Es en el electromagnetismo que subyace el corazón de la tecnología moderna y la comprensión de numerosos fenómenos físicos y químicos.

INTRODUCCIÓN

Entre las ciencias fundamentales la física resulta de gran influencia en el desarrollo no solo del conocimiento básico sino también de nuevas tecnologías que son la base de la ingeniería. La comprensión de sus ideas, el desarrollo de las habilidades que se obtienen durante su aprendizaje y la adquisición de mecanismos para afrontar nuevos problemas será de invaluable utilidad para el desarrollo profesional de los futuros ingenieros.

En este curso abordaremos el estudio de los campos eléctricos y magnéticos, independientes y dependientes del tiempo, concluyendo con la formulación de las ecuaciones de Maxwell. Como extensión lógica de estas ecuaciones, analizaremos las ondas electromagnéticas, su propagación y los fenómenos asociados a ellas como ser la óptica física y geométrica. Durante el curso nos detendremos en el análisis de los principios básicos, las implicaciones y las limitaciones del electromagnetismo.

FORMA DE TRABAJO, EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN

Las materias correlativas para Física II son **Física I** y **Matemática B**. Para cursar la materia se debe tener los **trabajos prácticos aprobados** de las dos **materias correlativas** y para **promocionar** la materia, se debe tener **aprobado el final (o promoción)** de las dos **materias correlativas**.

La materia tiene carácter semestral. Las clases serán del tipo teórico - prácticas y tendrán una duración de 4 (cuatro) horas 2 (dos) veces por semanas.

Se realizarán un mínimo de tres prácticas de laboratorio (dependiendo del calendario académico pueden ser más). Para **realizar cada laboratorio**, los alumnos deberán **aprobar** en forma previa un **breve cuestionario** referido a la realización del laboratorio. Para **aprobar los laboratorios** se deberá **realizar y aprobar el informe** correspondiente de acuerdo con los lineamientos del profesor. Al menos uno de dichos informes deberá ser completo, en el sentido de ser un informe técnico con los estándares correspondientes. Cada profesor de cada grupo establecerá los plazos de entrega y la modalidad.

La evaluación (conforme con las ordenanzas vigentes) establece el régimen de promoción directa. La asignatura está dividida en dos módulos interrelacionados y cada uno de los módulos tiene 1 (una) evaluación escrita y 1 (un) recuperatorio. Al finalizar la cursada se podrá recuperar solamente una evaluación correspondiente sólo a uno de los módulos (examen flotante). La calificación será de 0 a 100, considerándose aprobado con 40 puntos. En caso de ***recuperar cualquiera de las evaluaciones, para subir nota, siempre se tomará como calificación la última nota obtenida***.

La acreditación de la materia puede realizarse mediante la promoción directa o por examen final:

- **Promoción directa**

Para obtener la **promoción**, se requiere un **mínimo de 40 puntos en la calificación de cada módulo**, una **suma de al menos 120 puntos entre los dos módulos**, y tener **todos los laboratorios aprobados**.

- **Examen final**

Para **aprobar la cursada** (trabajos prácticos) y quedar habilitado para rendir examen final, se requiere un **mínimo de 40 puntos** en la calificación de **cada módulo,** con una **suma menor a 120 puntos entre los dos módulos** y tener **todos los laboratorios aprobados**.

Los alumnos que **NO** cumplan con las correlatividades de final fijadas por la Facultad y hayan obtenido un **mínimo de 40 puntos en la calificación de cada módulo,** una suma **de al menos 120 puntos entre los dos módulos** y posean **todos los laboratorios aprobados**, tendrán aprobada la cursada.

Quienes tengan la cursada aprobada deberán rendir un examen final en las mesas correspondientes fijadas por la Facultad.

GUÍAS DE TRABAJOS PRÁCTICOS

Las guías de trabajos constan de ejercicios, problemas, comentarios, aplicaciones y experimentos, distinguidos en cuatro categorías según la siguiente nomenclatura:

- **P**: ejercicios o problemas para adquirir las habilidades de resolución básicas;
- **C**: ejercicios y preguntas para discutir en grupos y reforzar conceptos;
- **A**: ejercicios (problemas o comentarios) de aplicación de los conocimientos adquiridos a la tecnología. En esta categoría se pretende mostrar la aplicación de los conceptos teóricos abordados en la cátedra a la vida cotidiana;
- **E**: experimentos para realizar en la casa. En esta categoría se encuentran diversos experimentos que pueden ser realizados con materiales de fácil acceso y que ayudan a comprender ciertas situaciones o conceptos. Los mismos podrán ser vistos en videos realizados por miembros de la cátedra, cuyo acceso está dado por un código QR;
- **L**: ejercicios para reforzar los conceptos y el manejo de datos vistos en los laboratorios de la materia;
- : ejercicios filmados por miembros de la cátedra cuyo acceso está dado por un código QR.

CONSEJOS Y ESTRATEGIAS PARA RESOLVER UN EJERCICIO

Antes de resolver un ejercicio o problema se recomienda leer el enunciado completamente, realizar un gráfico (grande) o esquema que represente la situación planteada, escribir los datos y las incógnitas cerca del gráfico realizado.

A continuación se sugiere seguir los siguientes pasos:

1) Resumir con sus propias palabras el problema en cuestión.
2) Explicar utilizando los conceptos teóricos abordados en las clases cuál es la situación física planteada y qué espera que ocurra (enmarcar teóricamente la situación).
3) Analizar, antes de realizar cálculos, cuáles son las cantidades o magnitudes que necesita para encontrar las incógnitas pedidas y realizar un plan a seguir, escribiendo las leyes y ecuaciones necesarias.
4) Realizar los cálculos según el plan elegido en el punto anterior.
5) Chequear la coherencia de los resultados con lo analizado en el punto 2 y verificar si los valores obtenidos no son absurdos físicamente (valores muy elevados o muy pequeños de ciertas cantidades, valores negativos de magnitudes que deben ser positivas, etc.).

No olvidarse que la Física describe problemas de la realidad y que los resultados deben expresarse en magnitud y unidades.

CAMBIO DE UNIDADES, PREFIJOS

10^{24}	Yota	Y	10^{-1}	deci	d
10^{21}	Zeta	Z	10^{-2}	centi	c
10^{18}	Exa	E	10^{-3}	mili	m
10^{15}	Peta	P	10^{-6}	micro	µ
10^{12}	Tera	T	10^{-9}	nano	n
10^{9}	Giga	G	10^{-12}	pico	p
10^{6}	Mega	M	10^{-15}	femto	f
10^{3}	Kilo	k	10^{-18}	atto	a
10^{2}	Hecto	h	10^{-21}	zepto	z
10	Deca	da	10^{-24}	yocto	y

LETRAS GRIEGAS

Nombre	Mayúscula	Minúscula	Nombre	Mayúscula	Minúscula
alpha	Α	α	nu	Ν	ν
beta	Β	β	xi	Ξ	ξ
gamma	Γ	γ	omicron	Ο	ο
delta	Δ	δ	pi	Π	π
épsilon	Ε	ε	rho	Ρ	ρ
zeta	Ζ	ζ	sigma	Σ	σ
eta	Η	η	tau	Τ	τ
iota	Ι	ι	upsilon	Υ	υ
theta	Θ	θ	phi	Φ	φ
kappa	Κ	κ	chi	Χ	χ
lambda	Λ	λ	psi	Ψ	ψ
mu	Μ	μ	omega	Ω	ω

RELACIONES MATEMÁTICAS

- **Volúmenes, superficies y perímetro.**

Esfera de radio r:

Volumen: $\frac{4}{3}\,\pi\, r^3$

Superficie: $4\,\pi\, r^2$

Cilindro de largo l y radio de tapas r:

Volumen: $\pi\, r^2\, l$

Superficie del cuerpo: $2\,\pi\, r\, l$

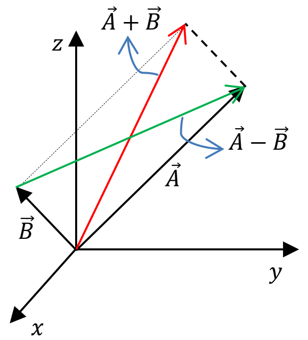
Superficie de cada tapa: $\pi\, r^2$

Círculo de radio r:

Superficie: $\pi\, r^2$

Perímetro de la circunferencia: $2\,\pi\, r$

- **Álgebra de vectores.**



$$\vec{A} = A_x\,\hat{\imath} + A_y\,\hat{\jmath} + A_z\,\hat{k}$$

$$|\vec{A}| = \sqrt{{A_x}^2 + {A_y}^2 + {A_z}^2}$$

$$\vec{B} = B_x\,\hat{\imath} + B_y\,\hat{\jmath} + B_z\,\hat{k}$$

Suma o resta (el resultado es un vector):

$$\vec{A} \pm \vec{B} = (A_x \pm B_x)\,\hat{\imath} + (A_y \pm B_y)\,\hat{\jmath} + (A_z \pm B_z)\,\hat{k}$$

Producto **escalar** o **punto** (el resultado es un **escalar**):

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = A_x\,B_x + A_y\,B_y + A_z\,B_z$$

Producto **vectorial** o **cruz** (el resultado es un **vector** en la dirección perpendicular al plano que forman los dos vectores que se multiplican):

$$\vec{A}\times\vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} = (A_y\,B_z - A_z\,B_y)\hat{\imath} - (A_x\,B_z - A_z\,B_x)\hat{\jmath} + (A_x\,B_y - A_y\,B_x)\hat{k}$$

Módulo del vector resultante del producto vectorial (escalar):

$$|\vec{A}\times\vec{B}| = |\vec{A}|\,|\vec{B}|\,\sin\theta$$

No se puede dividir por un vector.

Se puede **multiplicar un vector por un escalar** (aumenta o disminuye el módulo del vector), el resultado es un vector en la misma dirección del vector original e igual sentido si el escalar es positivo y sentido contrario si el escalar es negativo.

$$n\,\vec{A} = n\,A_x\,\hat{\imath} + n\,A_y\,\hat{\jmath} + n\,A_z\,\hat{k}$$

- **Relaciones trigonométricas.**

$\sin^2\alpha = \frac{1-\cos(2\,\alpha)}{2}$ $\qquad$ $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin\alpha\cos\beta \pm \cos\alpha\sin\beta$

$\cos^2\alpha = \frac{1+\cos(2\,\alpha)}{2}$ $\qquad$ $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos\alpha\cos\beta \mp \sin\alpha\sin\beta$

$\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$ $\qquad$ $\sin\alpha + \sin\beta = 2\,\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\,\sin\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)$

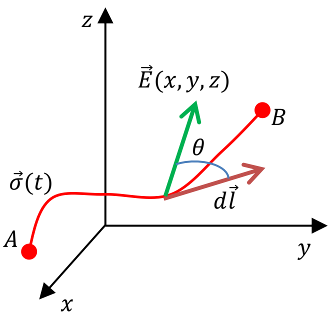
- **Integrales de línea y de superficie.**

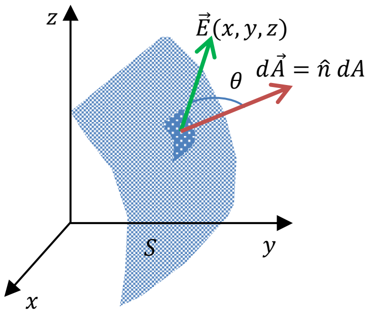
Considerando un campo vectorial

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

Integral de línea: Se proyecta al campo vectorial, evaluado en la trayectoria, en la dirección tangente a la trayectoria en cada punto (producto escalar) y luego se integran esas proyecciones.

$$I = \int_A^B \vec{E}\cdot d\vec{l} = \int_{t_A}^{t_B} \vec{E}(\vec{\sigma}(t))\cdot\frac{d\vec{\sigma}(t)}{dt}\,dt$$





Integral de superficie: Se proyecta al campo vectorial, evaluado en la superficie, en la dirección normal a la superficie en cada punto (producto escalar) y luego se integran esas proyecciones.

$$\Phi = \iint_S \vec{E}\cdot d\vec{A} = \iint_S \vec{E}\cdot\hat{n}\,dA$$

- **Cambio de variables en la integración.**

Cartesianas:		$dA = dx\,dy$	$dV = dx\,dy\,dz$
Cilíndricas:	z constante	$dA = r\,dr\,d\theta$	$dV = r\,dr\,d\theta\,dz$
	r constante	$dA = r\,dz\,d\theta$	
Esféricas:	r constante	$dA = r^2\,\sin\varphi\,d\varphi\,d\theta$	$dV = r^2\,\sin\varphi\,dr\,d\varphi\,d\theta$

- **Operadores diferenciales en coordenadas cartesianas.**

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x}\,\hat{\imath} + \frac{\partial}{\partial y}\,\hat{\jmath} + \frac{\partial}{\partial z}\,\hat{k}$$

Aplicado a una función escalar:

Gradiente aplicado a $f(x,y,z)$

$$\vec{\nabla}f(x,y,z) = \frac{\partial f(x,y,z)}{\partial x}\,\hat{\imath} + \frac{\partial f(x,y,z)}{\partial y}\,\hat{\jmath} + \frac{\partial f(x,y,z)}{\partial z}\,\hat{k}$$

Laplaciano aplicado a $f(x,y,z)$

$$\nabla^2 f(x,y,z) = \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f(x,y,z)}{\partial z^2}$$

Aplicado a una función vectorial (campo):

Divergencia aplicada a $\vec{E}(x,y,z)$

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{E}(x,y,z)=\frac{\partial E_x(x,y,z)}{\partial x}+\frac{\partial E_y(x,y,z)}{\partial y}+\frac{\partial E_z(x,y,z)}{\partial z}$$

Rotor aplicado a $\vec{E}(x,y,z)$

$$\vec{\nabla}\times\vec{E}(x,y,z)=\begin{vmatrix}\hat{\imath} & \hat{\jmath} & \hat{k}\\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\\ E_x & E_y & E_z\end{vmatrix}=\left(\frac{\partial E_z}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial z}\right)\hat{\imath}-\left(\frac{\partial E_z}{\partial x}-\frac{\partial E_x}{\partial z}\right)\hat{\jmath}+\left(\frac{\partial E_y}{\partial x}-\frac{\partial E_x}{\partial y}\right)\hat{k}$$

Laplaciano aplicado a $\vec{E}(x,y,z)$

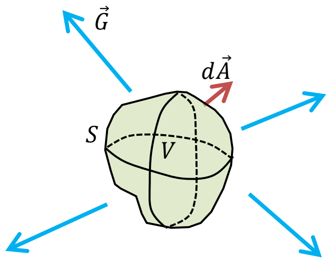
$$\nabla^2\vec{E}(x,y,z)=\frac{\partial^2\vec{E}(x,y,z)}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\vec{E}(x,y,z)}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\vec{E}(x,y,z)}{\partial z^2}$$

$$\nabla^2\vec{E}(x,y,z)=\nabla^2E_x(x,y,z)\,\hat{\imath}+\nabla^2E_y(x,y,z)\,\hat{\jmath}+\nabla^2E_z(x,y,z)\,\hat{k}$$

- **Teoremas del análisis.**

  <u>Teorema de Gauss</u>

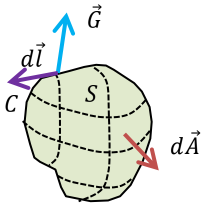
  Sea V un volumen limitado por una superficie cerrada S. Sea $\vec{G}(x,y,z)$ un campo vectorial suave en el volumen, entonces



$$\oint\!\!\!\oint_S \vec{G}\cdot d\vec{A}=\iiint_V(\vec{\nabla}\cdot\vec{G})dV$$

  <u>Teorema de Stokes</u>

  Sea S una superficie orientada y C la curva frontera orientada de S (según $d\vec{l}$). Sea $\vec{G}(x,y,z)$ un campo vectorial suave en el volumen, entonces



$$\oint_C \vec{G}\cdot d\vec{l}=\iint_S(\vec{\nabla}\times\vec{G})\cdot d\vec{A}$$

CONCEPTOS DE FÍSICA

- **Velocidad y aceleración.**

  Sea una magnitud $g(t)$, se define:
  - **velocidad** de $g(t)$
  $$\frac{dg}{dt}$$
  - **aceleración** de $g(t)$
  $$\frac{d^2g}{dt^2}$$

- **Leyes de Newton.**

  <u>Primera Ley.</u>

  Si sobre un cuerpo no actúa fuerza alguna, el mismo permanece en reposo o moviéndose a velocidad constante.

  <u>Segunda Ley.</u>

  La suma de las fuerzas externas que actúan sobre un cuerpo cambia la cantidad de movimiento del mismo.

$$\vec{F}_{suma}=\sum_{i=1}^{N}\vec{F}_i=\frac{d\vec{p}}{dt}=m\,\vec{a}$$

  <u>Tercera Ley.</u>

  Si sobre un cuerpo A, otro cuerpo B realiza una fuerza, sobre el cuerpo B actuará una fuerza de igual magnitud y de sentido contrario realizada por A.

$$\vec{F}_{AB}=-\vec{F}_{BA}$$

- **Trabajo de una fuerza:**

$$W(A \to B) = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

- **Teorema de trabajo y energía:**

$$W = \int_A^B \vec{F}_{suma} \cdot d\vec{l} = \Delta E_{cinética}$$

- **Fuerza conservativa:**

$$\oint \vec{F}_{conservativa} \cdot d\vec{l} = 0$$

Al calcular el trabajo entre dos puntos realizado por una fuerza conservativa, éste es independiente del camino que une los puntos.

- **Magnitudes físicas (SI):**

Tipo	Magnitud Física		Unidad		
	Nombre	Símbolo	Símbolo	Nombre	Equivalencia
Eléctricas	Carga eléctrica	Q	C	Coulomb	
	Campo Eléctrico	$\vec{E}$	N/C		V m
	Campo de Desplazamiento	$\vec{D}$	C/m^2		
	Capacidad	C	F	Faradio	C/V
	Intensidad de corriente	I	A	Ampere	C/s
	Densidad de corriente	$\vec{J}$	A/m^2		
	Permitividad eléctrica	ε	C^2/(N m^2)		
	Diferencia de potencial	ΔV	V	volt	N m/C
Magnéticas	Campo magnético	$\vec{H}$	A/m		
	Campo de inducción magnética	$\vec{B}$	T	Tesla	N/(A m)
	Flujo magnético	Φ	Wb	Weber	T m^2
	Autoinductancia	L	H	Henry	V s/A
	Inductancia mutua	M	H		
	Permeabilidad magnética	μ	T m/A		
Materiales	Resistividad	ρ	Ω/m		
	Conductividad	σ	S/m	Siemens/metro	
	Resistencia	R	Ω	Ohm	
	Reactancia inductiva	χ_L	Ω		
	Reactancia capacitiva	χ_C	Ω		
	Impedancia	Z	Ω		
Energía	Trabajo / Energía	W/U	J	joule	N m
	Potencia	P	W	watt	J/s
Tiempo	Tiempo	t	s	segundo	
	Período	T	s		
	Constante de tiempo	τ	s		
	Frecuencia	f	Hz	Hertz	1/s
	Frecuencia angular	ω	rad/s		
	Longitud de onda	λ	m	metro	
	Número de onda	k	rad/m		

- **Constantes físicas**

Velocidad de la luz en el vacío: $c = 299792458\ m/s$

Permitividad del vacío: $\varepsilon_0 = 8{,}854187817 \times 10^{-12}\ F/m$

Permeabilidad del vacío: $\mu_0 = 4\,\pi\ \times\ 10^{-7}\ N/A^2$

Módulo de la carga de un electrón: $e = 1{,}602176487 \times 10^{-19}\ C$

- **Resumen de ondas**

Ecuación de la onda

En una dimensión

$$\frac{d^2y(x,t)}{dx^2} = \frac{1}{v^2}\frac{d^2y(x,t)}{dt^2}$$

En tres dimensiones

$$\nabla^2 y(x,y,z,t) = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2 y(x,y,z,t)}{\partial t^2}$$

donde v es la velocidad de la onda. La velocidad de la onda depende de las características elásticas e inerciales del medio en el caso de ondas mecánicas y de la permitividad y permeabilidad del medio en el caso de ondas electromagnéticas.

Solución general en una dimensión $y(x,t) = A_1 f(x - v\,t) + A_2 f(x + v\,t)$

Solución general en tres dimensiones $y(\vec{r},t) = A_1 f(\vec{r} - \vec{v}\,t) + A_2 f(\vec{r} + \vec{v}\,t)$

donde f es cualquier función con derivadas primeras y segundas continuas, A_1 y A_2 son constantes

Clasificación de las ondas

1. Según su naturaleza:
   a. *Ondas mecánicas*: necesitan un medio elástico para propagarse, las partículas del medio son desplazadas de su posición de equilibrio y las fuerzas de restauración tienden a volverlas a su posición original.
   b. *Ondas electromagnéticas*: producidas por la oscilación del campo eléctrico y magnético, no necesitan medio para propagarse.
   c. *Ondas gravitacionales*: asociadas a perturbaciones que alteran la geometría del espacio-tiempo, viajan a la velocidad de la luz.

2. Según la dirección de desplazamiento de partículas o campos
   a. *Onda transversal*: la dirección de movimiento de las partículas (ondas mecánicas) o la oscilación de los campos eléctrico y magnético (onda electromagnética) es perpendicular a la dirección de propagación de la onda.
   b. *Onda longitudinal*: la dirección de movimiento de las partículas (ondas mecánicas) coincide con la dirección de propagación de la onda.

3. Según su propagación
   a. *Ondas viajeras*: se propagan libremente en el espacio
   b. *Ondas estacionarias*: no se propagan.

4. Según las dimensiones en que se propaguen
   a. *Unidimensionales*: se propagan a lo largo de una dimensión del espacio.
   b. *Bidimensionales* o superficiales: se propagan en dos dimensiones del espacio.
   c. *Tridimensionales*: se propagan en tres dimensiones.

5. Según su periodicidad
   a. *Periódicas*: la perturbación que las origina se produce en ciclos repetitivos.
   b. *No periódicas*: la perturbación que las origina es aislada (pulso).

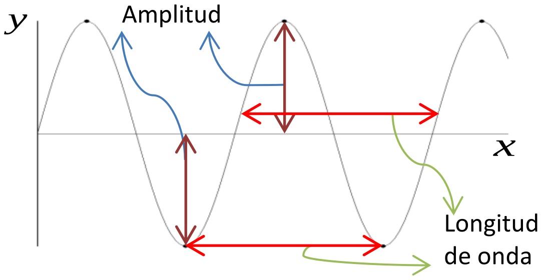
Ondas armónicas (función seno o coseno)

$$y(x,t) = A\,\sin\{k(x - v\,t) + \varphi_0\}$$

o bien

$$y(x,t) = A\ \sin(k\,x - \omega\,t + \varphi_0)$$

donde A es la amplitud, k es el número de ondas, v es la velocidad de la onda, φ_0 es la fase inicial y ω es la frecuencia angular.



El argumento de la función seno o coseno indica la dirección de propagación de la onda (en el caso anterior x) y el signo en el término temporal indica el sentido (en el caso anterior sentido positivo).

La velocidad de la onda también se puede relacionar con las magnitudes anteriores:

$$v = \lambda\,f = \frac{\omega}{k}$$

donde

$$k = 2\frac{\pi}{\lambda}$$

$$\omega = 2\,\pi\,f$$

Interferencia o superposición de ondas

La onda resultante es la suma instantánea de las amplitudes de cada una de las ondas individuales con el signo correspondiente.

Por ejemplo, si se tienen las ondas

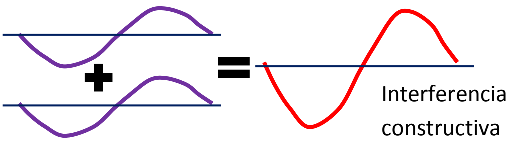
$$y_1(x,t) = A\ \sin(k\,x - \omega\,t + \varphi_{10})$$
$$y_2(x,t) = A\ \sin(k\,x - \omega\,t + \varphi_{20})$$

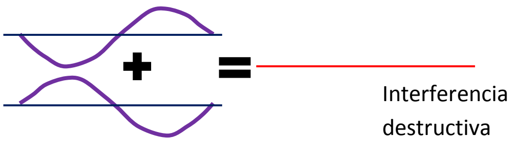
la interferencia o superposición de las mismas da como resultado:

$$y(x,t) = y_1(x,t) + y_2(x,t)$$
$$y(x,t) = A[\sin(k\,x - \omega\,t + \varphi_{10}) + \sin(k\,x - \omega\,t + \varphi_{20})]$$

finalmente

$$y(x,t) = 2\,A\ \cos\left(\frac{\varphi_{10} - \varphi_{20}}{2}\right)\sin\left(k\,x - \ \omega\,t + \frac{\varphi_{10} + \varphi_{20}}{2}\right)$$





REPASO

P1. Sean los vectores $\vec{A} = 3\,\hat{\imath} - 2\,\hat{\jmath} + 5\,\hat{k}$ y $\vec{B} = -5\,\hat{\imath} - 3\,\hat{\jmath} + 4\,\hat{k}$, determine

a) $\vec{A} + \vec{B}$;
b) $\vec{A} - \vec{B}$;
c) $5\,\vec{A}$;
d) $-3\,\vec{B}$, discuta la diferencia con $3\,\vec{B}$;
e) $\vec{A} \cdot \vec{B}$, discuta la diferencia con $\vec{B} \cdot \vec{A}$;
f) $\vec{A} \times \vec{B}$, discuta la diferencia con $\vec{B} \times \vec{A}$;
g) $5\,\vec{A} \times \vec{A}$;
h) $\vec{A} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$, ¿qué conclusión puede sacar sobre la dirección de los vectores?;
i) $\vec{B} \cdot (\vec{A} \times \vec{B})$, ¿qué conclusión puede sacar sobre la dirección de los vectores?;
j) los módulos de los vectores obtenidos en cada uno de los incisos anteriores.

P2. Considere un campo vectorial $\vec{F} = 1{,}8 \times 10^5 r^{-2}\,\hat{r}$, donde r representa a la coordenada radial en coordenadas esféricas y se mide en metros.

a) Calcule la integral de línea del campo vectorial sobre un camino paralelo al eje x, entre los puntos A y B, situados respectivamente en $\vec{r}_A = (12;\ 12;\ 0)$ *cm* y $\vec{r}_B = (42;\ 12;\ 0)$ *cm*.
b) ¿Será conservativo el campo vectorial?
c) Calcule la integral de flujo en una superficie esférica centrada en el origen y que pase por el punto A.
d) Calcule la integral de flujo en una superficie esférica centrada en el origen y que pase por el punto B. Compare su resultado con el obtenido en el inciso anterior.

P3. Suponga un campo vectorial determinado por

$$\vec{E}(x) = \begin{cases} -300\,\check{\imath} & si\ x < 0 \\ 300\,\check{\imath} & si\ x > 0 \end{cases}$$

Imagine una superficie cerrada cilíndrica con tapas, cuya longitud es 10 cm, su radio es 4 cm y su centro coincide con el origen de coordenadas. El eje de simetría del cilindro coincide con el eje x.

a) Realice un esquema de la situación planteada.
b) Determine el flujo del campo vectorial que atraviesa cada tapa del cilindro y la superficie curvada del mismo (cuerpo).
c) ¿Cuál será el flujo total a través de la superficie cerrada?

P4. Calcule la integral de volumen en una esfera de radio A de las siguientes cantidades:

a) $\rho=3\,r$,
b) $\rho=4\,r^2$,
c) $\rho=5\,\sin\theta\cos\varphi$,
d) $\rho=6\,r\cos\theta\cos\varphi$,

donde r es la coordenada radial en el sistema de coordenadas esféricas y θ y φ son las coordenadas angulares en el sistema de coordenadas esféricas.

P5. Considere el campo vectorial $\vec{E}(z,t) = 30\ \cos(3\,z - 6\,t)\ \hat{\imath}$, con z y t en el sistema MKS,

a) determine el rotor y la divergencia del campo.
b) Verifique que cumple con la ecuación de ondas $\nabla^2\vec{E}(z,t) = \frac{1}{v^2}\frac{\partial^2\vec{E}(z,t)}{\partial t^2}$.
c) Determine la velocidad usando los resultados del inciso anterior.