

CAPACITACIÓN AGENCIA BOLIVIANA ESPACIAL - ABE



MATERIA: TELECOMUNICACIONES

**Docente: Ing. Félix Pinto
Macedo**

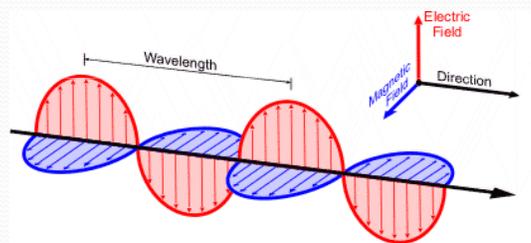
La Paz, Septiembre 2012



Ondas Electromagnéticas

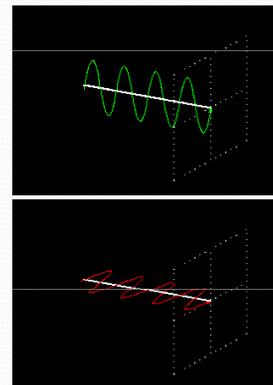
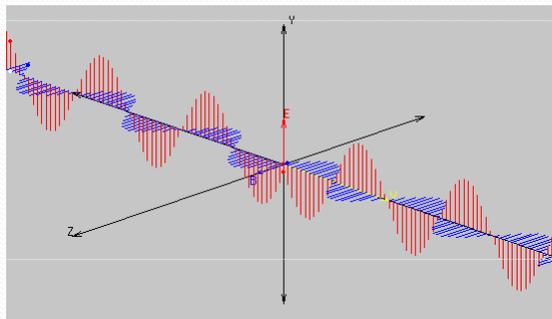
Ondas electromagnéticas

- **Onda electromagnética (O.E.M.).** Es la perturbación simultánea de los campos eléctrico y magnético existentes en una misma región (James C. Maxwell fue quien descubrió las ondas electromagnéticas).



Ing. Felix Pinto Macedo

Ondas electromagnéticas



- Las ondas originadas por los campos eléctricos y magnéticos son de carácter transversal, encontrándose en fase, pero estando las vibraciones accionadas en planos perpendiculares entre sí. Son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse. Incluyen, entre otras, la luz visible y las ondas de radio, televisión y telefonía.

Ing. Felix Pinto Macedo

Ecuaciones de Maxwell

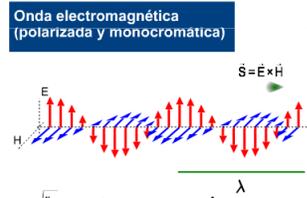


- Describe los campos eléctricos y magnéticos producidos por cargas y corrientes.

- Predice la existencia de ondas electromagnéticas

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \mathbf{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \\ \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

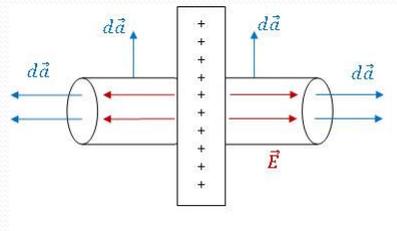


Ing. Felix Pinto Macedo

Ley de Gauss

La primera es la **ley de Gauss** y nos dice que el flujo a través de una superficie cerrada es proporcional a la carga encerrada.

$$\oint_s \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{q_{int}}{\epsilon_0} \quad (1)$$

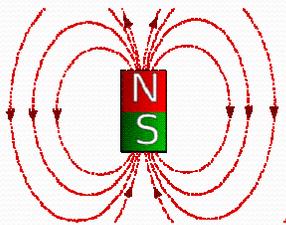


Ing. Felix Pinto Macedo

ley de Gauss para el magnetismo

La segunda, es la **ley de Gauss para el magnetismo**, implica la no existencia de monopolos magnéticos, ya que en una superficie cerrada el número de líneas de campo que entran equivale al número de líneas que salen.

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (2)$$

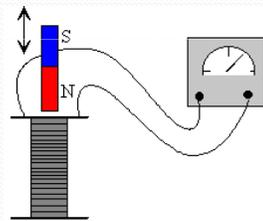


Ing. Felix Pinto Macedo

ley de Faraday

La tercera, es la **ley de Faraday**. En este caso, en el segundo término tenemos el flujo magnético a través de una superficie no cerrada. Esta ley relaciona el flujo del campo magnético con el campo eléctrico. La integral de circulación del campo eléctrico es la variación del flujo magnético.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3)$$

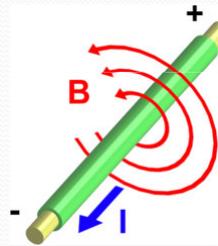


Ing. Felix Pinto Macedo

ley de Ampère

La cuarta, es la **ley de Ampère**, generalizada por Maxwell y expresa cómo las líneas de campo magnético rodean una superficie por la que circula una corriente o hay una variación del flujo eléctrico. La integral de circulación del campo eléctrico es proporcional a la corriente y a la variación del flujo eléctrico.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d}{dt} \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \quad (4)$$



Ing. Felix Pinto Macedo

Leyes de Maxwell

Estas ecuaciones obedecen a una ecuación de ondas tridimensional para los campos \vec{E} y \vec{B} con velocidad de fase

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Puesto que

$$\left\{ \begin{array}{l} \epsilon_0 = 8.89 \cdot 10^{-12} \text{ F/m} \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A} \end{array} \right.$$

el cual coincide con la velocidad de la luz, c .
La conclusión es clara, la luz misma es una onda electromagnética.

Ing. Felix Pinto Macedo

Leyes de Maxwell

Las ecuaciones de Maxwell predicen que las ondas EM se propagan a una velocidad:

$$c = 299.792.458 \text{ m/s}$$

en el vacío, independientemente de la longitud de onda, de la dirección y de la velocidad de la fuente.

Ing. Felix Pinto Macedo

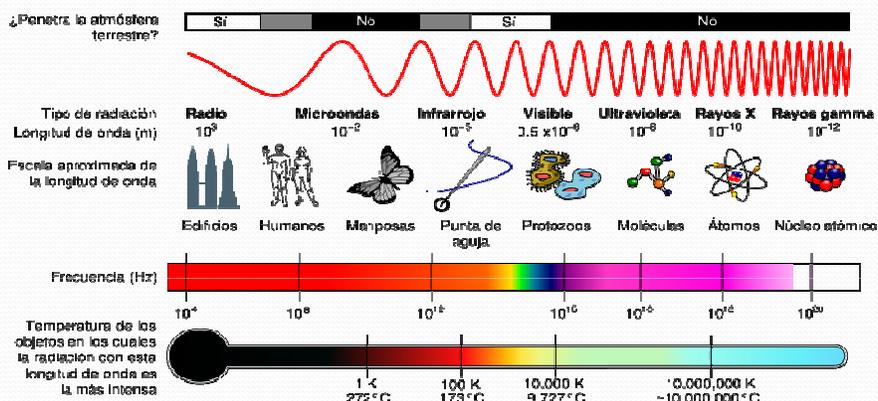
Radiación electromagnética

Radiación electromagnética

- La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.
- La radiación electromagnética puede manifestarse de diversas maneras como calor radiado, luz visible, rayos X o rayos gamma, etc. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío.

Ing. Felix Pinto Macedo

Espectro electromagnético



Ing. Felix Pinto Macedo

Espectro electromagnético



La luz visible está formada por radiación electromagnética cuyas longitudes de onda están comprendidas entre ~ 400 y 700 nm

Color	Longitud de onda
violeta	380-450 nm
azul	450-495 nm
verde	495-570 nm
amarillo	570-590 nm
naranja	590-620 nm
rojo	620-750 nm

Ing. Felix Pinto Macedo

Espectro electromagnético

Rango	Banda	f min	f max	λ max	λ min	Propagación en telecomunicaciones	Aplicación de RF	Características
Potencia y telefonía	ELF	0	3 KHz	0	100 Km	Par tierra Cable coaxial Superficie Troposfera Ionosfera Línea vista y espacio Espacio	Ultrasonidos. Técnicas de audio. Transporte energía	Creadas por el hombre con un circuito oscilante. En líneas de transmisión se propagan como corrientes eléctricas. En el aire como ondas electromagnéticas. En la región de las microondas, 1 a 300 GHz, se comportan como un fluido, semejante a un haz de luz.
	VLF	3 KHz	30 KHz	100 Km	10 Km		Radionavegación de largo alcance y submarina	
	LF	30 KHz	300 KHz	10 Km	1 Km		Radionavegación de largo alcance y localizadores	
	MF	300 KHz	3 MHz	1 Km	100 m		Radio AM, marítima, frecuencias de emergencia	
	HF	3 MHz	30 MHz	100 m	10 m		Radioaficionados, emisión Internacional, CB	
	VHF	30 MHz	300 MHz	10 m	1 m		TV (2 a 6) (7 a 13), Radio FM, aviación	
	UHF	300 MHz	3 GHz	1 m	10 cm		Telefonía móvil, WiFi, TV (14 a 69), microondas	
	SHF	3 GHz	30 GHz	10 cm	1 cm		Microondas terrestre y satélite, Radar, WiMax, LTE	
Rayos infrarrojos	EHF	30 GHz	300 GHz	1 cm	1 mm	Microondas satélite, Radar de navegación (científica)	Fotografía infrarroja, Comunicación por FO	Emisores por vibraciones de átomos (calientes)
		300 GHz	384 THz	1 mm	780 nm			
Luz visible		384 THz	769 THz	780 nm	380 nm		Comunicación por FO para control industrial	Saltos electrónicos: niveles atómicos y moleculares
Rayos ultravioleta		769 THz	3x10 ¹⁶ Hz	380 nm	8 nm		Producen la ionosfera. Broncean la piel	Proviene del sol. Los absorbe el ozono. Peligrosos
Rayos X		3x10 ¹⁶ Hz	5x10 ¹⁹ Hz	8 nm	6 pm		Diagnósticos médicos. Radiografía	Oscilaciones de electrones próximos a los núcleos.
Rayos gamma		5x10 ¹⁹ Hz	1x10 ²² Hz	6 pm	3x10 ⁻¹⁴ m		Medicina y alimentos. Eliminan bacterias	Desintegraciones nucleares. Penetrantes y energéticos.

2010. www.colibrarweb.com

Ing. Felix Pinto Macedo

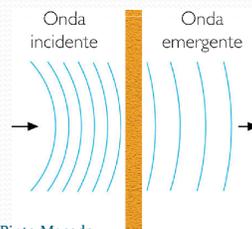
Radiación electromagnética

- En función de la frecuencia, las ondas electromagnéticas pueden no atravesar medios conductores
- Sin embargo, como la energía no se crea ni se destruye, cuando una onda electromagnética viaja por el vacío puede ser influido por varios fenómenos.

Ing. Felix Pinto Macedo

Absorción

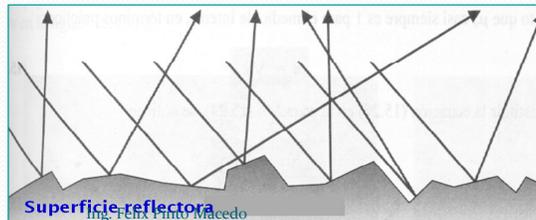
- Las ondas de radio transfieren energía al medio cuando viajan. Ciertos materiales absorben la radiación y la transforman en calor o energía eléctrica.
- Se utiliza el coeficiente de absorción (en dB/m) para describir el impacto del medio en la radiación, que se traduce en una atenuación de la energía de la onda.



Ing. Felix Pinto Macedo

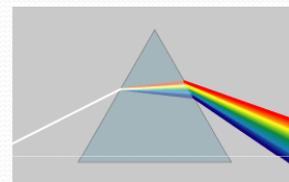
Reflexión

- La reflexión de ondas ocurre en metales, en agua y en tierra. El principio básico es que la onda se refleja con el mismo ángulo con el que impacta la superficie.
- Las superficies reflectoras no siempre son uniformes. Las ondas, a menudo, se reflejan desde la tierra, produciendo una reflexión difusa.
- Los ángulos de incidencia y reflexión para cada parte de la superficie son iguales, pero como cada parte tiene una orientación distinta, la onda reflejada se dispersa.



Dispersión

- La permitividad eléctrica y la permeabilidad magnética de un medio diferente del vacío dependen, además de la naturaleza del medio, de la longitud de onda de la radiación. De esto se desprende que la velocidad de propagación de la radiación electromagnética en un medio depende también de la longitud de onda de dicha radiación.
- El ejemplo más claro es el de un haz de luz blanca que se "descompone" en colores al pasar por un prisma.

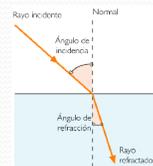


Ing. Felix Pinto Macedo

Refracción

- Cuando la luz cambia de medio experimenta una desviación que depende del ángulo con que incide en la superficie que separa ambos medios. Se habla, entonces, de ángulo incidente y ángulo de transmisión. Este fenómeno, denominado refracción, es claramente apreciable en la desviación de los haces de luz que inciden en el agua. La velocidad de la luz en un medio se puede calcular a partir de su permitividad eléctrica y de su permeabilidad magnética de la siguiente manera:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$



Ing. Felix Pinto Macedo

Difracción

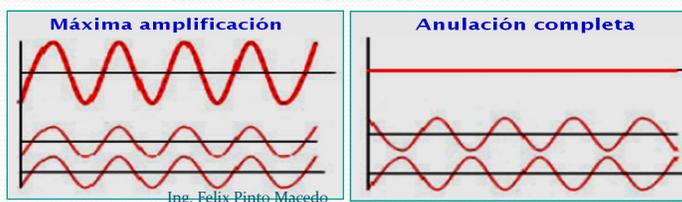
- Ocurre cuando la onda de radio encuentra un obstáculo en su trayectoria. Las fuentes puntuales del frente de onda, en las orillas del obstáculo, desarrollan ondas esféricas adicionales (Principio de Huygens) que rellenan la zona de sombra.



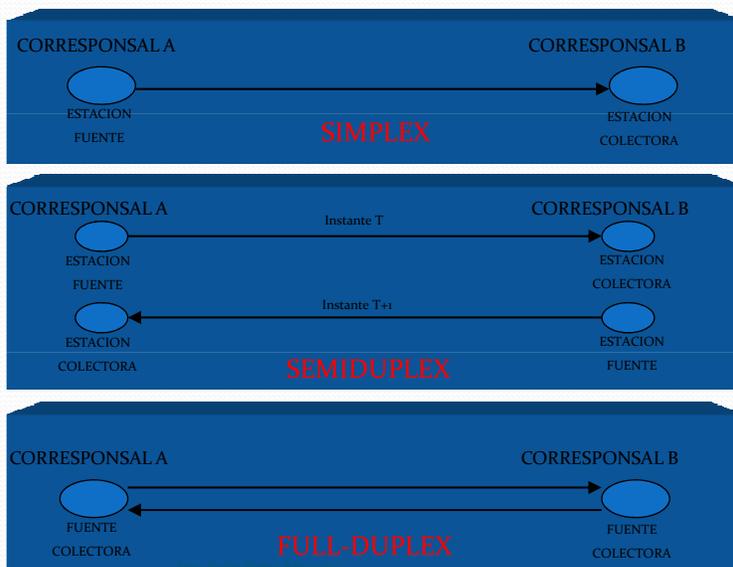
Ing. Felix Pinto Macedo

Interferencia

- Dos ondas con una misma frecuencia pueden amplificarse o anularse entre sí, dependiendo de la relación de fase (posición relativa de las ondas) entre ellas.
- Para que esto ocurra en su forma más pura (máxima amplificación o anulación completa), las ondas deben tener exactamente la misma f y energía, y una relación de fase específica y constante.
- En tecnología inalámbrica, la palabra interferencia se usa típicamente en un sentido más amplio, como perturbación debido a otras emisiones de radio frecuencia.



Tipos de Transmisión



Modos de propagación

- Las propiedades de la Tierra y de las distintas capas de la atmósfera afectan el comportamiento de las ondas de radio, en mayor o menor grado dependiendo de la frecuencia de la onda.
- Las fórmulas para medir los efectos son complejas por naturaleza. Sin embargo, algunas reglas básicas resultan útiles para entender y planear la propagación de señales de radio:
 - A frecuencias más bajas, el alcance es mejor.
 - A frecuencias más bajas, la señal es más penetrante y rodea más obstáculos.
 - A frecuencias más altas, se transmite una mayor cantidad de datos.
- Existen 3 trayectorias básicas de propagación que una señal puede tomar a través del espacio libre: Por onda de superficie o terrestre, Por onda ionosférica y Por onda espacial.

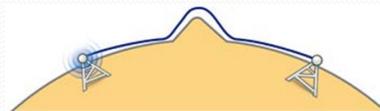


Ing. Felix Pinto Macedo

Propagación por onda de superficie

Hasta 2 MHz

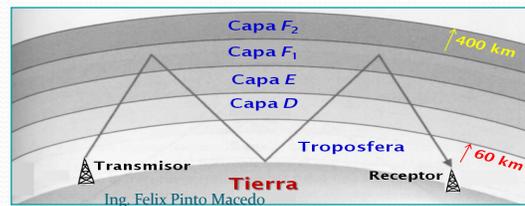
- La onda de superficie o terrestre es una onda polarizada de manera vertical que sigue la superficie de la Tierra y, por tanto, sigue su curvatura para propagarse más allá del horizonte.
- Aplicación.- La banda de radiodifusión AM estándar (530 a 1.700 kHz) se basa principalmente en la propagación de onda de superficie que es de largo alcance y gran estabilidad, aunque le afecta mucho el tipo de terreno.



Ing. Felix Pinto Macedo

Propagación por onda ionosférica

- Entre 300 kHz y 30 MHz
- La onda ionosférica se refleja o refracta en las capas ionizadas de la atmósfera; allí las moléculas de aire se ionizan por la radiación solar. Estas capas están entre 60 y 400 km de altura. El radio de la Tierra es de 6400 km.
- Propagación en el día:
 - En el día las capas están fuertemente ionizadas.
 - Las ondas de frecuencias $f < 10$ MHz son absorbidas por las capas D y E.
 - Las ondas de frecuencias entre $10 \text{ MHz} < f < 30 \text{ MHz}$, son refractadas a Tierra por las capas F₁ y F₂, por lo que, a estas frecuencias, es posible la comunicación.
- Propagación en la noche:
 - En la noche, desaparecen las capas D y E y la capa F está débilmente ionizada.
 - Las ondas de frecuencias $f < 10$ MHz son refractadas a Tierra por las capas F, por lo que, a estas frecuencias, es posible la comunicación.
 - Las ondas de frecuencias entre $10 \text{ MHz} < f < 30 \text{ MHz}$ atraviesan todas las capas y no retornan a Tierra.



Propagación por onda espacial

- Entre 30 MHz y 30 GHz
- La onda espacial utiliza radiación directa de la antena transmisora a la receptora a través de la tropósfera. Se la conoce también como propagación por línea de vista y troposférica.
- En la propagación troposférica, podrían haber reflexiones desde la Tierra, pero es más probable que cause problemas a que incremente la intensidad de la señal.
- Aplicación.- Radioenlaces, sistemas de microondas terrestre y satelital, telefonía móvil, difusión de televisión terrestre y satelital.

