

Ondas

Arland Barrera

Junio 7, 2025

Contenido

1 Conceptos Básicos	7
1.1 Definición	7
1.2 Elementos	8
1.2.1 Posición de Equilibrio	8
1.2.2 Desplazamiento	9
1.2.3 Punto Inicial	9
1.2.4 Cresta	10
1.2.5 Valle	10
1.2.6 Amplitud	10
1.2.6.1 Promedio de la resta de ambos límites	11
1.2.6.2 Promedio de la suma de ambos límites	11
1.2.7 Distancia	12
1.2.8 Longitud de Onda	12
1.2.9 Tiempo	13
1.2.10 Periodo	13
1.2.11 Frecuencia	14
2 Modelo Matemático	16
2.1 Función Simple	16
2.1.1 Amplitud	16
2.1.2 Frecuencia	17
2.1.3 Fase	17
2.2 Onda Armónica Simple	19
2.2.1 Número de Onda	19
2.2.2 Frecuencia Angular	20
2.3 Velocidad	20
2.4 Energía	22
3 Interferencia	23
3.1 Constructiva	23
3.2 Destructiva	23
4 Tipos de Ondas	25
4.1 Movimiento de Partículas	25
4.1.1 Onda Transversal	25
4.1.2 Onda Longitudinal	25
4.2 Naturaleza de Emisión	26
4.2.1 Onda Mecánica	26
4.2.2 Onda Electromagnética	27
4.3 Sentido de Propagación	27
4.3.1 Onda Viajera	27

4.3.2 Onda Estacionaria	27
5 Fenómenos Ondulatorios	29
5.1 Reflexión	29
5.1.1 Ley de Reflexión	30
5.1.2 Reflexión Especular	30
5.1.3 Reflexión Difusa	31
5.2 Refracción	31
5.2.1 Ley de Snell	32
5.2.2 Reflexión Total Interna	34
5.3 Difracción	35
5.3.1 Difracción alrededor de un obstáculo	36
5.3.2 Difracción a través de una abertura	36
5.4 Absorción	36
6 Espectro Electromagnético	38
6.1 Ondas de Radio	38
6.1.1 Señales AM y FM	38
6.1.2 Propagación en la Ionósfera	39
6.2 Microondas	39
6.3 Rayos Infrarrojos	40
6.4 Luz Visible	40
6.4.1 Dispersión de Rayleigh	40
6.5 Rayos Ultravioletas	41
6.6 Rayos X	41
6.7 Rayos Gamma	41
7 Sonido	42
8 Aplicaciones	43
8.1 Fibra Óptica	43
8.1.1 Componentes principales	43
8.1.2 Procedimiento	44
8.1.3 Ventajas	44
8.2 Radar	44
8.3 Wi-Fi	44
8.4 Horno Microondas	45
8.5 Visión Nocturna	46
8.5.1 Procedimiento	47
8.5.2 Tipos	48

Lista de figuras

3.1	Interferencia destructiva[1]	23
3.2	Interferencia destructiva[1]	24
4.1	Onda transversal[2]	25
4.2	Onda longitudinal[2]	26
4.3	Ondas en el agua[3]	26
4.4	Vectores de campo eléctrico y magnético oscilantes[4]	27
5.1	Reflexión en el agua[5]	29
5.2	Ley de reflexión	30
5.3	Reflexión especular[6]	31
5.4	Reflexión especular[6]	31
5.5	Refracción en un prisma[7]	32
5.6	Ley de Snell	32
5.7	Índice de refracción y rayos refractados	34
5.8	Reflexión total interna[8]	34
5.9	Difracción en las nubes[9]	35
5.10	Difracción alrededor de un obstáculo[10]	36
5.11	Difracción a través de una abertura[11]	36
5.12	Espectro de absorción de las hojas[12]	37
6.1	Espectro electromagnético[13]	38
6.2	Señales AM y FM[14]	39
6.3	Ondas reflejadas en la ionósfera[15]	39
6.4	Rayos infrarrojos emitidos por un control remoto de televisor	40
6.5	Espectro de luz visible[16]	40
6.6	Dispersión de Rayleigh[17]	41
8.1	Cabe de fibra óptica[18]	43
8.2	Wi-Fi 2.4 GHz y 5 GHz[19]	45
8.3	1955, microondas montado en la pared, Tappan RL-1[20]	45
8.4	GPNVG[21]	46
8.5	Proceso de generar visión nocturna[22]	47
8.6	Imagen térmica[23]	48

Lista de gráficas

1.1	Onda simple	7
1.2	Elementos de una onda	8
4.1	Onda estacionaria	28

Lista de ecuaciones

1.1	Relación entre frecuencia y periodo	14
2.1	Función sencilla de onda	16
2.2	Identidad de $\cos(x - \frac{\pi}{2})$ y $\sin(x)$	18
2.3	Identidad de $\sin(x + \frac{\pi}{2})$ y $\cos(x)$	19
2.4	Onda Armónica Simple	19
2.5	Número de onda	19
2.6	Relación inversa entre número de onda y longitud de onda	20
2.7	Frecuencia angular y periodo	20
2.8	Frecuencia angular y frecuencia	20
2.9	Velocidad de una onda	21
2.10	Velocidad en función del número de onda y frecuencia angular	21
2.11	Velocidad de la luz en el vacío (c)	21
2.12	Constante de Planck h	22
2.13	Energía de un fotón	22
2.14	Relación entre Electronvolt (eV) y Joule (J)	22
3.1	Principio de superposición	23
5.1	Ley de reflexión	30
5.2	Ley de Snell	33
5.3	Índice de refracción	33
5.4	Ángulo crítico	35

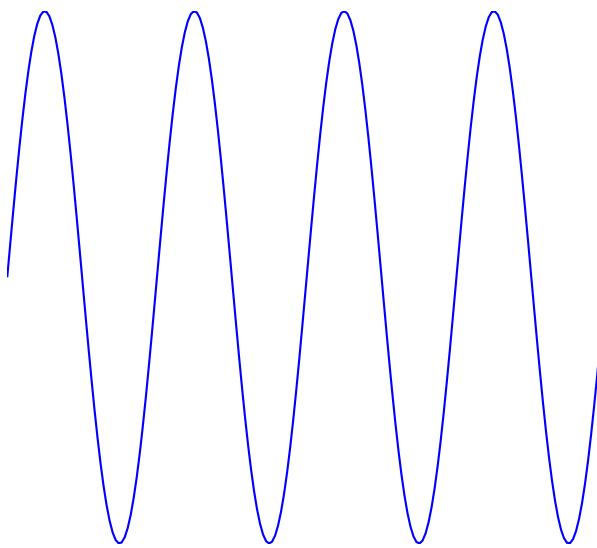
Conceptos Básicos

1.1 Definición

Una onda es una perturbación o fluctuación que se propaga a través de algún medio transportando energía. Se caracteriza por la propagación de una perturbación a través de un medio.

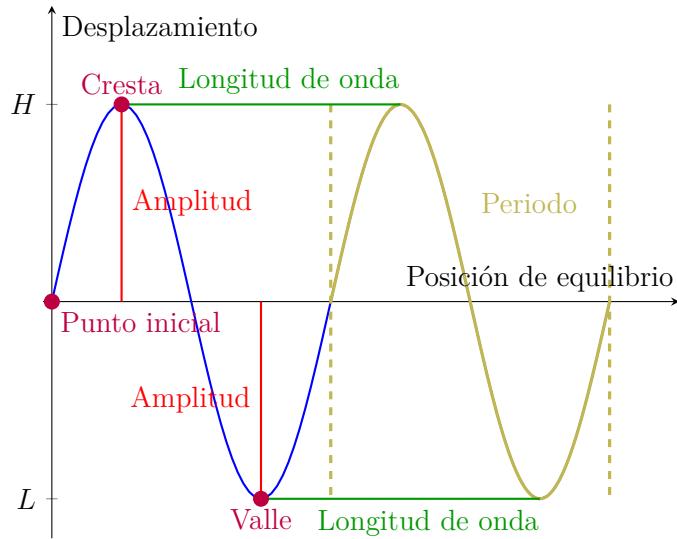
La palabra ‘onda’ deriva de la palabra en latín ‘*unda*’, que significa ola, oleada o agua agitada.

Las ondas transfieren energía, no materia. En ciertas ocasiones, esa energía se puede interpretar como información significativa y se puede digitalizar.



Gráfica 1.1: Onda simple

1.2 Elementos



Gráfica 1.2: Elementos de una onda

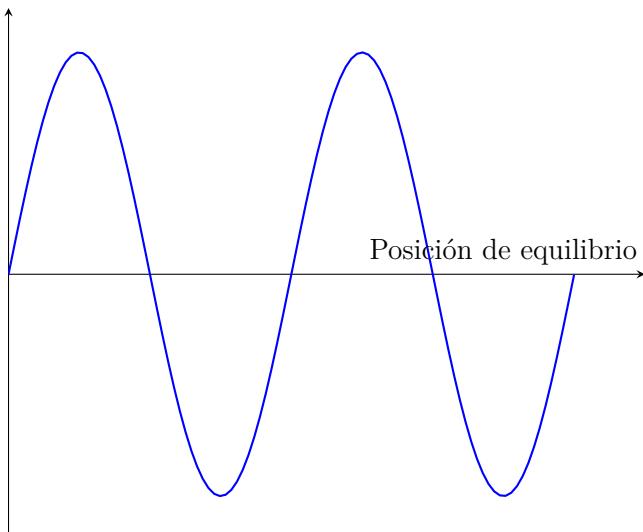
1.2.1 Posición de Equilibrio

También se le conoce como linea de equilibrio o punto de equilibrio.

Es la posición en la que las partículas de un medio se encontrarían si no hubiera perturbación, es decir, cuando no hay onda.

Es el punto central en torno al cual vibran las partículas de un medio. También se considera la posición antes y después de producirse la vibración.

Se identifica con el eje de las abscisas x en un plano cartesiano.

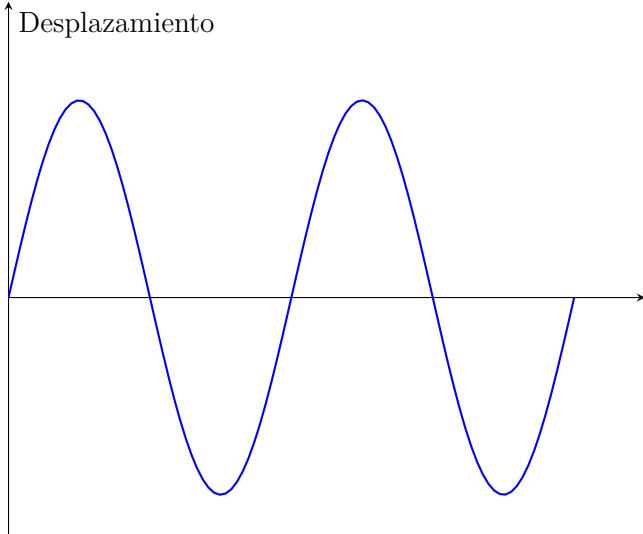


1.2.2 Desplazamiento

Que tan lejos de la posición de equilibrio la onda oscila. Es la medida de cuánto se mueve una partícula en un medio de su estado de reposo cuando una onda pasa a través de ella.

Cuando una onda viaja a través de un medio, las partículas de ese medio vibran o se desplazan de su posición de equilibrio.

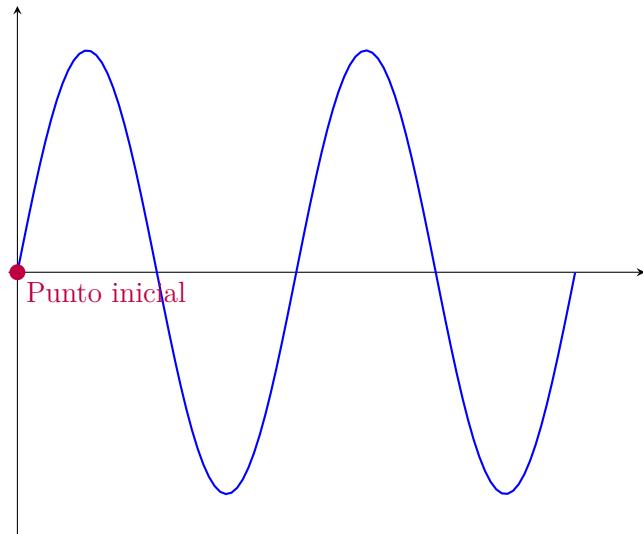
Se identifica con el eje de las ordenadas y en un plano cartesiano.



1.2.3 Punto Inicial

Este punto representa la posición inicial de la onda en el tiempo y el espacio, y se utiliza para definir la forma y el desplazamiento de la onda en cualquier instante posterior.

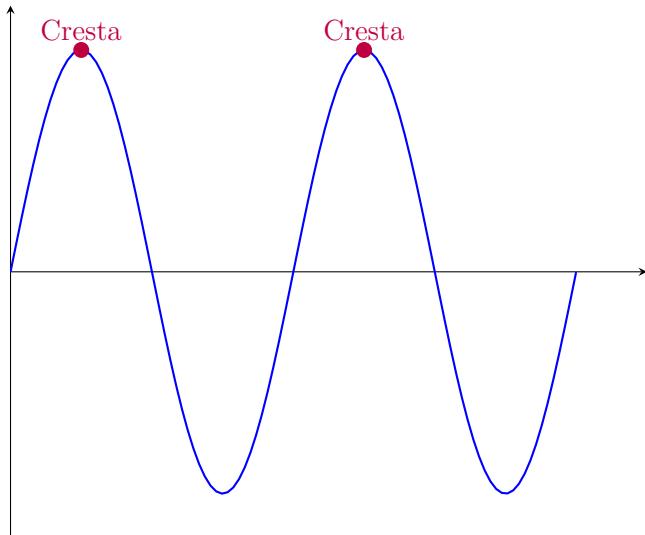
Generalmente se ubica en el punto donde la distancia y el tiempo tiene un valor de 0.



1.2.4 Cresta

Es un punto máximo que alcanza una onda al desplazarse. El punto más alto, donde la amplitud es máxima.

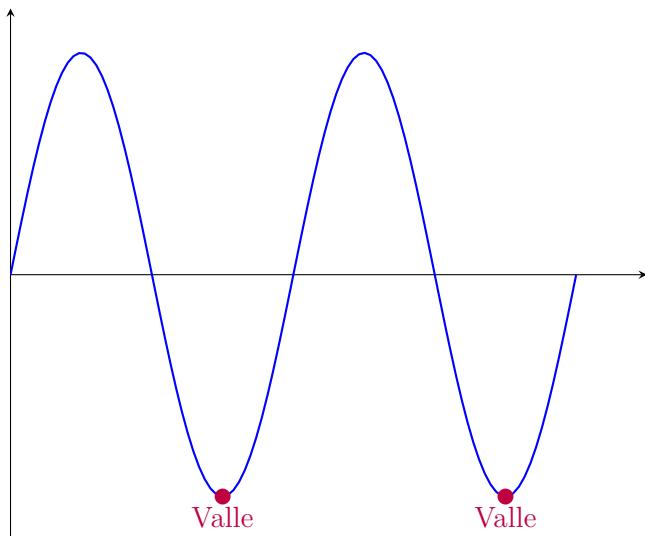
Es el punto más alejado de la posición de equilibrio en la dirección positiva del desplazamiento.



1.2.5 Valle

Es un punto mínimo que alcanza una onda al desplazarse. El punto más bajo, donde la amplitud es mínima.

Es el punto más alejado de la posición de equilibrio en la dirección negativa del desplazamiento.

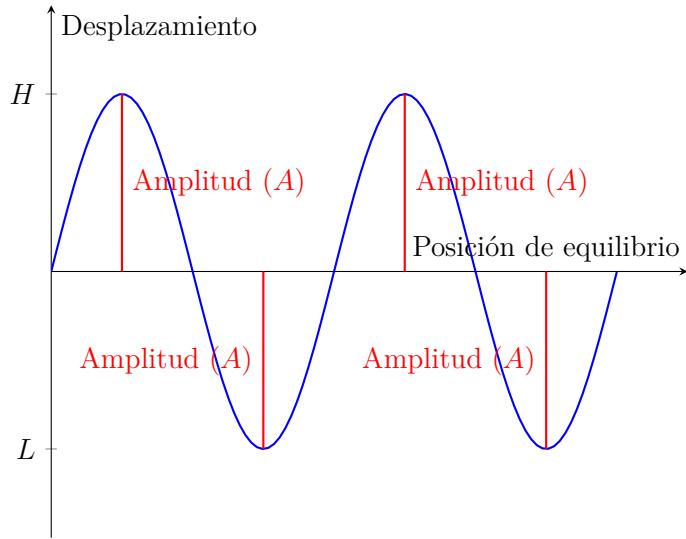


1.2.6 Amplitud

La amplitud es el desplazamiento máximo desde la posición de equilibrio. Se representa con la letra A .

La amplitud puede ser hacia arriba o hacia abajo con respecto a la posición de equilibrio.

En el eje de desplazamiento el límite superior se denomina H y el inferior L .



Para calcular la amplitud se puede hacer uso de los límites superior (H) e inferior (L) en el eje de desplazamiento y . Hay dos formas:

1.2.6.1 Promedio de la resta de ambos límites

Consiste en restar los límites y dividir entre dos.

$$A = \frac{H - L}{2}$$

Adicionalmente se puede determinar el punto central. Hay dos formas:

Con respecto al límite superior H :

$$\text{punto central} = H - A$$

Con respecto al límite inferior L :

$$\text{punto central} = L + A$$

1.2.6.2 Promedio de la suma de ambos límites

Consiste en obtener el promedio de los límites y determinar la diferencia entre los límites y el promedio.

$$\text{punto central} = \frac{H + L}{2}$$

Luego se realiza una diferencia para hallar la amplitud A . Hay dos formas:

Con respecto al límite superior H :

$$A = H - \text{punto central}$$

Con respecto al límite inferior L :

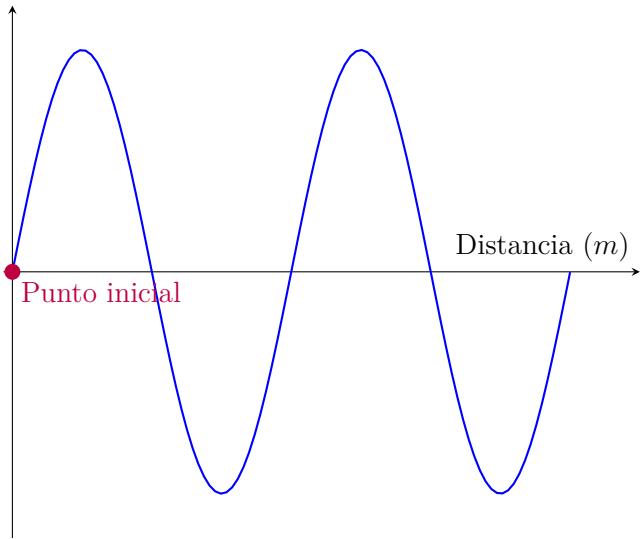
$$A = \text{punto central} - L$$

1.2.7 Distancia

Longitud del camino recorrido por la onda. Se representa mediante el eje de las abscisas x en un plano cartesiano.

Que tan lejos la onda ha viajado desde su punto inicial.

Se mide en unidades de longitud. El Sistema internacional utiliza metros m .

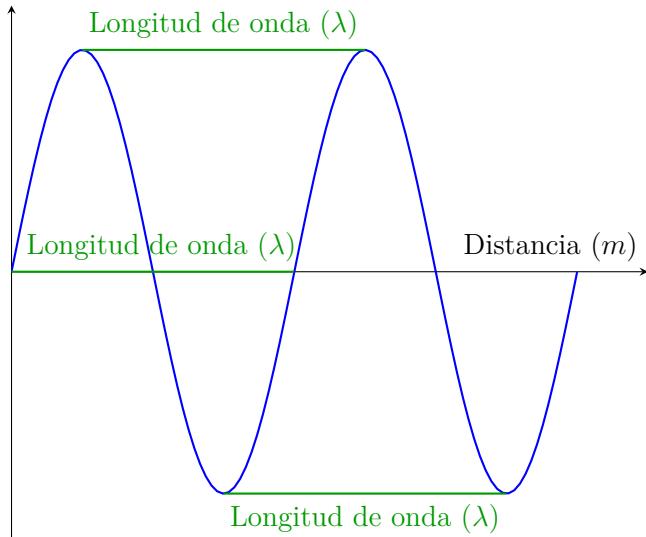


1.2.8 Longitud de Onda

Distancia entre dos puntos equivalentes consecutivos en un onda. Puede ser entre crestas, valles o puntos de corte con la posición de equilibrio. Se representa con la letra griega lambda λ .

Es la distancia de una oscilación completa.

Se mide en unidades de longitud. El Sistema internacional utiliza metros m .



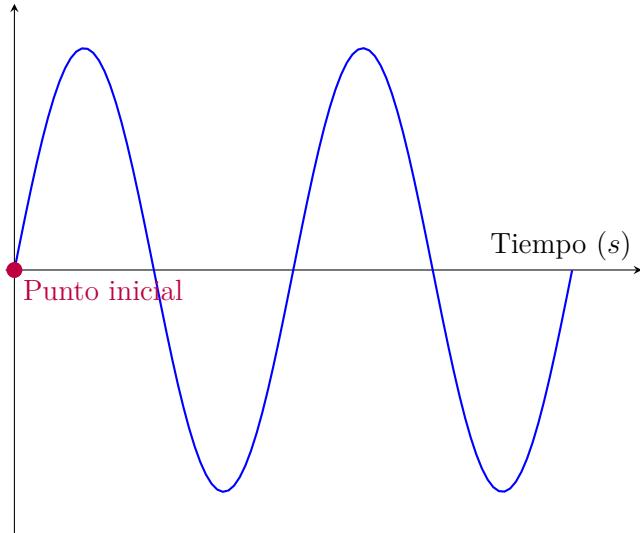
Considerando la distancia en metros y el número de ciclos u oscilaciones, se puede calcular de la siguiente manera:

$$\boxed{\lambda = \frac{\text{distancia}(m)}{\text{número de ciclos}}}$$

1.2.9 Tiempo

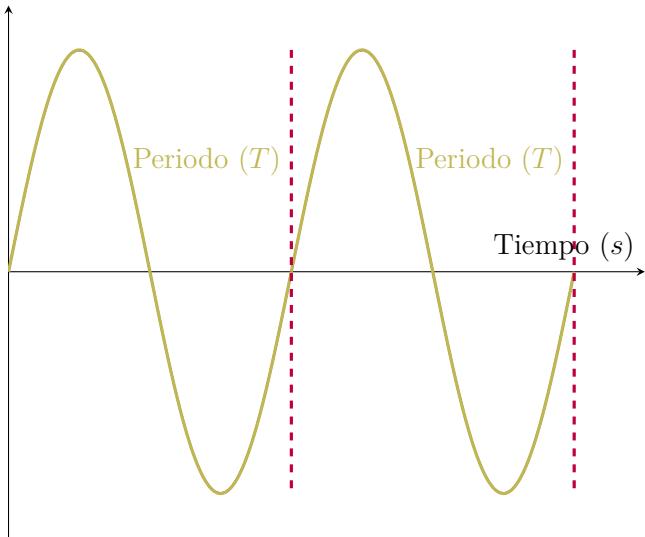
Medida de la duración de la onda. Se representa mediante el eje de las abscisas x en un plano cartesiano.

El Sistema Internacional utiliza el segundo s como medida básica de tiempo.



1.2.10 Período

El tiempo que tarda una onda en completar un ciclo de oscilación. Se representa con la letra T mayúscula. Se mide en segundos s .

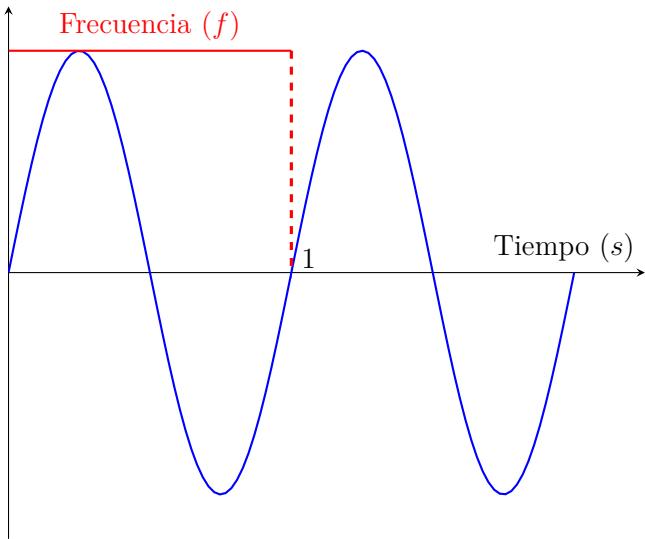


Se puede calcular como el tiempo transcurrido en segundos entre la cantidad de ciclos completos.

$$T = \frac{\text{tiempo}(s)}{\text{número de ciclos}}$$

1.2.11 Frecuencia

Número de ciclos completos que la onda realiza en un segundo. Se representa con la letra f minúscula. Se mide en Hertz Hz .



La frecuencia es el inverso del periodo.

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

Ecuación 1.1: Relación entre frecuencia y periodo

Interpretando la ecuación 1.1 en sentido contrario, el periodo es el inverso de la frecuencia.

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

Teniendo en cuenta el número de ciclos y el periodo en segundos, se puede definir la frecuencia como la cantidad de ciclos por segundo

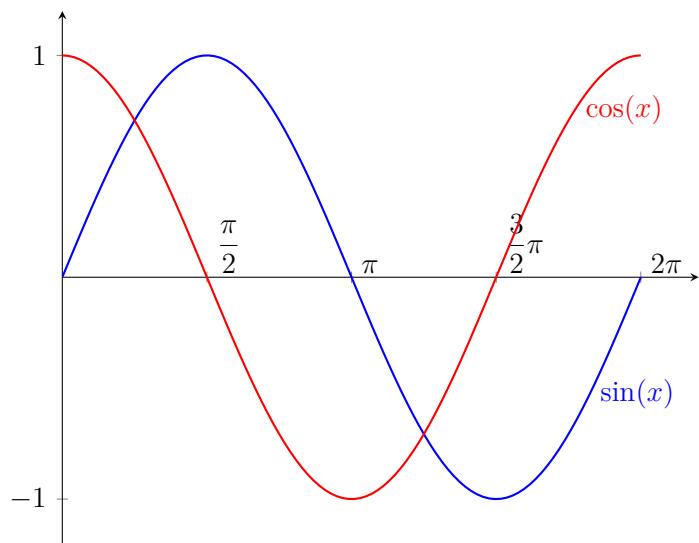
Considerando esta relación, la unidad de medida de la frecuencia es $\frac{1}{s}$ o s^{-1} . Esto equivale a un Hertz Hz .

$$\boxed{\frac{1}{s} = s^{-1} = Hz}$$

Modelo Matemático

2.1 Función Simple

Para representar ondas matemáticamente se utilizan las funciones $\sin(x)$ y $\cos(x)$.



Estas funciones se pueden modificar mediante ciertos valores. La expresión matemática de esto es la siguiente:

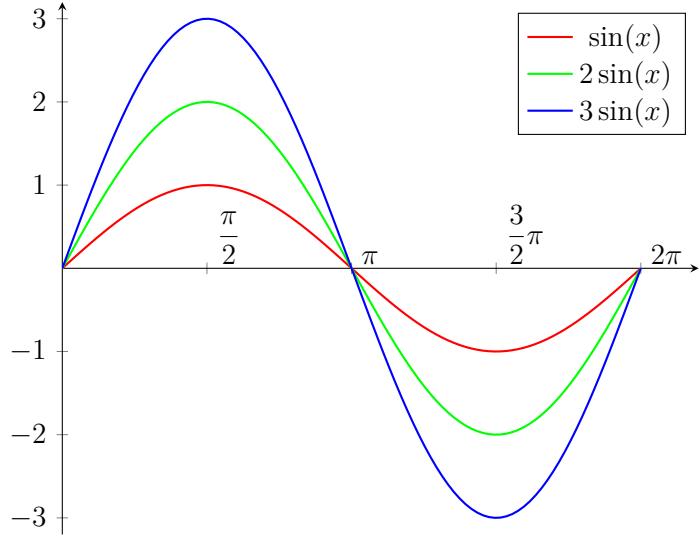
$$f(x) = A \sin(fx - \phi) \quad (2.1)$$

Ecuación 2.1: Función sencilla de onda

2.1.1 Amplitud

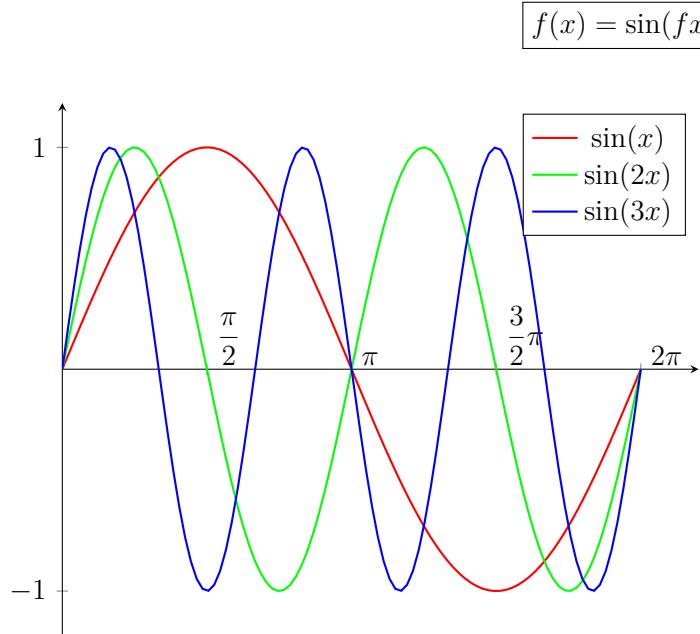
Esto modifica la altura de la onda.

$$f(x) = A \sin(x)$$



2.1.2 Frecuencia

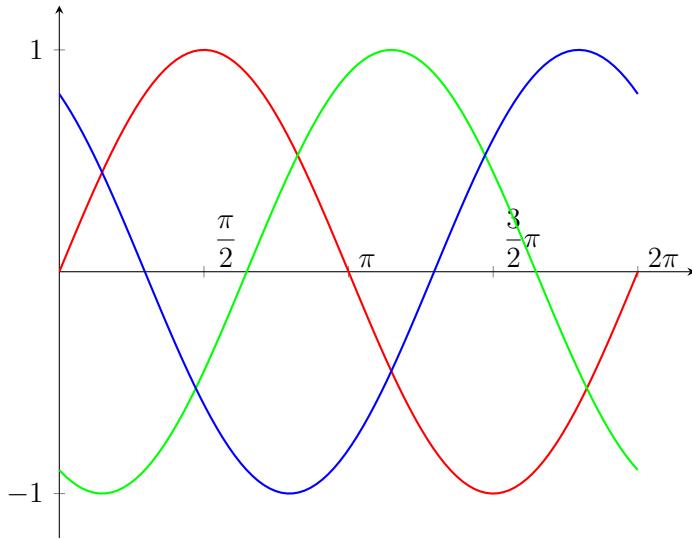
Esto modifica la velocidad de los ciclos de la onda.



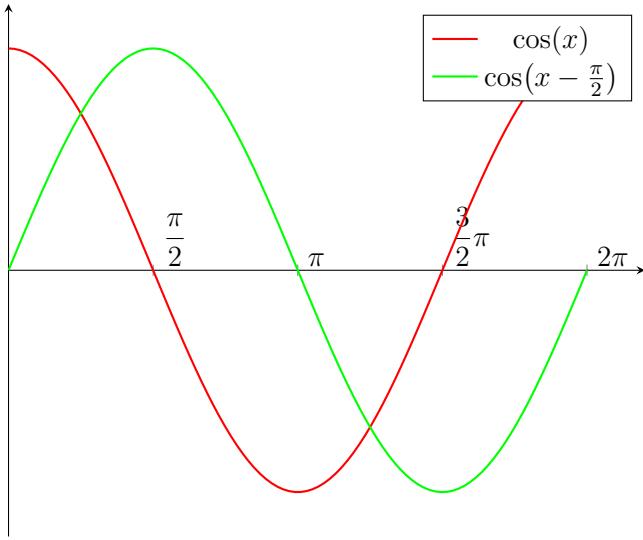
2.1.3 Fase

Esto modifica la distancia de la onda en el eje x . Una fase negativa ($-$) representa una distancia hacia la derecha y una positiva ($+$) hacia la izquierda en el eje. Se representa usando la letra griega phi minúscula (ϕ).

$$f(x) = \sin(x - \phi)$$



Al cambiar la distancia de la onda se puede cambiar su patrón. La función $\sin(x)$ puede resultar en el patrón de una función $\cos(x)$ si se aplica la fase correcta. También puede ocurrir lo contrario, convertir una función $\cos(x)$ en una función $\sin(x)$.

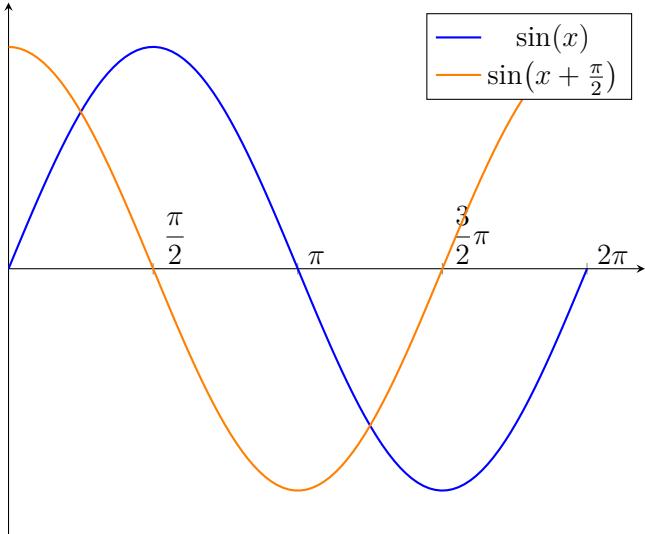


Se observa que al aplicar una fase de $\frac{\pi}{2}$ hacia la derecha en la función $\cos(x)$ se obtiene una función $\sin(x)$.

$$\boxed{\sin(x) = \cos\left(x - \frac{\pi}{2}\right)} \quad (2.2)$$

Ecuación 2.2: Identidad de $\cos(x - \frac{\pi}{2})$ y $\sin(x)$

Una relación parecida ocurre con el $\sin(x)$ al cambiar de fase en $\frac{\pi}{2}$ hacia la izquierda, se obtiene $\cos(x)$.



$$\boxed{\cos(x) = \sin\left(x + \frac{\pi}{2}\right)} \quad (2.3)$$

Ecuación 2.3: Identidad de $\sin(x + \frac{\pi}{2})$ y $\cos(x)$

2.2 Onda Armómica Simple

Describe el movimiento de una onda que oscila sinusoidalmente. Una forma general de expresarla es la siguiente:

$$\boxed{y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi)} \quad (2.4)$$

Ecuación 2.4: Onda Armónica Simple

Donde el desplazamiento y depende de la posición x y el tiempo t . Hay dos variables que resaltan: k y ω . Número de onda y frecuencia angular respectivamente.

2.2.1 Número de Onda

Traslación en radianes por unidad de longitud. Dicho de otra forma, cuanto se mueve la onda, en términos de radianes, en una longitud de onda. Se representa mediante la letra k minúscula.

Se relaciona con la longitud de onda de la siguiente forma:

$$\boxed{k = \frac{2\pi}{\lambda}} \quad (2.5)$$

Ecuación 2.5: Número de onda

De esto se infiere que la unidad de k es radián por metro $\left(\frac{\pi}{m}\right)$.

De la ecuación 2.5 se desprenden las siguientes:

$$\boxed{\lambda = \frac{2\pi}{k}}$$

Obtener la relación inversa resulta conveniente para el cálculo de la velocidad.

$$\boxed{\frac{1}{k} = \frac{\lambda}{2\pi}} \quad (2.6)$$

Ecuación 2.6: Relación inversa entre número de onda y longitud de onda

2.2.2 Frecuencia Angular

Traslación en radianes por unidad de tiempo. Dicho de otra forma, cuanto se mueve la onda, en términos de radianes, en un periodo. Se representa mediante la letra griega omega minúscula (ω).

Se relaciona con el periodo de la siguiente forma:

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{T}} \quad (2.7)$$

Ecuación 2.7: Frecuencia angular y periodo

De esto se infiere que la unidad de ω es radián por segundo $\left(\frac{\pi}{s}\right)$.

De la ecuación 2.7 se desprenden las siguientes:

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega}}$$

Cade recordar la ecuación 1.1, dado que la frecuencia angular también se relaciona con la frecuencia. Por tanto se obtiene:

$$\boxed{\omega = f2\pi} \quad (2.8)$$

Ecuación 2.8: Frecuencia angular y frecuencia

2.3 Velocidad

Hay que considerar la ecuación fundamental del Movimiento Rectilineo Uniforme (MRU):

$$\boxed{v = \frac{d}{t}}$$

donde las variables indican:

- v : velocidad $\left(\frac{m}{s}\right)$.
- d : distancia (m).
- t : tiempo (s).

Adaptando esta ecuación al contexto de una onda, hay que considerar la longitud de onda (λ) y periodo (T).

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

Haciendo uso de la ecuación 1.1 se obtiene la siguiente expresión:

$$v = \lambda f \quad (2.9)$$

Ecuación 2.9: Velocidad de una onda

La velocidad también se puede expresar en función del número de onda y frecuencia angular. Para ello para hay que considerar las ecuaciones 2.6 y 2.8. Para aplicar esas expresiones 2π tiene que estar presente, para lograr eso se multiplica la ecuación por $\frac{2\pi}{2\pi}$, que equivale a 1 y no altera la ecuación.

$$\begin{aligned} v &= \lambda f \left(\frac{2\pi}{2\pi} \right) \\ v &= \left(\frac{\lambda}{2\pi} \right) (f 2\pi) \end{aligned}$$

Se obtiene:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (2.10)$$

Ecuación 2.10: Velocidad en función del número de onda y frecuencia angular

En ciertos contextos, como en el estudio de fotones, se considera la velocidad de la luz en el vacío (c).

$$c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \quad (2.11)$$

Ecuación 2.11: Velocidad de la luz en el vacío (c)

De la expresión 2.9 se puede extraer que **la frecuencia y la longitud de onda tienen una relación inversa**, cuando aumenta una disminuye la otra. Y también se concluye que **la velocidad tiene una relación directa con la frecuencia**, una aumenta cuando la otra aumenta. En sentido contrario se infiere que **la velocidad tiene una relación inversa con la longitud de onda**, una aumenta cuando disminuye la otra.

2.4 Energía

La energía se denota la letra E mayúscula. Su unidad en el **Sistema Internacional** es el **Joule** (J).

Su cálculo depende de la naturaleza de la onda.

Para la energía de un fotón se considera la **constante de Planck** h , cuya unidad es Joule-segundo (Js). Su valor aproxiado es el siguiente:

$$h = 6.626 \times 10^{-34} Js \quad (2.12)$$

Ecuación 2.12: Constante de Planck h

Esta constante relaciona la energía de un fotón con su frecuencia. A continuación se muestra la expresión:

$$E = hf \quad (2.13)$$

Ecuación 2.13: Energía de un fotón

La unidad resultante es Joule (J).

$$E = Js(Hz) = Js \left(\frac{1}{s} \right) = J$$

En ciertos contextos para medir la energía se utiliza el Electronvolt (eV) en lugar del Joule. La relación entre ambas unidades se muestra en la siguiente equivalencia:

$$1eV = 1.602 \times 10^{-19} J \quad (2.14)$$

Ecuación 2.14: Relación entre Electronvolt (eV) y Joule (J)

De la expresión 2.13 se puede inferir que **la energía es mayor cuando la frecuencia aumenta**.

Interferencia

Es la superposición de dos o más ondas, resultando en una onda cuya amplitud puede ser mayor, menor o igual que la de las ondas originales. Esto ocurre en todo tipo de ondas.

Al momento de interferir, **las ondas se atraviesan** entre sí, no se reflejan.

Se basa en el principio de superposición, que establece que el desplazamiento de una onda resultante en un punto es la suma de los desplazamientos de las ondas individuales en ese mismo punto.

$$\text{onda resultante} = \text{onda}_1 + \text{onda}_2 \quad (3.1)$$

Ecuación 3.1: Principio de superposición

3.1 Constructiva

Ocurre cuando las ondas se **superponen en fase**, es decir, que están alineadas en crestas y valles. Esto resulta en una onda con **mayor amplitud**. Tiene un efecto de **amplificación** entre las ondas.

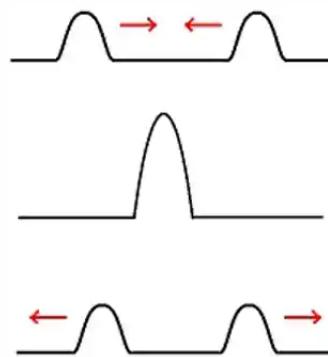


Figura 3.1: Interferencia destructiva[1]

3.2 Destructiva

Sucede cuando las ondas se **superponen en antifase**, es decir, que están desalineadas en crestas y valles. Esto resulta en una onda con **menor amplitud**. Tiene un efecto de **cancelación** entre las ondas.

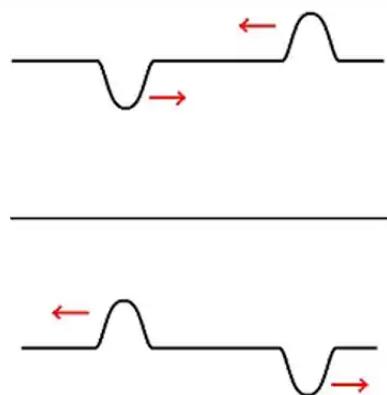


Figura 3.2: Interferencia destructiva[1]

Tipos de Ondas

4.1 Movimiento de Partículas

4.1.1 Onda Transversal

Las oscilaciones son perpendiculares a la dirección del movimiento de la onda. En otras palabras, la dirección del movimiento de las oscilaciones y el de la onda ocurre en ejes distintos. Este tipo de onda puede ser [mecánica](#) o [electromagnética](#).



Figura 4.1: Onda transversal[2]

Ejemplos:

- Ondas de radio.
- Luz visible.
- Rayos gamma.
- Ondas en un resorte.

4.1.2 Onda Longitudinal

Las oscilaciones son paralelas a la dirección del movimiento de la onda. En otras palabras, la dirección del movimiento de las oscilaciones y el de la onda ocurre en el mismo eje.

Dada la naturaleza de la vibración perpendicular del campo eléctrico y magnético, este tipo de onda no puede ser [electromagnética](#).

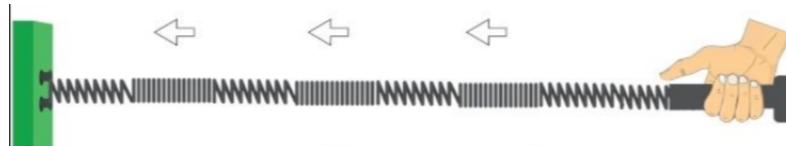


Figura 4.2: Onda longitudinal[2]

Este tipo de onda presenta partes de **compresión** y **expansión**.

La **compresión** ocurre cuando hay alta frecuencia, por tanto cada oscilación está más cerca de las otras. Esto da la impresión de que la onda está comprimida.

La **expansión** ocurre cuando hay baja frecuencia, por tanto cada oscilación está más lejos de las otras. Esto da la impresión de que la onda está dilatada.

Ejemplos:

- Ondas sonoras.
- Ondas en un resorte.
- Ondas sísmicas.

4.2 Naturaleza de Emisión

4.2.1 Onda Mecánica

Necesita un medio para propagarse. Debido a esto, no pueden propagarse en el vacío. Este tipo de onda puede ser **longitudinal** o **transversal**.



Figura 4.3: Ondas en el agua[3]

Ejemplos:

- Sonido.

- Ondas en el agua.
- Ondas sísmicas.
- Ondas en la cuerda de un instrumento musical.
- Ondas en resortes.

4.2.2 Onda Electromagnética

No requieren de un medio para propagarse. Por tanto, pueden viajar haya o no un medio presente.

Están formadas por campos magnéticos y eléctricos que oscilan perpendicularmente entre sí y a la dirección de propagación. Debido a esto, este tipo de onda es siempre [transversal](#).

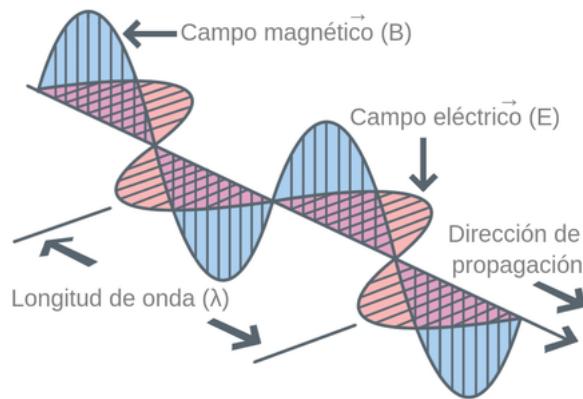


Figura 4.4: Vectores de campo eléctrico y magnético oscilantes[4]

El rango completo de radiación electromagnética se conoce como [espectro electromagnético](#).

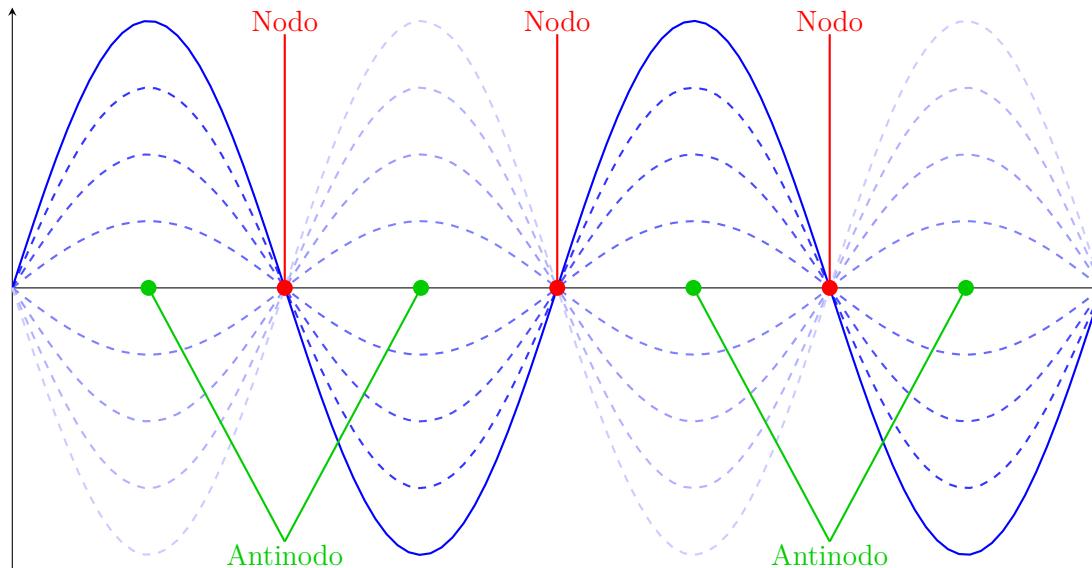
4.3 Sentido de Propagación

4.3.1 Onda Viajera

Es una onda que se mueve y propaga. No permanece fija en un lugar, a diferencia de las ondas estacionarias.

4.3.2 Onda Estacionaria

Estas ondas dan la impresión de vibrar en el mismo lugar de forma fija. Son el resultado de la superposición de dos ondas viajeras que se mueven en direcciones opuestas. Los **nodos** son puntos que permanecen inmóviles, mientras que los **antinodos** oscilan. Oscilan en el tiempo pero no se propagan en el espacio.



Gráfica 4.1: Onda estacionaria

Ejemplos:

- Cuerdas, en instrumentos musicales como la guitarra.
- Tubos sonoros, en instrumentos como la flauta o el órgano.

Fenómenos Ondulatorios

5.1 Reflexión

Es el cambio de dirección que experimenta un onda cuando choca contra una superficie y regresa al medio del cual provenie. Las superficies planas, duras y pulidas reflejan más, aunque todas la superficies reflejan en cierta medida. Esto ocurre con diversas ondas como luz, sonido y las ondas en la superficie del agua^[24].



Figura 5.1: Reflexión en el agua^[5]

El **eco** es un ejemplo de este fenómeno. Cuando una onda sonora choca contra una superficie, parte de la energía de la onda se refleja. Esto se percibe como un sonido distinto al original, debido a la separación temporal entre la onda emitida y reflejada. También se puede mencionar la **reverberación**, en este caso en un reflejo continuo de la onda de sonido.

La luz es otro caso preponderante. Toda la luz percibida por el ojo humano es el resultado de un rebote de las ondas de luz al chocar con multitud de superficies. Cuando el ojo no recibe ondas de luz, como en lugares oscuros o durante la noche, entonces percibe oscuridad. La luz de estrellas lejanas llega constantemente hasta el planeta tierra, aunque durante el día es opacada por la luz solar emitida por el sol ubicado en el centro del sistema solar donde se encuentra la tierra.

5.1.1 Ley de Reflexión

Establece que el ángulo de incidencia de un rayo en una superficie es igual al ángulo de reflexión, ambos medidos con respecto a la normal de la superficie.

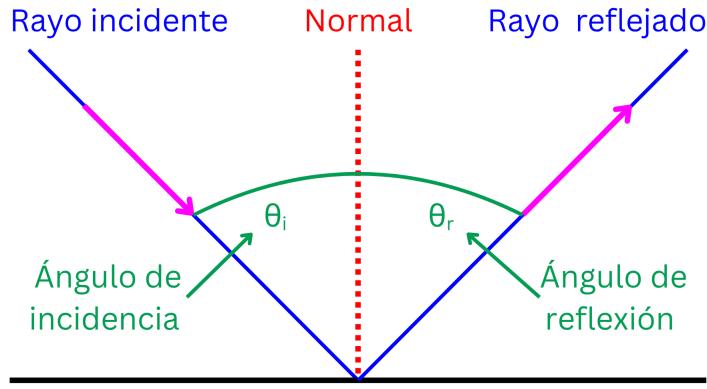


Figura 5.2: Ley de reflexión

Elementos:

- **Rayo incidente:** Onda que entra o impacta con la superficie.
- **Rayo reflejado:** Onda que sale o rebota de la superficie.
- **Normal:** Línea imaginaria perpendicular a la superficie en el punto donde el rayo incide.
- **Ángulo de incidencia (θ_i):** Ángulo formado entre el rayo incidente y la normal.
- **Ángulo de reflexión (θ_r):** Ángulo formado entre el rayo reflejado y la normal.

Considerando un ángulo de incidencia θ_i y un ángulo de reflexión θ_r , la ley se expresa de la siguiente forma:

$$\boxed{\theta_i = \theta_r} \quad (5.1)$$

Ecuación 5.1: Ley de reflexión

5.1.2 Reflexión Especular

Los rayos reflejados se mantienen en un ángulo igual al ángulo de incidencia, produciendo una imagen clara y definida. Ocurre principalmente en superficies lisas y pulidas como espejos, agua en equilibrio y metales pulidos.



Figura 5.3: Reflexión especular[6]

5.1.3 Reflexión Difusa

Los rayos se dispersan en múltiples direcciones al incidir sobre una superficie rugosa o irregular. Esto forma imágenes que no son claras. La mayoría de los objetos en el ambiente reflejan la luz de forma difusa como la ropa, las paredes, el suelo, los árboles y otros.

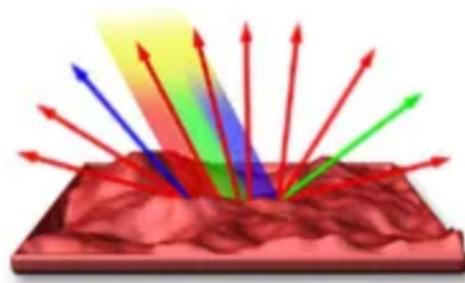


Figura 5.4: Reflexión especular[6]

5.2 Refracción

Cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con diferente velocidad de propagación. Esto ocurre porque la onda cambia de velocidad al entrar en el nuevo medio, lo que provoca que se desvíe de su trayectoria original.

Cada medio, debido a sus propiedades físicas, tiene una velocidad de propagación diferente. Cuando las ondas interactúan con cada medio, su trayectoria está condicionada por la velocidad con la que se mueve dentro de ese medio[25].

La refracción ocurre todo el tiempo. Se usa para enfocar la luz y crear imágenes claras mediante lentes de gafas, cámaras telescopios, microscopios y otros. Los arcoiris ocurren cuando la luz se refracta en las gotas de lluvia. Los objetos en el agua parecen estar doblados por efecto de la refracción.

Un gran ejemplo son los prismas hechos cristal o vidrio. La luz blanca, que es la combinación de todos los colores, al pasar a través del prisma se descompone en un espectro de colores como un arcoíris. Esto se debe a la distinta longitud de onda de los colores en el rango de luz visible.

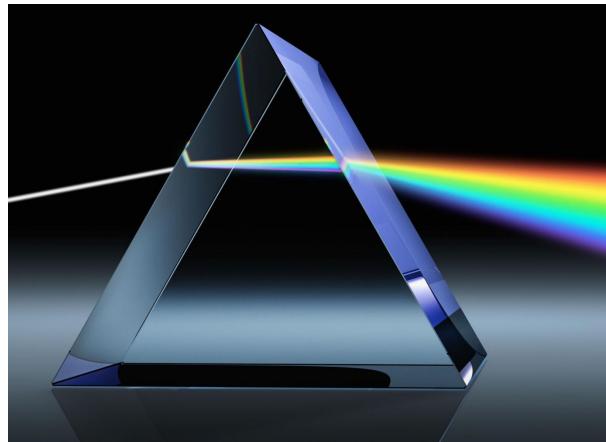


Figura 5.5: Refracción en un prisma[7]

5.2.1 Ley de Snell

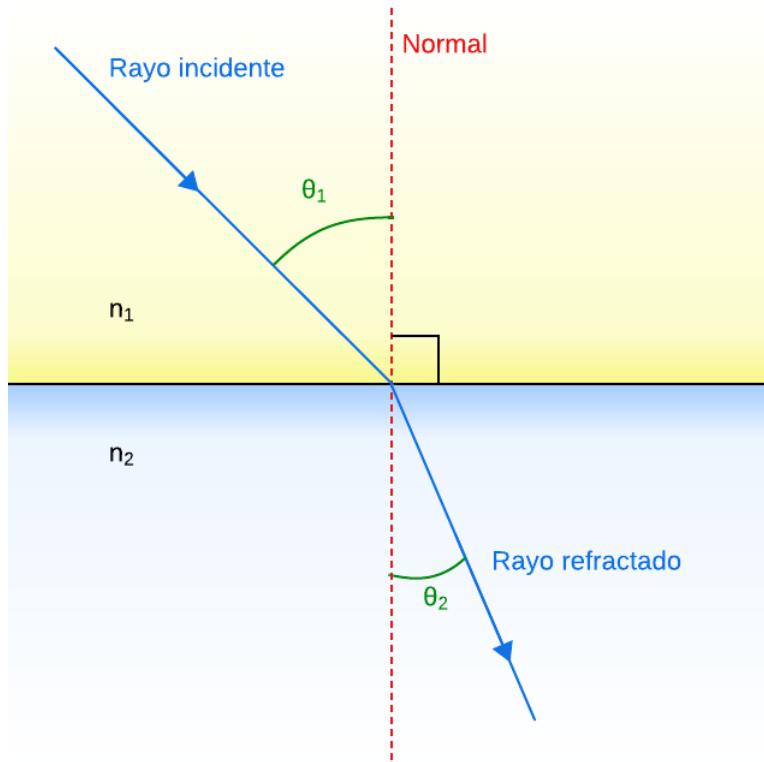


Figura 5.6: Ley de Snell

La formulación matemática es la siguiente:

Esta ley también es conocida como **Ley de refracción**.

Elementos:

- **Rayo incidente:** Onda que viene de un primer medio y pasa a un segundo medio.

$$\boxed{n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2)} \quad (5.2)$$

Ecuación 5.2: Ley de Snell

- **Rayo refractado:** Onda dentro de un segundo medio.
- **Normal:** Línea imaginaria perpendicular a la línea de separación entre ambos medios, en el punto donde el rayo incide.
- **Ángulo de incidencia (θ_1):** Ángulo formado entre el rayo incidente y la normal.
- **Ángulo de refracción (θ_2):** Ángulo formado entre el rayo refractado y la normal.
- **Índice de refracción 1 (n_1):** Índice de refracción en el primer medio.
- **Índice de refracción 2 (n_2):** Índice de refracción en el segundo medio.

El **índice de refracción**, representado por la letra n minúscula, es una medida de como la luz se refracta al pasar de un medio a otro. Un índice más alto indica la onda viaja más lento, y en sentido contrario un índice más bajo indica que la onda viaja más rápido. Se calcula dividiendo la velocidad de la luz en el vacío (c), ecuación 2.11, entre la velocidad de la luz en el nuevo medio (v).

$$\boxed{n = \frac{c}{v}} \quad (5.3)$$

Ecuación 5.3: Índice de refracción

Al pasar de un primer medio con un índice n_1 a un segundo medio con un índice n_2 , pueden ocurrir las siguientes situaciones:

- $n_1 = n_2$: La velocidad en el segundo medio es igual. La onda se mueve sin alteraciones y no hay refracción.
- $n_1 < n_2$: La velocidad en el segundo medio es menor. La onda refractada se acerca a la normal.
- $n_1 > n_2$: La velocidad en el segundo medio es mayor. La onda refractada se aleja de la normal.

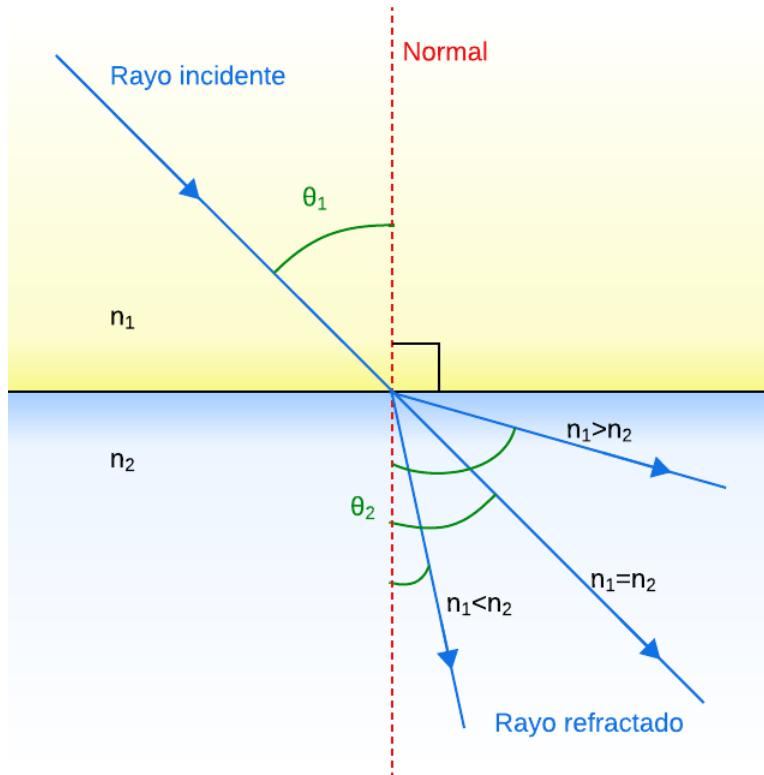


Figura 5.7: Índice de refracción y rayos refractados

5.2.2 Reflexión Total Interna

La totalidad del rayo incidente es reflejado. Ocurre cuando una onda pasa de un medio con un índice de refracción más alto a un medio con un índice de refracción más bajo, con un ángulo mayor que el **ángulo crítico**.

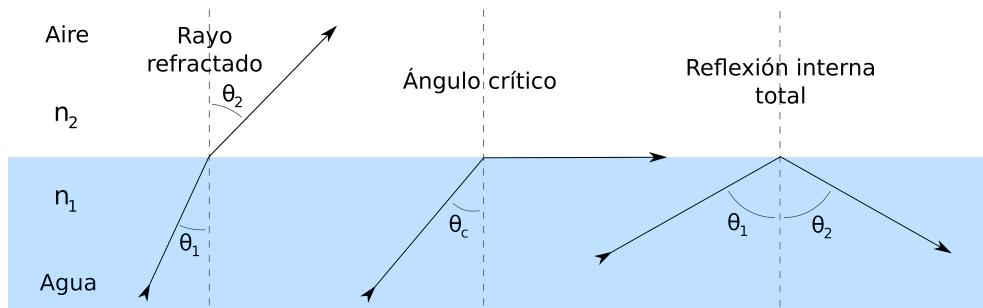


Figura 5.8: Reflexión total interna[8]

El ángulo crítico (θ_c) se obtiene de una variación de la ley de Snell, ecuación 5.2, en la cual el ángulo de refracción es de 90 grados ($\sin(90) = 1$). Donde n_1 y n_2 son los índices de refracción de los medios con $n_2 < n_1$. Se despeja el ángulo de incidencia de la siguiente forma:

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (5.4)$$

Ecuación 5.4: Ángulo crítico

5.3 Difracción

Ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo o abertura y se desvía, propagándose en diferentes direcciones. Puede producirse de distintas formas dependiendo del tamaño del obstáculo y la longitud de onda de la onda. Puede ocurrir alrededor o a través de un obstáculo o abertura. En este proceso se crean zonas en donde las onda no llegan o se cancelan mediante interferencia **destructiva**.



Figura 5.9: Difracción en las nubes[9]

Una forma simple de ver la difracción de ondas es colocar los dedos de una mano en frente de una fuente de luz y cerrarlos lentamente observando la luz pasar a través de ellos. A medida que los dedos se acercan unos a otros la luz forma patrones de líneas entre los dedos. Otra situación de esto es la luz difractada por las nubes. Esas líneas son patrones de difracción[26].

5.3.1 Difracción alrededor de un obstáculo

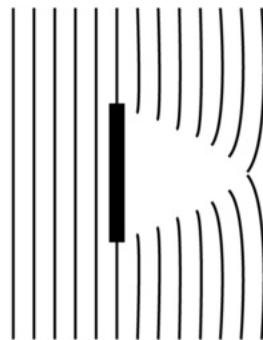


Figura 5.10: Difracción alrededor de un obstáculo[10]

5.3.2 Difracción a través de una abertura

Es muy importante considerar la longitud de onda de la onda. Si el tamaño de la abertura es muy superior a la longitud de onda, la onda pasa sin ningún problema. Mientras el tamaño de la abertura se acerca a la longitud de onda la difracción se vuelve más marcada, hasta el punto donde ambos valores son muy parecidos y la curvatura de la onda difractada tiende a ser uniforme. Cuando ambos valores son iguales ocurre una difracción verdadera o completa.

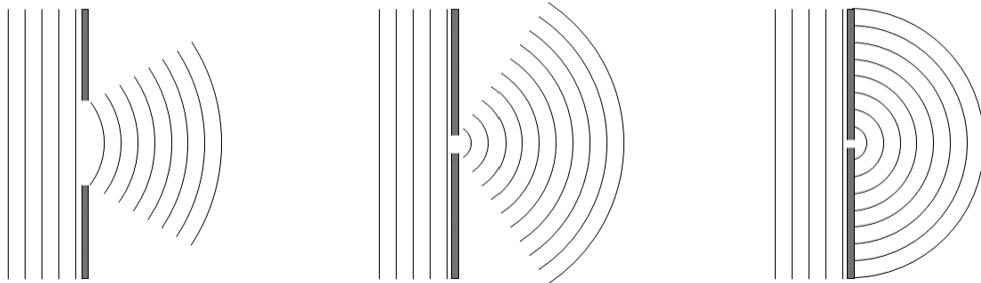


Figura 5.11: Difracción a través de una abertura[11]

5.4 Absorción

Proceso por el cual un medio absorbe energía de una onda que lo atraviesa, reduciendo su amplitud y eventualmente su intensidad. Ocurre cuando la energía de la onda se transforma en otra forma de energía, generalmente calor, dentro del material.

Esto se puede observar en el espectro de absorción de los hojas. La clorofila no absorbe toda la luz solar uniformemente. Las moléculas de clorofila preferentemente absorben la luz roja (con picos de absorción de 600–700nm del [espectro electromagnético](#)) y azul (con picos de absorción de 400–500nm) para usar en la fotosíntesis, pero mucho menos en la luz verde (picos de absorción de 500 – 600nm) es absorbida y por tanto una gran cantidad es reflejada[12].

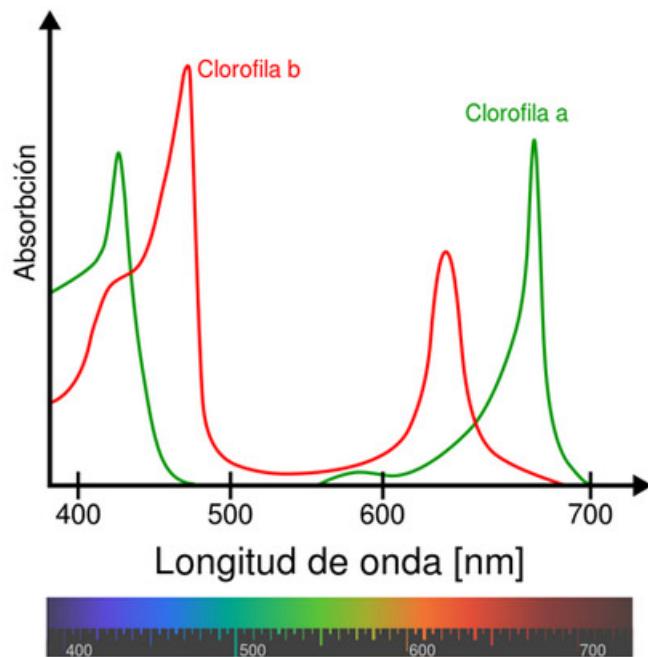


Figura 5.12: Espectro de absorción de las hojas[12]

Espectro Electromagnético

Es la distribución de todas las formas de radiación electromagnética, ordenadas según su longitud de onda y frecuencia. Incluye desde ondas de radio hasta rayos gamma. Para la medida de la longitud de onda se utiliza el nanómetro ($nm = m \times 10^{-9}$).

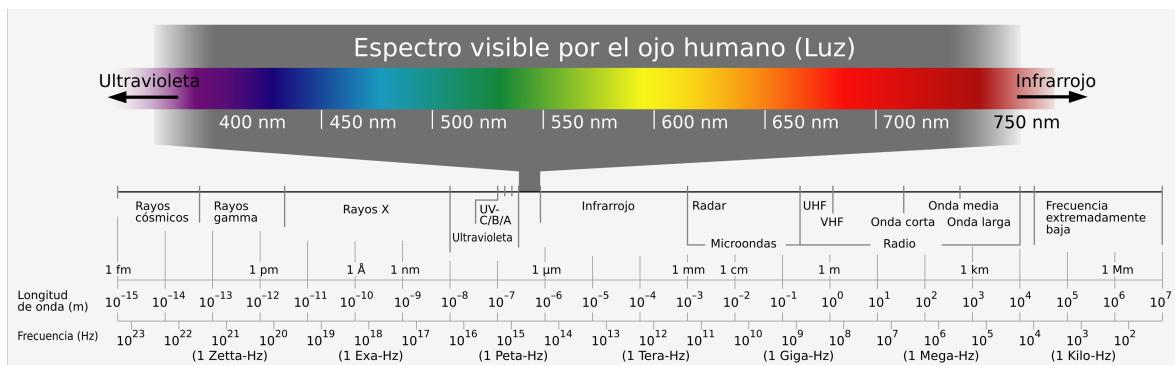


Figura 6.1: Escpectro electromagnético[13]

Las ondas cuya longitud de onda es alta viajan una mayor distancia, dado que pierden menos energía. Y aquellas donde es baja viajan menos distancia, pues pierden más energía. Esto se debe a la relación entre la frecuencia, longitud de onda y energía de una onda.

De mayor a menor longitud de onda se ordenan de la siguiente manera: ondas de radio, microondas, rayos infrarrojos, luz visible, rayos ultravioletas, rayos x y rayos gamma (γ). Más allá se ubica la **radiación cósmica**.

6.1 Ondas de Radio

Se utilizan para la comunicación inalámbrica como la radio, televisión, teléfonos móviles, Wi-Fi, antenas y satélites. Abarca frecuencias desde 30 Hz hasta 300 GHz.

6.1.1 Señales AM y FM

Las ondas de radio se transmiten mediante señales AM y FM.

AM, o **amplitud modulada**, cambia la amplitud de la señal. Viajan una mayor distancia y son más simples de recibir. Son más susceptibles a interferencias y ruido, lo que resulta en una peor calidad.

FM, o **frecuencia modulada**, cambia la frecuencia de la señal. Viajan una menor distancia y son más complejas de recibir. Son menos susceptibles a interferencias y ruido, lo que resulta en una mejor calidad.

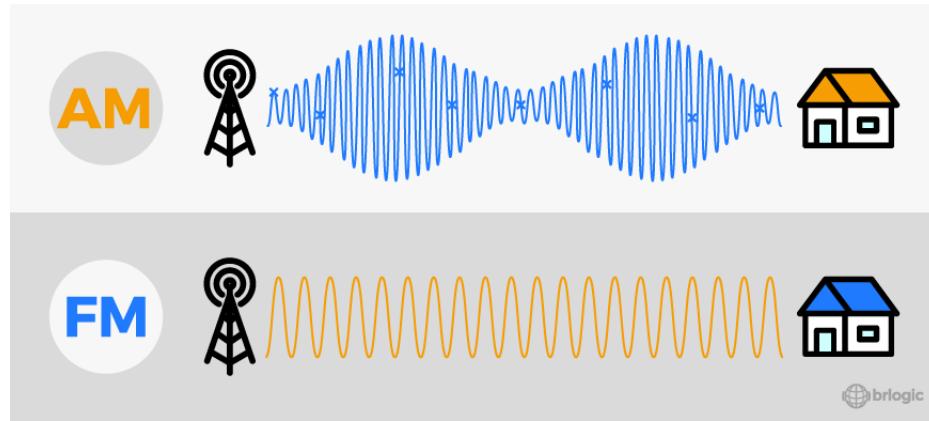


Figura 6.2: Señales AM y FM[14]

6.1.2 Propagación en la Ionósfera

La **ionósfera**, una capa electricamente cargada de la atmósfera, es crucial en la propagación de ondas de radio. Se ubica aproximadamente entre los 60 y 1000 km de altura sobre la superficie terrestre. Contiene gases ionizados que pueden reflejar, refractar y absorber las ondas de radio, permitiendo así la comunicación a larga distancia. Para enviar ondas se usa un transmisor y para recibirlas un receptor.

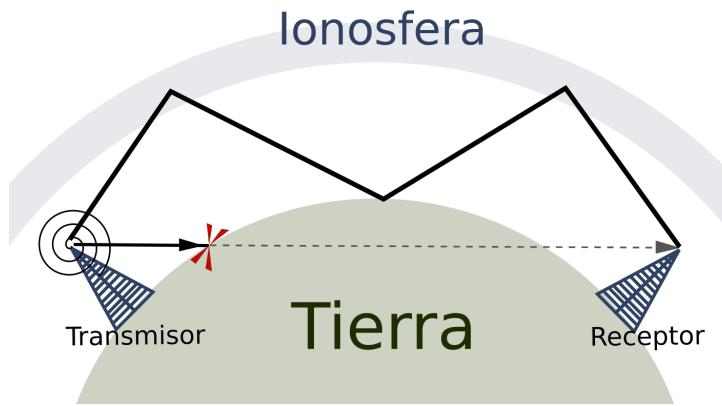


Figura 6.3: Ondas reflejadas en la ionósfera[15]

6.2 Microondas

Abarcan frecuencias entre 300 MHz y 300 GHz. Se utilizan en los hornos microondas, comunicaciones inalámbricas, radares y sistemas de satélite.

6.3 Rayos Infrarrojos

Se caracterizan por transportar energía en forma de calor y pueden ser emitidos por cualquier objeto con una temperatura superior al cero absoluto, es decir 0 Kelvin (-273.15°C). Se utilizan en medicina, electrónica, calefacción, astronomía y sistemas de seguridad.



Figura 6.4: Rayos infrarrojos emitidos por un control remoto de televisor

6.4 Luz Visible

Parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede percibir, correspondiente a las longitudes de onda que van desde aproximadamente 380 a 700 nanómetros. Todos los colores visibles por los humanos se encuentran en este rango.

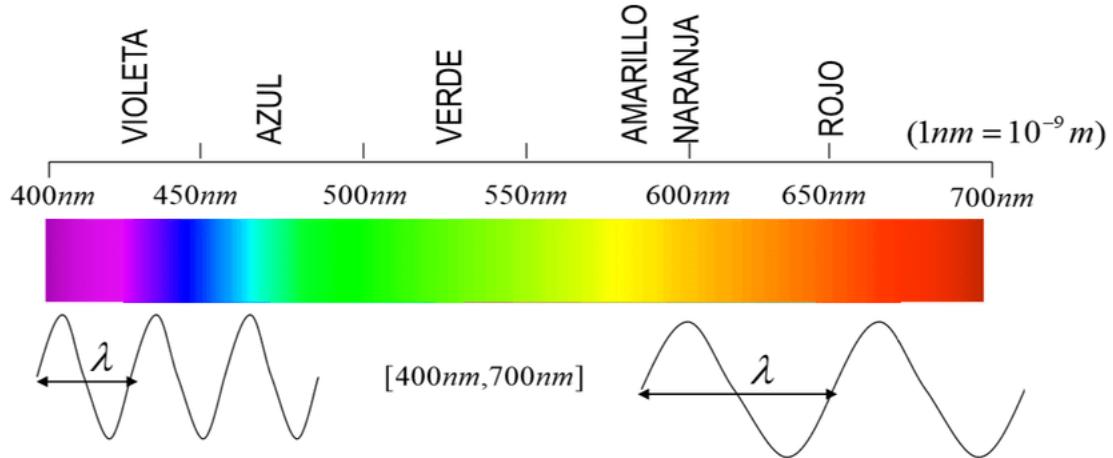


Figura 6.5: Espectro de luz visible[16]

6.4.1 Dispersión de Rayleigh

Es la dispersión de la luz visible o cualquier otra radiación electromagnética por partículas cuyo tamaño es mucho menor que la longitud de onda de los fotones dispersados. Ocurre cuando la luz

vuela por sólidos y fluidos transparentes, pero se ve con mayor frecuencia en los gases. La dispersión de la luz solar en la atmósfera es la principal razón de la coloración del cielo.

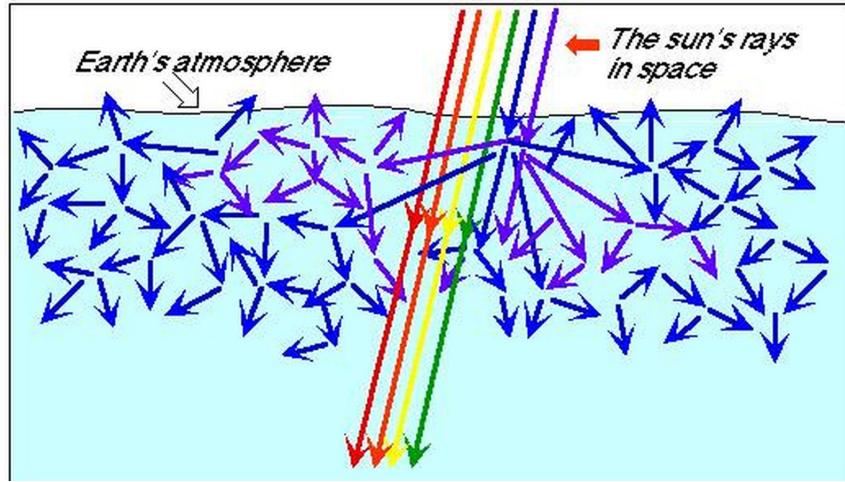


Figura 6.6: Dispersión de Rayleigh[17]

Al encontrar poca resistencia, como en el medio día, los rayos azules se dispersan en la atmósfera. Al encontrar mucha resistencia, como el amanecer o atardecer, los rayos rojos y anaranjados se dispersan.

6.5 Rayos Ultravioletas

6.6 Rayos X

6.7 Rayos Gamma

Sonido

Aplicaciones

8.1 Fibra Óptica

La fibra óptica permite transmitir información a largas distancias mediante luz. Generalmente se usa en cables cables, como los que se colocan en el subsuelo o el suelo marino para el internet.

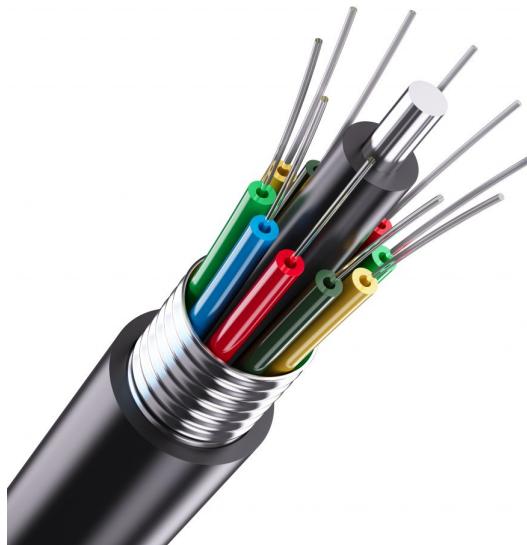


Figura 8.1: Cabe de fibra óptica[18]

8.1.1 Componentes principales

Los cables se componen de tres capas principales:

Núcleo: filamento delgado transparente hecho de cristal o plástico.

Revestimiento: rodea al núcleo. También está hecho de cristal o plástico, pero con un índice de refracción diferente del núcleo.

Cubierta protectora: capa exterior que protege el cable de daño físico y ambiental. Puede estar hecho de plástico, kevlar o acero.

8.1.2 Procedimiento

Empieza por convertir datos digitales (texto, imágenes o videos) en señales binarias de luz, utilizando dispositivos como LEDs o láseres.

Los LEDs son más baratos y son usadas en aplicaciones de corto alcance, como LAN (*Local Area Network*). Los láseres, dado su mayor concentrado y poderoso rayo de luz, son ideales para largas distancias y mayor velocidad, como en cables submarinos.

Estas señales son enviadas al cable de fibra óptica, donde viajan a través del núcleo rebotando del revestimiento mediante **reflexión total interna**. Una vez las señales de luz alcanzan su destino, son convertidas de vuelta a señales eléctricas por un receptor y enviadas a un dispositivo o red.

Al viajar largas distancias ocurre una pérdida de energía gradual, llamada atenuación. Para reforzar la señal a lo largo del cable se utiliza un repetidor o un amplificador. Los amplificadores con más utilizados que los repetidores[27].

8.1.3 Ventajas

Los cables de fibra óptica tienen ventajas clave sobre cables de cobre tradicionales, haciéndolos la opción preferida para redes de comunicación modernas.

Mayor ancho de banda y tasa de transferencia: esto permite mayor velocidad de internet y comunicaciones más eficientes.

Inmunidad a interferencia electromagnética: asegura una conexión más confiable y estable.

Reduce la atenuación de la señal: experimentan menos perdida de señal, en comparación con cables de cobre, lo cual permite una transmisión eficiente de datos sobre largas distancias.

Cables más delgados y ligeros: esto hace que sean más fáciles de instalar y reduce el costo en infraestructura.

Mejor seguridad: puesto que no emiten señales eléctricas son menos susceptibles de pérdidas e intercepciones.

8.2 Radar

8.3 Wi-Fi

Los routers de Wi-Fi generalmente ofrecen dos bandas con frecuencias distintas: una de 2.4 GHz y otra de 5 GHz.

2.4 GHZ tiene más rango, pero es más lenta y tiene más interferencia. **5 GHz** tiene menos rango, pero es más rápida y tiene menos interferencia.

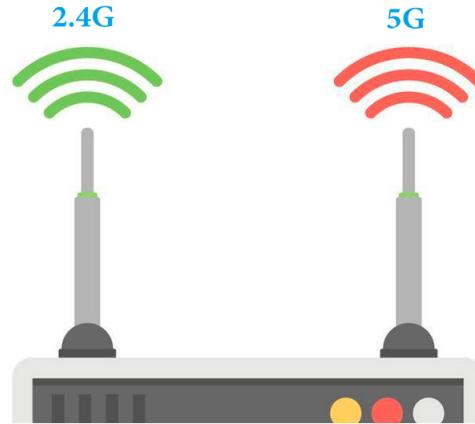


Figura 8.2: Wi-Fi 2.4 GHz y 5 GHz[19]

8.4 Horno Microondas

Las microondas son emitidas por un dispositivo llamado magnetrón. Estas chocan con las paredes metálicas del horno y crean ondas de tipo estacionaria, por tanto hay zonas más calientes que otras, para asegurar una cocción uniforme se utiliza un plato rotatorio. La componente del campo eléctrico de la onda electromagnética interactúa con las moléculas de agua (H_2O) en los alimentos. Estas moléculas son polares, el hidrógeno es el polo positivo y el oxígeno el negativo, de modo que giran con el campo eléctrico. Esto resulta en una vibración y al chocar entre sí generan calor.



Figura 8.3: 1955, microondas montado en la pared, Tappan RL-1[20]

8.5 Visión Nocturna

La visión nocturna se crea tomando luz en el espectro infrarrojo y amplificándola, haciéndola más brillante. La longitud de onda de esta luz se encuentra aproximadamente entre los 750 nm y 1400 nm. A los dispositivos que emplean visión nocturna se les conoce con las siglas **NVD** (*Night Vision Device*). Para uso militar son muy comunes las gafas de visión nocturna o **NVG** (*Night Vision Google*), por ejemplo la **GPNVG** (*Ground Panoramic Night Vision Google*), que ofrece un mayor campo de visión al combinar 4 lentes.



Figura 8.4: GPNVG[21]

La imagen se genera a través de una pantalla de fósforo. Durante décadas ha sido verde. Sin embargo, en condiciones oscuras el ojo humano no ve mejor en la parte verde del espectro. Los fotoreceptores en la retina especializados para la visión con poca luz tienen su pico de sensibilidad en la parte azul del espectro. Para lograr una mejor visión se usa una pantalla de fósforo blanco, que se ve azul claro.

8.5.1 Procedimiento

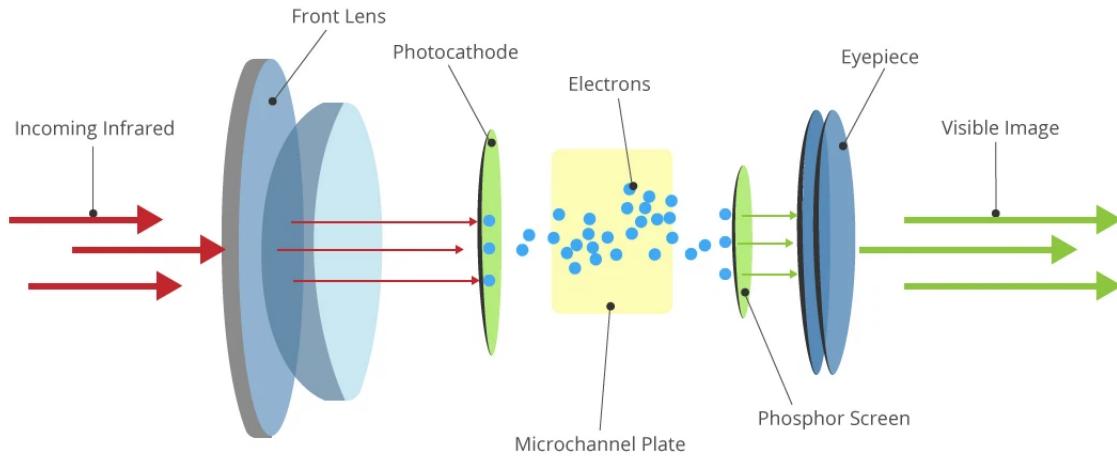


Figura 8.5: Proceso de generar visión nocturna[22]

En un lugar oscuro debe haber alguna fuente de energía, por ejemplo luz visible de las estrellas o calor de un cuerpo, que es recibida por un **tubo de intensificación de imagen**. Una lente enfoca los fotones dentro del tubo como una imagen al revés donde, pasan por tres pasos.

En primer lugar el fotón golpea una placa fina llamada **fotocátodo** (*Photocathode*), hecha de semiconductores o metales alcalinos, en un punto. Un electrón en ese punto de la placa es excitado y es ejectilado en un espacio vacío. Los electrones son acelerados a través del tubo de vacío por un voltaje, por ejemplo 800 V.

En segundo lugar los electrones se dirigen hacia otra placa fina llamada **placa microcanal** (*Microchannel Plate*). Esta placa está hecha de un material aislante, generalmente vidrio, y cuenta con aproximadamente 6 millones de canales muy pequeños. Estos canales tienen un ángulo de 5 grados en sentido horario, con el objetivo de que los electrones entrantes colisionen con las paredes de los canales. Al hacer esto se crean más electrones de la pared del material, que colisionan con las paredes y crean aún más electrones. Por lo tanto, entran unos pocos y salen miles. Estos electrones salen de los canales y vuelven a ser acelerados en línea recta por otro voltaje más alto, por ejemplo 5800 V.

En tercer lugar los miles de electrones golpean una **pantalla de fósforo** (*Phosphor Screen*). Esta es una pantalla hecha de material que brilla cuando se expone a la radiación. Por lo tanto, convierte la energía cinética de los electrones de vuelta a fotones visibles para el ojo humano.

Cada fotón que entra en el tubo es multiplicado miles de veces manteniendo su posición, lo cual genera una imagen más brillante e identica. Como último paso, hay millones de fibras ópticas, por ejemplo 20 millones, ligadas a la pantalla de fósforo que giran la imagen hacia arriba[28].

8.5.2 Tipos

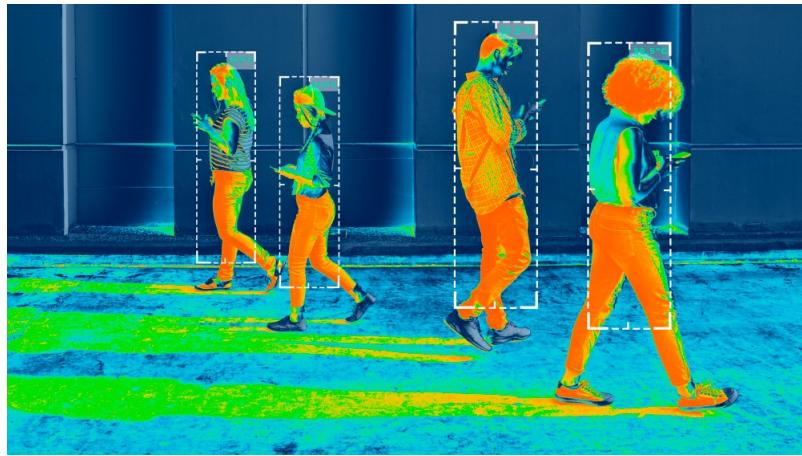


Figura 8.6: Imagen térmica[23]

Iluminación Activa (*Active Illumination*): crean su propia luz, como la de una linterna. Es la más fácil de producir y es la común para uso general, como cámaras de seguridad. El color de la imagen es blanco y negro.

Intensificación de Imagen (*Image Intensification*): amplifica luz existente. Se utiliza mucho en el ejército. El color de la imagen depende de la lente de fósforo, verde o azul claro.

Imagen Térmica (*Thermal Imaging*): crea imágenes a partir de bandas de emisión infrarroja. Cámaras térmicas de alta calidad son muy grandes y consumen mucha energía para ser portables.. El color de la imagen depende de la intensidad de la fuente de emisión, colores fríos o cálidos.

Bibliografía

- [1] L. de Bem, “Interferência de Ondas.” <https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/ondas/interferencia-de-ondas/480>. Accedido: 2025-07-01.
- [2] G. de Oliveira, “Ondas mecânicas: o que são, tipos, características - Mundo Educação.” <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ondas-mecanicas.htm>, Julio 2011. Accedido: 2025-06-24.
- [3] “Wave - Wikipedia.” <https://en.wikipedia.org/wiki/Wave>. Accedido: 2025-06-27.
- [4] “Ondas electromagnéticas - Labster.” <https://theory.labster.com/es/electromagnetic-waves/>. Accedido: 2025-06-24.
- [5] “Reflection (physics) - Wikipedia.” [https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Reflection_(physics)). Accedido: 2025-06-25.
- [6] M. Abramowitz, R. T. Sutter, and M. W. Davidson, “Specular and Diffuse Reflection.” <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/tutorials/reflection/specular>. Accedido: 2025-06-25.
- [7] Caleb, “What is a Glass Prism? Learn Light Refraction.” <https://customglassmfg.net/blog/what-is-glass-prism/>, Agosto 2023. Accedido: 2025-06-27.
- [8] “Total internal reflection.” https://en.wikipedia.org/wiki/Total_internal_reflection. Accedido: 2025-07-13.
- [9] M. Margolis, “The Science of Diffraction: What is the Diffraction of Light?” <https://www.rainbowsymphony.com/blogs/blog/the-science-of-diffraction-what-is-the-diffraction-of-light>, Septiembre 2023. Accedido: 2025-06-28.
- [10] “DIFFRACTION OF WAVES.” <https://web2.ph.utexas.edu/~coker2/index.files/diffraction3031.htm>. Accedido: 2025-06-28.
- [11] “10.5.3 Diffraction.” <https://xmpysics.com/2023/01/02/10-5-3-diffraction-2/>, Enero 2023. Accedido: 2025-06-28.
- [12] “Estructura de la hoja.” <https://www.droncontrol.com/index.php/es/servicios/aplicaciones-agricolas/51-agricola/165-estructura-de-la-hoja>. Accedido: 2025-06-28.
- [13] “Electromagnetic spectrum.” https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum. Accedido: 2025-07-02.
- [14] L. Silveira, “Estaciones de radio AM, FM, digitales y en línea. ¿Cuál es la diferencia?” <https://blog.brlogic.com/es/estaciones-de-radio-am-fm-digitales-y-en-linea-cual-es-la-diferencia/>, Julio 2019. Accedido: 2025-07-02.

- [15] “Ionosphere.” <https://en.wikipedia.org/wiki/Ionosphere>. Accedido: 2025-07-02.
- [16] F. Becerra, *PATRONES DE CONDUCTA FACIAL, PARA IDENTIFICAR ACCESOS INFORMÁTICOS NO AUTORIZADOS*. PhD thesis, 01 2019. Accedido: 2025-07-13.
- [17] M. Múgica, “¿Por qué es azul el cielo?: la culpa la tiene la dispersión Rayleigh.”, Enero 2017. Accedido: 2025-07-13.
- [18] Gary, “Fibre Optic Cable.” <https://www.nmcabling.co.uk/2021/09/fibre-optic-cable/>, Septiembre 2021. Accedido: 2025-07-13.
- [19] <https://support.u-tec.com/hc/en-us/articles/360059585052-How-to-find-out-whether-my-WiFi-network-is-2-4GHz-5GHz-or-2-4GHz-5GHz-dual-band>. Accedido: 2025-07-02.
- [20] E. Ackerman, “A Brief History of the Microwave Oven.” <https://spectrum.ieee.org/a-brief-history-of-the-microwave-oven>, Septiembre 2016. Accedido: 2025-07-03.
- [21] “How to Choose Night Vision Optics.” <https://tacticalgear.com/experts/how-to-choose-night-vision-optics>. Accedido: 2025-07-05.
- [22] “What is the photocathode sensitivity in night vision?” <https://www.jpnvnightvision.com/info/what-is-the-photocathode-sensitivity-in-night-88681784.html>, Noviembre 2023. Accedido: 2025-07-05.
- [23] D. Fitzpatrick, “What is thermal imaging and how is it used?.” <https://bytronic.com/news/thermal-imaging/>, Julio 2025. Accedido: 2025-07-05.
- [24] M. J. Parry-Hill, R. T. Sutter, and M. W. Davidson, “Reflection of Light.” <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/tutorials/reflection/reflectionangles>. Accedido: 2025-06-25.
- [25] R. T. Sutter, T. J. Fellers, and M. W. Davidson, “Refraction of Light.” <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/tutorials/refraction/refractionangles>. Accedido: 2025-06-25.
- [26] M. Abramowitz and M. W. Davidson, “Diffraction of Light.” <https://evidentscientific.com/en/microscope-resource/knowledge-hub/lightandcolor/diffraction>. Accedido: 2025-06-28.
- [27] VirtualBrain, “How Fiber Optics Works.” https://youtu.be/zAVsTubdd_Q, Diciembre 2024. Accedido: 2025-07-13.
- [28] Veritasium, “How Do Night Vision Goggles Work?.” <https://youtu.be/UAeJHAFjwPM>, Noviembre 2023. Accedido: 2025-07-05.