Ampliación de Física

2º Curso de Ingeniería de Telecomunicaciones — UPV/EHU
Actualizado el 22 de noviembre de 2016, 19:38
"Under-promise and over-deliver."

Javier de Martín Gil – 2015/16

Definiciones

Electrostática

Q (Carga) [C]
$\vec{E}$ (Campo Eléctrico) $[\frac{N}{C}]$ or $[\frac{V}{m}]$
$\vec{D}$ (Vector Desplazamiento) $[\frac{C}{m^2}]$
$\vec{P}$ (Vector Polarización) $[\frac{C}{m^2}]$
λ (Densidad de Carga Filamental) $[\frac{C}{m}]$
σ (Densidad de carga superficial) $[\frac{C}{m^2}]$
ρ (Densidad de Carga en Volumen) $[\frac{C}{m^3}]$
Φ (Potencial Eléctrico) [V] o $[\frac{J}{C}]$
C (Capacitancia) [F]
U_E (Energía Potencial Eléctrica) [J]

Corrientes

I (Corriente) $[A]$
$\vec{J}$ (Densidad de Corriente) $[\frac{A}{m^2}]$
ε (Fuerza Electromotriz)

Magnetismo

$\vec{B}$ (Campo Magnético) [T] $= [\frac{N}{m \cdot A}] = [\frac{kg}{A \cdot s^2}]$ or [G]
$\vec{H}$ (Intensidad del Campo Magnético)
$\vec{M}$ (Magnetización)
L (Inductancia) [H] $= [\frac{V \cdot s}{A}]$
χ_m (Susceptibilidad Magnética)

Ondas Electromagnéticas

υ (Frecuencia)
$\omega = 2\pi\omega = k \cdot c$ (Frecuencia Angular) $[\frac{rad}{s}]$
$n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$ (Índice de Refracción de un Medio)
$v = \frac{c}{n}$ (Velocidad de Propagación)
ϕ (Fase de Onda)
$\lambda = \frac{c}{u} = \frac{v}{\upsilon}$ (Longitud de Onda)
$k = \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$ (Número de Ondas) $[m^{-1}]$
$u_g = \frac{\Delta\omega}{\Delta k} = \frac{\partial\omega}{\partial k}$ (Velocidad de Grupo)
$\vec{S}$ (Vector de Poynting) $[\frac{W}{m^2}]$
I (Irradiancia) $[\frac{W}{m^2}]$
$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ (Impedancia Intrínseca de un Medio)

Constantes

$\varepsilon_o = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ $[\frac{F}{m}]$ (Permitividad Eléctrica del Vacío)
$\mu_o = 4\pi \cdot 10^{-7}$ $[\frac{H}{m}]/[\frac{N}{A^2}]$ (Permeabilidad Magnética del Vacío)
$Q_{e^-} = -1{,}60217662 \cdot 10^{-19}$ [C] (Carga Elemental)
$m_{e^-} = 9{,}11 \cdot 10^{-31}[kg]$ (Masa de un Electrón)
$c = 3 \cdot 10^8[\frac{m}{s}]$ (Velocidad de la Luz)
$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 377\Omega$ (Impedancia del Vacío)

Cálculo Vectorial

Identidades Vectoriales

u y v representan funciones escalares y $\vec{A}$ y $\vec{B}$ funciones vectoriales.
$\vec{A} \wedge (\vec{B} \wedge \vec{C}) = (\vec{C} \wedge \vec{B}) \wedge \vec{A} = \vec{B}(\vec{A} \cdot \vec{C}) - \vec{C}(\vec{A} \cdot \vec{B})$
$\vec{\nabla}(u \cdot v) = u\vec{\nabla}v + v\vec{\nabla}u$
$\vec{\nabla} \cdot (\vec{A} \cdot \vec{B}) = \vec{A} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{B}) + (\vec{A} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} + \vec{B} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{A}) + (\vec{B} \cdot \vec{\nabla})\vec{A}$
$\vec{\nabla} \cdot (u \cdot \vec{A}) = u\vec{\nabla} \cdot \vec{A} + \vec{A} \cdot (\vec{\nabla}u)$
$\vec{\nabla} \wedge (u \cdot \vec{A}) = u\vec{\nabla} \wedge \vec{A} - \vec{A} \wedge \vec{\nabla}u$
$\vec{\nabla} \cdot (\vec{A} \wedge \vec{B}) = \vec{B} \cdot (\vec{\nabla} \wedge \vec{A}) - \vec{A} \cdot (\vec{\nabla} \wedge \vec{B})$
$\vec{\nabla} \wedge (\vec{A} \wedge \vec{B}) = (\vec{B} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{A} + \vec{A}(\vec{\nabla} \cdot \vec{B}) - (\vec{A} \cdot \vec{\nabla})\vec{B} - \vec{B}(\vec{\nabla} \cdot \vec{A})$
$\vec{\nabla} \wedge (\vec{\nabla} \wedge \vec{A}) = \vec{\nabla}(\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla})\vec{A}$

Operaciones con Operadores Diferenciales

$\vec{A} \wedge (\vec{B} \wedge \vec{C}) = (\vec{A}\vec{C})\vec{B} - (\vec{A}\vec{B})\vec{C}$

Gradiente: $\vec{\nabla}\Phi$

Cartesianas: $\frac{\partial\Phi}{\partial x}\hat{x} + \frac{\partial\Phi}{\partial y}\hat{y} + \frac{\partial\Phi}{\partial z}\hat{z}$
Cilindricas: $\frac{\partial\Phi}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial\phi}\hat{\phi} + \frac{\partial\Phi}{\partial z}\hat{z}$
Esféricas: $\frac{\partial\Phi}{\partial r}\hat{r} + \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial\theta}\hat{\theta} + \frac{1}{r\sin(\theta)}\frac{\partial\Phi}{\partial z}\hat{\phi}$

Divergencia: $\vec{\nabla} \cdot \vec{A}$

Cartesianas: $\frac{\partial A_x}{\partial x} + \frac{\partial A_y}{\partial y} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$
Cilíndricas: $\frac{1}{r}\frac{\partial(rA_r)}{\partial r} + \frac{1}{r}\frac{\partial A_\phi}{\partial\phi} + \frac{\partial A_z}{\partial z}$
Esféricas: $\frac{1}{r^2}\frac{\partial(r^2A_r)}{\partial r} + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial(A_\theta\sin\theta)}{\partial\theta} + \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial A_\phi}{\partial\phi}$

Rotacional: $\vec{\nabla} \wedge \vec{A}$

Cartesianas:
$\hat{x}\left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}\right) + \hat{y}\left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}\right) + \hat{z}\left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y}\right)$
Cilíndricas:
$\hat{r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial A_z}{\partial\phi} - \frac{\partial A_\phi}{\partial z}\right) + \hat{\phi}\left(\frac{\partial A_r}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial r}\right) + \hat{z}\frac{1}{r}\left(\frac{\partial(rA_\phi)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial\phi}\right)$
Esféricas:
$\frac{\hat{r}}{rsin(\theta)}[\frac{\partial(A_\phi sin(\theta)}{\partial\theta} - \frac{\partial A_\theta}{\partial\phi}] + \frac{\hat{\theta}}{r}[\frac{1}{sin(\theta)}\frac{\partial A_r}{\partial\phi} - \frac{\partial(rA_\phi)}{\partial r}] + \frac{\hat{\phi}}{r}[\frac{\partial(rA_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial A_r}{\partial\theta}]$

Teoremas

Teorema de la Divergencia: *La integral de volumen de la divergencia de una función vectorial es igual a la integral sobre la superficie de la componente normal a la superficie.*
$\int_\tau \nabla\vec{A}\partial\tau = \int_\Sigma A\partial\Sigma$
Teorema de Stokes: *La integral de área del rotacional de una función vectorial es igual a la integral de línea del campo alrededor del perímetro del área.*
$\int_\Sigma(\vec{\nabla} \wedge \vec{A})\partial\Sigma = \int_\Gamma A\partial l$

Cosas que no hay que olvidar

Superficie de una esfera: $4\pi r^2$
Superficie de una circunferencia: $\pi \cdot r^2$
Diferencial de Supeficie de una circunferencia: $2\pi \cdot r$
Volumen de una esfera: $\frac{4}{3}\pi r^3$
Superficie de un cilindo: $2\pi rl$
$\vec{E}$ de una carga puntual: $\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r^2}\hat{r}$
ϕ de una carga puntual: $\Phi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_o r}$

Conceptos Generales

Carga

$Q = \iiint \rho(x,y,z)dV$

Densidades de Carga

$\partial q = \lambda \cdot \partial L$ (Densidad de Carga Filamental)
$\partial q = \sigma \cdot \partial\Sigma$ (Densidad de Carga Superficial)
$\partial q = \rho \cdot \partial\tau$ (Densidad de Carga en Volumen)

Energía Potencial

De una distribución de cargas:
$U_E = \frac{1}{2}\iiint \rho(\vec{r})\Phi(\vec{r})dV$
$U_E = \frac{1}{2}\iiint \varepsilon|\vec{E}|^2dV$

Electrostática

Ley de Coulomb:
$\vec{F} = k \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot \frac{\vec{r}}{r^3}$
$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{r}}{r^3}$ (Campo Eléctrico)
Teorema de Gauss:
$\int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \frac{Q}{\varepsilon}$ (Forma Integral)
$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon}$ (Forma Diferencial)
$\vec{E} = -\vec{\nabla}\Phi$
$\vec{E}(x,y,z) = \iiint \frac{\rho(x',y',z')}{4\pi\varepsilon_o R^2}dV$
Potencial Electrostático:
$\Phi = -\int \vec{E} \cdot d\vec{l}$
$\phi_2 - \phi_1 = -\int_1^2 \vec{E} \cdot d\vec{r}$

Conductores

Materiales que contienen algún tipo de cargas que pueden moverse casi libremente de un átomo a otro a través del material manteniendo la neutralidad eléctrica macroscópica de su volumen.
$\sigma = \frac{q}{S}$ (Densidad de Carga)
Interior de un conductor:
$\hookrightarrow \vec{E} = 0, \phi = k, Q_{en} = 0$
Superficie de un conductor:
$\hookrightarrow E_n = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}, \phi = k, Q = \int_S \sigma \cdot dS$
Potencial:
$\nabla^2\Phi = 0$ (Ecuación de Laplace)
$\hookrightarrow$ Para dieléctricos
$\nabla^2\Phi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ (Ecuación de Poisson)
$\hookrightarrow$ Para distribuciones de carga
Asociación de Condensadores:
En serie: $\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$

En paralelo: $C_{eq} = \sum_i C_i$

Energía:

$U = \frac{1}{2}\int \rho \cdot S$

$U = \frac{1}{2}\phi \cdot Q$

$U = \frac{1}{2}\int_\Sigma \sigma \cdot \phi = \frac{1}{2}\phi \cdot Q$ (Energía de un Condensador)

Condiciones de Contorno

Superficie de un Conductor:

$\hat{n} \cdot \vec{E}_S = \frac{\rho}{\varepsilon}$

$\hat{n} \wedge \vec{E}_S = 0$

Expresado en términos del potencial...

$-\frac{\partial \Phi}{\partial \hat{n}} = \frac{\rho_s}{\varepsilon}$

$\Phi =$ k

Dieléctricos

Las cargas están ligadas a átomos específicos o moléculas, se mantiene esta estructura incluso en presencia de campos eléctricos.

Vector Desplazamiento Eléctrico:

$\int_\Sigma \vec{D} \cdot d\vec{\Sigma} = Q_f^{enc}$ (Forma Integral)

$\vec{\nabla}\vec{D} = \vec{\nabla}(\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) = \rho_f$ (Forma Diferencial)

$\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

$\int_S \vec{E} \cdot \partial\vec{\Sigma} = \frac{Q_f + Q_b}{\varepsilon_0}$

$\vec{D} = \varepsilon\vec{E} = \varepsilon_0 k \vec{E}$ (Vector Desplazamiento Eléctrico)

$\vec{\nabla}\vec{D} = \rho_f$

$\frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \vec{J}_f$

Vector Polarización:

$\vec{P} = \vec{D} - \varepsilon_0 \vec{E} = \frac{k-1}{k}\vec{D}$

$\vec{\nabla}\vec{P} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r \cdot \vec{P})$

Densidades Ligadas de Carga:

$\sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n}$ (Superficial)

$\rho_b = -\vec{\nabla}\vec{P}$ (En Volumen)

$\vec{\nabla}\vec{P} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}(r \cdot P)$ (Coordenadas Cilíndricas)

$\vec{\nabla}\vec{P} = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}(r^2 \cdot P) = -\rho$ (Coordenadas Esféricas)

$C = \frac{Q}{\Delta\phi}$ (Capacidad)

Energía:

$U = \frac{1}{2}\int_\forall \vec{D}\vec{E} d\tau$

$\nabla^2 \Phi = -\frac{\rho}{\varepsilon}$ (Ecuación de Poisson para el Potencial)

$\hookrightarrow \nabla \cdot (\varepsilon \nabla \Phi) = -\rho$ (Forma General, para ε no constante)

Condiciones de Contorno

$\hat{n} \cdot \vec{E}_1 \cdot \varepsilon_1 - \hat{n} \cdot \vec{E}_2 \cdot \varepsilon_2 = \rho_s$

$\hat{n} \times \vec{E}_1 = \hat{n} \times \vec{E}_2$

Expresado en términos del potencial...

$\varepsilon_1 \frac{\partial \Phi_1}{\partial n} - \varepsilon_2 \frac{\partial \Phi_2}{\partial n} = \rho_s$

$\hat{n} \times \nabla \Phi_1\big|_{superficie} = \hat{n} \times \nabla \Phi_2\big|_{superficie}$

$\sigma_f = \vec{D}_1 \cdot \hat{n}_1 + \vec{D}_2 \cdot \hat{n}_2$

$\frac{\sigma_f + \sigma_f}{\varepsilon_0} = \vec{E}_1 \cdot \hat{n}_1 + \vec{E}_2 \cdot \hat{n}_2$

Corrientes

$\vec{\nabla}\vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ (Ecuación de Continuidad)

$I = \int_\Sigma \vec{J} \cdot d\vec{S}$ (Corriente)

$\vec{J} = \sigma \vec{E}$ (Ley de Ohm)

$\hookrightarrow \Delta\phi = I \cdot R$

$\vec{J} = \rho \cdot \vec{v}$ (Densidad de Corriente en Volumen)

$\vec{J}_m = \vec{\nabla} \wedge \vec{M}$ (Densidad de Corriente de Imanación en Volumen)

$\vec{K} = \sigma \cdot \vec{v}$ (Densidad Superficial de Corriente)

$\vec{K}_m = \vec{M} \wedge \hat{n}$ (Densidad de Corriente de Imanación Superficial)

$\vec{I} = \lambda \cdot \vec{v}$ (Densidad Filamental de Carga)

$\varepsilon = \int_\Gamma \vec{E}\partial\vec{l}$ (Corrientes de Conducción: Fuerza Electromotriz)

Magnetismo

$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi_m)\vec{H} = \mu_0 K_m \cdot \vec{H} = \mu \cdot \vec{H}$ (Campo Magnético)

$\vec{B} = \vec{\nabla} \wedge \vec{A}$ (Potencial Vector)

$\vec{\nabla} \wedge \vec{B} = \mu_0 \vec{J} = \mu_o(\vec{J}_f + \vec{J}_m)$

$\int_\Gamma \vec{B}\partial\vec{l} = \mu_0 I$

$K_m <= 1$ (Material Diamagnético)

$K_m >= 1$ (Material Paramagnético)

$K_m >> 1$ (Material Ferromagnético)

$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu}$ (Intensidad de Campo)

$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = J_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

$\hookrightarrow \vec{\nabla} \wedge \vec{H} = 0$ (En ausencia de corrientes libres)

$\vec{M} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{H}$ (Imanación Magnética)

$\vec{\nabla} \wedge \vec{M} = \vec{J}_m$

$\vec{M} = \chi_m \cdot \vec{H}$

Momento Magnético:

$\vec{m} = \int_{\tau'} \vec{M} \cdot \partial\tau'$

Ley de Biot-Savart:

$\partial\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot sin(\theta)}{r^2}$ (Forma Integral)

$\vec{B} = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi} \cdot \int \frac{d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3}$

$\nabla \cdot$

Ley de Ampère:

$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot I_{en}$

$\int_\Gamma \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_\Sigma \vec{J}_f^{enc} = I_f^{enc}$ (Forma Integral)

$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_o \vec{J}$ (Forma Diferencial)

$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi d}[cos(\beta) - cos(\delta)]$ (Campo $\vec{B}$ por un segmento AB de un hilo paraelo a otro hilo)

$\hookrightarrow \beta$ es el ángulo formado por el hilo y el punto B.

$\hookrightarrow \delta$ es el ángulo formado por el hilo y el punto A.

Fuerza de Interacción que un circuito 1 ejerce sobre un circuito 2:

$\hookrightarrow \vec{F}_{1\to 2} = I_2 \int_2 \partial\vec{l}_2 \wedge \vec{B}$

$\vec{F_B} = I\vec{l} \times \vec{B}$ (Fuerza sobre un Hilo)

$\hookrightarrow \vec{F}_B = q\vec{v} \wedge \vec{B}$

Densidades de Corriente de Imanación:

$\rho_m = -\vec{\nabla}\vec{M} = \vec{\nabla}\vec{H}$ (Densidad de Corriente de Imanación en Volumen)

$\hookrightarrow \nabla^2 \phi_m = -\rho_m$

$\sigma_m = \hat{n}\vec{M}$ (Densidad de Corriente de Imanación Superficial)

Energía:

$U_m = \frac{1}{2}\int_\forall \vec{H}\vec{B} \cdot \partial\tau$ (Energía Magnética)

$u_m = \frac{1}{2}\vec{H}\vec{B}$ (Densidad de Energía Magnética)

Electromagnetismo

Ley de Faraday e Inducción:

Flujo Magnético: $\Phi_B = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S}$

$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (Forma Diferencial de la ley de inducción de Faraday-Lenz)

$\hookrightarrow$ Si $\frac{\partial \phi}{\partial t} = 0 \to$ no hay corriente en el circuito.

$\hookrightarrow$ Si $\frac{\partial \phi}{\partial t} \neq 0 \to$ aparece una corriente inducida en el circuito.

Ley de Faraday-Lenz:

$\varepsilon_{ind} = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$ (Fuerza Electromotriz Inducida)

$M = \frac{\phi}{I}$ (Coeficiente de Inducción Mutua)

$U_{em} = \frac{1}{2}\vec{D}\vec{E} + \frac{1}{2}\vec{B}\vec{H}$ (Energía Electromagnética)

Ecuaciones de Maxwell

$\vec{\nabla}\vec{D} = \rho_f$ (Ley de Coulomb)

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

$\vec{\nabla}\vec{B} = 0$ (Ausencia de monopolos magnéticos libres)

$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \vec{J}_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ (Ley de Ampère)

Ondas Electromagnéticas

OEM Plana:

$\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} = E_0 \cdot cos(k \cdot \vec{r} - \omega \cdot t)\vec{k}$

$\vec{H} = \vec{H}_0 e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)} = H_0 \cdot cos(k \cdot \vec{r} - \omega \cdot t)\vec{k}$

$\Psi(z,t) = \Psi_0 cos(kz - \omega t)$ (Ecuación de Onda Unidimensional)

$\Psi(x,y,z,t) = \Psi_0 cos(\vec{k}\vec{z} - \omega t)$ (Ecuación de Onda Tridimensional)

Relación entre las magnitudes de los campos:

$\hookrightarrow H = \frac{\varepsilon\omega}{k}E = \varepsilon u E = \frac{n}{Z_0}E =$

$\hookrightarrow B_0 = \frac{E_0}{v}$

$I = \frac{1}{2}E_0 H_0 = \frac{n}{2Z_0}|E_0|^2 = \frac{1}{2\mu_0 v}|E_0|^2 = \langle|\vec{S}|\rangle$ (Irradiancia)

$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \vec{E} \wedge \vec{B}$ (Vector de Poynting)

Polarización:

$\hookrightarrow$ Si $\vec{E}_0$ y $\vec{H}_0 \in \Re \to$ Polarización Lineal/Plana

$\hookrightarrow$ Plano de polarización $\to$ plano creado por $\vec{E}$ y $\hat{k}$

$P = Area \cdot |\vec{S}|$ (Potencia)

Longitudes de Onda:

$< 10^9 Hz \mid > 300mm$ (Radiofrecuencia)

$10^9 \to 10^{12} Hz \mid 300 \to 0{,}3mm$ (Microondas)

(Visible)

$10^{16} \to 10^{19} Hz \mid 300\mathring{A} \to 0,3\mathring{A}$ (Rayos X)

$> 10^{19} Hz \mid < 0,3\mathring{A}$ (Rayos γ)

Energía:

$\langle\vec{S}\rangle = \frac{1}{2}\vec{E}_0 \wedge \vec{H}_0 = \frac{1}{2}\vec{E}_0 \wedge \frac{\vec{B}_0}{\mu_0} = I = \frac{1}{2} \cdot E_0 \cdot H_0 = \frac{1}{2} \cdot E_0 \cdot \frac{B_0}{\mu_0}$ (Energía de una OEM Plana)

$\hookrightarrow E = I \cdot S \cdot t$ (Energía por unidad de tiempo)