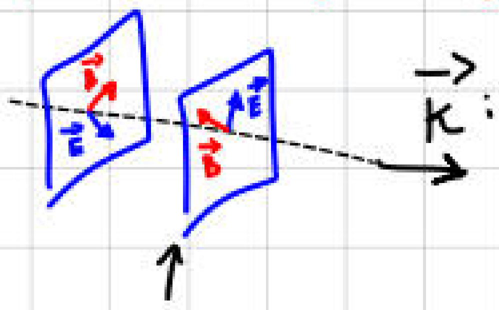
La luz como onda E.M. $\Rightarrow$ ONDAS TRANSVERSALES.



$\|\vec{K}\| = \underbrace{K}_{\text{Número de onda}} = \dfrac{2\pi}{\lambda}$

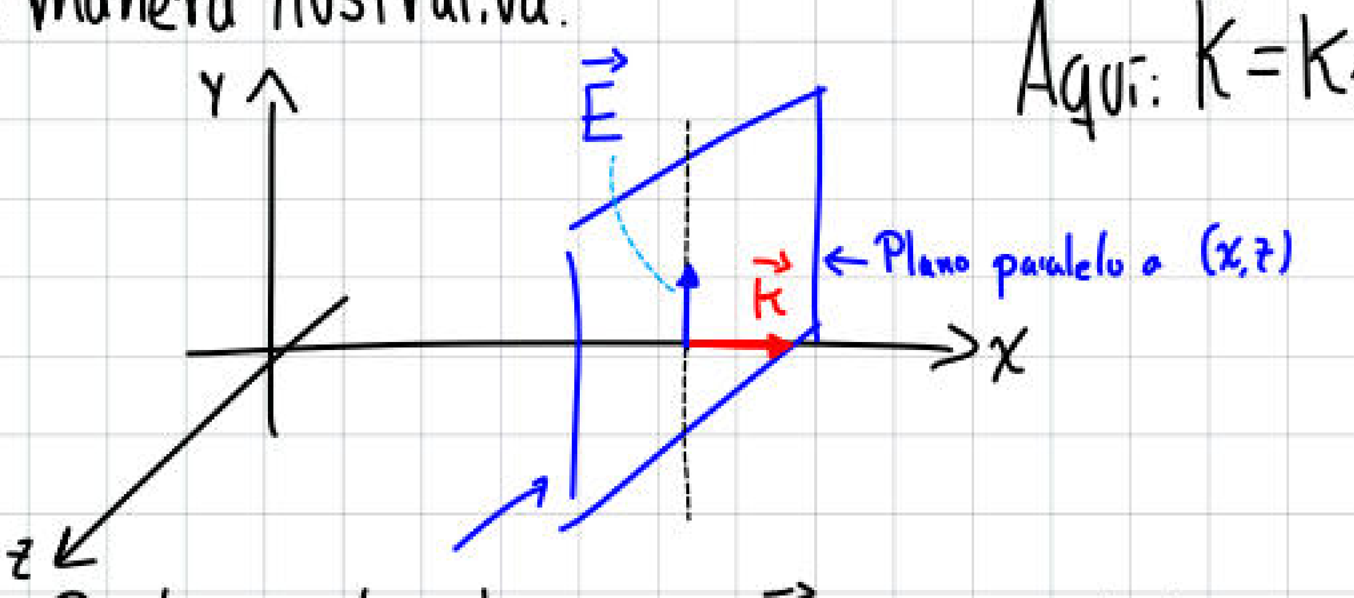
Ondas E.M planas, las superficies para las cuales todos los puntos tienen el mismo valor de ... para un tiempo dado. Son planos $\perp$ a la dirección de prop. de la onda.

Además $\vec{E} \perp \vec{B}$ siempre, y además:

$$\vec{E} \perp \vec{K} \quad y \quad \vec{B} \perp \vec{K}$$

De manera ilustrativa:

Aquí: $\vec{K} = K_x \hat{\imath}$



De la fig. de la derecha, se tiene que:

$\vec{E} = E_y(x,t)\hat{\jmath}$. En general:

$\vec{E} = E_x(x,y,z,t)\hat{\imath} + E_y(x,y,z,t)\hat{\jmath} + E_z(x,y,z,t)\hat{k}$

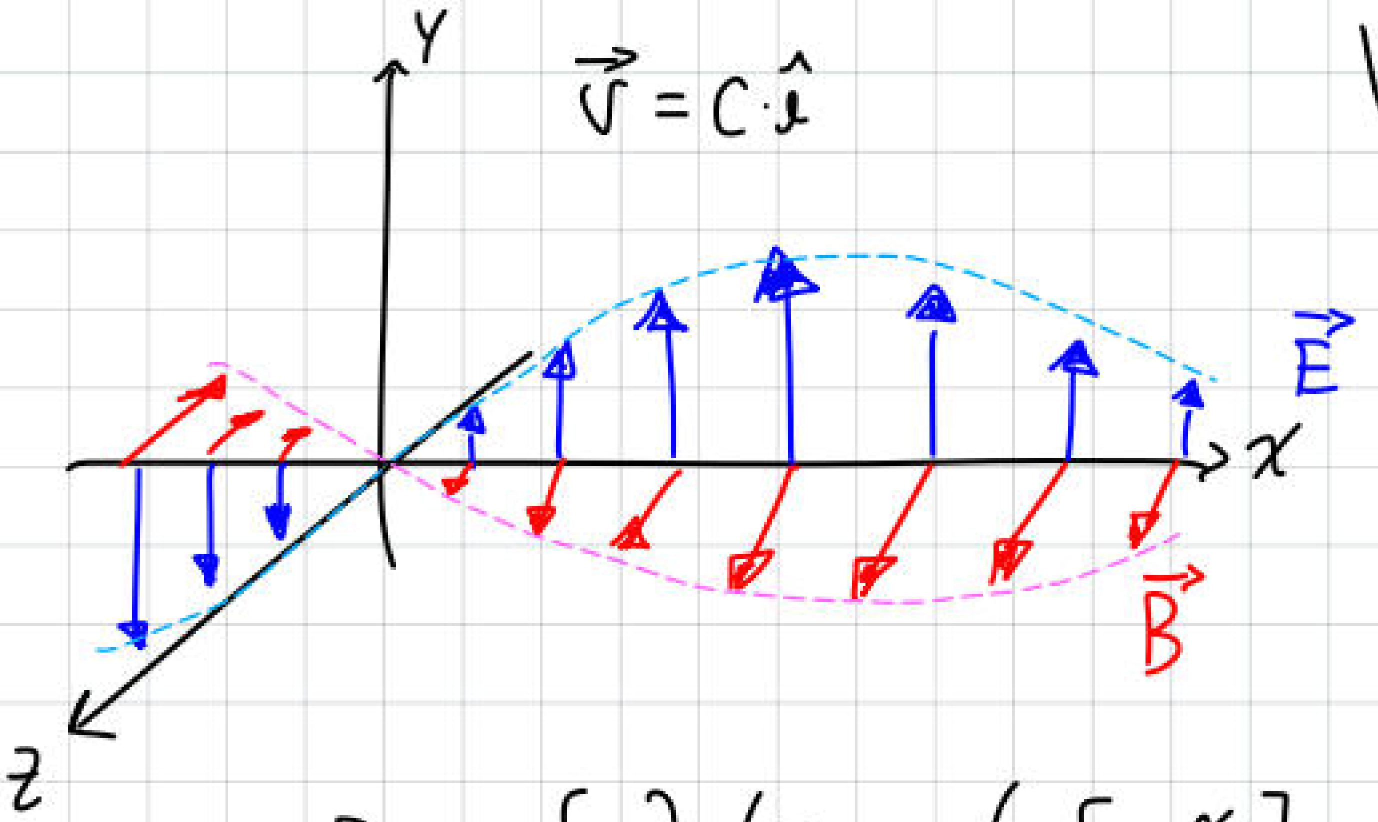
Por el momento se trabaja con $\vec{E}$ que varía a lo largo de una ÚNICA DIRECCIÓN. En este caso, a lo largo de una recta paralela al eje Y.

A partir de la deducción de la clase pasada, i.e las ondas son transversales, se encontró:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} = 0 \qquad \text{Por otro lado: } \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Luego, igualando componentes: $\underbrace{\dfrac{\partial E_y}{\partial x}}_{\neq 0} = -\dfrac{\partial B_z}{\partial t}$. $\vec{B}$ tiene una única componente en z: $\vec{B} = B_z(x,t)\hat{k}$

De esta forma:



Veamos que:

$$\vec{E}_y = \underbrace{\underbrace{E_{oy}}_{\text{Amplitud escalar del campo eléctrico.}} \hat{\jmath}}_{\text{Amplitud vectorial, vector constante}} \cdot \cos\left(\omega\left[t - \frac{x}{c}\right] + \varepsilon\right)$$

Para $\vec{B}$ se tiene que:

$$B_z = -\int \frac{\partial}{\partial x}\left(E_{oy} \cos\left(\omega\left[t - \frac{x}{c}\right] + \varepsilon\right)\right) dt$$

$$= -\frac{E_{oy}\,\omega}{c} \int \operatorname{sen}\left(\omega\left[t - \frac{x}{c}\right] + \varepsilon\right) dt$$

$$\Rightarrow B_z(x,t) = \frac{1}{c} \cdot E_{oy} \cdot \cos\left(\omega\left[t - \frac{x}{c}\right] + \varepsilon\right)$$

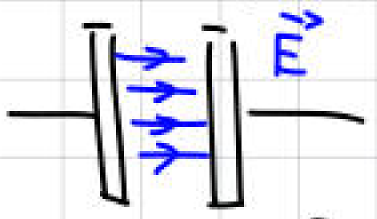
$$\Rightarrow \vec{B}_z(x,t) = \underbrace{\frac{E_{oy}}{c}}_{\text{Amplitud escalar de campo magnético: } B_{oz}.} \hat{k} \cdot \cos\left(\omega\left[t - \frac{x}{c}\right] + \varepsilon\right) dt$$

De aquí vemos que $\vec{E} \perp \vec{B}$ siempre, y que $B_{oz} = \dfrac{E_{oy}}{c}$, i.e $\vec{B}$ en magnitud es 10^{-8} veces menor que $\vec{E}$. Otra cosa, la luz es el vector $\vec{K}$ (o algo así). Veamos el vector de Poynting:

Vector de Poynting

Las ondas E.M transportan energía y es esa energía la que detecta la retina, la placa fotográfica, el detector, CCD, etc...

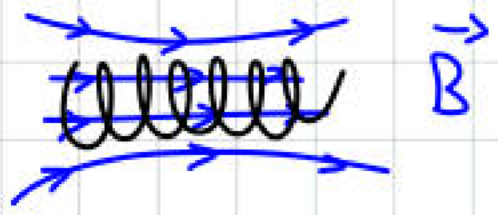
Para un capacitor:



$u_E = \frac{\varepsilon_0}{2} \cdot E^2 \ldots \ (i)$

Densidad de energía asociada al $\vec{E}$ por unidad de volumen.

Para un solenoide:



$u_B = \frac{1}{2\mu_0} \cdot B^2 \ldots \ (ii)$

Densidad de energía, ahora asociada a $\vec{B}$.

Recordando que:

$$\|\vec{B}\| = \frac{\|\vec{E}\|}{c}$$

Y:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

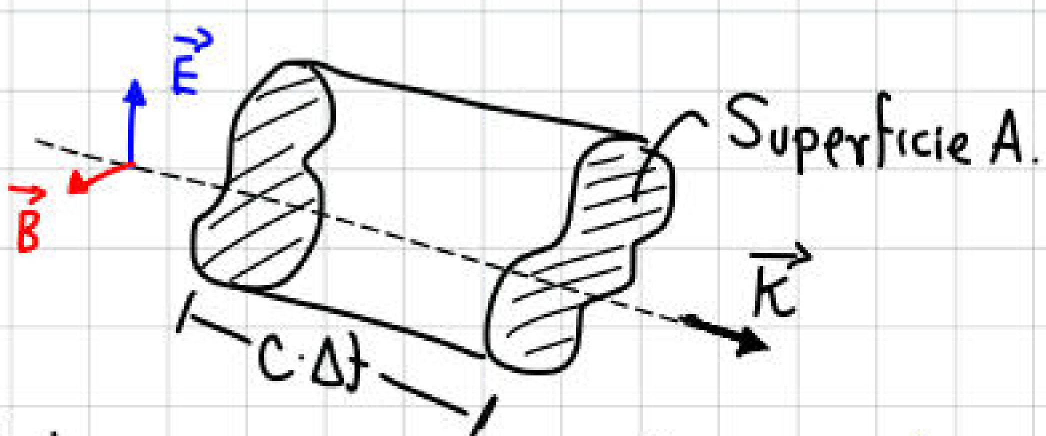
$$\Rightarrow u_E = u_B$$

Para una onda E.M hay un $\vec{E}$ y $\vec{B}$ asociados y, por lo tanto, una densidad de energía $u = u_E + u_B = \varepsilon_0 \cdot E^2 = \frac{1}{\mu_0} B^2$. Al viajar la onda, tambien viaja la energía asociada a la onda (i.e, campos eléctrico y magnético). Por tanto, hay un flujo de energía asociado con la onda, "energía electromagnética".

Sea S el transporte de energía por unidad de área por unidad de tiempo:

$$[S] = W \cdot m^2$$

Ejemplo:



En un intervalo de tiempo pequeño, Δt, únicamente la energía contenida en $A \cdot c \cdot \Delta t$ cruzará la superficie A.

Esta energía es igual a: $u \cdot A \cdot c \cdot \Delta t$. De donde:

$$S = \frac{u \cdot A \cdot c \cdot \Delta t}{A \cdot \Delta t} = u \cdot c$$

Es decir:

$$S = \frac{1}{\mu_0} E \cdot B = \begin{cases} \frac{c}{\mu_0} B^2 \\ \varepsilon_0 c E^2 \end{cases}$$

Era de esperar que la energía asociada a la onda electromagnética fluya en la dirección en la que se propaga la onda, i.e: $\vec{S} \parallel \vec{K} \Rightarrow \underbrace{\vec{S} \perp \vec{E} \ \text{y} \ \vec{S} \perp \vec{B}}_{\text{Vector de Poynting.}}$.

Recordando: $\vec{S} \propto \vec{E} \times \vec{B}$. $\|\vec{B}\| = \frac{\|\vec{E}\|}{c}$. Luego:

$$\vec{S} = c^2 \varepsilon_0 \vec{E} \times \vec{B}$$

Usando expresiones para ondas senoidales planas:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$
$$\vec{B} = \vec{B}_0 \cos(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$$
$$\Rightarrow \vec{S} = c^2 \varepsilon_0 \vec{E}_0 \times \vec{B}_0 \cdot \cos^2(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t) \,//$$