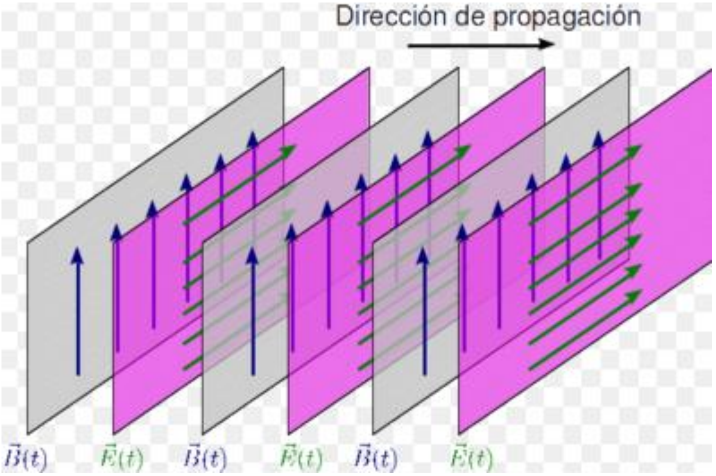
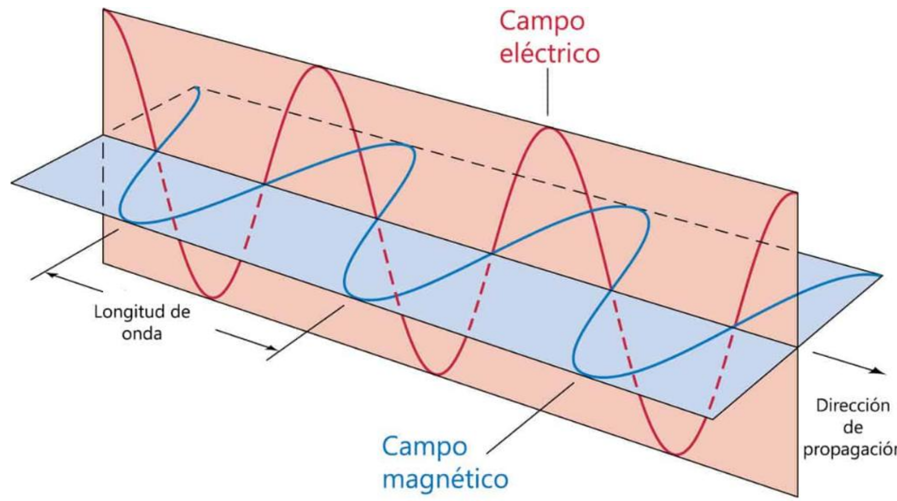
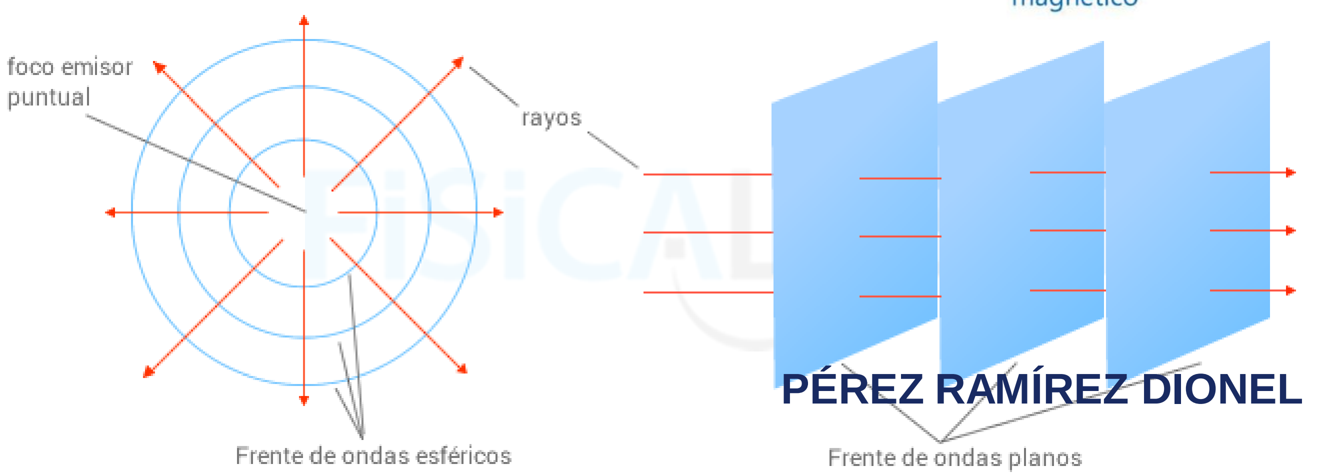
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DEL TÁCHIRA.
VICERRECTORADO ACADEMICO.
DECANATO DE DOCENCIA.
DEPARTAMENTO DE MATEMATICA Y FISICA – FISICA II 0846302T.

ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS





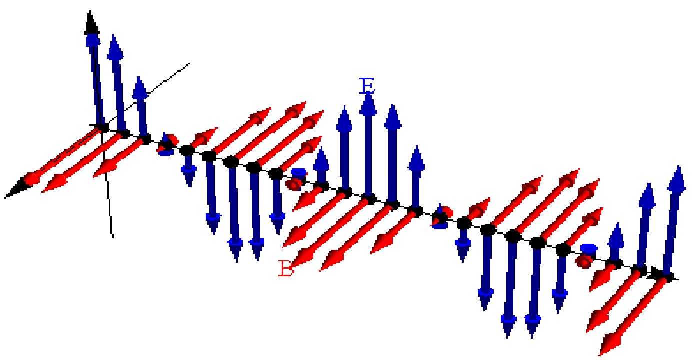


PÉREZ RAMÍREZ DIONEL

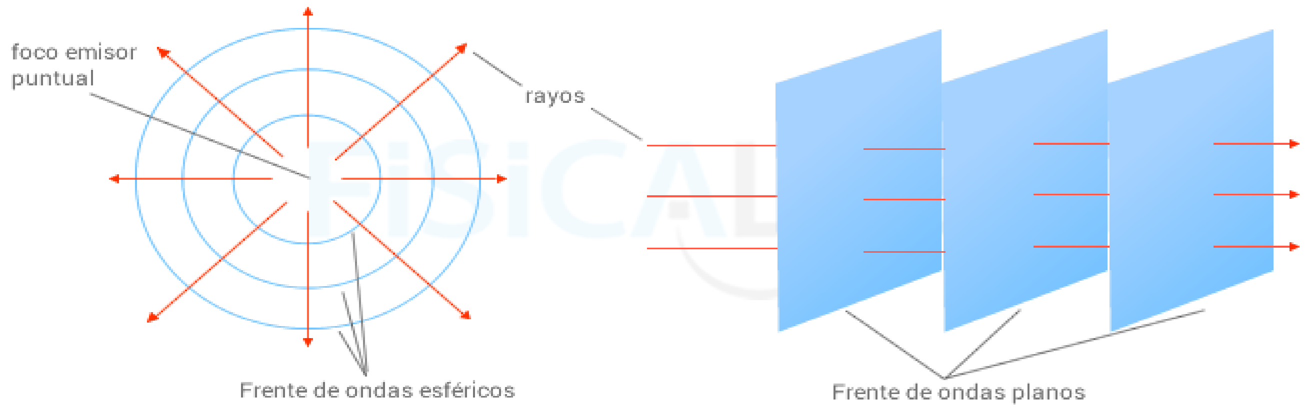
ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS

¿Qué es?

- **Son radiaciones que se propagan a través del espacio, formadas por campos eléctricos y magnéticos ortogonales entre si.**
- **Estos campos tienen dependencia con el tiempo.**
- **Se propagan en dirección perpendicular a los campos eléctrico y magnético.**



Requieren:
✓**Las cargas eléctricas se encuentren aceleradas**



INTRODUCCION

- Maxwell estableció las ecuaciones que gobiernan el comportamiento de los campos eléctrico y magnético, mediante las cuales establece que la combinación de dichos campos producen las ondas electromagnéticas.
- Dichas ondas se propagan en el vacio a la velocidad de la luz.
- Unificó los conceptos de campos eléctrico y campo magnético con la luz, estableciéndolos como forma de radiación electromagnética.

ECUACIONES (En forma integral y diferencial)

$\oint_s \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{q_{int}}{\varepsilon_0}$	Ley de Gauss.	$\vec{\nabla}\cdot\vec{E}(\vec{r},t) = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$	Ley de Gauss
$\oint_s \vec{B}\cdot d\vec{S} = 0$	Ley de Gauss para el magnetismo.	$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}(\vec{r},t) = 0$	Ley de Gauss para el magnetismo
$\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}\int \vec{B}\cdot d\vec{S}$	Ley de Lenz-Faraday	$\vec{\nabla}\times\vec{E}(\vec{r},t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r},t)}{\partial t}$	Ley de Lenz-Faraday
$\oint_C \vec{B}\cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \mu_0\varepsilon_0 \frac{d}{dt}\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S}$	Ley de Ampere-Maxwell	$\vec{\nabla}\times\vec{B}(\vec{r},t) = \mu_0\vec{J}(\vec{r},t) + \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial \vec{E}(\vec{r},t)}{\partial t}$	Ley de Ampere-Maxwell

ONDAS ELECTROMAGNETICAS

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}(\vec{r},t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r},t)}{\partial t}$$ Ley de Lenz-Faraday

$$\vec{\nabla}\times\vec{B}(\vec{r},t) = \mu_0\vec{J}(\vec{r},t)+\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial \vec{E}(\vec{r},t)}{\partial t}$$ Ley de Ampere-Maxwell

Calculando el rotacional de la Ley de Faraday:

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}(\vec{r},t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r},t)}{\partial t} \Rightarrow \vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\vec{\nabla}\times\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Identidad Vectorial:

$$\vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\times\vec{A} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{A}) - \nabla^2 A$$

Aplicando propiedad conmutativa al miembro derecho

$$\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\vec{E}) - \nabla^2 E = -\frac{\partial(\vec{\nabla}\times\vec{B})}{\partial t}$$

Reemplazando la Ley de Gauss y la Ley de Ampere - Maxwell:

$$\nabla^2 E = \mu_o\varepsilon_o\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

De forma análoga, se aplica el mismo procedimiento de rotacional a la Ley de Ampere – Maxwell, se obtiene:

$$\nabla^2 B = \mu_o\varepsilon_o\frac{\partial^2 B}{\partial t^2}$$

Dichas ecuaciones obedecen a la ecuación de ondas para ambos campos y con velocidad de fase o propagación

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

Por lo tanto:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o\mu_o}}$$

ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS → RELACION ENTRE "E" y "B"

- Caso particular para introducir en las Ecuaciones de Maxwell.
- Suponiendo Campo E (paralelo al eje Y) y Campo B (paralelo al eje Z)

  $Ex = 0 \quad Ey = E \quad Ez = 0 \qquad Bx = 0 \quad By = 0 \quad Bz = B$
- En el vacío (no hay presencia de cargas ρ=0) y (no existen corrientes libres j = 0)

•Por lo tanto, al aplicar las Ecuaciones de Maxwell se obtiene:

$\vec{\nabla}\cdot\vec{E}(\vec{r},t)=\frac{\rho}{\varepsilon_0}$	Ley de Gauss
$\vec{\nabla}\cdot\vec{B}(\vec{r},t)=0$	Ley de Gauss para el magnetismo
$\vec{\nabla}\times\vec{E}(\vec{r},t)=-\frac{\partial\vec{B}(\vec{r},t)}{\partial t}$	Ley de Lenz-Faraday
$\vec{\nabla}\times\vec{B}(\vec{r},t)=\mu_0\vec{J}(\vec{r},t)+\mu_0\varepsilon_0\frac{\partial\vec{E}(\vec{r},t)}{\partial t}$	Ley de Ampere-Maxwell

Ley de Gauss para el Campo Eléctrico:

$$\nabla.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\nabla.\vec{E} = \left(\frac{\partial}{\partial x}i + \frac{\partial}{\partial y}j + \frac{\partial}{\partial z}k\right).(Ex\,i + Ey\,j + Ez\,k) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial y} = 0$$

Ley de Gauss para el Campo Magnético:

$$\nabla.\vec{B} = 0$$

$$\nabla.\vec{B} = \left(\frac{\partial}{\partial x}i + \frac{\partial}{\partial y}j + \frac{\partial}{\partial z}k\right).(Bx\,i + By\,j + Bz\,k) = 0$$

$$\frac{\partial B}{\partial z} = 0$$

ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS → **RELACION ENTRE "E" y "B"**

Ley de Faraday - Henry:

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}(\vec{r},t) = -\frac{\partial \vec{B}(\vec{r},t)}{\partial t} \qquad \text{Ley de Lenz-Faraday}$$

$$rot\,\vec{F} = \vec{\nabla}\times\vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}\right)\hat{\imath} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z}\right)\hat{\jmath} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}\right)\hat{k}$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = 0 \qquad\qquad \frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

Ley de Ampere - Maxwell:

$$\vec{\nabla}\times\vec{B}(\vec{r},t) = \mu_o\vec{J}(\vec{r},t) + \mu_o\varepsilon_o\frac{\partial \vec{E}(\vec{r},t)}{\partial t} \qquad \text{Ley de Ampere-Maxwell}$$

$$rot\,\vec{F} = \vec{\nabla}\times\vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial F_z}{\partial y} - \frac{\partial F_y}{\partial z}\right)\hat{\imath} - \left(\frac{\partial F_z}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial z}\right)\hat{\jmath} + \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y}\right)\hat{k}$$

$$\mu_0 J = 0 \qquad\qquad \frac{\partial B}{\partial y} = 0 \qquad\qquad -\frac{\partial B}{\partial x} = \mu_0\varepsilon_0\frac{\partial E}{\partial t}$$

ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS

RELACION ENTRE "E" y "B"

Por lo tanto, como resultado de aplicar las Ecuaciones de Maxwell:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t} \qquad -\frac{\partial B}{\partial x} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

Derivando nuevamente ambas ecuaciones con respecto a "X" y a "t" se obtiene la Ecuación de Ondas de donde se evidencia una vez mas la velocidad de la luz

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 B}{\partial x\, \partial t} \qquad -\frac{\partial^2 B}{\partial x\, \partial t} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$$

Comparando con la Ec. De Onda se obtiene:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_o \mu_o}}$$

Como la Ec. De Onda proviene de la función $y = f(x - v.t)$ entonces tanto el campo eléctrico E como el campo magnético B se pueden escribir de la forma:

$$E = E(x - ct) \qquad B = B(x - ct)$$

En el caso de Ondas Armónicas de frecuencia $f = \frac{\omega}{2\pi}$ y longitud de onda $\lambda = \frac{2\pi}{k}$ las ecuaciones de campo eléctrico y Magnético se pueden escribir como

$$E = E_0\, sen\, k(x - ct) = E_0\, sen\, (kx - \omega t)$$

$$B = B_0\, sen\, k(x - ct) = B_0\, sen\, (kx - \omega t)$$

con $\omega = kc$

Al aplicar la ecuación $\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t}$ **se obtiene:**

ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS → **RELACION ENTRE "E" y "B"**

Al aplicar la ecuación $\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\partial B}{\partial t}$ **se obtiene:**

$$E = E_0\, sen\, k(x - ct) = E_0\, sen\,(kx - \omega t) \Rightarrow \frac{\partial E}{\partial x} = kE_0 cos(kx - \omega t)$$

$$B = B_0\, sen\, k(x - ct) = B_0\, sen\,(kx - \omega t) \Rightarrow \frac{\partial B}{\partial t} = -\omega B_0 cos(kx - \omega t) = -kcB_0 cos(kx - \omega t)$$

Por lo tanto:

$$kE_0 cos(kx - \omega t) = kcB_0 cos(kx - \omega t) \Rightarrow E_0 = cB_0$$

Al utilizar la Ecuación $-\frac{\partial B}{\partial x} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$ **también se obtiene la relación** $E = cB$ **o** $B = \frac{1}{c}E$

Deduciendose asi que los campos E y B están en fase, es decir, toman valores extremos y nulos al mismo tiempo

ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS

RELACION ENTRE “E” y “B”

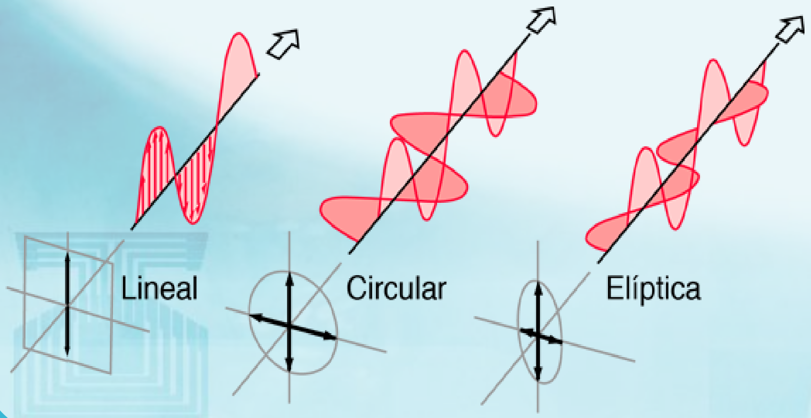
- **Para este caso, se observa que la onda electromagnética consta de dos ondas acopladas, la eléctrica oscilando en el plano XY y la magnética oscilando en el plano XZ.**

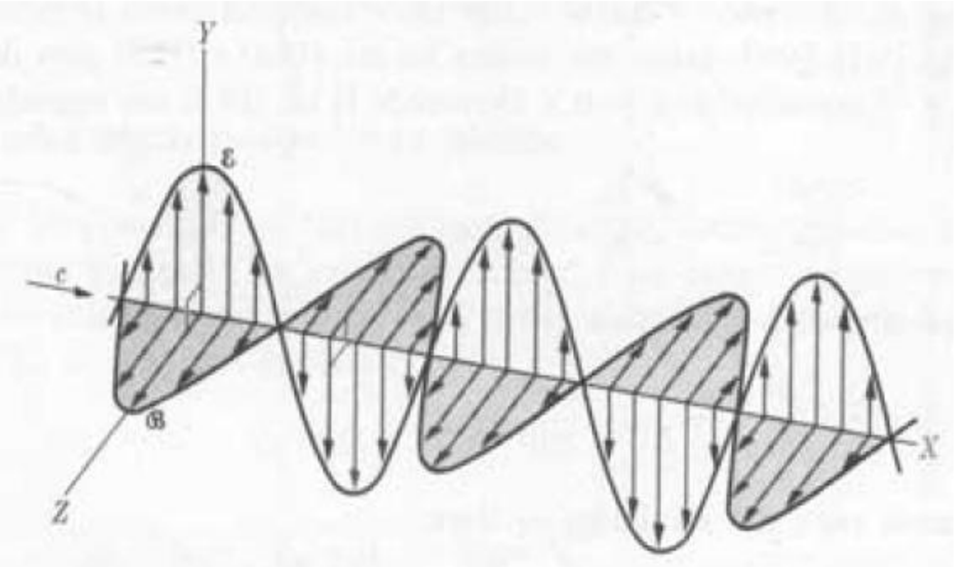
- **Están polarizadas linealmente, debido a que están en fase y sus amplitudes son iguales.**

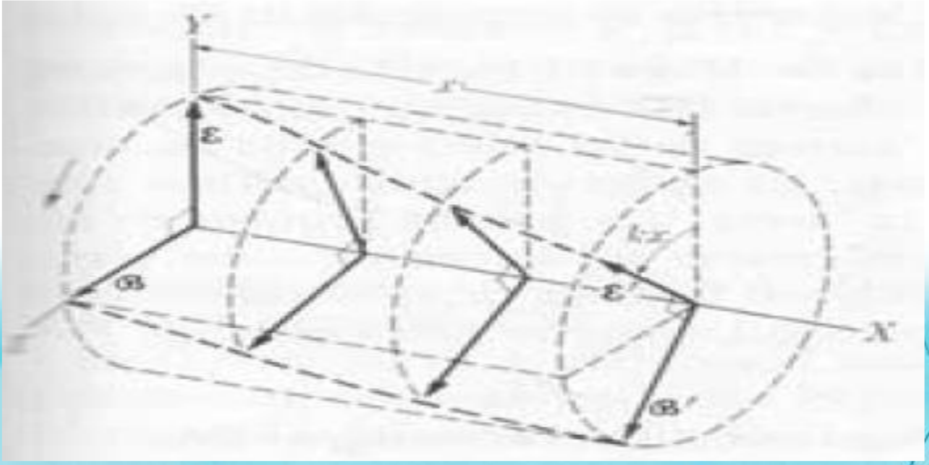
- **El plano de polarización es aquel en el que oscila el campo eléctrico E.**

- **Existe la polarización circular.**

- **Existe la polarización elíptica.**







ONDAS ELECTROMAGNETICAS PLANAS → **RELACION ENTRE "E" y "B"**

- **Están polarizadas linealmente, debido a que están en fase y sus amplitudes son iguales.**
- **El plano de polarización es aquel en el que oscila el campo eléctrico E.**
- **Existe la polarización circular.**
- **Existe la polarización elíptica.**