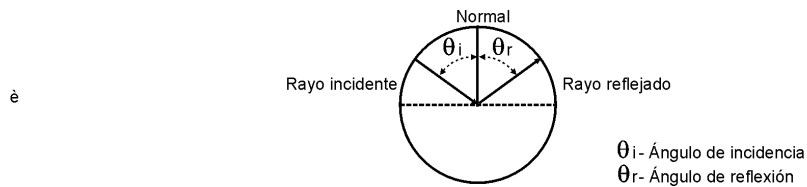


Figura 29.

¿A qué distancia se forma la imagen en un espejo? ¿Cómo la medirías? Para comprobar tu respuesta, haz la siguiente actividad en el laboratorio.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 9

### OBJETIVO:

Comprobar experimentalmente el fenómeno de paralelaje.

### MATERIAL:

- un espejo de 10 x 10 cm\*
- dos objetos iguales (dos plumas, por ejemplo)\*
- una regla graduada

---

\* Material que debe aportar el alumno.

### PROCEDIMIENTO:

Coloca el espejo en forma vertical, como se muestra en la siguiente figura.

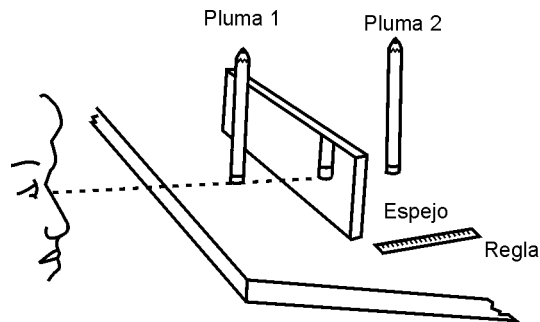


Figura 30.

Busca y haz coincidir la imagen del primer objeto en el espejo con el segundo, moviéndolo; ahora mide la distancia del objeto al espejo como se muestra en la *Figura 30*. ¿Es la misma que la del primer objeto? Trasládate a diferentes posiciones y observa. ¿Cambia la imagen respecto del segundo objeto? ¿Dejan de coincidir? ¿Qué apariencia te dan la imagen y el segundo objeto? Este fenómeno se conoce como *paralelaje*. Dibuja los rayos del observador-imagen-objeto.

¿Qué son los espejos planos angulares? Si deseas multiplicar tus monedas haz en tu casa el siguiente experimento. Para ello necesitas dos espejos de 10 x 10 cm, colocados de tal manera que formen un ángulo entre sí, y frente a ellos pon una moneda (ver *Figura 31*).

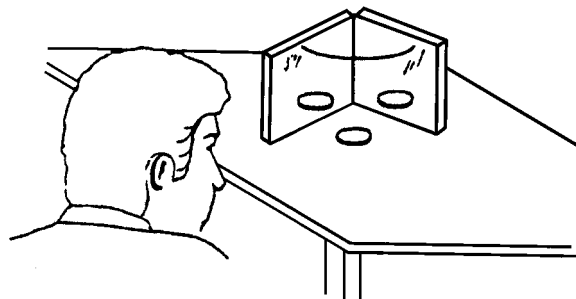


Figura 31.

¿Cuántas imágenes se observan? ¿Qué sucede al variar el ángulo entre esos espejos?

Para calcular el número de monedas que se producirán en dos espejos planos angulares se emplea la expresión:

$$N = \frac{360}{\alpha} - 1$$

N: Número de monedas producidas

$\alpha$ : Ángulo entre los espejos planos

Por ejemplo, si  $\alpha$  es de  $45^\circ$ , calculando el número de monedas, N será de 7, siendo que estos espejos son planos.

$$N = \frac{360}{45} - 1 = 8 - 1 = 7 \text{ imágenes}$$

Pero, ¿habrá espejos curvos? Las cucharas de metal cromado tienen las características de un espejo curvo, observa tu imagen reflejada en ella usando sus dos caras. ¿Cómo te explicas las diferentes imágenes formadas en la cuchara? Te sugerimos ir a *la casa de los espejos* en Chapultepec, y con base en ello dar respuesta a tus observaciones, considerando la pregunta: ¿cómo es la reflexión en un espejo curvo?

En los Pirineos franceses ciertos grupos de investigadores que estudian los efectos de alta temperatura, *utilizan espejos curvos para concentrar rayos solares* hasta el punto de calentar el acero. En la India el empleo de hornos-espejos por parte de las amas de casa, para cocinar sus alimentos con rayos solares concentrados, es común. Los astrónomos usan grandes espejos en sus telescopios para concentrar la débil luz que proviene de las estrellas lejanas y así obtener imágenes de las estrellas en placas fotográficas. También cuenta la leyenda que Arquímedes pudo incendiar los barcos del enemigo *concentrando los rayos solares mediante espejos parabólicos, situación que no es posible mediante espejos planos*.

Este fenómeno actualmente se utiliza en las telecomunicaciones:

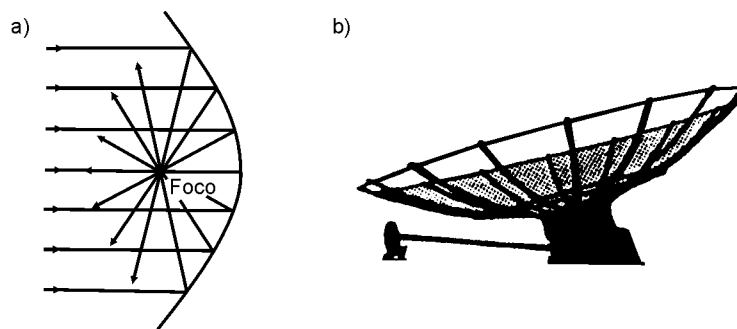


Figura 32. a) Los rayos paralelos reflejados por una parábola se concentran en el foco.  
b) Antena de microondas con el reflector parabólico; en el foco del paraboloide se ubica el receptor.

¿Qué es la reflexión total? La reflexión total o interna se da cuando la luz pasa de un medio a otro en el cual la velocidad de propagación es mayor o menor, por ejemplo, cuando un haz cambia de aire a agua o viceversa.

En los casos en que la luz pasa de un medio como el agua a aire, al inclinar su ángulo de proyección a uno mayor de  $48^\circ$  con respecto de la normal, no habrá luz emergente y toda se reflejará *internamente*. Una aplicación de este fenómeno es en las fibras ópticas, en las que la luz penetra por un extremo y se refleja sucesivamente en las paredes del tubo, emergiendo en el extremo opuesto.

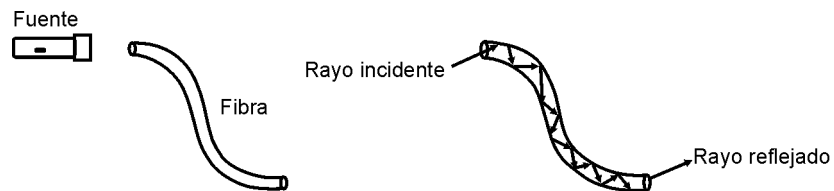


Figura 33.

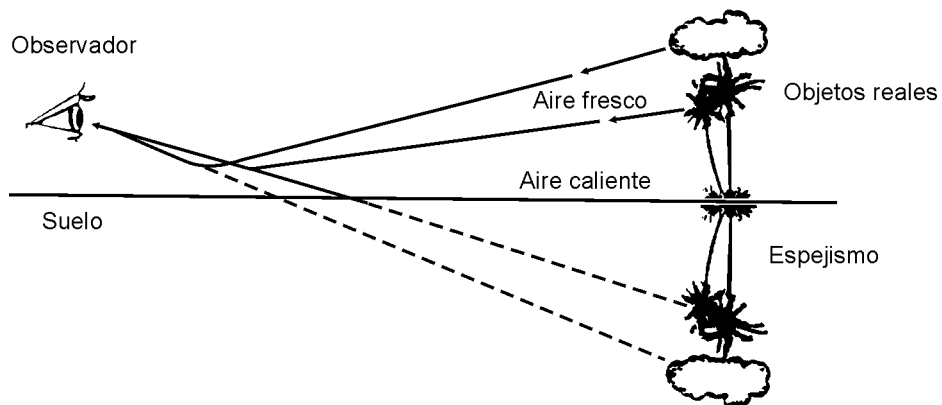


Figura 34.

¿Cómo explicarías un espejismo en el desierto? Sobre la superficie hay una capa delgada de aire que no se mueve y con la acción de la luz solar calienta al suelo y al aire, mientras que el resto del aire se encuentra frío. El índice de refracción del aire caliente es ligeramente menor que el aire frío, de tal manera que si el ángulo de incidencia a la superficie de separación entre las dos capas de aire se acerca a  $90^\circ$ , se produce la reflexión total y lo vemos sobre ella: la imagen invertida sobre la superficie de separación.

### 2.2.2 REFRACCIÓN

¿Qué sucede con la luz cuando atraviesa un medio transparente? Por ejemplo, un vidrio o agua. ¿La trayectoria del rayo que atraviesa al medio será rectilínea? Para comprender este fenómeno, en tu casa y con ayuda de un plato hondo y blanco, monedas, agua y cartón, haz lo siguiente: coloca una moneda en el plato y tapa una sección del mismo con un cartón conforme a la *Figura 35*; ubícate en una posición tal que la moneda no sea visible por encima del cartón.



Figura 35.

Pide a alguien que agregue lentamente agua al plato para que no pierdas tu posición. ¿Logras ver la moneda?, ¿a qué se debe? Si lo deseas puedes agregar tres monedas más en diferentes posiciones. ¿Cómo explicarías este fenómeno? ¿Podrías trazar los rayos de luz involucrados? Anota tus observaciones.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 10

### OBJETIVO:

Identificar y relacionar la trayectoria de los rayos incidentes, cuando la luz atraviesa cuerpos como el agua o el vidrio.

### MATERIAL:

- un disco de cartón
- un transportador
- un marcador
- una cuba óptica con agua
- un haz de luz con diafragma de tres ranuras
- la mitad de un disco de vidrio
- un prisma

### PROCEDIMIENTO:

Coloca el vidrio semicircular sobre el disco de cartón de manera que el rayo de luz incida en forma rasante frontal con el vidrio (*Figura 36*), marca la posición del rayo, y a partir de este punto mueve tu fuente lentamente y traza la trayectoria del rayo que sale del vidrio hasta obtener tres o cuatro de éstas (numéralas para no confundirte).

Repite la operación anterior con los prismas rectangular y biconvexo, traza la trayectoria de los rayos obtenidos. ¿El rayo incidente sigue la misma trayectoria después que atraviesa el vidrio?

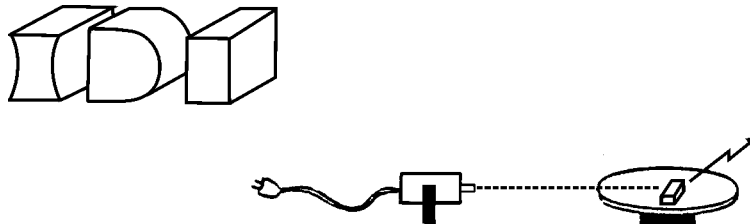


Figura 36.



Repite el experimento con la cuba óptica llena o a la mitad de agua, y de acuerdo con el disco de cartón o cartulina (*Figura 37*) marca nuevamente tres o cuatro posiciones del rayo que incide (*i*) y del rayo de luz que se forma dentro del agua (*r*).

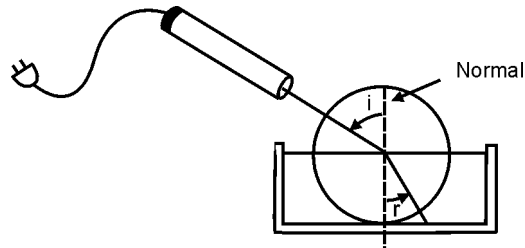


Figura 37.

Mide el ángulo del rayo que incide y del que se desvía al pasar por el vidrio o agua, y con ayuda del transportador ordena tus mediciones en la siguiente Tabla, para graficar posteriormente.

**TABLA 1. AIRE-AGUA**

Ángulo de incidencia <i>i</i> (en grados)	Ángulo de refracción <i>r</i> (en grados)	Relación <i>i/r</i>
1er. Caso		
2do. Caso		
3er. Caso		
4to. Caso		

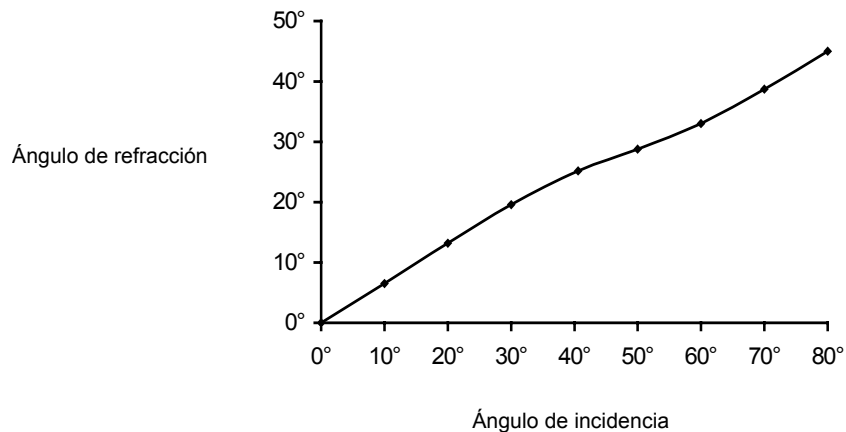
Compara tus resultados con la siguiente Tabla. En ésta los datos se obtuvieron experimentalmente para la refracción en aire-vidrio.

**TABLA 2. AIRE-VIDRIO**

Ángulo de incidencia <i>i</i> (en grados)	Ángulo de refracción <i>r</i> (en grados)	Relación <i>i/r</i>
0	0	Indeterminado
10	6.7	1.49
20	13.3	1.50
30	19.6	1.53
40	25.2	1.59

Con lo anterior se observa la relación entre el ángulo de incidencia ( $i$ ) y el ángulo de refracción ( $r$ ) al pasar la luz del aire al vidrio. *A este paso de la luz de un medio a otro se le conoce como refracción.*

¿Cómo varía el ángulo del rayo desviado? Grafica el ángulo del rayo que llega al agua contra el que se desvía. Tomando como referencia los datos de la Tabla 2, si unes los puntos de la gráfica obtendrás una línea similar a la siguiente:



Este experimento demuestra que *un rayo de luz es capaz de atravesar cuerpos transparentes; sin embargo, no toda la luz atraviesa éstos, sino que cierta parte también es reflejada*, como los vidrios de las ventanas que permiten el paso de la luz y al mismo tiempo son capaces de reflejar nuestra imagen.

La gráfica que obtuviste ¿es válida para todos los materiales o sólo para la refracción en aire-agua? Investígalo.

### 2.2.3 DIFRACCIÓN

¿Habrán fenómenos de la luz donde ésta no siga una trayectoria rectilínea? ¿Qué es la difracción de la luz?

En ciertos fenómenos la luz no sigue una trayectoria rectilínea; esto es un fenómeno donde se hacen observaciones muy minuciosas de ella, su comportamiento es diferente, éste es el caso del siguiente experimento.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 11

### OBJETIVO:

Reconocer el comportamiento ondulatorio de la luz, característico del fenómeno de difracción.

### MATERIAL:

- una rejilla óptica
- una tela de alambre
- una fuente de luz
- una pantalla

### PROCEDIMIENTO:

Monta el siguiente dispositivo con el material y proyecta la luz de tal forma que atraviese la rejilla.

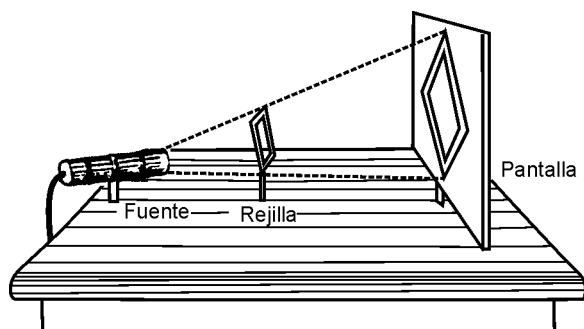


Figura 38.

Varía la abertura de la rejilla y observa los cambios en la luz que se proyecta sobre la pantalla. Mientras la abertura es ancha se observan con nitidez los contornos de la sombra y de la luz. Intenta cortar al máximo la abertura de la rejilla y al mismo tiempo mantener la nitidez en los contornos de la sombra. ¿Lo lograste? ¿Qué sucede con la sombra mientras cierras la abertura?, ¿a qué atribuyes ese fenómeno de franjas claras y oscuras?

Ahora coloca la tela de alambre en la misma posición que la rejilla, aleja y acerca la fuente, observando qué sucede con la pantalla. ¿Logras la misma nitidez en la sombra cuando alejas la fuente de luz? Si la luz viaja en línea recta ¿cómo te explicas que en estos casos parece *bordear* los contornos en los objetos? o ¿por qué la sombra de la malla de alambre no es continua cuando alejas la fuente, sino que aparecen alternadas franjas oscuras y claras? Esto nos hace suponer que *cuando la luz pasa por una abertura pequeña no se propaga en la dirección original, sino que cambia de dirección después de atravesar la abertura, la bordea, es decir, hay una difracción*.

Como recordarás, el sonido bordea fácilmente los obstáculos, pues se transmite en forma ondulatoria; por ejemplo, te es posible escuchar el claxon de un coche, aun cuando existan obstáculos entre tú y él; en este caso se dice que los sonidos se difractan. La luz se difracta cuando pasa a través de una rendija muy pequeña, por lo que observas franjas claras y oscuras alternadas, por consiguiente, *la luz, al igual que el sonido, tiene un comportamiento ondulatorio*.

Otra forma más práctica de observar este fenómeno se logra al juntar dos lápices o bolígrafos de tal manera que obtengas una pequeña rendija por donde pase luz, y al cerrar la rendija hasta casi juntarlos, observarás cómo se difracta la luz (*Figura 39*). Como consecuencia se forman líneas oscuras, debido a la interferencia de las ondas difractadas entre las dos plumas.

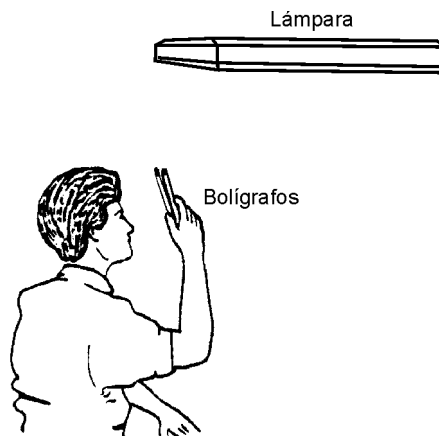


Figura 39.

## 2.2.4 DISPERSIÓN

Seguramente has visto un arco iris en el cielo, producido por la luz del Sol brillando a través de las gotas de lluvia, o los ocasionales destellos de color en los bordes biselados de un espejo o de una ventana. Estas apreciaciones no eran desconocidas para *Isaac Newton*, quien hizo un estudio completo de los colores producidos por un prisma y, a partir de sus observaciones, adquirió ciertos conocimientos sobre la naturaleza de la luz.

El destello multicolor es un fenómeno fácil de observar, lo puedes hacer con una rejilla de difracción (*Figura 40*). A través de ésta se observa un haz vertical de luz blanca, como la de las lámparas de los aparadores. ¿Qué colores se observan?, ¿de dónde provienen?

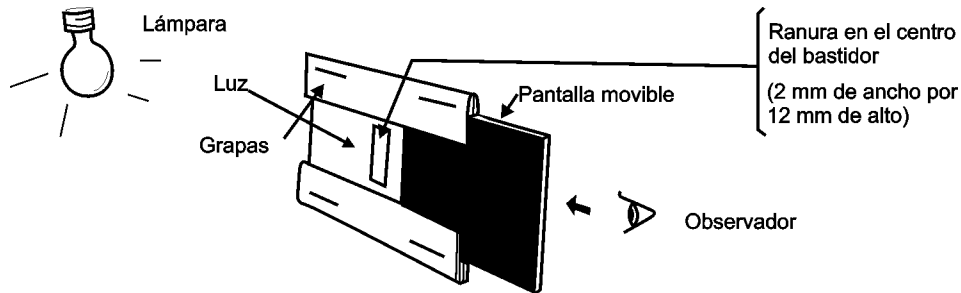


Figura 40.

Quizá estés intrigado respecto de tus observaciones. No te preocupes, incluso algunos científicos contemporáneos de Newton pensaron que el prisma realmente cambiaba la luz blanca en luz de colores. Aunque Newton razonó: “Supongamos que esto es cierto, que el prisma realmente cambia la luz. Entonces otro prisma puede cambiar la luz aún más”. Por consiguiente, experimentó hasta comprobar su predicción. Consigue dos prismas iguales en el laboratorio y realiza este experimento.

Uno de los experimentos de Newton para probar sus teorías sobre el color (*Figura 41*) puedes hacerlo si cuentas con una fuente de luz intensa, un cuarto oscuro y dos prismas. Newton arregló un prisma y una ranura de tal forma que sólo pasara un color de espectro a través de esta última. Girando el prisma ligeramente pudo dirigir cualquier color que deseara a través de la ranura y del segundo prisma. Con ello determinó qué efecto producía un prisma sobre un solo color de luz. Vio que un prisma no cambiaba ningún color de la luz, ya que el segundo prisma simplemente producía *refracción* sin cambiar el color. También observó que la luz violeta se refracta más que la luz roja.

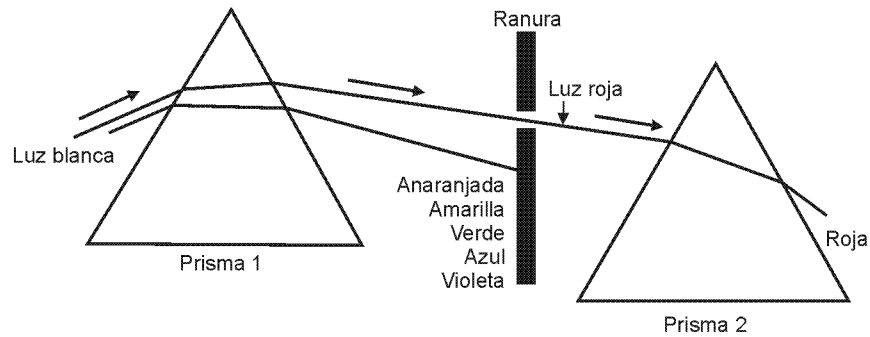


Figura 41.

¿Qué conclusión obtienes de estas observaciones? Señala si las afirmaciones siguientes son falsas o verdaderas:

- a) La luz blanca consta de muchos colores. (F/V)
- b) Una variedad determinada de luces de colores se puede combinar para producir luz blanca. (F/V)
- c) La luz roja se refracta menos que la luz violeta. Los otros colores se refractan en cantidades intermedias entre el rojo y el violeta. (F/V)
- d) Existen muchos colores diferentes de luz. (F/V)

*Un espectro visible (arco iris) es el despliegue de colores formado cuando un haz de luz de diferentes longitudes de onda se desvía y sufre una **dispersión** al pasar por un prisma.*

*El **índice de refracción** de las ondas mecánicas es igual a la relación entre las velocidades de propagación en los dos medios:  $n_{1/2} = v_1 / v_2$ . No se especifica la frecuencia de las ondas porque previamente se puede establecer que las velocidades de propagación sólo dependen de los medios en que viajan. Por consiguiente, es lógico que siempre que repitamos la experiencia con los mismos medios (por ejemplo, agua en dos profundidades), utilizando ondas de distintas frecuencias, debemos obtener el mismo índice de refracción.*

*Sin embargo, lo que realmente obtenemos es un índice distinto para distintas frecuencias, es lo que explica el hecho de que la luz blanca se disperse en un prisma. En la Figura 42 se observa la refracción de una onda de baja frecuencia (longitud de onda larga). Para indicar la dirección de la onda refractada se situó como referencia una barra sobre la pantalla de la cuba de ondas, de tal modo que fuera exactamente paralela a los frentes de las ondas refractadas.*

A continuación se incrementa la frecuencia (disminuye la longitud de onda) sin variar la posición de la barra (*Figura 43*). En estas condiciones la barra no es paralela a las crestas de las ondas refractadas. La onda de mayor frecuencia se ha refractado en una dirección ligeramente diferente a la que corresponde a la onda anterior.

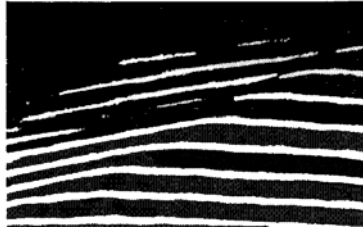


Figura 42.

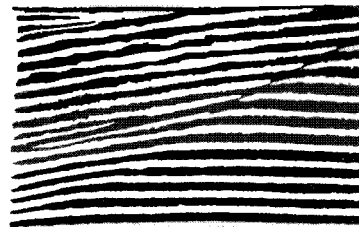


Figura 43.

El índice de refracción para los dos medios depende de la frecuencia de la onda. Por analogía con la independencia del índice de refracción de la luz con el color, este fenómeno se denomina **dispersión**.

Como el índice de refracción es igual a la relación entre las velocidades de propagación de los medios, se concluye que la velocidad depende de la frecuencia, por lo menos en uno de los medios; de otro modo, la relación no presentaría tal dependencia. *Un medio en el cual la velocidad de las ondas depende de la frecuencia es un **medio dispersivo**.*

En la cuba de ondas puede medirse la velocidad de las ondas periódicas de diferentes frecuencias y comprobar directamente que la velocidad cambia con la frecuencia. Por consiguiente, la afirmación hecha acerca de que la velocidad de las ondas depende solamente del medio, es una idealización. Esta hipótesis es una buena aproximación al problema real, siempre que no hagamos referencia a pequeños cambios a la velocidad.

Hemos hecho una idealización similar en nuestro estudio de la refracción de la luz. Como recordarás, el índice de refracción de la luz dependía sólo en primera instancia de los dos medios atravesados por la luz, por ejemplo, aire y vidrio. Un estudio más profundo del problema, mediante prismas, demostraba que el índice dependía ligeramente del color de la luz, siendo un poco mayor para el violeta que para el rojo.

*El índice de refracción de las ondas depende ligeramente de la frecuencia y el de la luz, del color. ¿Existe, quizá, una relación entre la dependencia del índice de refracción de las ondas con la frecuencia y el de luz con su color? Es interesante imaginar que la luz es una onda periódica y que los diferentes colores corresponden a ondas de diferente frecuencia.*

## ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Con la finalidad de que reafirmes lo aprendido sobre las características de la luz, resuelve lo que se te pide a continuación:

1. Completa el siguiente cuadro de datos:

CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ	EXPLICACIÓN	DIBUJO	UNA APLICACIÓN
Reflexión especular			
Reflexión de la luz en espejo curvo			
Reflexión total			
Refracción			
Difracción			
Dispersión			



2. Sostén una hoja de papel hacia una fuente de luz, como un foco, y observa el borde de la hoja. Podrás apreciar las franjas de difracción a lo largo del borde. Descríbelo.

---

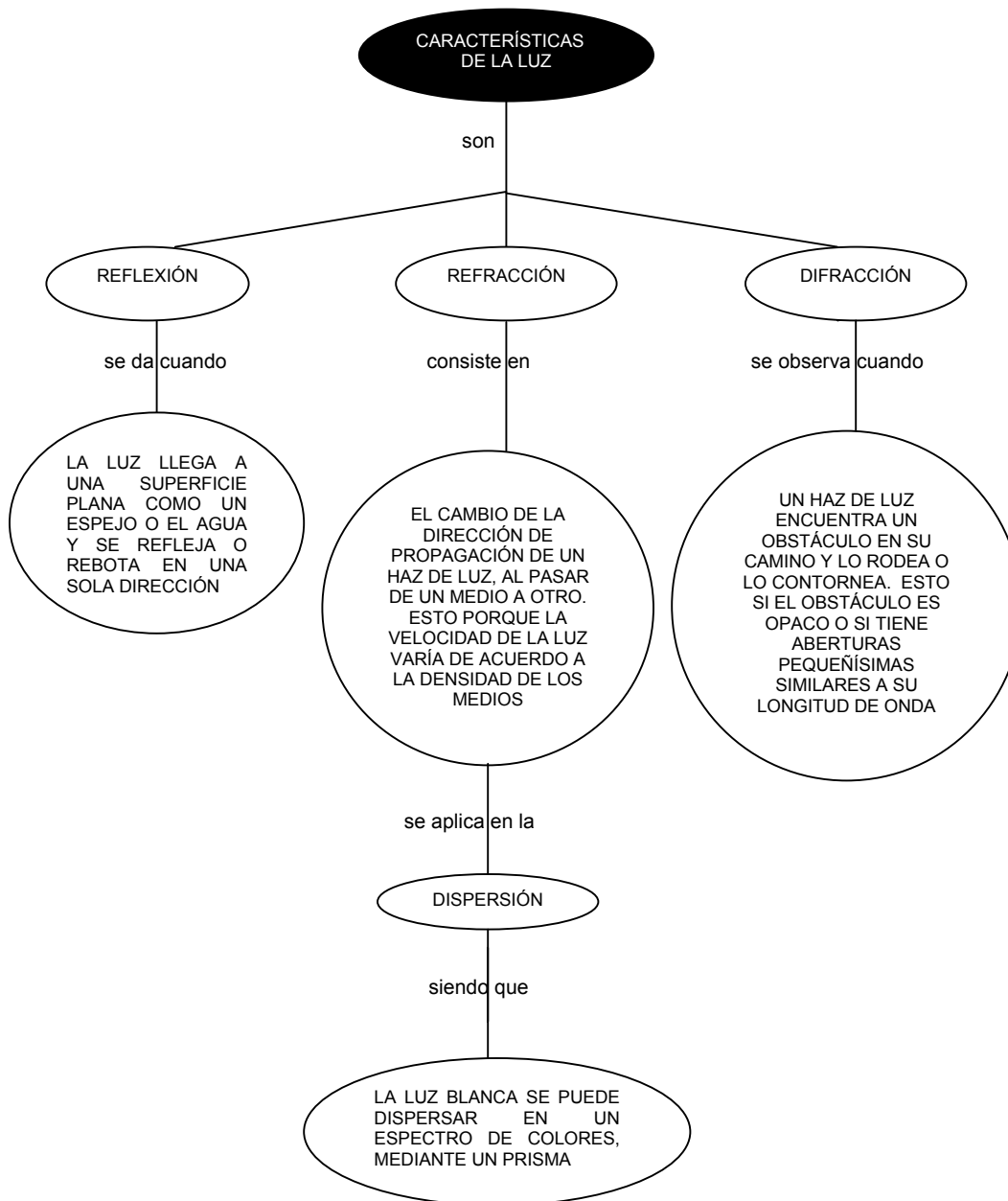
---

3. Si un rayo de luz choca con un espejo a un ángulo de  $30^\circ$  con la normal ¿cuál es el ángulo de reflexión?

---

## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

El siguiente esquema te muestra lo más importante de las características de la luz, revísalo detenidamente.



## 2.3 FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LENTES

Cuando los rayos de luz atraviesan un vidrio de caras paralelas, éstos se desvían ligeramente por la refracción, pero al salir recuperan su dirección original. Esto explica el porqué las imágenes vistas a través de una ventana no se distorsionan.

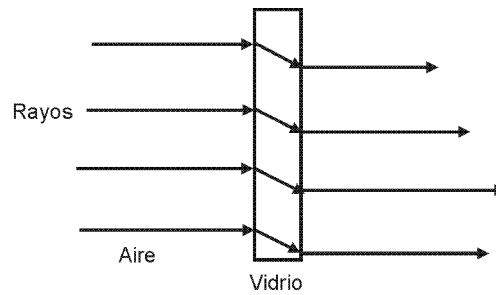


Figura 44.

¿Qué sucede con la luz cuando atraviesa cuerpos curvos?

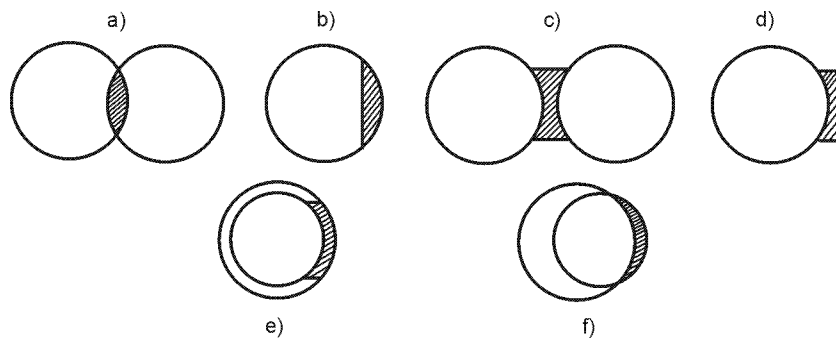


Figura 45.

Para contestar a esta pregunta en el laboratorio encontrarás una serie de vidrios curvos, que reciben el nombre de *lentes*, las cuales se crean por la interferencia de esferas como se explica a continuación:

Las lentes formadas en la *Figura 45* incisos *a*, *b* y *f* son **convergentes**; éstas tienen los bordes delgados y el centro grueso, ¿conoces alguna?

Las figuras de los incisos *c*, *d* y *e* son lentes **divergentes**; éstas tienen los bordes o extremos gruesos y el centro delgado, ¿conoces o has visto alguna?.

Iniciaremos nuestro análisis estudiando el comportamiento de los rayos de luz que pasan a través de una lente convergente, mediante la siguiente actividad.

## ACTIVIDAD EXPERIMENTAL No. 12

### OBJETIVO:

Verificar experimentalmente el comportamiento de los rayos de luz que pasan a través de una lente convergente.

### MATERIAL:

- una vela
- una lupa
- una pantalla

### PROCEDIMIENTO:

Inicia colocando el sistema conforme a la *Figura 46*: pon la lupa entre la pantalla y la vela de tal manera que quede en el centro, observa si se forma alguna imagen, acerca y aleja la lupa de la pantalla y ve nuevamente las características de la imagen formada. ¿Qué pasa si, a partir de una imagen bien definida en la pantalla, tapas la flama de la vela o una parte de la lente? ¿Qué diferencia observas en la imagen formada?

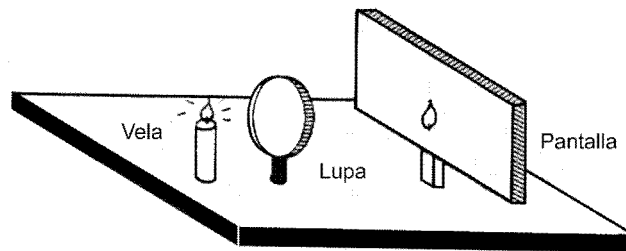
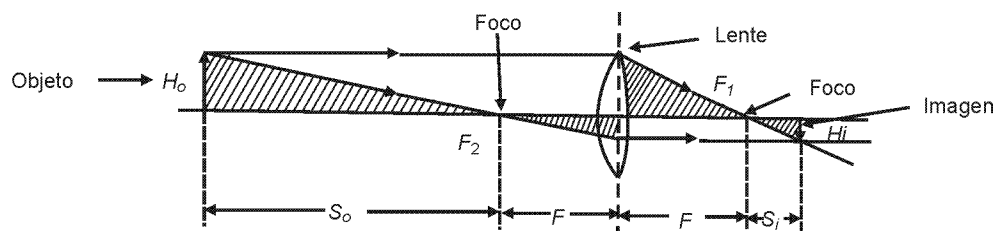


Figura 46.

Las **lentes convergentes**, como los espejos parabólicos, *concentran los rayos paralelos en un punto y obedecen a una relación matemática entre la distancia de la imagen, la distancia focal y la distancia del objeto. Esta relación se expresa como  $S_i S_o = F^2$* . Estas variables las puedes identificar en el siguiente diagrama:



Donde

- $H_o$  : Objeto
- $H_i$  : Imagen
- $F_1$  y  $F_2$  : Focos
- $S_o$  : Distancia del foco al objeto
- $S_i$  : Distancia del foco a la imagen
- $F$  : Distancia focal

Figura 47. Formación de una imagen real por una lente convergente.

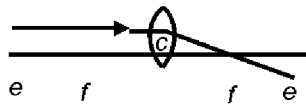
Considerando que la lupa es una lente convergente y con base en la información anterior, traza sobre la *Figura 46* los rayos implicados en la actividad que realizaste con la lupa y la vela.

### 2.3.1 COMPORTAMIENTO DE LA LUZ EN LAS LENTES

Los **rayos notables o principales** que determinan el comportamiento de la luz en las lentes convergentes y divergentes son tres:

#### *Lentes convergentes*

Los rayos que inciden paralelos al eje principal, se refractan pasando por el foco.



#### *Lentes divergentes*

Los rayos que inciden paralelos al eje principal, se refractan en dirección al foco.

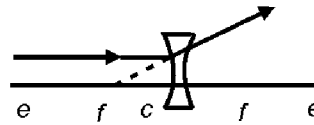


Figura 47.1

Los rayos que pasan por el foco, al incidir en la lente, se refractan paralelos al eje principal.

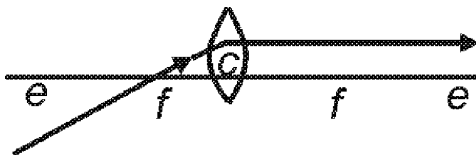


Figura 47.2

Los rayos cuyas prolongaciones cruzan el foco, al incidir en la lente, se refractan paralelamente al eje principal.

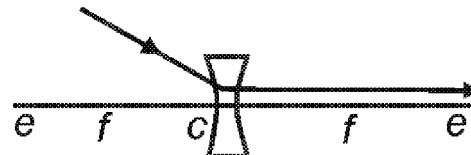


Figura 47.3

Los rayos que pasan por el centro óptico, al incidir en las lentes convergentes, se refractan siguiendo la misma dirección.

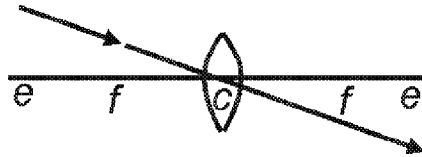


Figura 47.4

Los rayos que pasan por el centro óptico, al incidir en las lentes divergentes, se refractan siguiendo la misma dirección.

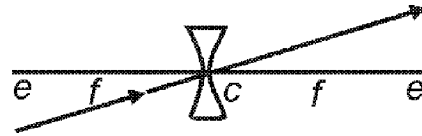


Figura 47.5

Investiga cómo, mediante un telescopio, se pueden observar los cuerpos celestes ubicados a millones de kilómetros de la Tierra, cómo el microscopio es capaz de captar los microorganismos y cómo un proyector de diapositivas es capaz de aumentar la imagen de las filminas o diapositivas. ¿Qué tipo de lentes se usa en cada caso?

### Aplicación de lentes a la visión humana

El ojo humano tiene un diámetro aproximado de 2.5 cm; en la parte delantera hay una membrana de mayor curvatura, llamada córnea, tras la cual existe un líquido llamado humor acuoso. En la parte de atrás de este líquido, y en contacto con él, se encuentra la pupila, cuya misión es abrirse y cerrarse para permitir la entrada de la cantidad de luz adecuada; a esto se le llama *efecto diafragma*. Detrás de la pupila se halla el cristalino, que es una especie de cápsula fibrosa y está unida a unos músculos llamados ciliares, que permiten variar ligeramente su forma.

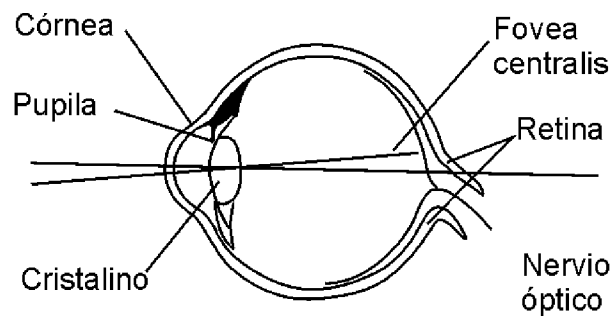


Figura 48. Esquema de un ojo.

Desde el concepto de la óptica, *el cristalino funciona como una lente cuya cobertura y distancia focal varían*. De este modo, el ojo es capaz de adecuar el foco del cristalino (la lente) a la distancia que se encuentra el objeto que se desea ver; la forma normal del cristalino es del tipo de lente convergente.

*Mediante el uso de lentes apropiadas se pueden corregir algunos defectos de la vista. (Figuras 49, 50 y 51).*

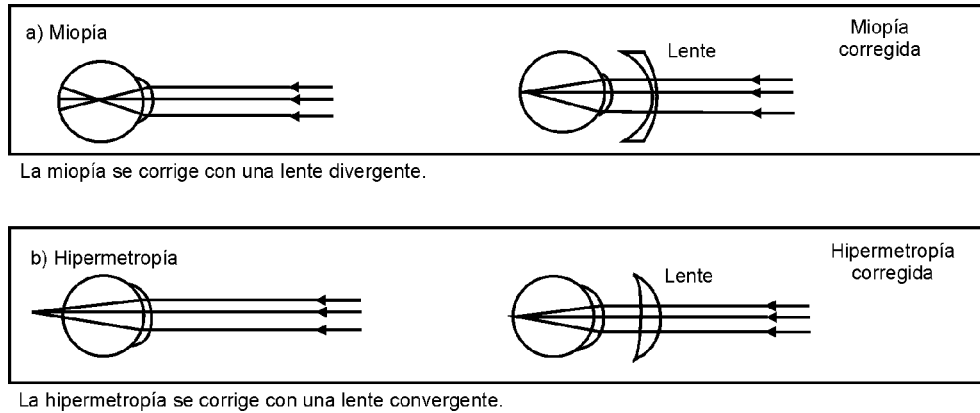


Figura 49.

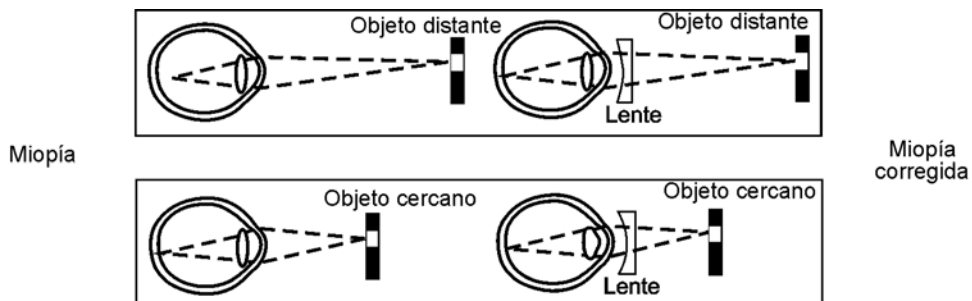


Figura 50. Corrección de la miopía: En el caso de la miopía, el *globo del ojo* es demasiado alargado para la natural capacidad de enfoque de la *córnea* y el *cristalino*. Los rayos de luz reflejados por un objeto distante convergen antes de llegar a la retina, pero un cristal cóncavo, al separar los rayos lleva la imagen a la retina. La imagen cercana llega a la retina sin acomodación del cristalino; con anteojos, el cristalino se acomoda a la visión cercana.



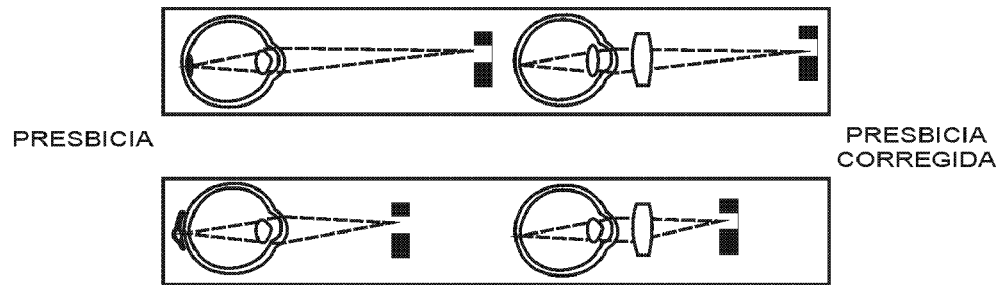


Figura 51. Corrección de la presbicia: El *globo del ojo* présbite es demasiado romo; su cristalino debe acomodarse incluso para ver imágenes lejanas. Con objetos cercanos el *cristalino* no puede acomodarse para impedir que las imágenes caigan detrás de la retina. Un vidrio convexo, que converge los rayos de luz, compensa la corta distancia entre el cristalino y la retina, y permite al cristalino del ojo el enfoque normal.

## ACTIVIDAD DE REGULACIÓN

Aplica tus conocimientos sobre la formación de imágenes en lentes, resolviendo lo siguiente:

1. Dibuja los tres rayos notables en:

LENTES CONVERGENTES	LENTES DIVERGENTES

2. Explica mediante dibujos, cómo se corrigen los siguientes defectos de la vista:

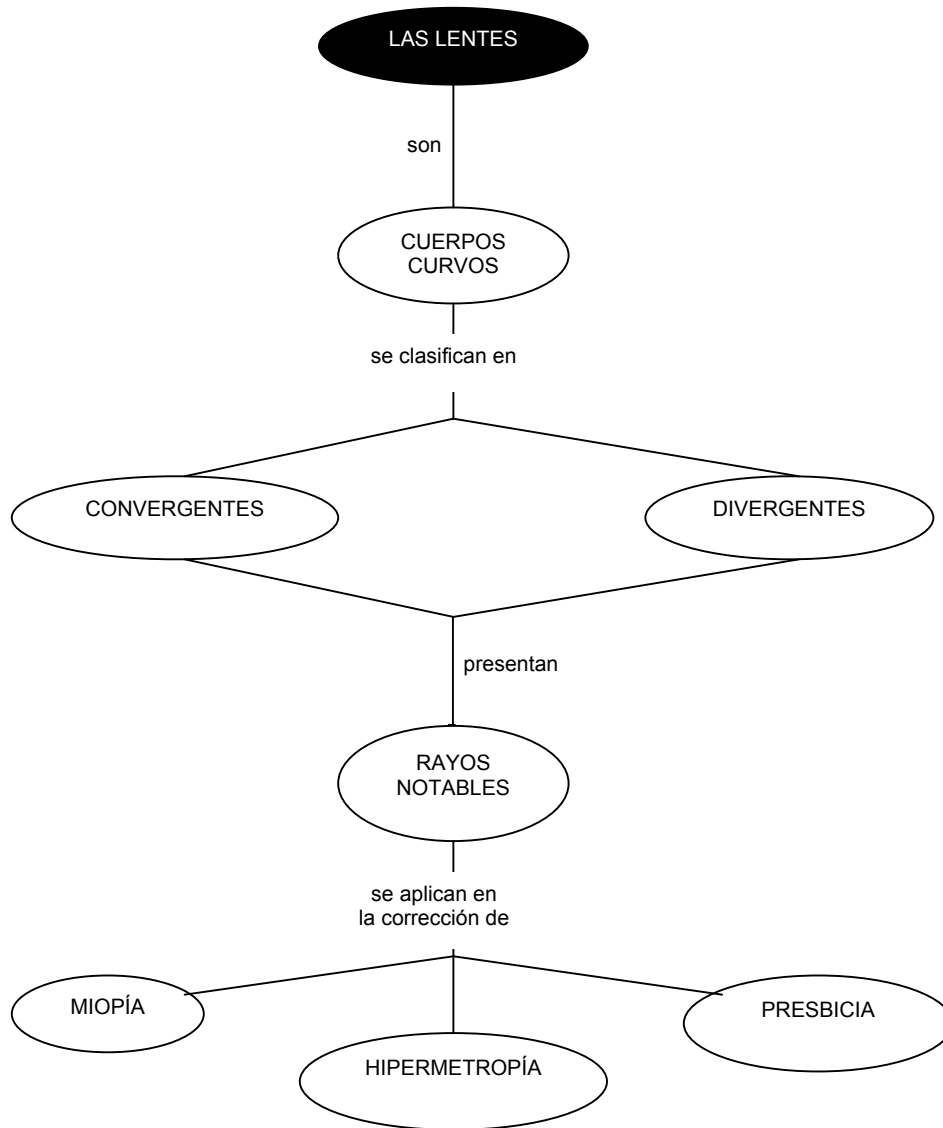
MIOPÍA

HIPERMETROPÍA

PRESBICIA

## EXPLICACIÓN INTEGRADORA

El siguiente mapa conceptual te permite identificar los elementos más importantes del tema:



## RECAPITULACIÓN

A continuación te presentamos una síntesis que te permitirá identificar los aspectos más relevantes sobre la transmisión de la luz.

*La luz viaja por el espacio a una velocidad de 300 mil kilómetros por segundo, valor que se ha determinado experimentalmente. La luz viaja demasiado rápido pero no es instantánea.*

Aunque la luz viaja en *línea recta* podemos cambiar la dirección de su trayectoria mediante la reflexión y la refracción. La *reflexión* es el rebote de la luz en un cuerpo y podemos predecir su trayectoria midiendo el ángulo incidente, que será igual al ángulo del rayo reflejado.

Cuando un rayo de luz pasa a través de un material transparente su trayectoria cambia, puede alejarse o acercarse a la normal, dependiendo de la densidad del medio que atraviesa (refracción).

Una *lente convergente* refracta todos los rayos de luz que transmite hacia el centro de la lente (la lupa es un ejemplo de ella). Este tipo de lente sirve para ampliar el tamaño de los objetos pequeños o para formar imágenes de los objetos distantes.

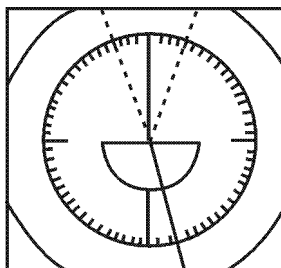
La imagen producida por una *lente divergente* es siempre pequeña y horizontal, aunque varíe la distancia focal de la lente y la distancia del objeto a la lente.

Existen dos teorías que explican el comportamiento de la luz: **la teoría ondulatoria** y **la teoría corpuscular**, ambos puntos de vista difieren sobre el mismo caso.

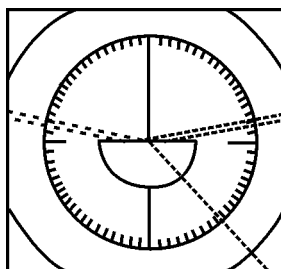
## ACTIVIDADES INTEGRALES

Enseguida se plantean algunos problemas relacionados con la luz, en cada caso resuelve lo que se te pide.

1. En la siguiente figura, identifica: el rayo incidente, el rayo reflejado y el rayo refractado.



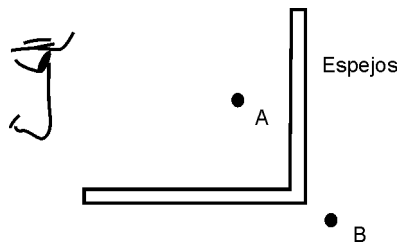
2. Mide el ángulo de refracción y de reflexión en la siguiente figura. Considera que el haz de luz ha atravesado un vidrio.



3. Con base en la siguiente figura, responde: si A es un objeto, B un observador y C un espejo, ¿podrá ver B la imagen de A reflejada en el espejo?



4. Con base en la siguiente figura, considera que A es una moneda y B su imagen. Traza la trayectoria que siguen los rayos de luz provenientes de la imagen para llegar al ojo del observador.



5. Investiga la distancia del Sol a la Tierra y calcula el tiempo que tardan en llegar los rayos del Sol a la Tierra.

## AUTOEVALUACIÓN

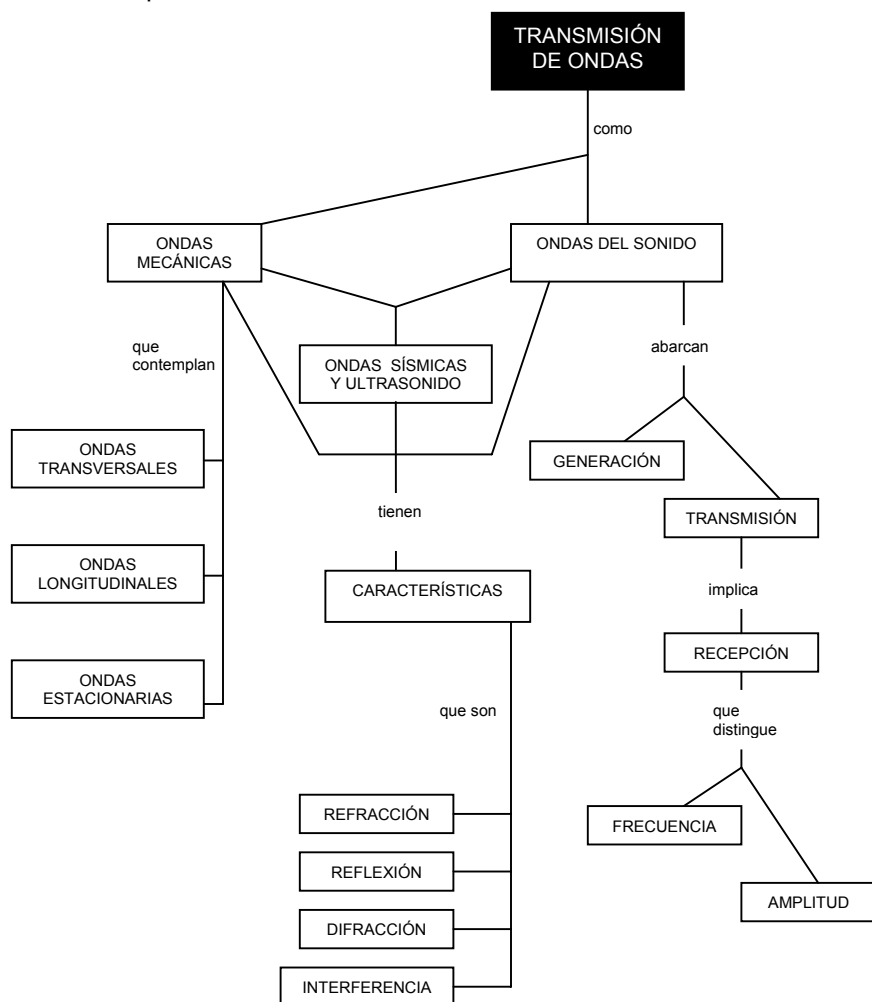
Ahora te presentamos el tipo de respuesta que debiste haber elaborado para las Actividades Integrales, con la intención de que verifiques tu nivel de aprendizaje.

1. Considera que el rayo refractado es casi una continuación del rayo incidente y que el ángulo del rayo reflejado es igual al ángulo del rayo que incide.
2. Compara tus resultados con los que aparecen en la Tabla 2 de este capítulo. Observarás ciertos índices de refracción en aire-vidrio.
3. Traza los rayos de incidencia y de reflexión para descubrir si el observador se localiza fuera del alcance del espejo.
4. En este caso existe una doble reflexión: primero la del objeto sobre el espejo de la derecha, y después esta misma sobre el espejo de la izquierda, que es donde el observador ubica la imagen.
5. El tiempo que tarda la luz del Sol en llegar a la Tierra es de aproximadamente ocho minutos.

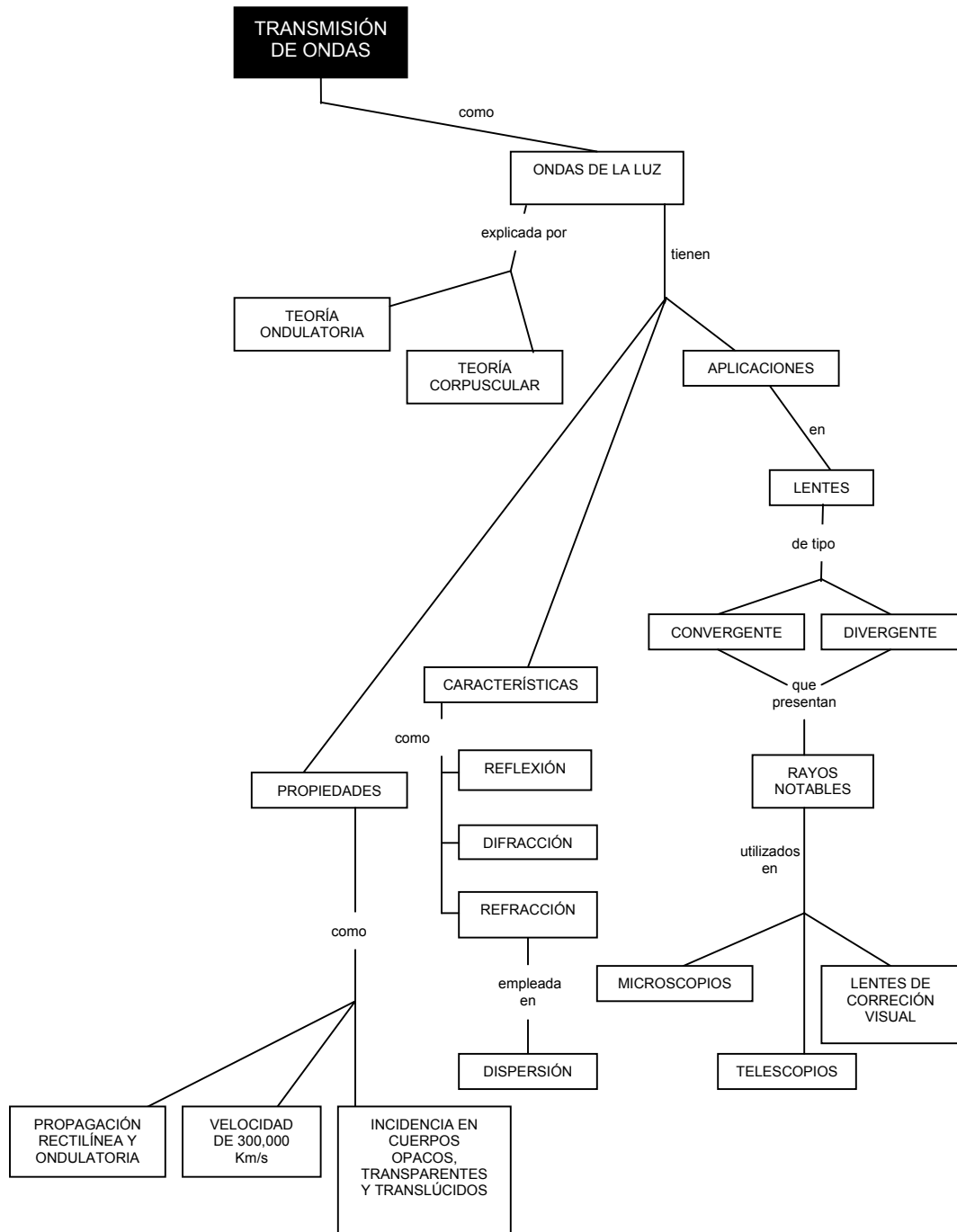


## RECAPITULACIÓN GENERAL

Ahora que has concluido el estudio de este fascículo, te presentamos el siguiente mapa conceptual\* sobre la transmisión de ondas, que te permitirá repasar los contenidos más importantes al respecto:



\* Este mapa conceptual está dividido en tres ramificaciones principales, las dos primeras se encuentran en esta página, y la tercera y última se localiza en la siguiente página.



## ACTIVIDADES DE CONSOLIDACIÓN

Con la finalidad de reafirmar tu aprendizaje sobre este fascículo, realiza los siguientes ejercicios:

I. Selecciona la respuesta correcta de las siguientes preguntas y anota en el paréntesis de la izquierda la letra que corresponda.

- ( ) 1. Objeto para corregir la miopía:
  - a) prisma      b) espejo      c) lente convergente      d) lente divergente
- ( ) 2. Es una aplicación del ultrasonido:
  - a) espejismo      b) sonar      c) radar      d) lente
- ( ) 3. Sonido con frecuencia mayor a 20 000 ciclos/segundo:
  - a) grito      b) silbido      c) ultrasonido      d) plática
- ( ) 4. Condición donde no se transmite el sonido:
  - a) vacío      b) atmósfera      c) éter      d) océano
- ( ) 5. Objeto donde se produce la dispersión de la luz:
  - a) radar      b) espejo      c) lente      d) prisma

II. Relaciona las siguientes columnas escribiendo en el paréntesis de la izquierda la letra de la respuesta correcta.

- |  |                        |
|--|------------------------|
| ( ) 6. Se superponen simultáneamente dos o más trenes de onda.   | a) Difracción          |
| ( ) 7. Cambian de dirección y velocidad las ondas al pasar de un medio a otro de distintas densidades. | b) Ondas estacionarias |
| ( ) 8. Cuando una onda encuentra un obstáculo en su camino lo rodea o contornea.                       | c) Interferencia       |
| ( ) 9. El movimiento del medio es perpendicular a la dirección en que viaja la onda.                   | d) Ondas transversales |
| ( ) 10. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.                                       | e) Reflexión           |
|  | f) Refracción          |

III. Completa correctamente, con una palabra, los siguientes enunciados:

11. Gracias a la expansión y compresión del aire se transmite el \_\_\_\_\_.
12. La intensidad del sonido que puede captar el oído humano va desde el ruido de un mosquito hasta el ruido de un \_\_\_\_\_.
13. La energía transmitida por el sonido se disipa en la atmósfera en forma de energía \_\_\_\_\_.
14. La hipermetropía se corrige con una lente \_\_\_\_\_.
15. En el vacío, sí se transmiten las ondas \_\_\_\_\_.
16. Las ondas de agua transmiten \_\_\_\_\_.

IV. Resuelve el siguiente problema:

17. Se generan ondas con frecuencia de 3 Hertz a lo largo de un resorte. Dichas ondas tienen una longitud de 0.5 m. Contesta:

a) ¿Cuál es la rapidez de las ondas a lo largo del resorte?

b) ¿Cuál es la longitud de onda que se mueve a lo largo del resorte si su frecuencia aumenta a 10 Hertz?

## AUTOEVALUACIÓN

Compara las siguientes respuestas con las que elaboraste para las Actividades de Consolidación. Si tienes dudas, consulta a tu asesor.

### I. Selección de respuesta.

- ( d ) 1.
- ( b ) 2.
- ( c ) 3.
- ( a ) 4.
- ( d ) 5.

### II. Relación de columnas.

- ( c ) 6.
- ( f ) 7.
- ( a ) 8.
- ( d ) 9.
- ( e ) 10.

### III. Completar enunciados.

- 11. sonido
- 12. cañón
- 13. calorífica
- 14. convergente
- 15. luminosa
- 16. energía

IV. Problema.

17. DATOS

$$f = 3 \text{ Hz}$$

$$\lambda = 0.5 \text{ m}$$

a)  $v = ?$

*Fórmula*  
 $v = \lambda f$

*Sustitución*

$$v = \left( 0.5 \frac{\text{m}}{\cancel{\text{ciclo}}} \right) \left( 3 \frac{\cancel{\text{ciclo}}}{\text{s}} \right)$$

$v = 1.5 \text{ m/s}$

b)  $\lambda = ?$

*Fórmula*  
 $v = \lambda f$   
 en donde  $f = 10 \text{ Hz}$

*Despeje*

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

*Sustitución*

$$\lambda = \frac{1.5 \text{ m} / \cancel{s}}{10 \text{ ciclos} / \cancel{s}}$$

$\lambda = 0.15 \text{ m/ciclo}$

## GLOSARIO

**Amplitud:** (También llamada elongación). Es la distancia desde el punto medio (con referencia a la línea recta) a la cresta (o al valle) de la onda.

**Cresta:** Se refiere a la parte superior de la curva (onda).

**Ciclo:** Es una oscilación completa.

**Frecuencia:** Es el número de oscilaciones completas (ciclos) en una unidad de tiempo; es decir, el número de veces que las crestas (o valles) pasan por un punto fijo en 1 segundo. Se representa con la letra griega minúscula  $\nu$ ,  $v$  o  $f$ .

**Hipermetropía:** Defecto de la visión en que las imágenes se forman por detrás de la retina.

**Longitud de onda:** Es la distancia de una cresta a la siguiente (o valle). También entre partes idénticas sucesivas. Se representa con la letra griega minúscula  $\lambda$ .

**Miopía:** Los rayos luminosos se concentran por delante de la retina y únicamente los que inciden en forma divergente logran enfocarse sobre la misma

**Nodo:** Es un punto en un medio que no presenta desplazamiento mientras las ondas pasan, tampoco se altera durante el encuentro de dos ondas iguales y opuestas.

**Periodo:** Es el tiempo empleado en una oscilación completa. Se representa con la letra  $T$ .

**Presbicia:** Pérdida de la capacidad de acomodación del cristalino, que se presenta con la edad.

**Tropósfera:** Es la capa inferior de la atmósfera donde se realizan los principales fenómenos atmosféricos y que contiene a la biósfera.

**Valle:** Es la parte inferior de la curva.

**Velocidad de onda:** Es la frecuencia multiplicada por la longitud de onda, que es igual a la longitud de onda dividida entre el periodo. Se representa con la letra minúscula  $v$ .

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

**BRANDWEIN**, Paul F., *et al.* Física. La energía: sus formas y sus cambios. Publicaciones Cultural, México, 1973.

**CASAS** Reyes, José Vicente, *et al.* Física III. Ondas y luz. C.E.F., Norma, Colombia.

**FEYMANN**, R. Lecturas de Física. Fondo de Cultura Interamericana, México.

**GENZER**, Irwin, *et al.* Física. Publicaciones Cultural, México, 1980.

**HABER-SCHAIM**, *et al.* Física PSSC. Reverté, España, 1975.

**HEWITT**, Paul G. Conceptos de Física. Limusa, Noriega Editores, México, 1992.

**LAWRENCE**, *et al.* Fundamentos de acústica. Noriega – Limusa, México, 1991.

**MURPHY-SMOOT.** Física: principios y problemas. CECSA, México, 1981.

**STOLLBERG-HILL.** Física: fundamentos y fronteras. PCSA, México, 1981.