

16. Una máquina realiza un trabajo de 100 J y en este proceso su energía interna aumenta. Ordenar en forma ascendente, el intercambio de calor total si la energía interna aumenta de acuerdo a los siguientes valores indicados:

1. 200 J
  2. 100 J
  3. 400 J
  4. 600 J
  5. 500 J
- 
- a) 3, 1, 4, 5, 2
  - b) 2, 3, 1, 5, 4
  - c) 3, 1, 5, 4, 2
  - d) 2, 1, 3, 5, 4

17. Relacionar las cantidades de temperaturas con su equivalente.

	<b>Cantidades</b>	<b>Equivalente</b>
a) 1B, 2A, 3D, 4C	1. 273 K	A. 102.6 °F
b) 1C, 2A, 3D, 4B	2. 25 °C	B. 373 K
c) 1B, 2C, 3A, 4D	3. 212 °F	C. 0 °C
d) 1C, 2D, 3B, 4A	4. 100 °C	D. 100 °C

21. La escala Kelvin de temperatura se dice que es una escala:

- a) práctica
- b) absoluta
- c) dinámica
- d) energética

Si un motor trabaja al 50% de su eficiencia máxima, y el motor opera entre las temperaturas de 500 K y 200 K, determinar el trabajo que realiza en cada ciclo si se absorben 1200 J de calor.

$$\eta = \frac{W_{\text{out,neto}}}{Q_{\text{in}}} := 1 - \frac{Q_{\text{out}}}{Q_{\text{in}}}$$

$$(0.5) \cdot (0.6) = W / (1200 \text{ J})$$

$$W = (0.3) \cdot (1200 \text{ J})$$

$$\mathbf{W = 360 \text{ J}}$$

- a) 26.6 J                      b) 36 J  
c) 266 J                      d) 360 J

11. La variación de la entropía del universo \_\_\_\_\_ en un proceso irreversible y \_\_\_\_\_ en los procesos reversibles.

- a) aumenta - aumenta  
b) disminuye - aumenta  
c) disminuye - disminuye  
d) aumenta - es constante

21. Una máquina toma 950 J de calor del reservorio de alta temperatura y tiene una eficiencia del 27%. ¿Qué cantidad de calor expulsa al reservorio de baja temperatura?

$$W = e_c Q_c$$

$$Q_{\text{in}} + W_{\text{in}} = Q_{\text{out}} + W_{\text{out}}$$

- a) 400.4 J                      b) 565.3 J  
c) 693.5 J                      d) 714.8 J

14. Un sistema efectúa trabajo de 400 J y durante el proceso absorbe 1200 J de calor. Determinar el cambio de energía interna del sistema.

$$Q_{\text{in}} + W_{\text{in}} = Q_{\text{out}} + W_{\text{out}}$$

- a) 600 J                                      b) -600 J  
c) 800 J                                      d) -800 J

29. Determinar la cantidad de calor, en kcal, que se le debe suministrar a 5 kg de agua para elevar su temperatura de 10 °C a 80 °C, si el calor específico del agua es de 1 kcal/kg °C

- a) 350  
 b) 300  
 c) 280  
 d) 250

$$C_e = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \boxed{Q = C_e \cdot m \cdot \Delta T}$$

a

30. ¿A qué ley de la termodinámica hace referencia la siguiente expresión matemática?

$$Q = \Delta U + W$$

- a) Cero  
 b) Primera  
 c) Segunda  
 d) Tercera

31. Relacionar cada concepto con la expresión matemática que describe.

Concepto	Expresión matemática
1. Capacidad calorífica	A. $Q = mL$
2. Equivalente mecánico del calor	B. $C = \frac{Q}{\Delta T}$
3. Calor específico	C. $c = \frac{1}{m} \frac{Q}{\Delta T}$
4. Calor latente	D. $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$

- a) 1D, 2B, 3C, 4A  
 b) 1B, 2D, 3C, 4A  
 c) 1D, 2A, 3B, 4C  
 d) 1B, 2C, 3D, 4A

32. Cuando se retiran 50 cal de calor de 10 g de una sustancia, se observa que su temperatura decrece de 40 °C a 15 °C, ¿cuál es el calor específico (en cal/kg·°C) de la sustancia?

- a) 2  
 b) 20  
 c) 200  
 d) 2000

$$C_e = \frac{C}{m} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

b c

35. Durante la graduación de un termómetro se toman dos puntos fijos y una escala que relaciona la propiedad termométrica que se está utilizando y la correspondiente temperatura..Esta relación es de tipo:

- a) lineal  
 b) cúbica  
 c) arbitraria  
 d) cuadrática



36. ¿A qué ley de la termodinámica hace referencia el siguiente enunciado: "En todo proceso natural, la entropía del universo aumenta"?

a) cero

b) primera

c) segunda

d) tercera

## 8. Acústica

8.1. Clasificación de las ondas

8.2. Características de las ondas

8.3. Velocidad de una onda

8.4. Reflexión

8.5. Refracción

8.6. Difracción

8.7. Interferencia

8.8. Características del sonido

8.9. Aplicaciones en la medicina

8.10. Efecto Doppler

### Clasificación de las ondas

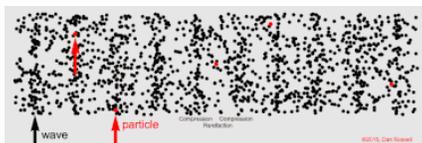
Existen varios criterios para clasificar las ondas. Basándonos en su naturaleza podemos decir que existen las ondas mecánicas (estas a su vez se subclasifican en longitudinales y transversales) y electromagnéticas. Atendiendo sus aspectos que las identifican, podemos decir que se clasifican en: función del medio en el que se propagan, función de su propagación o frente de onda, en función de la dirección de la perturbación, y en función de su periodicidad.

### Ondas.

En física, se utiliza la palabra "onda" para designar la transmisión de energía sin desplazamiento de materia. Una onda es una perturbación que se propaga en el espacio (en un ambiente determinado, el espacio perturbado puede contener materia; aire, agua o vacío) y que, después de pasar, lo deja en su estado inicial., transportando energía (por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético) pero no materia. Cuando la perturbación se propaga a través de un medio material, se denomina onda mecánica, por ejemplo, las ondas generadas en la cuerda de una guitarra o sobre la superficie de un lago. Las únicas ondas que se pueden propagar por el vacío son las ondas electromagnéticas (espectro), como por ejemplo la radiación solar, los rayos X o la luz visible.

### Ondas Mecánicas

Las ondas mecánicas son aquellas que necesitan de un medio material para propagarse. Las características físicas del medio como son la temperatura, la densidad, viscosidad, elasticidad, etc. Mientras más denso es el medio y más tenso, entonces la rapidez de propagación es mayor.



Onda mecánica longitudinal

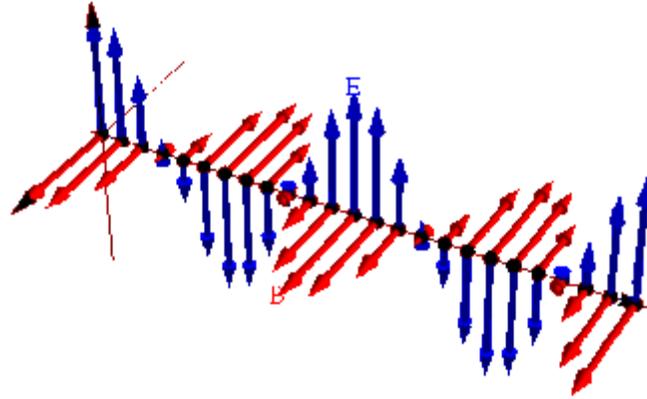


Onda mecánica transversal

Las ondas mecánicas pueden ser longitudinales como el sonido y las ondas sísmicas P, o pueden ser transversales como las olas del mar, o las ondas sísmicas S.

### Ondas Electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas en su mayoría son producidas por la vibración de una carga eléctrica la que genera simultáneamente una onda transversal de campo eléctrico, y otra perpendicular a la anterior también transversal de campo magnético. La diferencia de fase entre ambas ondas son las responsables de los distintos tipos de polarización.



Onda electromagnética

Estas ondas tienen la particularidad de poder propagarse en el vacío a una velocidad de 299.792.458 m/s, que se simboliza con  $c$  y se conoce como velocidad de la luz.

## De acuerdo con su dirección de propagación:

**Ondas transversales:** se caracterizan porque la dirección de propagación de la energía es perpendicular a la dirección en la que oscilan las partículas del medio material por el que se propagan.

Las ondas electromagnéticas son consideradas transversales, aunque no se propaguen a través de un medio material, porque los campos eléctrico y magnético que las constituyen son perpendiculares entre sí y perpendiculares a su vez a la dirección de propagación.

**Ondas longitudinales:** en ellas la dirección de propagación coincide con la dirección en la que oscilan las partículas del medio por el que se propaga. El sonido es una onda longitudinal.

## En función del medio en el que se propagan

**Ondas mecánicas:** las ondas mecánicas necesitan un medio material elástico (sólido, líquido o gaseoso) para propagarse. Las partículas del medio oscilan alrededor de un punto fijo, por lo que no existe transporte neto de materia a través del medio. Dentro de las ondas mecánicas tenemos las ondas elásticas, las ondas que se propagan en la superficie del agua o en una explosión controlada, las ondas sonoras y las ondas de gravedad.

**Ondas electromagnéticas:** las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio material, pudiendo por lo tanto propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico, en relación con un campo magnético asociado. Las ondas electromagnéticas viajan aproximadamente a una velocidad de 300,000 km/s, de acuerdo con la velocidad puede ser agrupado en rango de frecuencia. Este ordenamiento es conocido como Espectro Electromagnético, objeto que mide la frecuencia de las ondas. Los rayos X, la luz visible o los rayos ultravioleta son ejemplos de ondas electromagnéticas.

**Ondas gravitacionales:** las ondas gravitacionales son perturbaciones que alteran la geometría misma del espacio-tiempo y aunque es común representarlas viajando en el vacío, técnicamente no podemos afirmar que se desplacen por ningún espacio, sino que en sí mismas son alteraciones del espacio-tiempo.

## En función de su dirección

**Ondas unidimensionales:** las ondas unidimensionales son aquellas que se propagan a lo largo de una sola dirección del espacio, como las ondas en los muelles o en las cuerdas. Si la onda se propaga en una dirección única, sus frentes de onda son planos y paralelos.

Ondas bidimensionales o superficiales: son ondas que se propagan en dos direcciones. Pueden propagarse, en cualquiera de las direcciones de una superficie, por ello, se denominan también ondas superficiales. Un ejemplo son las ondas que se producen en una superficie líquida en reposo cuando, por ejemplo, se deja caer una piedra en ella.

Ondas tridimensionales o esféricas: son ondas que se propagan en tres direcciones. Las ondas tridimensionales se conocen también como ondas esféricas, porque sus frentes de ondas son esferas concéntricas que salen de la fuente de perturbación expandiéndose en todas direcciones. El sonido es una onda tridimensional. Son ondas tridimensionales las ondas sonoras (mecánicas) y las ondas electromagnéticas.

## En función de su periodicidad

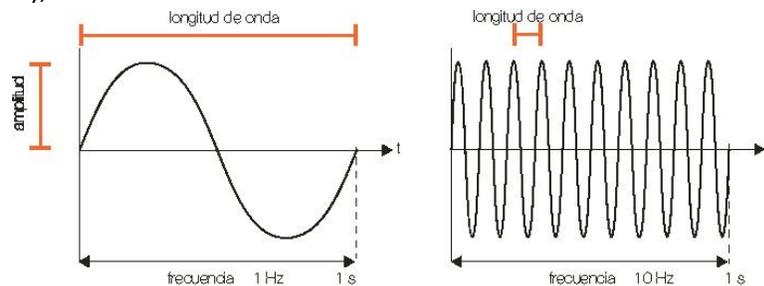
Ondas periódicas: la perturbación local que las origina se produce en ciclos repetitivos por ejemplo una onda senoidal.

Ondas no periódicas: la perturbación que las origina se da aisladamente o, en el caso de que se repita, las perturbaciones sucesivas tienen características diferentes. Las ondas aisladas también se denominan pulsos.

## Características de las ondas

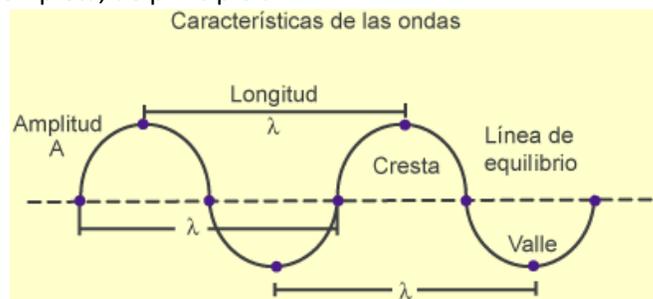
Se puede describir todas las ondas mediante tres características:

- amplitud que corresponde a la altura de las oscilaciones;
- longitud de onda que mide la distancia entre dos oscilaciones;
- frecuencia que refleja el número de oscilaciones por segundo (expresado en hercios e inversamente proporcional a la longitud de onda);



Una onda se compone de las siguientes partes:

- Cresta. Es el punto máximo en la ondulación.
- Valle. Es el punto más bajo de una onda (lo contrario de la cresta).
- Período ( T ). Es el tiempo que demora la onda en ir desde una cresta hasta la siguiente, o sea, en repetirse.
- Amplitud ( a ). Representa la variación máxima del desplazamiento, la distancia vertical entre la cresta y el punto medio de la onda.
- Frecuencia ( f ). Es el número de veces que la onda se repite en una unidad determinada de tiempo, razón por la cual se calcula según la fórmula  $f = 1/T$ .
- Longitud de onda (  $\lambda$  ). Es la distancia entre dos crestas consecutivas de la ondulación. Se representa con el símbolo  $\lambda$  (lamda).
- Nodo ( N ): Es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.
- Ciclo. Es la ondulación completa, de principio a fin.



# Velocidad de una onda.

Velocidad de propagación ( $v$ ): Relación que existe entre un espacio recorrido igual a una longitud de onda y el tiempo empleado en recorrerlo. Su unidad en el S.I. son los m/s

$$v = \lambda / T$$

Pero como la frecuencia y el periodo son recíprocos, la velocidad también es:

$$T = 1/f \quad \text{sustituyendo} \quad v = \lambda / (1/f) \quad \text{Resolviendo} \quad v = \lambda f$$

Longitud de onda ( $\lambda$ ): Distancia física entre dos puntos a partir de los cuales la onda se repite. Su unidad en el S.I es el metro.

$$\lambda = v / f \text{ ó } \lambda = v T$$

Frecuencia ( $f$ ). Es el número de veces que la onda se repite en una unidad determinada de tiempo. Sus unidades en el S.I son los Hertz.

$$f = 1/T.$$

Período ( $T$ ). Es el tiempo que demora la onda en ir desde una cresta hasta la siguiente, o sea, en repetirse. Su unidad es el segundo.

$$T = 1/f$$

El movimiento ondulatorio se propaga con una velocidad que depende de las características del medio, la velocidad de propagación disminuye con la densidad del medio, por lo que al transmitirse la onda a un material más denso disminuye la longitud de onda y viceversa. En general, la relación entre las longitudes de onda en los dos medios es:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción respectivos. Se denomina índice de refracción al cociente de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula. y se trata de un valor adimensional.

$$n = \frac{c}{v}$$

Donde:

- $n$  índice de refracción del medio
- $c$  Velocidad de la luz en el vacío
- $v$  Velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula (agua, vidrio, etc.)

## Reflexión

La reflexión y la refracción de las ondas son dos fenómenos que ocurren cuando una onda que se propaga en un determinado medio se encuentra con una superficie de separación con otro medio un ejemplo de este fenómeno se estudia constantemente con la luz. En general, podemos decir que una parte de la onda incidente, una parte de su energía se refleja y otra se refracta. Vamos a estudiar ambos fenómenos desde un punto de vista geométrico.

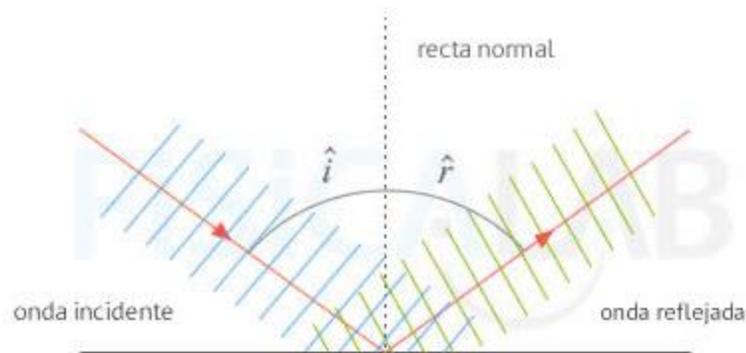
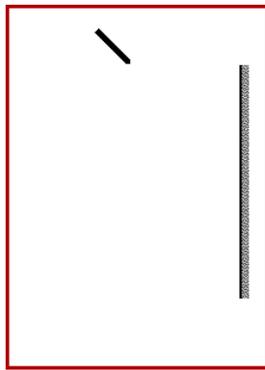
La reflexión de la luz es el cambio en la dirección que experimenta un rayo cuando incide sobre una superficie de otro medio del que proviene inicialmente. Existen dos tipos de reflexión

### Reflexión difusa

Se produce cuando la luz incide sobre una superficie no pulimentada o un medio acuoso que, por una serie de irregularidades, hacen que la onda (luz) se refleje en distintas direcciones.

## Reflexión especular

Se produce en superficies totalmente pulimentadas como ocurre con los espejos. En este caso la reflexión se produce en una sola dirección gracias a lo cual es posible formar imágenes.



Este tipo de reflexión obedece a la ley de reflexión por lo que ángulo de incidencia de los rayos es igual a ángulo de reflexión.

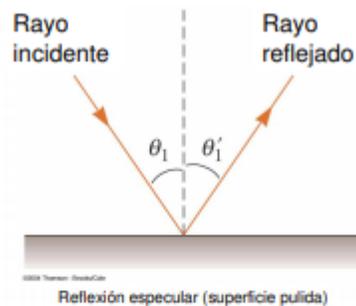
## Ley de reflexión.

Establece que el ángulo que forma el rayo incidente con la normal es igual al ángulo que se forma entre el rayo reflejado y la normal. Cabe mencionar también que la reflexión ocurre en el mismo plano y que la normal siempre es perpendicular a la superficie reflectante.

Se rige por dos leyes:

El rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano

El ángulo del rayo incidente  $\hat{i}$  ó  $\theta_1$  y el de reflexión  $\hat{r}$  ó  $\theta_2$  son iguales



$$\theta_1 = \theta_1'$$

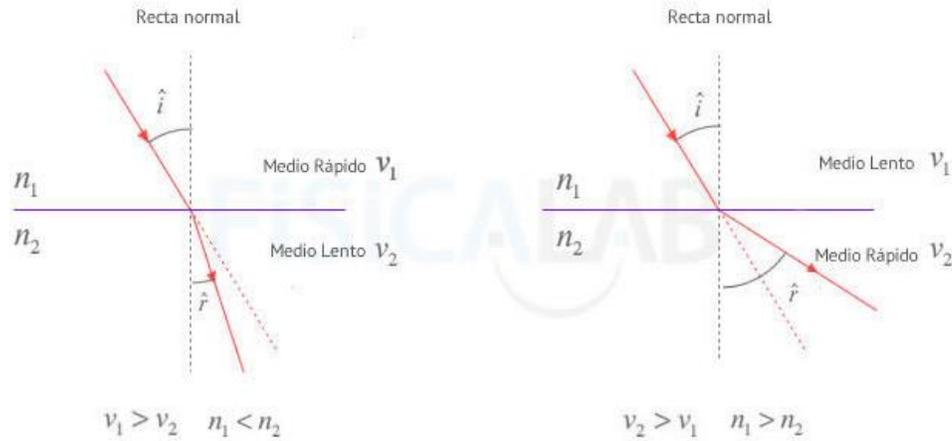
En la reflexión no cambia la velocidad de la onda  $v$ , ni su frecuencia  $f$ , ni su longitud de onda  $\lambda$ .

## Refracción

La refracción de la luz es el cambio de dirección de los rayos de luz que ocurre tras pasar estos de un medio a otro en el que la luz se propaga con distinta velocidad. Se rige por dos principios o leyes de la refracción:

- El rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia están en el mismo plano
- La ley de Snell de la refracción, que marca la relación entre el ángulo de incidencia  $\hat{i}$  ó  $\theta_1$ , el de refracción  $\hat{r}$  ó  $\theta_2$ , y los índices de refracción absolutos de la luz en los medios 1 y 2,  $n_1$  y  $n_2$ , según:

Ley de Snell  $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen } \theta_2}{\text{sen } \theta_1}$   $\frac{\text{sen}(\hat{i})}{\text{sen}(\hat{r})} = \frac{n_2}{n_1}$



En la refracción no cambia la frecuencia de la luz  $f$ , ya que esta depende de la fuente, pero al hacerlo su velocidad  $v$ , debe cambiar también su longitud de onda  $\lambda$ . Dado que el color con el que percibimos la luz depende de la frecuencia, este no cambia al cambiar de medio.

## Reflexión total y ángulo límite

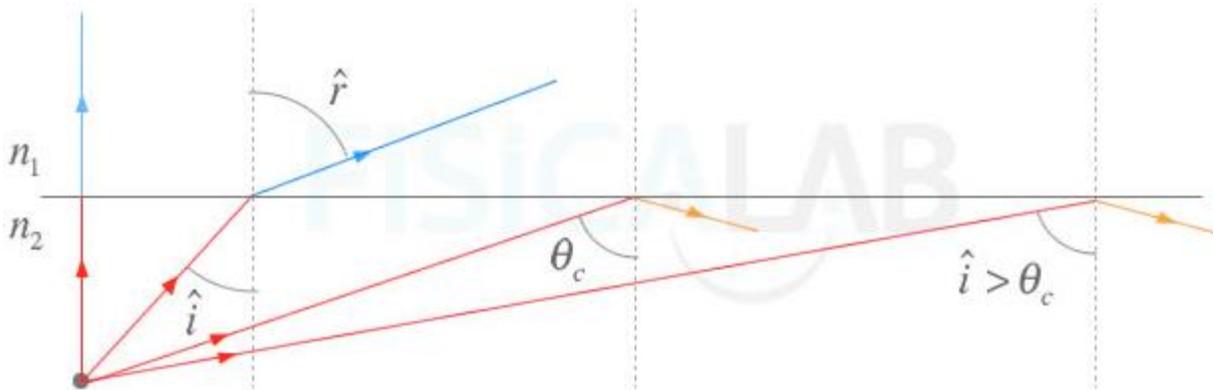
En un medio con  $n_1 > n_2$ , a medida que aumentamos el ángulo de incidencia  $\hat{i}$  ó  $\theta_1$  también lo va haciendo el de refracción  $\hat{r}$  ó  $\theta_2$ , llegando un momento en el que el rayo refractado formará  $90^\circ$  con la normal, es decir, no habrá rayo refractado y sólo se observará el rayo reflejado.

Llamamos ángulo crítico o ángulo límite y lo denotamos por  $\theta_c$  al ángulo de incidencia en una superficie de separación entre dos medios con  $n_1 > n_2$  que hace que el ángulo refractado sea de  $90^\circ$ . Su expresión viene dada por:

$$\theta_c = \text{arcsen}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Donde:

- $\theta_c$  : Es el ángulo crítico. Su unidad de medida en el Sistema Internacional (S.I.) es el radián
- $n_1, n_2$  : Índices de refracción absolutos de los medios 1 y 2 respectivamente. Es una magnitud adimensional cuyo valor se puede calcular a partir de la velocidad de la luz en el vacío y en el medio según  $n=c/v$

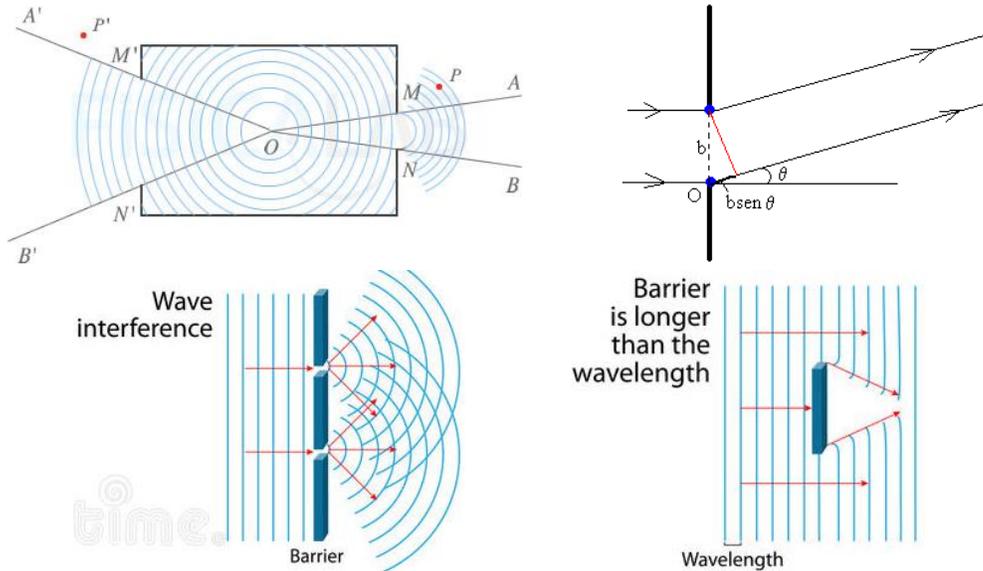


Si un rayo de luz incide con un ángulo menor que el ángulo crítico sufre reflexión y refracción. En cambio, cuando el ángulo de incidencia es mayor o igual que el ángulo crítico, como es el caso de los dos rayos más a la derecha, el rayo no se refracta, sólo se refleja, desplazándose únicamente en el mismo medio.

# Difracción

La radiación electromagnética (como por ejemplo la luz visible) puede interactuar consigo misma y con la materia, dando lugar a multitud de fenómenos como la reflexión, la refracción, la dispersión, la polarización

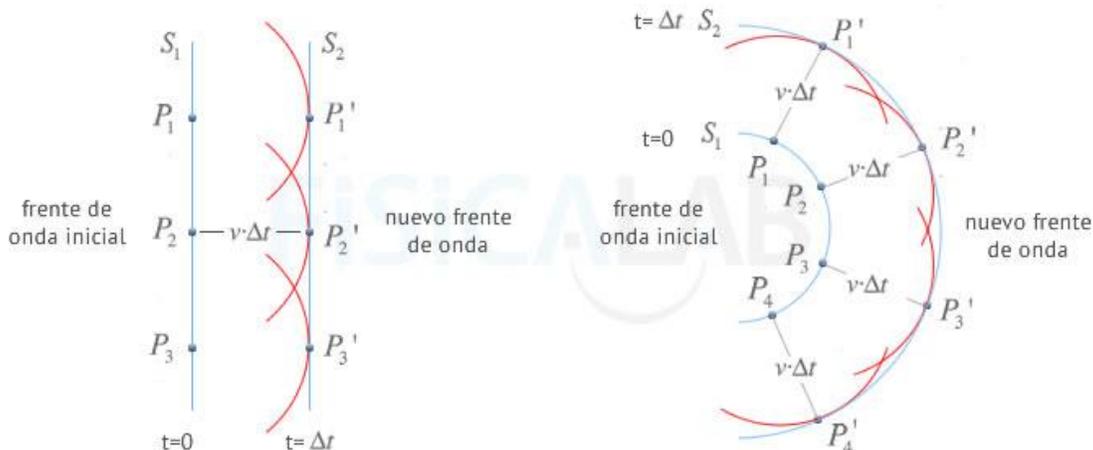
La difracción es junto con la interferencia un fenómeno típicamente ondulatorio. La difracción se observa cuando se distorsiona una onda por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda. El caso más sencillo corresponde a la difracción Fraunhofer, es la desviación de ondas alrededor de las esquinas, una rendija estrecha y larga de un obstáculo o a través de la abertura en la región de una sombra geométrica del obstáculo, de modo que podemos ignorar los efectos de los extremos.



De acuerdo con el principio de Huygens, cuando la onda incide sobre una rendija todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas, denominadas ondas difractadas, por lo que la explicación del fenómeno de la difracción no es cualitativamente distinta de la interferencia. Una vez que hemos estudiado la interferencia de un número limitado de fuentes, la difracción se explica a partir de la interferencia de un número infinito de fuentes.

El principio de Huygens nos permite explicar fenómenos ondulatorios relacionados con la propagación de la onda, tales como la reflexión, la refracción y la difracción.

- Cada punto de un frente de ondas puede considerarse un foco de ondas secundarias que se propagan en la misma dirección de la perturbación. La velocidad de propagación y frecuencia de estas ondas secundarias es la misma que la de la onda original.
- La superficie tangente (conocida como envolvente) a todas las ondas secundarias en un determinado instante es el siguiente frente de ondas.



## Difracción de una sola rendija

$$\frac{a}{2} \operatorname{sen} \theta = \frac{\lambda}{2}$$

donde  $a$  es el ancho de la rendija.

## Difracción de Fresnel

También difracción del campo cercano es un patrón de difracción de una onda electromagnética obtenida muy cerca del objeto causante de la difracción (a menudo una fuente o apertura).

El cálculo en condiciones de Fresnel se realiza cuando las diferencias  $x-x_0$  o  $y-y_0$  son mucho menores que  $z$ . En este caso, la ecuación que relaciona el campo difractado  $U(x,y,z)$  con el campo en la abertura  $U(x_0,y_0,0)$  es:

$$\begin{aligned} U_{\text{Fresnel}}(x, y, z) &= \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} \int_{\Sigma} U(x_0, y_0, 0) e^{ik[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]} dx_0 dy_0 = \\ &= \frac{e^{ikz}}{i\lambda z} e^{\frac{i\pi}{\lambda z}(x^2 + y^2)} \int_{\Sigma} U(x_0, y_0, 0) e^{\frac{i\pi}{\lambda z}(x_0^2 + y_0^2)} e^{-2\pi i \left( x_0 \frac{x}{\lambda z} + y_0 \frac{y}{\lambda z} \right)} dx_0 dy_0 \end{aligned}$$

donde la intensidad se calcula como el módulo al cuadrado del campo difractado.

$$I_{\text{Fresnel}}(x, y, z) \propto |U_{\text{Fresnel}}(x, y, z)|^2$$

## Interferencia

Se denomina interferencia a la superposición o suma de dos o más ondas que tiene lugar en un punto cuando es alcanzado por varias ondas a la vez. Dependiendo fundamentalmente de las longitudes de onda, amplitudes y de la distancia relativa entre las mismas se distinguen dos tipos de interferencias:

Constructiva: se produce cuando las ondas chocan o se superponen en fases, obteniendo una onda resultante de mayor amplitud que las ondas iniciales. Esto ocurren en aquellos puntos del medio en los que las ondas están en fase, que son los mismos en los que la diferencia entre las distancias a los focos de cada onda es un número entero de longitudes de onda. Denominamos a estos puntos vientres.

$$x_2 - x_1 = n \cdot \lambda$$

Donde:

- $x_1, x_2$ : Distancias del punto P a los focos de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el metro (m)
- $\lambda$ : Es la longitud de onda de las ondas originales. Su unidad de medida en el S.I. es el metro
- $n$ : Cualquier número entero mayor o igual que cero:  $n=0,1,2,\dots$

Podemos concluir que se producirá una interferencia constructiva cuando las ondas estén en fase:

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = n \cdot \pi \Rightarrow \Delta\varphi = 2 \cdot n \cdot \pi$$

cuando la diferencia entre las distancias al foco es múltiplo entero de la longitud de onda:

$$\frac{\pi}{\lambda} \cdot (x_2 - x_1) = n \cdot \pi \Rightarrow x_2 - x_1 = n \cdot \lambda$$

Destruyctiva: es la superposición de ondas en antifases, obteniendo una onda resultante de menor amplitud que las ondas iniciales. Decimos que se produce una interferencia destruyctiva en un punto P cuando la amplitud con la que vibra dicho punto es mínima. Esto ocurren en aquellos puntos del medio en los que las ondas están en oposición de fase, que son los mismos en los que la diferencia entre las distancias a los focos de cada onda es un número impar de semi longitudes de onda. Denominamos a estos puntos nodos.

$$x_2 - x_1 = (2 \cdot n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Donde:

- $x_1, x_2$ : Distancias del punto P a los focos de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el metro (m)
- $\lambda$ : Es la longitud de onda de las ondas originales. Su unidad de medida en el S.I. es el metro
- $n$ : Cualquier número entero mayor o igual que cero:  $n=0,1,2,\dots$

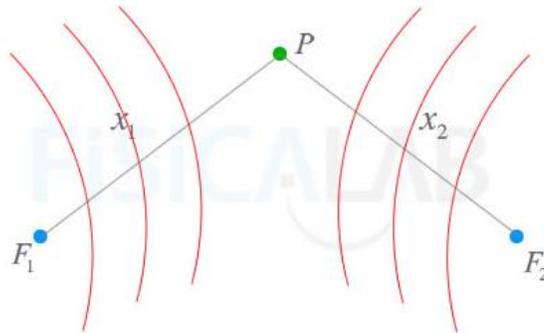
Podemos concluir que se producirá una interferencia destructiva cuando las ondas estén en oposición de fase:

$$\frac{\Delta\varphi}{2} = n \cdot \pi + \frac{\pi}{2} \Rightarrow \Delta\varphi = (2 \cdot n + 1) \cdot \pi$$

La diferencia entre las distancias al foco es múltiplo impar de la semi longitud de onda:

$$\frac{\pi}{\lambda} \cdot (x_2 - x_1) = n \cdot \pi + \frac{\pi}{2} \Rightarrow x_2 - x_1 = (2 \cdot n + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Los fenómenos de interferencia son, en general, complejos. La ecuación de interferencia que rige la vibración producida en un punto P en el que interfieren dos ondas de igual amplitud, frecuencia, número de onda y fase tiene igual frecuencia que las ondas originales.



Su amplitud depende de la diferencia entre las distancias del punto a los focos. Su expresión es:

$$y_T = A_T \cdot \sin\left(\omega \cdot t - k \cdot \frac{x_1 + x_2}{2}\right)$$

Donde:

- $y_T$ : Es la elongación con la que vibra en el punto P, resultante de aplicar el principio de superposición sumando algebraicamente las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el Sistema Internacional (S.I.) es el metro (m)
- $A_T$ : Es la amplitud de la vibración resultante en el punto P. El valor de  $A_T$  viene dado por:  $A_T = 2 \cdot A \cdot \cos(k \cdot (x_2 - x_1)) / 2$  siendo A la amplitud de las ondas originales. Su unidad de medida en el S.I. es el metro (m)
- $\omega$ : Pulsación o frecuencia angular de la vibración resultante. Coincide con la frecuencia angular de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el radián por segundo (rad/s)
- $k$ : Número de onda de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el radián por metro (rad/m) o metro a la menos uno (m<sup>-1</sup>)
- $x_1, x_2$ : Distancias del punto P a los focos de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el metro (m)
- $t$ : Tiempo. Su unidad de medida en el S.I. es el segundo (s)

La amplitud resultante  $A_T$  de la vibración en el punto P de interferencia depende de la diferencia de fase que tienen las ondas en él, y esta, a su vez, depende de las distancias  $x_1$  y  $x_2$  y de la longitud de onda de estas.

$$A_T = 2 \cdot A \cdot \cos\left(\frac{k}{2} \cdot (x_2 - x_1)\right) = 2 \cdot A \cdot \cos\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right) = 2 \cdot A \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \cdot (x_2 - x_1)\right)$$

Donde:

- $A_T$ : Es la amplitud de vibración del punto en el que interfieren las ondas. Su unidad de medida en el Sistema Internacional (S.I.) es el metro (m)
- $A$ : Es la amplitud de las ondas originales en el punto de interferencia. Suponemos que ambas ondas llegan al punto P con igual amplitud. Su unidad de medida en el S.I. es el metro
- $k$ : Número de onda de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el radián por metro (rad/m) o metro a la menos uno (m<sup>-1</sup>)
- $x_1, x_2$ : Distancias del punto P a los focos de las ondas que interfieren. Su unidad de medida en el S.I. es el metro (m)
- $\Delta\phi$ : Es la diferencia de fase de las ondas originales, es decir,  $\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2$ . Su unidad de medida en el S.I. es el radián
- $\lambda$ : Es la longitud de onda de las ondas originales. Su unidad de medida en el S.I. es el metro

## Características del sonido

El sonido es una vibración que se propaga en un medio elástico. Para que se produzca sonido se requiere la existencia de un cuerpo vibrante, denominado foco (cuerda tensa, varilla, etc.) y de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) que transmita esas vibraciones, que se propagan por él constituyendo lo que se denomina onda sonora. El sonido en el vacío no puede producirse puesto que no existen moléculas que puedan transmitir la vibración.

Diferencia entre ruido y sonido. Solemos hacer la distinción entre sonidos y ruidos.

- Los sonidos. Son aquellos que nos producen una sensación agradable, por ser sonidos musicales o porque son como las sílabas que forman las palabras, sonidos armónicos, que encierran cierto significado al tener el oído educado para ellos. Si se obtienen gráficas de registro de las vibraciones de sus ondas, se observa que, en general, los sonidos musicales poseen ondas casi sinusoidales, aunque alteradas a veces por la presencia de armónicos.
- Los ruidos. Carecen de periodicidad y es precisamente esta peculiaridad lo que lleva a una sensación cerebro-sensorial desagradable o molesta.

El sonido presenta las siguientes características físicas:

- Frecuencia ( $f$ ). Es el número de vibraciones completas por segundo que efectúa la fuente del sonido y que se transmite en las ondas. Un sonido audible por los seres humanos tendrá una frecuencia de entre 20 y 20.000 Hz. Por encima de ese rango será un ultrasonido perceptible, a lo sumo, por algunos animales.
- Amplitud. Es la intensidad (potencia acústica), que solemos llamar "volumen". La amplitud se relaciona con la cantidad de energía transmitida por las ondas sonoras.
- Longitud de onda ( $\lambda$ ). Es la distancia que recorre una onda en un período de oscilación, o dicho de otro modo, la distancia entre dos máximos consecutivos de la oscilación.
- Potencia acústica ( $W$ ). Es la cantidad de energía emitida por las ondas por unidad de tiempo. Se mide en vatios y depende directamente de la amplitud de onda.
- Espectro de frecuencia. Es la distribución de amplitudes, o energía acústica, para cada frecuencia de las diversas ondas que componen el sonido.
- El sonido tiene tono (o altura). El tono de un sonido depende de su frecuencia, es decir, del número de oscilaciones por segundo. A mayor frecuencia se obtiene un sonido más agudo y a menor frecuencia un sonido más grave.
- El sonido tiene timbre. El timbre es lo que permite diferenciar el foco emisor del sonido y depende de las características de la fuente de aquel. Gracias al timbre podemos distinguir sonidos, aun cuando estos tengan igual intensidad y tono (por ejemplo, somos capaces de distinguir voces humanas entre sí, el sonido de diferentes instrumentos musicales, etc.).

Intensidad.

Si un foco emite ondas en direcciones uniformemente, la energía a una distancia  $r$  de este estará distribuida uniformemente sobre una corteza esférica de área  $4\pi r^2$ . Si la potencia media emitida por el foco es  $P_m$ , se denomina

intensidad a la potencia por unidad de área a una distancia  $r$  del foco que está incidiendo normalmente a la dirección de propagación:

$$I = \frac{P_m}{4\pi r^2}$$

La intensidad de una onda decrece con el cuadrado de la distancia al foco puntual.

Ondas armónicas.

Puede demostrarse que la intensidad de una onda armónica es proporcional al cuadrado de la amplitud de la presión,  $P_0$

$$I = \frac{1}{2} \frac{P_0^2}{\rho v}$$

Donde

- $\rho$  es densidad del medio
- $v$  es la velocidad de propagación de la onda en el medio

Nivel de Intensidad.

El nivel de intensidad,  $\beta$  se mide en decibelios (dB) y se define como:

$$\beta = \log \frac{I}{I_0}$$

Donde  $I$  es la intensidad del sonido,  $I_0$  un nivel de referencia cuyo valor es:  $10^{-12} \text{ w/m}^2$ . Que escogemos como el umbral de audición. En esta escala, el intervalo de niveles de intensidad sonora para el oído humano es 0 dB – 120 dB.

Presión acústica.

La presión sonora es el parámetro clásico de medición del sonido en acústica. Durante años se ha determinado si una fuente era más o menos ruidosa según su nivel de presión sonora. La presión sonora viene definida como la diferencia entre la presión instantánea debida al sonido (que es fluctuante) y la presión atmosférica estática. De tal forma que puede representarse por la siguiente expresión:

$$L_p = 20 \log \frac{P_{RMS}}{P_{ref}} \text{ dB}$$

Donde:

- $P_{RMS}$  = Presión cuadrática media
- $P_{ref}$  = Presión de referencia =  $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ .

El nivel de presión sonora se suele denominar como LPS (SPL en nomenclatura inglesa)

Velocidad del sonido.

En sólidos

En líquidos

En gases

$$v_s = \sqrt{\frac{\text{Módulo de Young}}{\text{Densidad del sólido}}} = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \quad v_l = \sqrt{\frac{\text{Módulo de Compresibilidad}}{\text{Densidad del líquido}}} = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad v_g = \sqrt{\frac{\gamma \text{ Presión del gas}}{\text{Densidad del gas}}} = \sqrt{\frac{\gamma \Delta p}{\rho}}$$

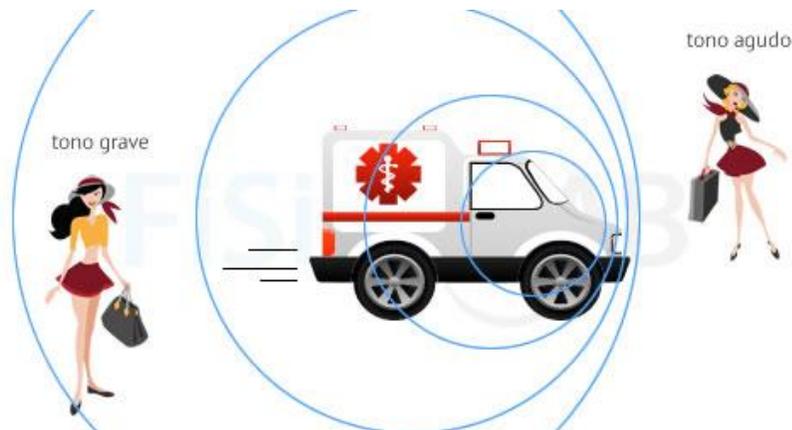
$$\gamma = \frac{\text{Calor específico del gas a presión constante}}{\text{Calor específico del gas a volumen constante}} = \frac{c_p}{c_v} \quad K = -\frac{\Delta p}{\Delta V/V} = -V \frac{\Delta p}{\Delta V}$$

Donde:

- $V_s$  Se mide en m/s
- $Y$  Se mide en Pa
- $K$  Mod. de compresibilidad
- $\gamma$  Relación entre calores específicos
- $\rho$  densidad en  $\text{Kg/m}^3$

# Efecto Doppler

Es la variación aparente de la frecuencia de una onda emitida por una fuente en movimiento cuando ésta es percibida por un observador fijo.



En física clásica, donde las velocidades del emisor (también denominado «fuente») y del receptor (o también «observador») con respecto al medio son inferiores a la velocidad de las ondas en el propio medio, la relación entre la frecuencia observada  $f$  y la frecuencia emitida  $f_0$  viene dada por:

$$f = \left( \frac{v + v_r}{v + v_s} \right) f_0 \quad f' = f \cdot \frac{v \pm v_R}{v \mp v_F}$$

Donde:

- $f, f', f_r$  Frecuencia observada o percibida por el receptor
- $f_0, f_f$  Frecuencia emitida (por el foco)
- $v$  Velocidad de las ondas en el medio
- $v_r$  Velocidad del receptor en relación con el medio; positiva si el receptor se está moviendo hacia el emisor (y negativa en la dirección contraria)
- $v_s$  Velocidad de la fuente con respecto al medio; positiva si la fuente se aleja del receptor (y negativa en la dirección contraria)
- Utilizaremos el signo + :
  - En el numerador si el receptor se acerca al emisor
  - En el denominador si el emisor se aleja del receptor
- Utilizaremos el signo - :
  - En el numerador si el receptor se aleja del emisor
  - En el denominador si el emisor se acerca al receptor

En la fórmula anterior se supone que la fuente está acercándose (o alejándose) «directamente» del observador. El caso general, cuya expresión podrás usar para cualquier ejercicio, es el recogido en el punto Foco en movimiento y observador en movimiento.

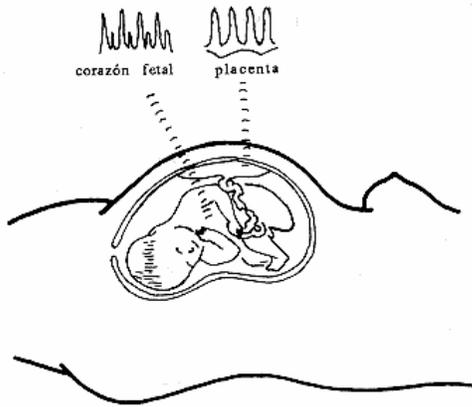
Cuando una fuente de sonido y un receptor están en movimiento relativo, la frecuencia del sonido oído por el receptor no es el mismo que la frecuencia de la fuente. La fuente emite una onda sonora con frecuencia  $f$  y longitud de onda  $\lambda = v/f$

Las crestas de onda se acercan al receptor con rapidez de propagación relativa al receptor de  $v+v_r$ , por el contrario, si se alejan del receptor sería  $v-v_r$ . La frecuencia con que llegan al receptor es:

$$f_R = \frac{v \pm v_R}{\lambda} = \frac{v \pm v_R}{v/f_F} = \left( \frac{v \pm v_R}{v} \right) f_F = \left( 1 \pm \frac{v_R}{v} \right) f_F$$

# Aplicaciones en la medicina

Uno de los usos más importantes del sonido en la medicina son las pruebas de ultrasonido. Estas pruebas son técnicas de diagnóstico que usan ondas de sonidos de alta frecuencia para crear imágenes de vasos sanguíneos, órganos, etc.



El ultrasonido es una herramienta útil para diagnosticar diversas enfermedades de los ojos, para observar el estado de los fetos, en la detección de tumores cerebrales (ecocencefalografía) y en otras partes del cuerpo. El ultrasonido también se usa para:

- Guiar procedimientos como biopsias por aspiración, en las que se usan agujas para muestrear células de un área anormal para realizar pruebas de laboratorio.
- Obtener una imagen de los senos y guiar la biopsia del cáncer de seno
- Diagnosticar diversas enfermedades coronarias, que incluyen problemas de las válvulas e insuficiencia cardíaca congestiva, y evaluar el daño luego de un ataque al corazón. El ultrasonido del corazón se conoce comúnmente como "ecocardiograma" o "eco" por su versión corta.

Guía 2021

26. Calcular la rapidez de las ondas sonoras en el aire, a partir de  $V = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$  si la temperatura es de 300 K, la masa molar del aire es de  $30 \times 10^{-3}$  kg/mol y la razón de capacidades caloríficas es de  $\gamma = 2$ . Considerar la  $R = 8$  J/mol K.

a)  $16 \times 10^{-2}$  m/s

$$v_g = \sqrt{\frac{\gamma \text{ Presión del gas}}{\text{Densidad del gas}}} = \sqrt{\frac{\gamma \Delta p}{\rho}}$$

b)  $4 \times 10^2$  km/h

$$V = \text{raíz}(2 \times 8) \text{ raíz}(300 / 30 \times 10^{-3}) \leftarrow 0.03$$

c)  $4 \times 10^2$  m/s

$$(J/mol K)(K) / kg/mol \text{ queda } J/kg \quad kg(m^2/s^2) / kg$$

d) 16 km/h

$$\text{Raíz}(16) \text{ raíz}(10,000)$$

$$v = 4 \times 100 \text{ m/s}$$

c

23. En una cuerda tensa se producen ondas con una frecuencia de 240 Hz, a una velocidad de propagación de 150 m/s. ¿Qué longitud de onda (m/ciclo) tienen?

- a) 0.625
- b) 0.545
- c) 0.333
- d) 0.250

$$\lambda = v / f \quad \text{ó} \quad \lambda = v T$$

$$\lambda = 150 \text{ m/s} / 240 \text{ Hz} \quad \text{Hz} = 1/\text{s}$$

$$(50)(3) / (3)(80) \leftarrow 5(10)/8(10)$$

a

24. Son las ondas que al moverse, los vectores de propagación se dirigen en todas las direcciones a partir de un centro emisor de ondas:

- a) ondas lineales
- b) frente de onda
- c) ondas superficiales
- d) ondas tridimensionales

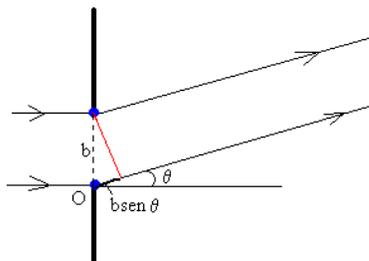
26. El ángulo de incidencia (i) para el cual el ángulo de refracción (r) es de 90°, se conoce como ángulo:

- a) crítico
- b) de Brewster
- c) de polarización
- d) de incidencia normal

Llamamos ángulo crítico o ángulo límite y lo denotamos por  $\theta_c$  al ángulo de incidencia en una superficie de separación entre dos medios con  $n_1 > n_2$  que hace que el ángulo refractado sea de 90°. Su expresión viene dada por:

27. La \_\_\_\_\_ es uno de los fenómenos de la luz donde al atravesar una rendija muy pequeña, parece que la propagación no se hace en línea recta, parece que la luz se desvía de su trayectoria recta.

- a) polarización
- b) refracción
- c) difracción
- d) reflexión



c

26. Calcular la longitud de onda del sonido de una sirena en reposo, cuya frecuencia senoidal es de 300 Hz, si la rapidez del sonido se considera de 340 m/s.

a) 0.50 m/s

$$\lambda = v / f \quad \text{ó} \quad \lambda = v T$$

b) 1.13 m/s

$$\lambda = 340 \text{ m/s} / 300 \text{ Hz} \quad \text{Hz} = 1/\text{s}$$

c) 8.88 m/s

$$(34) / (30)$$

d) 10.20 m/s

Guía 2020

29. Los niveles de intensidad del sonido se expresan en decibeles, cuya abreviatura es dB. Un decibel es 1/10 de un *bel*. Si Usted escucha un sonido de 100 dB, es equivalente a:

a) 10 bel

b) 1 bel

c) 0.1 bel

d) 0.01 bel

32. Una sirena en movimiento a 27 m/s emite un sonido cuya frecuencia es de 300 Hz y la velocidad del sonido es de 340 m/s. Calcular la longitud de onda (aproximada) del sonido delante de la sirena, por el efecto Doppler.

a) 10.8 m

b) 5.5 m

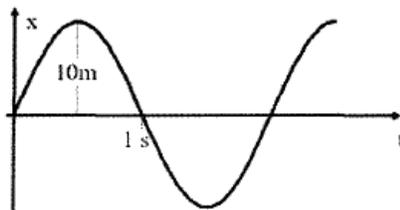
c) 3.0 m

d) 1.04 m

$$f_R = \frac{v \pm v_R}{\lambda}$$

Guía 2017

20. La gráfica siguiente representa el movimiento armónico simple de un cuerpo, y se puede determinar que dicho movimiento tiene \_\_\_\_\_ igual a 10 metros y su \_\_\_\_\_ es de 2 segundos.



a) longitud - frecuencia

b) periodo - nodo

c) amplitud - periodo

d) curvatura - cresta