

	Facultad de Ingeniería Mexicali	Ciclo Escolar: 2021-2	
	Material Didáctico Electricidad y Magnetismo	Formación Básica	
	Unidad 4, Campo Magnético	Pág. 1 de 7	

Estado del documento:	Nuevo	☐	Modificación	X	☐
------------------------------	--------------	--------------------------	---------------------	----------	--------------------------

ELABORÓ	REVISÓ	AUTORIZÓ	AUTORIZÓ
			
Dra. Mónica Isabel Soto Tapiz	Dr. Juan Carlos Quiroz Sanchez	Dr. Moisés Jesús Castro Toscano	Dra. Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas
Profesora	Profesor	Encargado de la Materia	Coordinador del área Tronco Común

Control de cambios del documento			
Revisión	Ciclo Escolar	Autor de quien elaboro	Descripción o motivo del cambio
0	2020-2	Dra. Mónica Isabel Soto Tapiz	Primera Versión de Paquete Didáctico
1	2021-2	Dra. Mónica Isabel Soto Tapiz	Adecuar Material Didáctico al nuevo formato



4.5 INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA.

En esta sección describiremos brevemente la naturaleza de la luz “como onda” capaz de transmitir energía, misma que si consta de campos eléctricos y magnéticos interactuantes recibe el nombre de Onda Electromagnética; así mismo abordaremos las interacciones entre cargas eléctricas, corrientes, campos eléctricos y campos magnéticos mediante el reconocimiento de las ecuaciones de Maxwell, consideradas como las Ecuaciones de la Electrodinámica Clásica y describen de manera unificada una variedad de fenómenos de índole electromagnético.

A. Espectro electromagnético

Todas las ondas electromagnéticas (OEM) viajan a la velocidad de la luz ($3.00 \times 10^8 \frac{m}{s}$), sin embargo, la longitud y la frecuencia de dichas ondas varían dentro de un intervalo extenso de valores, no existiendo una clara división entre un tipo de onda y la siguiente. La velocidad de la luz, c , la longitud de onda, λ , y la frecuencia, f , están relacionadas mediante la ecuación $c = \lambda f$. La Fig. 13 muestra los diversos tipos de ondas electromagnéticas contemplados en el denominado espectro electromagnético, donde los nombres que se han asignado a cada tipo de onda es una convención respecto a la región del espectro en el que se ubican.

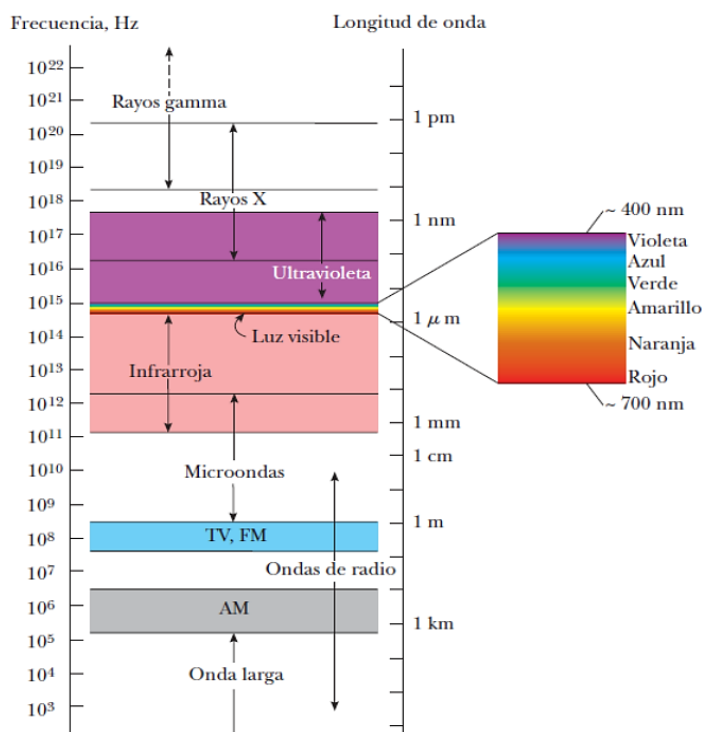


Fig. 13 Espectro electromagnético

Algunos ejemplos de ondas electromagnéticas son la luz, las ondas de radio, las microondas, los rayos X y los rayos gamma (ver Fig. 14). Es importante resaltar que todas las formas de los diversos tipos de radiación (que es energía) son generadas por el mismo fenómeno: cargas en aceleración.

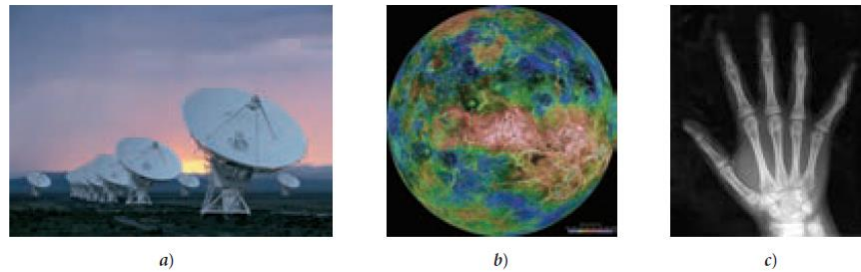


Fig. 14 Aplicaciones de las OEM, a) radio telescopio de largo alcance, b) imagen en falso color de la superficie de Venus, c) imagen de una mano obtenida con rayos X

La tabla I muestra una breve descripción de cada una de las regiones incluida en el espectro electromagnético que abarca OEM cuyas longitudes de onda varían aproximadamente desde 10^3 m hasta 10^{-12} m , con frecuencias correspondientes entre 10^6 Hz y 10^{20} Hz , y energías dentro del intervalo de 10^{-09} eV a 10^6 eV .

A la fecha el auge en la telecomunicación, ha permitido la utilización eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas para la transmisión y recepción de señales de cualquier naturaleza que contengan sonidos, sonidos e imágenes que fundamenta la comunicación a distancia. La Fig. 15 muestra, por ejemplo, los rangos de frecuencia asignados para transmisión por radio y televisión en Estados Unidos; a saber, la radio AM (amplitud modulada) va de 535 kHz a 1705 kHz mientras que la radio FM (frecuencia modulada) entre 88 MHz y 108 MHz . Por su parte, la televisión VHF (frecuencia muy alta) opera en dos rangos: de 54 MHz a 88 MHz para los canales 2 a 6, y 174 MHz a 216 MHz para los canales 7 a 13; los canales UHF (frecuencia ultra-alta) 14 a 83 transmiten en el rango de 512 MHz a 698 MHz . La mayor parte de las transmisiones de alta definición (HDTV) usa una banda UHF y los canales 14 a 83.

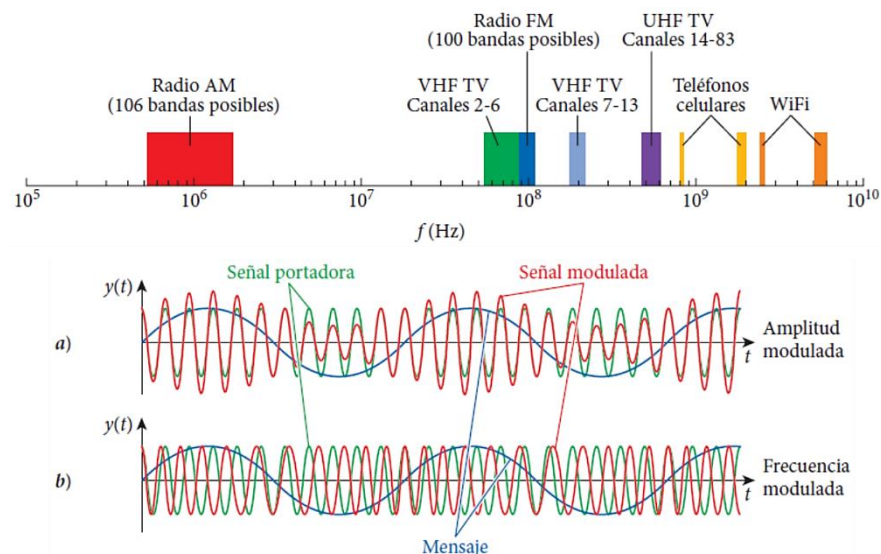


Fig. 15 Espectro radioeléctrico para transmisiones de radio, televisión, celulares y conexiones WiFi para computadoras en EE.UU., a) señal con amplitud modulada, b) señal con frecuencia modulada



Unidad 4, Campo Magnético

TABLA I
DESCRIPCIÓN DEL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Tipo de onda	Intervalo		Origen (fuente)	Usos
	longitud [m]	frecuencia [Hz]		
Radio	$10^3 - 10^{-2}$	$10^6 - 10^9$	- Solar - Dispositivos electrónicos (osciladores LC) - Relámpago	- Sistemas de radio y televisión - Astronomía (radio-telescopio de largo alcance)
Microondas	$10^{-2} - 10^{-4}$	$10^9 - 10^{11}$	- Solar - Dispositivos de estado sólido (semiconductores) - Dispositivos basados en tubos de vacío (magnetron)	- Radioastronomía - Comunicación de vehículos espaciales
Infrarrojo	$10^{-3} - 10^{-7}$	$10^{11} - 10^{14}$	- Solar - Moléculas (modos vibracionales) - Filamento de tungsteno	- Dispositivo de visión nocturna para la milicia - Cámara de imagen térmica para detectar flujo sanguíneo en la piel
Visible	$10^{-7} - 10^{-7}$		- Solar - Átomo expuesto a radiación externa (excitado)	- Lámpara fluorescente - Transmisión de información
	λ (nm)	color	Láseres: HeNe (color rojo), Ar (color verde)	- Metrología - Detección de retinopatías
	400 – 430	violeta		
	430 – 485	azul		
	485 – 560	verde		
	560 – 590	amarillo		
	590 – 625	naranja		
	625 – 700	rojo		
Ultravioleta	$10^{-7} - 10^{-10}$	$10^{15} - 10^{17}$	- Solar - Lámparas fluorescentes - Láser N₂	- Hospitalario (esterilización de instrumental médico) - Iluminación
Rayos X	$10^{-8} - 10^{-12}$	$10^{17} - 10^{20}$	- Solar - Desaceleración de electrones	- Diagnóstico médico (imagenología) - Análisis estructural de



Facultad de Ingeniería Mexicali	Ciclo Escolar: 2021-2	
Material Didáctico Electricidad y Magnetismo	Formación Básica	
Unidad 4, Campo Magnético	Pág. 5 de 7	

				materiales cristalinos
Rayos Gamma	$10^{-10} - 10^{-14}$	$10^{18} - 10^{24}$	- Solar - Rayos cósmicos - Decaimiento de núcleos radioactivos	- Tratamiento de tejidos malignos - Esterilización de productos alimenticios

B. Introducción a las ecuaciones de Maxwell

Hacia 1860, James Clerk Maxwell dedujo que las leyes fundamentales de la electricidad y el magnetismo podían resumirse de forma matemática en las denominadas Leyes de Maxwell (ver tabla II). Estas ecuaciones relacionan los vectores de campo eléctrico ($\vec{E}$) y magnético ($\vec{B}$) con las fuentes que los originan, es decir, las cargas estáticas, las corrientes y los campos variables. Los hallazgos de Maxwell concordaban con la teoría especial de la relatividad de Einstein, en donde la velocidad de la luz resultaría un parámetro de gran relevancia en la observación de estos campos oscilantes.

TABLA II
DESCRIPCIÓN DE LAS LEYES DE MAXWELL

Nombre	Ecuación característica	Observaciones
Ley de Gauss para $\vec{E}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{enc}}{\epsilon_0}$	El flujo eléctrico neto a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga eléctrica neta encerrada
Ley de Gauss para $\vec{B}$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$	El flujo magnético neto a través de una superficie cerrada es cero (no existencia de monopolos)
Ley de inducción de Faraday	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$	Un flujo magnético variante induce un campo eléctrico
Ley de Maxwell-Ampere	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$	Un flujo eléctrico variante o una corriente induce un campo magnético

En general, las propiedades de las OEM pueden ser deducidas del conjunto de ecuaciones por resolución de las mismas, obteniendo una solución general para una onda viajera que se propaga con una rapidez $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$ muy cercana a la velocidad de la luz. La Fig. 16 representa la solución más simple propuesta y que tiene la forma de una onda sinusoidal que se desplaza en la dirección de x positiva, para la cual, la variación en las magnitudes de los campos puede expresarse como:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = E_{máx} \text{sen}(kx - \omega t) \hat{y} \quad (4.5.1)$$

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = B_{máx} \text{sen}(kx - \omega t) \hat{z} \quad (4.5.2)$$



$$\frac{E_{m\acute{a}x}}{B_{m\acute{a}x}} = \frac{E}{B} = c \quad (4.5.3)$$

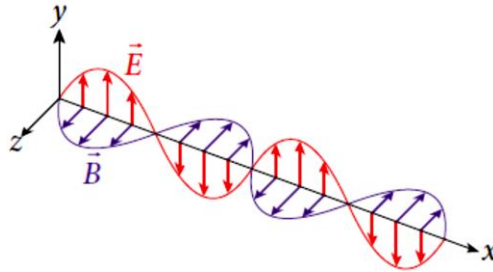


Fig. 16 Representación de una OEM que se propaga en la dirección positiva del eje x en un instante dado

C. Ejemplos

1.- ¿En cuánto tiempo la luz láser viaja de la Tierra a la Luna y regresa a la Tierra? Considere que la distancia entre ellas es $3.84 \times 10^8 \text{ m}$.

Solución: si la luz de un láser es modelada como una OEM que se propaga por el espacio con rapidez igual a c , entonces el recorrido de ida y vuelta a la tierra cumple con la expresión:

$$2d = t * c \rightarrow t = \frac{2d}{c} = \frac{2(3.84 \times 10^8 \text{ m})}{3.00 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2.56 \text{ s}$$

2.- La estrella más brillante en el cielo nocturno es Sirio, que está a una distancia de $8.30 \times 10^{16} \text{ m}$ de la Tierra. Cuando vemos la luz de esta estrella, ¿cuánto tiempo atrás (en años) estamos viendo?

Solución: las estrellas brillan porque general luz, la cual es debida a las reacciones nucleares que suceden en su interior y que podemos ver ya que dicho destello ha viajado por el espacio. Si bien, no existen en el universo ninguno objeto que se mueva más rápido que la velocidad de la luz, ésta tarda cierto tiempo en recorrer las enormes distancias del propio universo (distancias astronómicas), de manera que para darnos más o menos una idea de cuán lejos está la estrella, resulta conveniente considera el tiempo que le toma a “su luz” en llegar hacia nosotros.

De lo anterior se tiene que:

$$1 \text{ año luz} \equiv \text{distancia que recorre la luz en 1 año terrestre} = 9\,460\,730\,472\,581 \text{ km} \\ \approx 9.5 \text{ billones de km} \approx 9.4607 \times 10^{12} \text{ km}$$

$$d' = d * \left(\frac{1 \text{ año luz}}{9.4607 \times 10^{12} \text{ km}} \right) = (8.30 \times 10^{16} \text{ m}) * \left(\frac{1 \text{ año luz}}{9.4607 \times 10^{15} \text{ m}} \right) \rightarrow d' = 8.823 \text{ años luz}$$



Facultad de Ingeniería Mexicali	Ciclo Escolar: 2021-2	 Facultad de Ingeniería Mexicali
Material Didáctico Electricidad y Magnetismo	Formación Básica	
Unidad 4, Campo Magnético	Pág. 7 de 7	

3.- Una onda electromagnética plana se desplaza en el vacío. El campo eléctrico de la onda está dado por $\vec{E} = E_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t)\hat{y}$. ¿Cuál de las siguientes ecuaciones describe el campo magnético de la onda?

- a) $\vec{B} = B_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t)\hat{x}$
- b) $\vec{B} = B_{m\acute{a}x} \cos(ky - \omega t)\hat{y}$
- c) $\vec{B} = B_{m\acute{a}x} \cos(kz - \omega t)\hat{z}$
- d) $\vec{B} = B_{m\acute{a}x} \cos(ky - \omega t)\hat{z}$
- e) $\vec{B} = B_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t)\hat{z}$

Solución: de acuerdo al conjunto solución (Ec.´s 4.5.1 y 4.5.2) y considerando que los vectores de campo son ortogonales entre sí, se tiene que para una onda propagándose en dirección de x:

$$\vec{E} = E_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t)\hat{y} \quad \therefore \quad \vec{B} = B_{m\acute{a}x} \cos(kx - \omega t)\hat{z} \quad (\text{inciso e});$$

cuyas magnitudes dependen de la coordenada x

4.- Una estación de radio FM transmite a 90.5 MHz y una estación de radio AM transmite a 870 kHz. ¿Cuáles son las longitudes de onda de estas ondas electromagnéticas?

Solución: si $c = \lambda f$ se tiene para las OEM,

- de radio FM: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{90.5 \text{ MHz}} = 3.314 \text{ m}$
- de radio AM: $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{870 \text{ kHz}} = 344.827 \text{ m}$

Referencias Bibliográficas

[1] Serway, R. A., & Jewett, J. W. Jr. (2016). *Física para Ciencias e Ingeniería*. Vol. 2. Novena Edición. México: Cengage Learning.

[2] Wolfgang, B., & Westfall, G. D. (2014). *Física para Ingeniería y Ciencias con Física Moderna*. Volumen 2 (2a. ed.). México: McGraw-Hill.

[3] Ohanian, H. C., & Market, J. T. (2009). *Física para ingeniería y ciencias*. Ciudad de México: McGraw Hill. [Clásica]

[4] Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (2002). *Física Volumen 2*. México: CECSA. [Clásica]