

INTRODUCCIÓN.

La física es considerada una ciencia fundamental con influencia en otras ciencias como la ingeniería. Como estudiante de ingeniería alcanzar una completa comprensión de sus ideas fundamentales y desarrollar habilidades para manejarlas, será de utilidad en su desarrollo profesional.

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. Durante el curso nos detendremos en el análisis de los principios básicos, las implicaciones y las limitaciones del electromagnetismo. Estudiaremos también conceptos de óptica geométrica y óptica física.

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

A continuación se resume las condiciones de aprobación de la materia, la explicación de la organización de los trabajos prácticos y se detallan algunas recomendaciones y estrategias para resolver los problemas.

- **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 prácticas de laboratorio de las diferentes unidades.

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 (examen escrito) y 1 (un) recuperatorio. Al finalizar la cursada se podrá recuperar solamente una evaluación correspondiente sólo a uno de los módulos (examen flotante).

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

➤ Promoción directa.

Las evaluaciones, realizadas en forma escrita, consisten en la presentación de situaciones físicas que el alumno deberá analizar indicando claramente los conceptos teóricos incluidos en las mismas.

Se acredita la materia con la aprobación de las dos evaluaciones, correspondientes a cada uno de los módulos y la aprobación de los informes de laboratorios.

Cada una de las evaluaciones constará de cinco ejercicios que integrarán teoría y práctica. Al obtener una nota mayor o igual a 4 (cuatro) el examen se considera aprobado.

Si la nota de cada uno de los exámenes es mayor a 4 (cuatro) y el promedio de ambos parciales es mayor o igual a 6 (seis), se promociona la materia. La nota final resultará del promedio de las dos evaluaciones escritas.

➤ Examen final.

La presentación a un examen final escrito es requisito para la acreditación de la materia en los casos:

- a) los alumnos que hayan aprobado los dos exámenes y que el promedio de la nota sea mayor a 4 (cuatro) y menor a 6 (seis) (se le darán los trabajos prácticos aprobados),
- b) los alumnos que se encuentran inscriptos en esta modalidad y que hayan aprobado los exámenes.

En ambos casos, los alumnos deberán haber aprobado los trabajos de laboratorio.

- **GUÍAS DE TRABAJOS PRÁCTICOS.**

Las guías de trabajos constan de ejercicios, problemas, comentarios, aplicaciones y experimentos, distinguidos en cinco 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. Para aquellos alumnos que no puedan realizar en forma personal los experimentos propuestos, 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.

El símbolo indica los ejercicios filmados por miembros de la cátedra cuyo acceso está dado por un código QR.

- **CONSEJOS Y ESTRATEGIAS PARA RESOLVER UN EJERCICIO.**

Ante un enunciado de un ejercicio o problema se recomienda leerlo completamente, realizar un gráfico (grande) o esquema que represente la situación planteada y 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) Enmarcar dentro de un marco teórico la situación problemática, tratando de explicar, utilizando conceptos teóricos abordados en las clases, cuál es la situación física planteada, qué espera que ocurra.
- 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 reflejarlos en magnitud y unidades.

Repasso de conceptos de materias anteriores.

Los siguientes conceptos pretenden ser solamente un ayuda memoria de conceptos ya adquiridos.

- **CAMBIO DE UNIDADES, PREFIJOS.**

| | | |
|-----------|-------|----|
| 10^{24} | yota | Y |
| 10^{21} | zeta | Z |
| 10^{18} | exa | E |
| 10^{15} | peta | P |
| 10^{12} | tera | T |
| 10^9 | giga | G |
| 10^6 | mega | M |
| 10^3 | kilo | k |
| 10^2 | hecto | h |
| 10 | deca | da |

| | | |
|------------|-------|-------|
| 10^{-1} | deci | d |
| 10^{-2} | centi | c |
| 10^{-3} | mili | m |
| 10^{-6} | micro | μ |
| 10^{-9} | nano | n |
| 10^{-12} | pico | p |
| 10^{-15} | femto | f |
| 10^{-18} | atto | a |
| 10^{-21} | zepto | z |
| 10^{-24} | yocto | y |

- **LETRAS GRIEGAS**

| Nombre | Mayúscula | Minúscula | Nombre | Mayúscula | Minúscula |
|---------|-----------|---------------|---------|-----------|------------|
| alpha | A | α | nu | N | ν |
| beta | B | β | xi | Ξ | ξ |
| gamma | Γ | γ | omicron | O | \circ |
| delta | Δ | δ | pi | Π | π |
| épsilon | E | ε | rho | R | ρ |
| zeta | Z | ζ | sigma | Σ | σ |
| eta | H | η | tau | T | τ |
| iota | I | ι | upsilon | Y | υ |
| theta | Θ | θ | phi | Φ | φ |
| kappa | K | κ | chi | X | χ |
| lambda | Λ | λ | psi | Ψ | ψ |
| mu | M | μ | omega | Ω | ω |

- **RELACIONES MATEMÁTICAS.**

- **Volúmenes, superficies y perímetro.**

Esfera de radio r:

$$\text{Volumen: } \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \text{Superficie: } 4 \pi r^2$$

Cilindro de largo l y radio de tapas r:

$$\text{Volumen: } \pi r^2 l \quad \text{Superficie del cuerpo: } 2 \pi r l \quad \text{Superficie de cada tapa: } \pi r^2$$

Círculo de radio r:

$$\text{Superficie: } \pi r^2 \quad \text{Perímetro de la circunferencia: } 2 \pi r$$

- **Álgebra de vectores.**

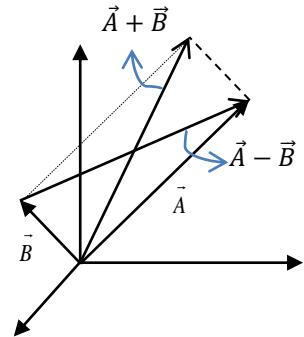
$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$$

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

$$\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}$$

Suma o resta (el resultado es un vector):

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



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):

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

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.

$$n \vec{A} = n A_x \hat{i} + n A_y \hat{j} + n A_z \hat{k}$$

- **Relaciones trigonométricas.**

$$\sin^2 \alpha = \frac{1-\cos(2\alpha)}{2}$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1+\cos(2\alpha)}{2}$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$$

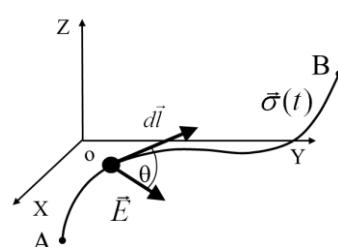
$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

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

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

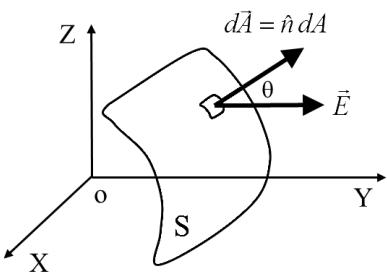
Considerando un campo vectorial

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



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: $dA = dx dy$

cartesianas: $dV = dx dy dz$

cilíndricas, z constante: $dA = r dr d\theta$

cilíndricas: $dV = r dr d\theta dz$

cilíndricas, r constante: $dA = r dz d\theta$

esféricas, r constante: $dA = r^2 \sin \varphi d\varphi d\theta$

esféricas: $dV = r^2 \sin \varphi dr d\varphi d\theta$

- Operadores diferenciales en coordenadas cartesianas.**

$$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k}$$

Aplicado a una función escalar:

Gradiente de $f(x, y, z)$

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

Laplaciano de $f(x, y, z)$

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

Aplicado a una función vectorial (campo):

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

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

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

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

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

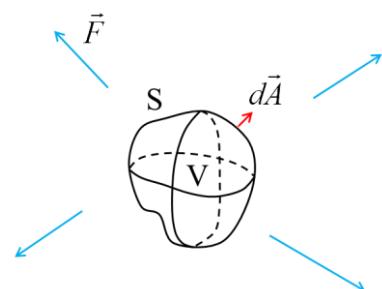
$$\begin{aligned} \nabla^2 \vec{E}(x, y, z) &= \frac{\partial^2 \vec{E}(x, y, z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}(x, y, z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}(x, y, z)}{\partial z^2} \\ &= \nabla^2 E_x(x, y, z) \hat{i} + \nabla^2 E_y(x, y, z) \hat{j} + \nabla^2 E_z(x, y, z) \hat{k} \end{aligned}$$

- Teoremas del análisis.**

Teorema de Gauss.

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

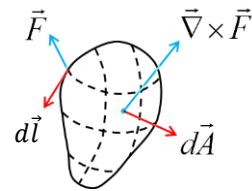
$$\iint_S \vec{F} \cdot d\vec{A} = \iiint_V (\vec{\nabla} \cdot \vec{F}) dV$$



Teorema de Stokes.

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

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



- **CONCEPTOS DE FÍSICA.**
- **Velocidad y aceleración.**

Sea una magnitud $f(t)$, se define:

- **velocidad** de $f(t)$

$$\frac{df}{dt}$$

- **aceleración** de $f(t)$

$$\frac{d^2f}{dt^2}$$

- **Leyes de Newton.**

Primera Ley.

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

Segunda Ley.

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

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

Tercera Ley.

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:**

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

- **Teorema de trabajo y energía:**

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

- **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 | | Equivalencia |
|------------|------------------------------|------------|-------------------------------------|----------------|------------------|
| | Nombre | Símbolo | Símbolo | Nombre | |
| Eléctricas | Carga eléctrica | Q | C | Coulomb | |
| | Campo Eléctrico | \vec{E} | N/C | Newton/Coulomb | 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) | | |
| Magnéticas | Diferencia de potencial | ΔV | V | volt | N m/C |
| | 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 | | |
| Materiales | Permeabilidad magnética | μ | T m/A | | |
| | Resistividad | ρ | Ω /m | | |
| | Conductividad | σ | S/m | Siemens/metro | |
| | Resistencia | R | Ω | Ohm | |
| | Reactancia inductiva | χ_L | Ω | | |
| | Reactancia capacitativa | χ_C | Ω | | |
| Energía | Impedancia | Z | Ω | | |
| | Trabajo / Energía | W | J | joule | N m |
| Tiempo | Potencia | P | W | watt | J/s |
| | 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: $\epsilon_0 = 8,854187817 \times 10^{-12}$ F/m

Permeabilidad del vacío: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/A²

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.

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

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

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

- Clasificación de las ondas

1. Segundo su naturaleza:

- 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.
- Ondas electromagnéticas: producidas por la oscilación del campo eléctrico y magnético, no necesitan medio para propagarse.
- Ondas gravitacionales.

2. Segundo la dirección de desplazamiento de partículas o campos

- 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.
- Onda longitudinal: la dirección de movimiento de las partículas (ondas mecánicas) coincide con la dirección de propagación de la onda.

3. Segundo su propagación

- Ondas viajeras: se propagan libremente en el espacio
- Ondas estacionarias: no se propagan.

4. Segundo las dimensiones en que se propaguen

- Unidimensionales: se propagan a lo largo de una dimensión del espacio.
- Bidimensionales o superficiales: se propagan en dos dimensiones del espacio.
- Tridimensionales: se propagan en tres dimensiones.

5. Segundo su periodicidad

- Periódicas: la perturbación que las origina se produce en ciclos repetitivos.
- No periódicas: la perturbación que las origina es aislada (pulso).

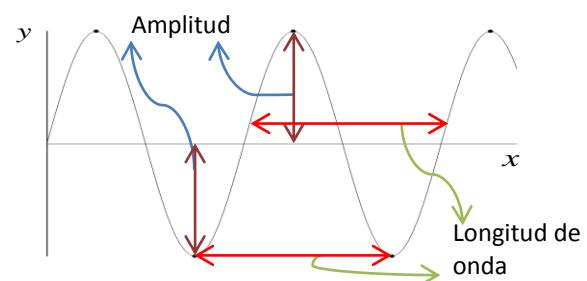
- Ondas armónicas (función seno o coseno)

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

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).

Si bien 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, se puede relacionarla con las magnitudes anteriores:

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

donde

$$k = 2\pi/\lambda$$

$$\omega = 2\pi f$$

- Superposición de ondas

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

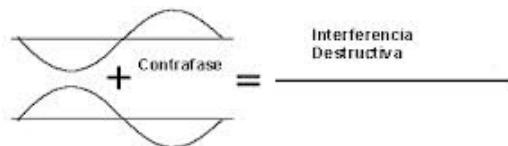
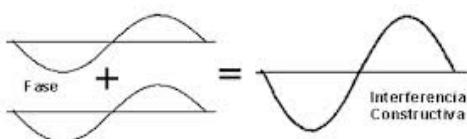
Por ejemplo, si se tienen las ondas

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

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

la superposición de las mismas resulta

$$\begin{aligned} y(x, t) &= y_1(x, t) + y_2(x, t) \\ &= A[\sin(k x - \omega t + \varphi_{10}) + \sin(k x - \omega t + \varphi_{20})] \\ &= 2A \cos\left(\frac{\varphi_{10} - \varphi_{20}}{2}\right) \sin\left(k x - \omega t + \frac{\varphi_{10} + \varphi_{20}}{2}\right) \end{aligned}$$



Bibliografía

- Smith, R. and Minton, R., "Cálculo" Volumen 1 y 2, McGraw Hill (2005)
- Marsden, J. and Tromba, A., "Cálculo vectorial", Addison Wesley (2004)
- Serway, "Física" Volumen 1 y 2, McGraw Hill (1999)
- Resnick, Holliday and Krane, "Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería" Volumen 1 y 2, CECSA(1999)

Revise la bibliografía de la cátedra listada en la página de internet.

REPASO

P1. Sean los vectores $\vec{A} = 3\hat{i} - 2\hat{j} + 5\hat{k}$ y $\vec{B} = -5\hat{i} - 3\hat{j} + 4\hat{k}$, 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. Sea 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

$$\vec{E}(x) = \begin{cases} -300\hat{i} & \text{si } x < 0 \\ 300\hat{i} & \text{si } x > 0 \end{cases}$$

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

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. Sea el campo vectorial $\vec{E}(z,t) = 30 \cos(3z - 6t)\hat{i}$, 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.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 1

CARGA ELÉCTRICA. LEY DE COULOMB.

Carga eléctrica

P1. La carga eléctrica con magnitud mínima que se puede aislar es la del electrón o del protón. En 1909, Robert A. Millikan desarrolló un método clásico para medir esa carga, que se conoce como experimento de la gota de aceite. Millikan pudo cargar diminutas gotitas de aceite, que caían a velocidad terminal bajo la influencia de la gravedad y de la resistencia del aire. Colocando esas gotitas entre dos placas horizontales cargadas (una con carga positiva y la otra con carga negativa), se ejerce una fuerza que puede equilibrar las fuerzas gravitatoria y viscosa. Si la masa y el tamaño de las gotitas se conoce, entonces determinando la velocidad de caída de las gotas dentro y fuera de las placas cargadas (esto es con y sin interacción eléctrica) se puede medir la carga de las gotas. En uno de sus experimentos observó que al cargar varias veces un cuerpo se obtenían los siguientes valores de carga:

- $6,563 \times 10^{-19}$ C
- $8,204 \times 10^{-19}$ C
- $11,50 \times 10^{-19}$ C
- $13,13 \times 10^{-19}$ C

- A partir de los valores que obtuvo experimentalmente explique cómo Millikan encontró que las cargas son un múltiplo entero de una carga elemental.
- ¿Qué valor de dicha carga elemental puede deducirse de estos datos?

E1. *Materiales:*

Un peine de plástico, trozos pequeños de papel (con área menor a 1 cm^2) y cualquier objeto de metal de tamaño apreciable.



Realización:

- Peine su cabello seco y acerque el peine a los trozos de papel. ¿Qué observa?
- Abra la canilla permitiendo que circule un chorro fino. Péine nuevamente y acerque el peine al chorro. ¿Qué observa?
- Repita el experimento cambiando el peine por un objeto de metal. Describa lo observado.
 - ¿Cómo se manifiesta la propiedad de la materia denominada carga eléctrica?
 - ¿Cómo puede un cuerpo cargado eléctricamente atraer a otro que no lo está?
 - ¿Por qué un metal no puede cargarse por frotamiento?

E2. Si sobre una alfombra de nylon en un día seco frota sus pies y luego toca un objeto metálico grande (una manija de puerta, el marco de una puerta metálico), ¿qué le ocurre? ¿Cómo puede explicarlo?

E3. *Materiales:*

Cinta adhesiva, superficie lisa y soportes.

Realización:

- Presione un trozo de cinta adhesiva, de entre 15 y 20 cm de largo, sobre una superficie lisa que no se descasca, por ejemplo un cuaderno o una mesa sin pintar.

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31}$ kg; masa de la Tierra: $5,97 \times 10^{24}$ kg; masa de la Luna: $7,35 \times 10^{22}$ kg; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8$ m; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3$ km, período de rotación de la Luna alrededor de la Tierra: 27,4 días.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- ii. Luego despegue la cinta de la mesa y cuélguela de algún soporte, por ejemplo el borde de una mesa.
- iii. Acerque objetos (lápiz, su mano, clips, etc.) a la cinta. ¿Qué observa?
- iv. Corte cuatro trozos de cinta iguales, escriba una I (inferior) a dos de los trozos y péguelos a la superficie lisa.
- v. Pegue los dos trozos restantes de cinta sobre cada uno de los trozos I (sin despegarlos de la mesa) y escriba la letra S (superior) a ambos.
- vi. Despegue ambos trozos de cinta juntos y después separe la cinta I de la S.
- vii. Cuelgue una cinta I y una S del soporte utilizado antes.
- viii. Aproxime las dos cintas S. Describa lo que observa.
- ix. Aproxime las dos cintas I. Describa lo que observa.
- x. Aproxime la cinta S y una cinta I. Describa lo que observa.
 - a) ¿Qué puede deducir de la experiencia?
 - b) ¿Cuántos tipos de carga existen?

P2. Calcule cuántos electrones se necesitan para obtener una carga de 1 C.

P3. Una moneda de cobre de 3 g tiene una carga positiva de 5,5 μC .

- a) ¿Cuántos electrones ha perdido?
- b) ¿Qué masa de la moneda representa?

P4. ¿Cuál será la carga total de todos los electrones que están contenidos en una barra de aluminio de 15 kg? (el aluminio tiene 13 electrones por átomo y cada átomo pesa 45×10^{-27} kg) ¿Cuál será la carga neta de la barra?

C1. Si se carga eléctricamente una burbuja de jabón, ¿su diámetro aumenta, disminuye o permanece igual al diámetro de la burbuja sin cargar?

C2. Considere una bolita de papel suspendida por un hilo cerca de un cuerpo cargado.

- a) ¿Por qué la bolita es atraída hacia el cuerpo? (puede construir en casa un dispositivo como el descripto y comprobar su respuesta).
- b) ¿Depende el resultado del tipo de carga del cuerpo?

C3. Se aproxima, sin tocar, una barra de vidrio cargada eléctricamente a un electroscopio descargado.

- a) ¿Cuál es el signo de la carga en la esfera del electroscopio?
- b) ¿Cuál es el signo en las hojas del electroscopio?

C4. Elija de las siguientes afirmaciones cual o cuales considera correctas

- a) Cuando se dice que la carga eléctrica está cuantificada, significa que:
 - i. existe una carga mínima no nula.
 - ii. toda carga eléctrica es múltiplo entero de una carga eléctrica elemental.
 - iii. la carga eléctrica es una magnitud continua.
- b) Decir que la carga eléctrica de un sistema se conserva es lo mismo que:
 - i. su valor no cambia con el tiempo.
 - ii. la suma algebraica de las cargas es constante.
 - iii. la suma de cargas positivas y la suma de cargas negativas son constantes separadamente.

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; masa de la Tierra: $5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$; masa de la Luna: $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3 \text{ km}$, período de rotación de la Luna alrededor de la Tierra: 27,4 días.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

Fuerza de Coulomb

Al realizar los ejercicios recuerde que las fuerzas son magnitudes vectoriales.
 Si tiene duda cómo operar con vectores revise la guía de trabajos prácticos TP0.

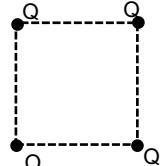
- P5.** Dos partículas fijas tienen las siguientes cargas y posiciones en el espacio: $200 \mu\text{C}$ en $(0; 0; 0)$ cm y $100 \mu\text{C}$ en $(0; 10; 0)$ cm.
- Calcule la fuerza electrostática ejercida por cada una de las partículas sobre la otra y compárelas.
 - Se agrega otra partícula fija de $-50 \mu\text{C}$ en $(10; 0; 0)$ cm. Calcule la fuerza total sobre cada una de las tres partículas.

C5. ¿La fuerza coulombiana que una carga ejerce sobre otra cambia si se le acercan otras cargas?

C6. La fuerza debida a una carga Q sobre un punto donde está situada una carga Q' ($Q' > Q$), ¿Es mayor, igual o menor que la fuerza debida a Q' en el punto donde está situada Q ?

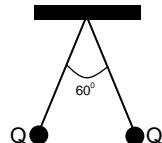
C7. Compare la repulsión eléctrica entre dos electrones, separados una distancia D con la atracción gravitatoria entre los mismos. ¿Cuál debería ser la masa de un electrón para que esas fuerzas se equilibren?

- P6.** Cuatro cargas de igual magnitud ($1 \mu\text{C}$) están dispuestas en los vértices de un cuadrado de arista $0,2 \text{ m}$, como se muestra en la figura.



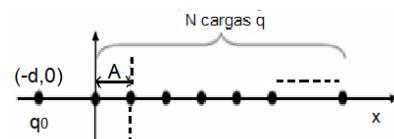
- Halle la fuerza sobre la carga del vértice inferior izquierdo que ejercerán las restantes.
- A partir de lo encontrado en el inciso anterior, podrá responder ¿cuánto vale la fuerza que experimentan cada una de las cargas restantes debida a sus vecinas sin realizar nuevamente la cuenta?

- P7.** Dos esferas idénticas con la misma carga y masa de 1 g cada una, cuelgan del mismo punto mediante hilos de $0,5 \text{ m}$ de longitud. Su repulsión mutua hace que los hilos que sostienen las esferas sustenten un ángulo de 60° .



- ¿Cuál es la fuerza electrostática ejercida sobre cada esfera?
- ¿Cuál es la carga de cada una?

- P8.** En el eje de coordenadas x se encuentran N cargas de magnitud q .



Cada una de las cargas se encuentra separada de la siguiente una distancia A (ver figura adjunta). Calcule la fuerza que el conjunto de cargas ejerce sobre una carga puntual q_0 ubicada en $(-d; 0)$.

- P9.** A lo largo del eje x yace una varilla muy delgada de longitud L , la que posee una carga por unidad de longitud λ . Una partícula de carga q_0 se encuentra sobre el eje x a una distancia D del extremo de la varilla.

- Escriba la expresión de la fuerza que actúa sobre la partícula debida a un elemento de longitud dx de la varilla.
- Calcule la fuerza neta ejercida por la varilla sobre la partícula.

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; masa de la Tierra: $5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$; masa de la Luna: $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3 \text{ km}$, período de rotación de la Luna alrededor de la Tierra: 27,4 días.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- P10.** Un anillo delgado circular de radio de 3 cm posee una carga total de 10^{-3} C distribuida en forma uniforme.

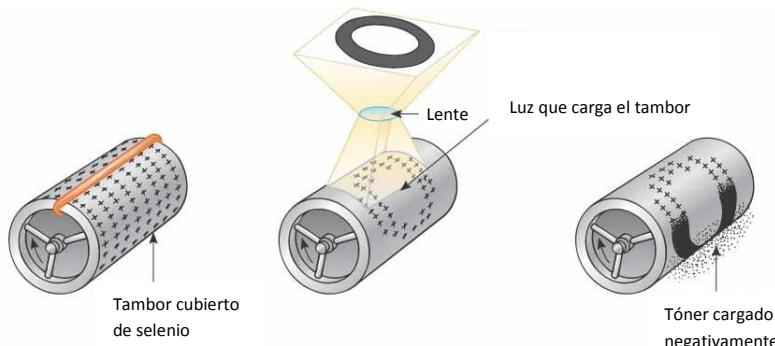
- ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre una carga de 10^{-2} C ubicada en el centro del anillo?
- ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre una carga idéntica a la del inciso anterior, ubicada en un punto sobre el eje del anillo a una distancia de 4 cm de su centro?
- ¿Cuál es la fuerza que actúa sobre una carga de -10^{-2} C, ubicada en un punto sobre el eje del anillo a una distancia de 4 cm de su centro?

- A1.** Suponga que la atracción eléctrica, en vez de la gravedad, fuera la responsable de mantener a la Luna en su órbita alrededor de la Tierra. Si se colocan cargas iguales y de signo opuesto en la Tierra y en la Luna, ¿cuál debería ser el valor de la carga para mantener la órbita actual?

- A2.** El problema 7 representa un modelo simplificado de electroscopio.

- ¿De qué depende el ángulo de desviación entre los hilos?
- Detalle las medidas necesarias para determinar las cargas de las esferas utilizando este dispositivo, reglas, transportador y balanza.

- A3.** El funcionamiento de una fotocopiadora se puede explicar a partir de lo aprendido de interacciones coulombianas. La copiadora electrostática funciona al agrupar en forma selectiva cargas positivas (de acuerdo con el patrón que se va a copiar) en la superficie de un tambor no conductor¹ sobre el cual se rocían partículas de tóner que tienen carga negativa. Las partículas del tóner se adhieren en forma temporal al patrón del tambor (como el papel al peine) y luego se transfieren a la hoja donde se funden para producir la copia.



- A4.** El proceso de pintura electrostática que se utiliza en la industria automotriz también puede ser explicado en base a ley de Coulomb. El objeto metálico que va a pintarse se conecta a Tierra y a las gotitas de pintura se les confiere una carga eléctrica conforme salen de la boquilla rociadora. Al acercarse las gotitas de pintura al objeto que se pinta, se inducen en éste carga de signo opuesto, que atraen a las gotas hacia la superficie. Este proceso minimiza la formación de nubes de partículas de



¹ El tambor no conductor es sensible a la luz, mientras éste gira un rayo láser ilumina áreas seleccionadas dejándolas cargadas.

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31}$ kg; masa de la Tierra: $5,97 \times 10^{24}$ kg; masa de la Luna: $7,35 \times 10^{22}$ kg; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8$ m; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3$ km, período de rotación de la Luna alrededor de la Tierra: 27,4 días.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

pintura y da un acabado particularmente liso.

- A5. ¿Cómo podría utilizar este proceso para otras aplicaciones, por ejemplo el bronceado exprés, los paños quita polvo, etc.?

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$; masa de la Tierra: $5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$; masa de la Luna: $7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3 \text{ km}$, período de rotación de la Luna alrededor de la Tierra: 27,4 días.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 2

CAMPO ELECTROSTÁTICO.

E1. Visualización de líneas de campo eléctrico

Materiales:

Papel aluminio (de cocina), aceite, un saquito de té, un frasco, cable, cinta adhesiva, bolita de vidrio (canica) o plaquita pequeña que entre en el frasco, televisión vieja (o monitor viejo), tijeras.

Armado del dispositivo:

- i. Envuelva la bolita o la plaquita con papel aluminio. Trate que no queden rebordes o salientes.
- ii. Pele los dos extremos del cable.
- iii. Pegue el cable a la bolita envuelta en papel aluminio con la cinta adhesiva.
- iv. Perfore la tapa del frasco y haga pasar el cable por el agujero, de forma tal que la bolita quede dentro del frasco.
- v. Abra el saquito de té y vierta el contenido en el frasco.
- vi. Coloque aceite en el frasco (sin llegar al borde) de forma tal que la bolita que cuelga de la tapa se encuentre totalmente sumergida en el aceite.
- vii. Cierre el frasco y pegue el otro extremo de cable a un rectángulo de papel aluminio grande (del tamaño de la pantalla de la televisión) con la cinta adhesiva.
- viii. Pegue el rectángulo papel aluminio con cinta adhesiva a la pantalla de la televisión apagada (tenga cuidado de no dañar la pantalla).
- ix. Prenda la televisión y observe el frasco.
 - a) ¿Qué observa?
 - b) ¿Cómo puede explicar la disposición espacial adoptada por el té?
 - c) ¿Coincide lo observado con la teoría?
- x. Para desconectar primero apague la televisión y luego acerque un cable conectado a tierra (podría estar conectado a un marco metálico de una puerta) al papel aluminio. Si quita el papel aluminio sin conectarlo a tierra sufrirá descargas (conocidas como "patadas").



| Campos eléctricos | |
|--|--------------------|
| Localización | Valor (N/C) |
| Superficie de núcleo de uranio | 3×10^{21} |
| Órbita de electrón en átomo de hidrógeno | 5×10^{11} |
| Descarga en el aire | 5×10^6 |
| Cilindro cargado de fotocopiadora | 10^5 |
| Televisión (acelerador de haz de electrones) | 10^5 |
| Peine cargado | 10^3 |
| Parte baja de la atmósfera | 10^2 |
| Alambre de cobre en circuitos domésticos | 10^{-2} |

Esfera



Plano



Plano



Constantes:

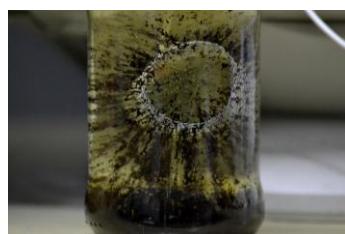
$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}; K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2; \text{masa del electrón: } 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}; \text{radio de la Tierra: } 6,378 \times 10^3 \text{ km.}$$

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

Hilo



Cilindro hueco



Esfera con plano



Al realizar los ejercicios recuerde que el campo eléctrico y las fuerzas son magnitudes vectoriales. Si tiene dudas cómo operar con vectores revise la guía de trabajos prácticos TP0.

- P1.** Una carga puntual de $64,4 \mu\text{C}$ se encuentra ubicada en $(-4; 3; 2) \text{ m}$. Halle el campo eléctrico en el origen del sistema de coordenadas debido a esta carga.
- P2.** Dos cargas puntuales idénticas de valor Q están separadas por una distancia d .
- Encuentre el campo eléctrico \vec{E} para todos los puntos entre las cargas sobre la línea que une las dos cargas.
 - Realice un gráfico mostrando el módulo del campo eléctrico en función de la distancia a una de las cargas.
- P3.** El campo eléctrico justo por encima de la superficie de la Tierra es de 150 N/C , dirigido hacia abajo. ¿Qué carga total sobre la Tierra está implicada en esta medida? Calcule la fuerza sobre un electrón ubicado en la superficie de la Tierra.
- P4.** Suponga un dipolo (dos cargas puntuales de igual magnitud y signo contrario separadas una distancia pequeña fija) ubicado sobre el eje x .
- Calcule el campo eléctrico sobre cualquier punto del plano xy .
 - Calcule el campo eléctrico sobre cualquier punto del eje x y del eje y .
 - Considerando que la separación entre las dos cargas es muy pequeña frente a la distancia donde calcula el campo, encuentre la nueva expresión del campo sobre cada uno de los ejes.
- A1.** Un ión de cloro de carga $-e$ se sitúa frente a una molécula de agua cuyo momento dipolar eléctrico $|\vec{p}| = 6,17 \times 10^{-30} \text{ C m}$ apunta al ión. La distancia entre ambas partículas es 10^{10} m .
- Encuentre la fuerza eléctrica ejercida por la molécula sobre el ión. ¿Es una fuerza atractiva o repulsiva?
 - ¿Puede explicar por qué la sal común se disuelve en agua a partir de su análisis? (la fórmula química de la sal común es NaCl y es un compuesto iónico). Considere a la atracción entre los átomos de la sal como una interacción de tipo coulombiana y a la distancia entre el sodio y el cloro en la molécula de $0,28 \text{ nm}$.
- P5.** Cuatro partículas se emplazan rígidamente en los vértices de un cuadrado de 10 cm de lado. Considere el caso en que todas las partículas están igualmente cargadas con $100 \mu\text{C}$.
- Realice un gráfico de la situación planteada.
 - Determine la dirección y sentido del campo electrostático en el centro del cuadrado y en el punto medio de cada lado sin realizar ningún cálculo.
 - Compruebe los resultados obtenidos en el inciso anterior analíticamente.

Constantes:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}; K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2; \text{masa del electrón: } 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}; \text{radio de la Tierra: } 6,378 \times 10^3 \text{ km.}$$



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- d) Para el caso en que tres partículas tienen cargas positivas y la restante negativa, calcule el campo en el centro del cuadrado y en el punto medio de una arista que tenga como vértice a la carga negativa.

P6. Suponga un hilo de longitud L uniformemente cargado con densidad λ y el origen de coordenadas en el punto medio del hilo. Calcule:

- el campo electrostático producido en un punto arbitrario localizado sobre el eje que pasa por el punto medio del hilo,
- el campo electrostático producido en un punto arbitrario localizado sobre la recta que contiene al hilo.
- Plantee las expresiones necesarias que le permitan calcular el campo eléctrico en un punto arbitrario del plano.
- Analice las expresiones y discuta como resolvería las integrales que resultan.

P7. Suponga ahora un hilo de longitud infinita.

- Sin realizar cálculos explique en qué dirección apuntará el campo eléctrico en cualquier punto del espacio.
- Calcule el campo eléctrico en todo punto del espacio utilizando los resultados obtenidos en el ejercicio anterior.

P8. Suponga un anillo de radio A uniformemente cargado con densidad lineal λ .

- Sin realizar cálculos explique en qué dirección apuntará el campo eléctrico en cualquier punto del eje del anillo.
- Calcule el campo eléctrico en cualquier punto del eje del anillo.

P9. Suponga un disco de radio A uniformemente cargado con densidad superficial σ .

- Sin realizar cálculos explique en qué dirección apuntará el campo eléctrico en cualquier punto del eje del disco.
- Calcule el campo eléctrico en todo punto del eje del disco.

P10. Suponga un plano infinito uniformemente cargado con densidad superficial σ (sin espesor).

- Sin realizar cálculos explique en qué dirección apuntará el campo eléctrico en cualquier punto.
- Calcule el campo eléctrico en todo punto del espacio utilizando los resultados obtenidos en el ejercicio anterior.

P11. Considere dos planos no conductores paralelos infinitamente extendidos y separados una distancia D . Sobre cada uno de ellos yacen distribuciones uniformes de cargas de densidades superficiales σ_1 y σ_2 respectivamente. Determine el campo electrostático en todas partes y en cada uno de los siguientes casos:

- $\sigma_1 = 3 \text{ mC/m}^2$ y $\sigma_2 = 3 \text{ mC/m}^2$
- $\sigma_1 = 3 \text{ mC/m}^2$ y $\sigma_2 = -3 \text{ mC/m}^2$
- $\sigma_1 = 3 \text{ mC/m}^2$ y $\sigma_2 = 5 \text{ mC/m}^2$
- $\sigma_1 = 3 \text{ mC/m}^2$ y $\sigma_2 = -5 \text{ mC/m}^2$

P12. Una lámina vertical grande, no conductora posee una densidad superficial de carga de $25 \times 10^{-7} \text{ C/m}^2$. Cerca de la lámina se coloca una pequeña esfera de masa $0,1 \text{ g}$ y carga 3 nC , colgando del techo por un hilo de seda de 5 cm de longitud. Calcule el ángulo que formará el hilo con la vertical.

Constantes:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}; K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2; \text{masa del electrón: } 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}; \text{radio de la Tierra: } 6,378 \times 10^3 \text{ km.}$$

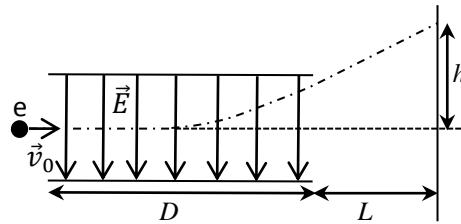
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

C1. ¿El campo eléctrico producido por una carga Q en un punto donde está situada otra carga Q' ($Q' > Q$) es mayor, igual o menor que el campo eléctrico debido a Q' en el punto donde está situada Q ? ¿Cómo es la fuerza sobre cada una de las cargas debido al campo correspondiente?

C2. Una carga de prueba se coloca en un punto del espacio donde existe un campo electrostático liberándola desde el reposo. Describa la trayectoria de la partícula para los siguientes campos eléctricos:

- a) campo generado por una carga puntual,
- b) campo generado por un dipolo eléctrico.

A2. Los tubos de rayos catódicos suelen formar parte de los osciloscopios, los viejos televisores y monitores. Un electrón se lanza con cierta velocidad inicial \vec{v}_0 por el punto medio entre dos placas de desviación del tubo. Estas placas, de largo D , se encuentran cargadas y generan un campo eléctrico perpendicular a la dirección de la velocidad del electrón (ver figura). A una distancia L se coloca una pantalla donde incidirá el electrón.



- a) Establezca, según el gráfico, cómo están cargadas cada una de las placas.
- b) Ignorando los efectos de la gravedad, demuestre que la ecuación de la trayectoria seguida por la carga dentro del campo está dada por $y = \frac{e |\vec{E}|}{2 m v_0^2} x^2$.
- c) Determine la distancia h en función de los parámetros conocidos.

A3. Este mismo dispositivo puede ser utilizado en una impresora de chorro de tinta. Las letras se forman rociando tinta en el papel mediante una boquilla en movimiento rápido. Las gotas salen de la boquilla y atraviesan un dispositivo que da a cada gota una carga. Las gotas pasan después entre placas deflectoras paralelas que ubican a la gota en el lugar preciso en el papel. Suponga que a las gotas de tinta (de masa de $1,3 \times 10^{-10}$ kg) se les carga con $-1,5 \times 10^{-13}$ C y se les hace entrar al sistema de placas desviadoras (de longitud 1,6 cm que generan un campo eléctrico de intensidad $1,4 \times 10^6$ N/C) con velocidad inicial de 18 m/s.

- a) Realice un esquema del dispositivo mostrando el recorrido realizado por la gota.
- b) ¿Cuántos electrones de la gota fueron agregados?
- c) ¿Cuál es la desviación vertical de la gota de tinta en el extremo más alejado de las placas?

A4. De acuerdo con las normas de seguridad del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), los seres humanos deberían evitar exposiciones prolongadas a campos eléctricos cuyos módulos sean superiores a 614 N/C.

- a) ¿Cuál será el módulo de la fuerza eléctrica ejercida sobre un electrón por este campo?
- b) Las distancias atómicas son del orden de 10^{-10} m (entre partículas cargadas positivamente y negativamente dentro de un átomo). ¿Cuál será el módulo de la fuerza eléctrica ejercida por un protón sobre un electrón perteneciente al mismo átomo? Compare este resultado con el obtenido en el inciso anterior.

A5. La copiadora electrostática funciona al agrupar en forma selectiva cargas positivas según el patrón a copiar (*recuerde el funcionamiento visto en el ejercicio A3 de la guía de trabajos prácticos N°2*). Considere que cada partícula de tóner tiene una masa de 9×10^{-16} kg y transporta en promedio 20 electrones adicionales. Si se supone que la fuerza eléctrica sobre una partícula de tóner debe

Constantes:

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}; K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2; \text{masa del electrón: } 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}; \text{radio de la Tierra: } 6,378 \times 10^3 \text{ km.}$$



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

superar dos veces su peso para que la atracción resulte suficiente, calcule la magnitud del campo eléctrico que se debe generar cerca de la superficie del tambor para obtener una copia.

- A6.** En una experiencia de Millikan (*recuerde el funcionamiento del dispositivo visto en el ejercicio P1 de la guía de trabajos prácticos N°2*) la fuerza de frenado o de resistencia sobre la gota de radio R que cae a velocidad constante por el aire, se dirige hacia arriba y está descripta por la ley de Stokes $F_{res} = 6\pi\eta R v$, siendo η la viscosidad del aire.
- Realice un esquema de la situación planteada.
 - Encuentre la expresión para la velocidad límite de la gota cuando no existe un campo eléctrico aplicado:

$$v_{lim} = \frac{2R^2\rho g}{9\eta},$$

con ρ la densidad de la gota de aceite y g la aceleración de la gravedad.

- Encuentre que la carga de la gota (positiva) considerando que el campo eléctrico aplicado se dirige hacia arriba, se escribe

$$q = \frac{18\pi(v_{lim}-v_1)}{E} \sqrt{\frac{v_{lim}\eta^3}{2\rho g}},$$

donde v_1 es la velocidad límite cuando existe campo eléctrico.

- A7.** La ausencia de campos eléctricos en cavidades cerradas rodeadas por conductores permite blindar instrumentos electrónicos delicados contra campos eléctricos atmosféricos y otros campos eléctricos presentes. El dispositivo consiste en una jaula metálica llamada Jaula de Faraday. Con frecuencia, la jaula consta de una malla de alambre de cobre y no de láminas, brindando un blindaje lo suficientemente bueno (la malla no es un blindaje perfecto) para los requerimientos del instrumental.

A8. ¿Podría usted explicar el blindaje de ciertas construcciones contra rayos?

A9. ¿Cómo funciona un pararrayos? Describa las diferencias con el blindaje contra rayos.

A10. En un día de tormentas eléctricas se encuentra en el campo en una carpa. ¿Prefiere quedarse dentro de la carpa o se refugiará en un auto?

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C; $K = 9 \times 10^9$ Nm²/C²; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31}$ kg; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3$ km.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 4

TRABAJO Y POTENCIAL ELECTROSTÁTICO.

Si tiene dudas de cómo calcular una integral de línea consulte la guía TP0 .

P1. El potencial a cierta distancia de una carga puntual es de 600 V y la intensidad de campo eléctrico a la misma distancia es de 200 N/C. ¿Cuál es la distancia a la carga puntual y el valor de la carga?

P2. Se ordenan cuatro cargas positivas en los vértices de un cuadrado cuyo lado vale 0,5 m.

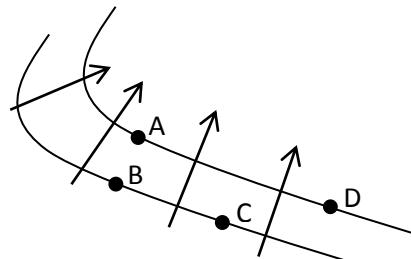
- a) Halle el trabajo necesario para formar el arreglo de cargas sabiendo que cada carga vale 1 μC y que una de ellas se ubica en el origen del sistema cartesiano.
- b) Calcule el potencial en todos los puntos del plano xy en función de las coordenadas x e y .
- c) Calcule, a partir del potencial, el campo en todos los puntos del plano.

P3. Una partícula cargada con 20 μC se localiza rígidamente en un punto que se elige como origen de coordenadas. Se desplaza cuasiestáticamente una partícula de prueba de carga de 1 nC a lo largo de 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.

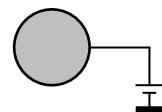
- a) Calcule el trabajo eléctrico realizado sobre la partícula de prueba.
- b) ¿Cuál será la diferencia de potencial $V_B - V_A$?
- c) Suponga ahora que la partícula tiene carga -1 nC, calcule el trabajo eléctrico realizado y compare con el calculado en el inciso a).
- d) ¿Se ve modificada la diferencia de potencial al cambiar la partícula que se mueve? Realice los cálculos para justificar su respuesta.

P4. En la figura se muestran líneas equipotenciales y líneas de campo eléctrico. Si el trabajo para llevar un electrón desde A hasta B es de $-3,6 \times 10^{-19}$ J, obtenga las siguientes diferencias de potencial:

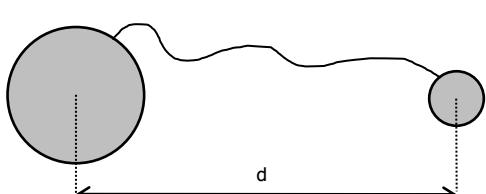
- a) $V_B - V_A$
- b) $V_B - V_C$
- c) $V_A - V_C$
- d) $V_A - V_D$
- e) $V_B - V_D$
- f) $V_D - V_C$



P5. Un cascarón esférico metálico de radio 5 cm se mantiene a un potencial de 300 V, como se indica en la figura. Calcule densidad de carga sobre la superficie.



P6. Se tienen dos esferas conductoras inicialmente descargadas, cuyos radios son 1 cm y 10 cm (ver figura), separadas por una distancia de 50 cm, medida entre sus centros. Se carga una de las esferas con 10^{-8} C y se establece una conexión con un hilo fino, conductor, cuya influencia no se tendrá en cuenta.



- a) Calcular las densidades superficiales de cargas y los potenciales finales de las esferas.
- b) ¿Qué hipótesis realizó para resolver el problema?
- c) Luego se desconectan las esferas, calcule el potencial en cualquier punto del segmento que une los

Constantes:
 $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

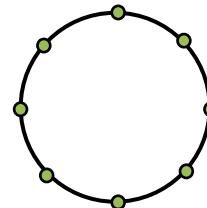
centros de las esferas por fuera de las esferas. Indique y justifique la elección del referencial.

- P7.** Considere dos placas conductoras planas y paralelas separadas 2 cm, sobre las cuales existen cargas de igual magnitud y signos contrarios. Justo al lado de la placa negativa se libera un electrón en reposo que alcanza la placa positiva en 15 ns.

- Determine la intensidad del campo electrostático entre las placas.
- Calcule la velocidad del electrón cuando llega a la segunda placa.
- ¿Cuál es la diferencia de potencial entre las placas?

- C1.** Ocho partículas idénticas con una carga de 2 nC se localizan sobre el perímetro de una circunferencia de 10 cm de radio de forma equiespaciadas.

- Calcule el potencial electrostático en el centro de la circunferencia.
- Si ahora las cargas se distribuyen de forma aleatoria sobre el perímetro de la circunferencia, ¿cambia el potencial?



- C2.** Si una carga positiva se deja libre desde el reposo en un campo eléctrico,

- ¿se moverá hacia una región de mayor o menor potencial eléctrico?
- ¿Qué ocurrirá con una carga negativa?
- ¿Qué ocurre con la energía potencial electrostática para cada una de las partículas?

- P8.** Suponga un hilo de longitud infinita uniformemente cargado con densidad λ , calcule el potencial en cualquier punto del espacio (*revise el ejercicio P7 de la guía de trabajos prácticos Nº 3*). Justifique la elección del referencial.

- P9.** Suponga un cilindro conductor infinito macizo de radio R cargado uniformemente con densidad lineal λ .

- Calcule el campo eléctrico en todos los puntos del espacio.
- Calcule el potencial en todos los puntos del espacio suponiendo que el potencial en $r = R/2$ vale 3 V.
- Determine la diferencia de potencial entre dos puntos ubicados en $r = R/4$ y $r = 3R$.
- ¿Cambiaría su respuesta a la pregunta del inciso c) si el potencial en $r = 0$ hubiese sido 10 V? Justifique.
- ¿Cambiaría su respuesta a la pregunta del inciso c) si el potencial en $r = 5R$ hubiese sido 10 V? Justifique. En este caso indique cuánto vale el potencial en el interior del cilindro.

- P10.** La densidad de carga en una región del espacio es esféricamente simétrica y está dada por

$$\rho(r) = \begin{cases} Ar & \text{si } r < R \\ 0 & \text{si } r > R \end{cases}$$

siendo A una constante.

- Determine el potencial en todos los puntos del espacio como función de la coordenada radial r (*revise el ejercicio P8 de la guía de trabajos prácticos Nº 3*). Indique el referencial utilizado.
- Se cambia el referencial y se lo elige en el radio de la esfera, calcule el nuevo potencial a partir de lo obtenido en el inciso anterior.
- Calcule la diferencia de potencial entre un punto ubicado en $R/2$ y otro en $2R$ para los dos potenciales encontrados anteriormente. Compare los resultados y explique. ¿Qué puede inferir sobre la elección del referencial?

- C3.** Elija el referencial más conveniente para graficar el potencial eléctrico de una carga puntual y realice el gráfico.

- ¿El referencial elegido es el único punto referencial posible?

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C; $K = 9 \times 10^9$ Nm²/C²; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31}$ kg.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

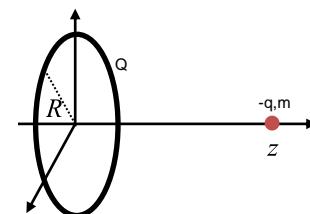
- b) Elija otro referencial y grafique nuevamente el potencial en el gráfico anterior. La diferencia de potencial entre dos puntos arbitrarios P y Q ¿depende del referencial elegido?
- c) ¿Cómo sabe el referencial elegido a partir del gráfico?

P11. Suponga un plano infinito no conductor uniformemente cargado con densidad σ calcule el potencial en cualquier punto del espacio (revise el ejercicio P10 de la guía de trabajos prácticos Nº 2). Justifique la elección del referencial.

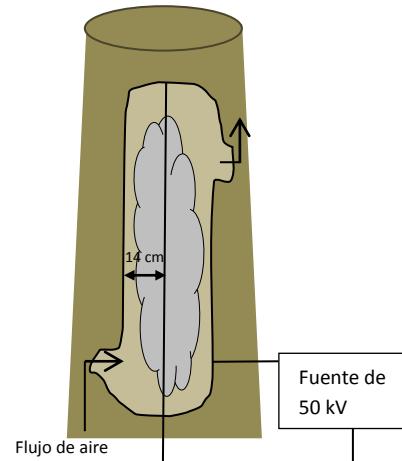
P12. Calcule el potencial en todos los puntos del espacio, indicando claramente el referencial que usa, para las siguientes configuraciones de carga (revise el ejercicio P9 de la guía de trabajos prácticos Nº 3):

- a) dos esferas concéntricas conductoras de radios A y B cargadas con carga Q y $-Q$ respectivamente,
- b) dos cilindros conductores muy largos, con el mismo eje, de radios A y B cargados con densidad lineal de carga λ y $-\lambda$ respectivamente,
- c) dos planos infinitos conductores paralelos separados una distancia A cargados con densidad superficial de carga σ y $-\sigma$ respectivamente.

P13. Un anillo de radio R está fijo y tiene una carga Q uniformemente distribuida. Desde una distancia z desde el origen de coordenadas, se suelta desde el reposo una partícula de masa m y cuya carga es $-q$. Determinar la velocidad de la carga cuando pasa por el centro del anillo.



A1. Los precipitadores electrostáticos se utilizan para eliminar partículas contaminantes de humo, en particular en las chimeneas de las plantas generadoras de energía a base de carbón. Una forma del precipitador consiste en un cilindro metálico, vertical y hueco, con un alambre delgado aislado del cilindro que recorre su eje. Entre el alambre y el cilindro exterior se establece una diferencia de potencial elevada, con el alambre a menor potencial. El campo generado crea una región de aire ionizado cerca del alambre. El humo entra al precipitador por la base, la ceniza y el polvo capturan electrones y los contaminantes con cargas son acelerados por el campo eléctrico hacia la pared del cilindro exterior. Suponga que el radio del alambre central es de $90 \mu\text{m}$, el radio del cilindro es de 14 cm y se establece una diferencia de potencial de 50 kV entre el alambre y el cilindro (el alambre y el cilindro son muy largos comparados con sus respectivos radios). Determine el campo eléctrico en todos los puntos del interior del cilindro.



A2. Antes del advenimiento de la electrónica de estado sólido, en los aparatos de radio y otros dispositivos se usaban bulbos de vacío. Un tipo sencillo de bulbo de vacío conocido como diodo consiste en esencia en dos electrodos en el interior de un compartimiento con alto vacío. Un electrodo se mantiene a temperatura elevada y emite electrones desde su superficie. Entre los dos electrodos hay una diferencia de potencial de algunos cientos de voltios. A causa de la acumulación de carga cerca del electrodo negativo, el potencial eléctrico entre los electrodos no es una función lineal de la posición sino que está dada por $V(x) = C x^{4/3}$, donde x es la distancia desde el electrodo negativo y C una constante característica del diodo en particular y de las condiciones de operación. Suponga que la distancia entre los electrodos es de 13 mm y la diferencia de potencial entre ellos es 295 V .

Constantes:
 $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; masa del electrón: $9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- a) Obtenga una expresión para el campo eléctrico entre los electrodos.
- b) Determine la fuerza que sufre un electrón cuando se encuentra en el punto medio entre los electrodos.

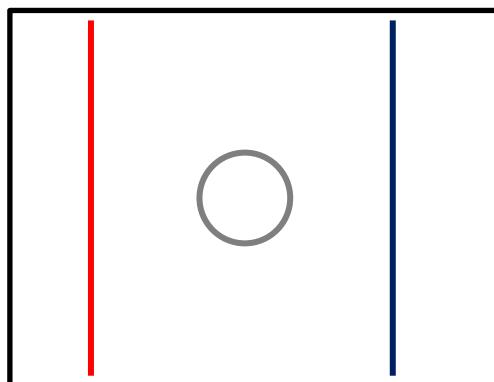
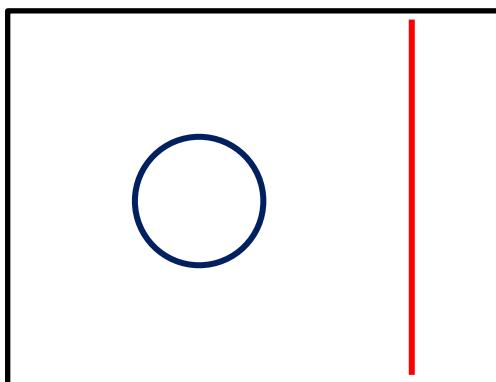
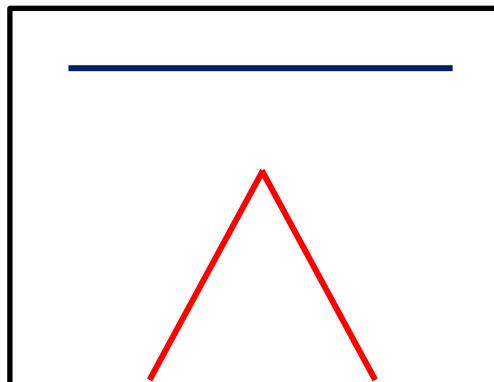
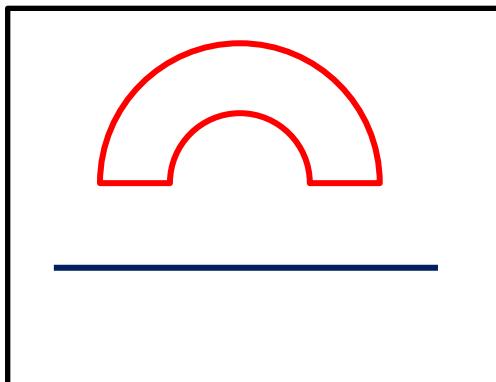
A3. La abertura entre los electrodos de una bujía de automóvil es de 0,64 mm. El campo eléctrico necesario para producir una chispa es de 3×10^6 V/m, ¿qué diferencia de potencial mínima debe aplicarle a la bujía para producir la chispa?

C4. Indique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas, justificando su respuesta:

- a) En todo campo conservativo se conserva la energía potencial.
- b) El potencial eléctrico es una función de estado.
- c) Si \vec{E} es igual a cero en un punto dado, V es cero en dicho punto.
- d) Si se conoce únicamente el valor de \vec{E} en un punto dado, no se puede calcular V en ese punto.

C5. La unidad electrón-volt (eV) ¿es una unidad de carga, potencial o energía eléctrica? ¿Qué representa físicamente? De acuerdo a su respuesta, halle su equivalente en el sistema internacional de unidades (SI).

L1. Dibuje las líneas equipotenciales y las líneas de campo, en todo el plano para las siguientes configuraciones (las líneas rojas representan a los conductores conectados al terminal positivo de la pila, las azules a los conductores conectados al terminal negativo de la pila y las grises son conductores no conectados a ninguna fuente).



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

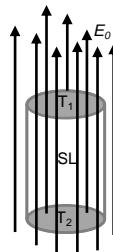
TRABAJO PRÁCTICO Nº 3

FLUJO ELÉCTRICO. LEY DE GAUSS.

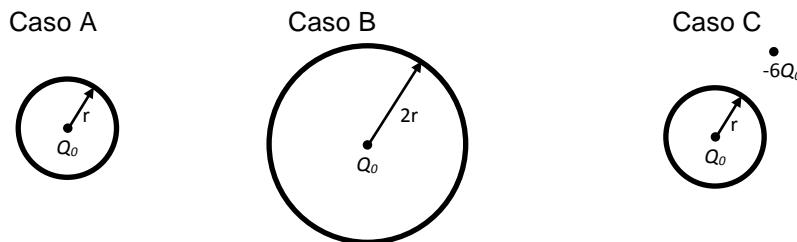
Si tiene dudas de cómo calcular una integral de flujo consulte la guía TP0 .

Para un análisis de las simetrías de diferentes configuraciones de carga ver la filmación de simetrías .

- P1.** Un día en el que amenaza una tormenta, sobre la superficie de la Tierra se mide un campo eléctrico vertical de magnitud 2×10^4 N/C. Un auto, que puede considerarse como un paralelepípedo de techo con lados 5 m y 2 m, viaja a lo largo de un camino inclinado 10° hacia abajo. Determine el flujo eléctrico a través de la base inferior del auto.
- P2.** Un disco circular no conductor posee una densidad superficial de carga 2×10^{-10} C/m². Dicho disco está rodeado por una esfera de 1 m de radio. Si el flujo a través de la esfera es $5,2 \times 10^{-2}$ Nm²/C. ¿Cuál es el diámetro del disco?
- C1.** Se dispone de un cilindro de radio A y altura L. Llamaremos T_1 y T_2 a las tapas del cilindro y SL a su superficie lateral. Si dicho cilindro se encuentra en una región en la que existe un campo eléctrico uniforme de intensidad E_0 y el eje del cilindro es paralelo a la dirección de dicho campo,
- encuentre el valor y el signo del flujo a través de las tres superficies que constituyen el cilindro.
 - ¿El flujo neto a través de la superficie es positivo, negativo o nulo?



- C2.** Cada una de las tres superficies gaussianas (imaginarias) esféricas ilustradas en la figura encierra una carga Q_0 . En el caso C existe una carga adicional de $-6 Q_0$ fuera de la superficie. Determine cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera.
- Dado que las superficies gaussianas de los casos A y C son iguales y como la carga exterior cambia el campo eléctrico, el flujo (a través de cada superficie) en ambos casos es diferente.
 - El flujo a través de las tres superficies gaussianas es el mismo.
 - El flujo eléctrico para la superficie del caso B es el menor, ya que la superficie es la que posee mayor área.



- P3.** Una partícula de carga Q está en el centro de un cascarón esférico cargado con una carga de $-3 Q$. Si el cascarón tiene radios interior R_1 y exterior R_2 , calcule:
- la densidad de carga en cada superficie del cascarón,
 - el campo electrostático en todas partes del espacio (como función de la coordenada radial).
 - Repita los incisos anteriores considerando que la partícula tiene carga $-Q$.

- P4.** Dos esferas iguales de radio 5 cm uniformemente cargadas con densidades volumétricas de carga de $30 \mu\text{C}/\text{m}^3$, se encuentran emplazadas con sus centros separados 15 cm. Utilice la Ley de

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19}$ C; $K = 9 \times 10^9$ Nm²/C²; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3$ km; radio de Marte: $3,39 \times 10^3$ km.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

Gauss y el principio de superposición para establecer el campo electrostático en un punto que se encuentra a 3 cm del centro de una de las esferas, medido perpendicularmente a la línea que une los centros.

- P5.** Suponga un campo electrostático determinado por

$$\vec{E}(x) = \begin{cases} -300 \text{ N/C} \hat{i} & \text{si } x < 0 \\ 300 \text{ N/C} \hat{i} & \text{si } x > 0 \end{cases}$$

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 .

- Realice un esquema de la situación planteada.
 - Determine el flujo del campo electrostático que atraviesa cada tapa del cilindro y la superficie curvada del mismo (cuerpo).
 - ¿Cuál será el flujo total a través de la superficie cerrada?
 - ¿Cuál será la carga neta en el interior del cilindro?
- P6.** Una lámina no conductora con densidad superficial de carga constante, se encuentra en posición vertical. Una bolita plástica de masa m posee una carga eléctrica Q del mismo signo de la carga de la lámina. La bolita cuelga de un punto de la lámina mediante un hilo no conductor de masa despreciable. En condiciones electrostáticas, determine el ángulo que forman el hilo y la lámina (*recuerde el ejercicio P10 de la guía de trabajos prácticos N°2*).

- P7.** Un cable coaxil se compone de un alambre metálico recubierto por una capa aislante, que a la vez está recubierta por una corteza cilíndrica metálica, de manera que los ejes del alambre y la corteza coinciden. Considere un cable coaxil recto y muy largo, tal que el radio del alambre interior es de 1,5 cm y los radios interior y exterior de la corteza metálica son 4,5 cm y 6,5 cm, respectivamente. Suponga que una densidad lineal de carga de 6 nC/m se distribuye uniformemente en el conductor interior.
- ¿Cuáles serán las densidades superficiales de carga en el alambre y en las superficies interior y exterior de la corteza?
 - Determine el campo electrostático como función de la distancia al alambre (coordenada radial en el sistema de coordenadas cilíndrico).
 - ¿Cambiaría la respuesta del inciso a) si los ejes de ambos conductores se conservan paralelos pero no coincidentes?

- P8.** La densidad volumétrica de carga en una región del espacio es esféricamente simétrica y está dada por

$$\rho(r) = \begin{cases} A r & \text{si } r < R \\ 0 & \text{si } r > R \end{cases}$$

siendo A una constante con unidades.

- Determine las unidades de A .
- Calcule el campo electrostático en todos los puntos del espacio como función de la coordenada radial r , suponiendo que la carga es positiva.
- Calcule el campo electrostático en todos los puntos del espacio como función de la coordenada radial r , suponiendo que la carga es negativa.

- P9.** Calcule el campo eléctrico en todos los puntos del espacio para las siguientes configuraciones de carga (suponga que los espesores de los conductores son despreciables):

- dos esferas concéntricas conductoras de radios A y B cargadas con carga Q y $-Q$ respectivamente,
- dos cilindros conductores muy largos, con el mismo eje, de radios A y B cargados con densidad lineal de carga λ y $-\lambda$ respectivamente,

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3 \text{ km}$; radio de Marte: $3,39 \times 10^3 \text{ km}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- c) dos planos infinitos conductores paralelos separados una distancia A cargados con densidad superficial de carga σ y $-\sigma$ respectivamente.

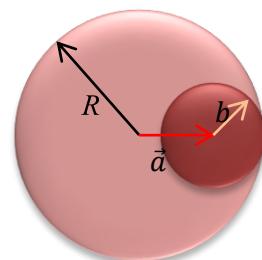
P10. Una placa plana infinita, no conductora, de espesor 4 cm está uniformemente cargada con una densidad de carga de $2 \times 10^{-8} \text{ C/m}^3$.

- Obtenga la expresión del campo eléctrico en el interior y en el exterior de dicha placa.
- Represente el módulo del campo eléctrico en función de la distancia a la placa.

P11. Una esfera de radio R posee una carga uniformemente distribuida en todo su volumen y tiene una cavidad esférica de radio b , como se ilustra en la figura. El centro de la cavidad está desplazado respecto al centro de la esfera por una distancia a . Demuestre que el campo eléctrico en la cavidad es uniforme y está dado por:

$$\vec{E} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{a},$$

siendo \vec{a} el vector posición que apunta desde el centro de la esfera al centro de la cavidad.



C3. Se tiene una esfera conductora con densidad de carga σ y radio R . Se elige para aplicar Gauss una superficie imaginaria esférica concéntrica a la carga, de radio igual a $3R$.

- ¿cambiará el valor del flujo eléctrico si:
 - el radio disminuye a $2R$?
 - la superficie se sustituye por una irregular?
 - la esfera cargada permanece en el interior de la superficie gaussiana, pero se la desplaza del centro?
 - la esfera cargada se sitúa fuera de la superficie gaussiana?
 - aparte de la carga inicial se colocan dos esferas cargadas con diferente carga fuera de la superficie gaussiana?
- Calcular el flujo en cada caso.
- Indique en cuáles de los casos del inciso a (i, ii, iii, iv, v) puede calcular el campo eléctrico utilizando la Ley de Gauss.

C4. Indique si puede utilizar la Ley de Gauss para calcular el campo eléctrico, justificando su respuesta, si se tiene una esfera no conductora con densidad volumétrica:

- $\rho = K$,
- $\rho = K r$,
- $\rho = K r^2$,
- $\rho = K \sin \theta \cos \varphi$,
- $\rho = K r \cos \theta \cos \varphi$,

donde K es una constante, 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.

C5. Justifique por qué no puede realizar las siguientes afirmaciones

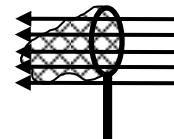
- La Ley de Gauss es válida sólo en el caso de distribuciones de cargas simétricas.
- El campo eléctrico en una región del espacio está dado por las cargas que se encuentran en el interior de la superficie gaussiana.
- Si no existe ninguna carga en una región del espacio, el campo eléctrico debe ser cero en todos los puntos de una superficie que rodea a la región citada.
- Se puede deducir a partir de la Ley de Gauss que en el interior de cualquier conductor en equilibrio electrostático el campo eléctrico es nulo.

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3 \text{ km}$; radio de Marte: $3,39 \times 10^3 \text{ km}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- A1.** Marte es uno de los planetas del sistema solar que ha desarrollado la imaginación de muchos humanos. Fue llamado así por el dios de la guerra de la mitología romana, Marte y apodado el Planeta rojo por el color con el que lo vemos. Este color está dado por el óxido de hierro que se encuentra en su superficie. Posee dos satélites naturales, Deimos y Fobos. Se han realizado numerosos análisis de su trayectoria por diversos astrónomos célebres, como ser Tycho Brahe y Johannes Kepler (quien a partir de los datos observacionales dedujo las leyes de Kepler que determinan el movimiento de los planetas). Algunos astrónomos han sugerido que este peculiar planeta tiene un campo eléctrico parecido al de la Tierra y que produce un flujo neto de $3,63 \times 10^{16} \text{ Nm}^2/\text{C}$ en su superficie. ¿Cuál será la carga total y la densidad de carga del planeta rojo? Compare con los resultados del ejercicio P3 de la guía de trabajos prácticos N°2.
- A2.** Una red para cazar mariposas está inmersa en una región donde existe un campo eléctrico uniforme (ver figura). El aro es un círculo de radio A y está alineado perpendicularmente al campo. Halle el flujo eléctrico a través de la red, respecto de la normal hacia afuera. ¿Cómo cambiaría el flujo eléctrico si se considerara la normal hacia adentro?
- A3.** Los vehículos espaciales que viajan a través de los cinturones de radiación de la Tierra chocan con electrones atrapados (en los cinturones). Puesto que en el espacio no se puede conectar la nave a Tierra, la carga resultante acumulada puede ser significativa y dañar a los componentes electrónicos, generando averías en los circuitos de control y otras anomalías operativas. Un satélite metálico esférico de 1,3 m de diámetro acumula $2,4 \mu\text{C}$ en una revolución orbital.
- Determine la densidad de carga superficial.
 - Calcule el campo eléctrico resultante inmediatamente afuera de la superficie del satélite. Compare con el ejercicio A4 de la guía de trabajos prácticos N°2.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 5

CAPACIDAD.

P1. Calcule la capacidad para las siguientes configuraciones de conductores (revise el ejercicio P12 de la guía de trabajos prácticos N° 4):

- dos esferas concéntricas conductoras de radios A y B ,
- dos cilindros conductores muy largos, con el mismo eje, de radios A y B ,
- dos planos infinitos conductores paralelos separados una distancia d .

P2. En las tormentas eléctricas, la diferencia de potencial entre la Tierra y la parte inferior de las nubes puede ser tan alta como 35 MV. La parte inferior de las nubes se encuentra a una altura típica de 1500 m de la corteza terrestre y puede tener superficies de hasta 110 km^2 . Calcule:

- la capacidad del sistema Tierra nube,
- la carga almacenada,
- la energía almacenada en el sistema.

C1. Discuta cómo puede calcular la capacidad de la Tierra al considerarla como una esfera.

C2. ¿Qué determina la capacidad de un capacitor?

C3. Discuta el significado de ϵ_0 y en qué afectaría el cambio del medio del interior del capacitor (la permitividad del dieléctrico se calcula como $\epsilon = \kappa \epsilon_0$).

C4. La ruptura dieléctrica se produce cuando el campo eléctrico supera un valor crítico (según el medio) generando una chispa. Según la tabla, ¿dónde es más fácil producir una chispa? (recuerde los experimentos E2 de la guía de trabajos prácticos N° 1, E1 de la guía de trabajos prácticos N° 2 y E1 de esta guía de trabajos prácticos).

| Constantes dieléctricas y campo eléctrico máximo antes de la ruptura dieléctrica a temperatura ambiente | | |
|---|--------------------------------|---|
| Material | Constante dieléctrica κ | Campo eléctrico máximo (10^6 V/m) |
| Aire | 1,00059 | 3 |
| Baqueilita | 4,90 | 24 |
| Fusible de cuarzo | 3,78 | 8 |
| Goma de neoprén | 6,70 | 12 |
| Nilón | 3,40 | 14 |
| Papel | 3,70 | 16 |
| Porcelana | 6,00 | 12 |
| Vidrio Pyrex | 5,60 | 14 |
| Aceite siliconado | 2,50 | 15 |
| Teflón | 2,10 | 60 |
| Vacio | 1,00 | -- |
| Agua | 80,00 | -- |

P3. Un capacitor compuesto de dos placas conductoras paralelas, cada una de área $11,3 \text{ cm}^2$, separadas por una distancia de 1 mm tiene su interior lleno de aire. Si se conectan las placas a una batería que mantiene una diferencia de potencial de 20 V entre las mismas, calcule:

- el campo eléctrico entre las placas,
- la capacidad,
- la carga sobre cada placa,
- la densidad de carga superficial,
- la densidad de energía entre las placas del capacitor.

P4. Las placas de un capacitor plano tienen una superficie de 10 cm^2 y están separadas una distancia de 2 mm. El capacitor se carga con una batería de 9 V y después se desconecta de la misma. A continuación se coloca una placa de material conductor de igual área y espesor 0,5 mm, a una distancia equidistante de ambas placas del capacitor. En esas condiciones calcule:

- la nueva capacidad del sistema,
- la diferencia de potencial del sistema,

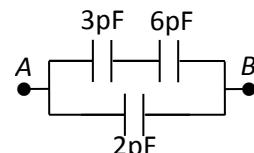
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- c) la carga de la nueva configuración.

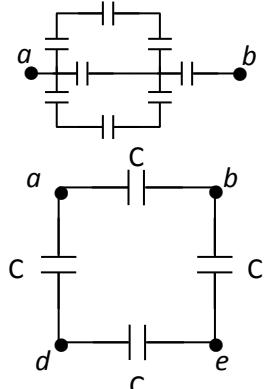
- C5.** Un capacitor plano de área A y separación entre placas d , se conecta a una batería que mantiene constante la diferencia de potencial V entre las placas. Si se duplica la separación entre las placas, discuta si se ven modificadas o no las siguientes cantidades:
- la carga sobre las placas,
 - el campo eléctrico entre las placas,
 - la energía almacenada,
 - la densidad de energía,
 - la diferencia de potencial.

- C6.** Un capacitor plano de área A y separación entre placas d , se conecta a una batería de diferencia de potencial V , de forma tal de cargar al capacitor, y luego se lo desconecta de la misma. Si se duplica la separación entre las placas, discuta si se ven modificadas o no las siguientes cantidades:
- la carga sobre las placas,
 - el campo eléctrico entre las placas,
 - la energía almacenada,
 - la densidad de energía,
 - la diferencia de potencial.

- P5.** La red de la figura se conecta a una batería de 12 V, entre los puntos A y B .
- Encuentre la capacidad equivalente entre los puntos A y B .
 - Calcule la diferencia de potencial en cada capacitor.
 - Encuentre la carga en cada capacitor.
 - Calcule la energía almacenada en el sistema y en cada capacitor.



- P6.** Considerando el arreglo de la figura de la derecha, determine la capacidad equivalente entre los puntos a y b de la figura, suponiendo que todos los elementos tienen una capacidad C .

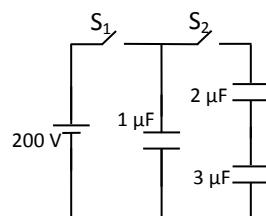


- C7.** Una batería puede conectarse entre los puntos a y b o bien entre los puntos a y e del circuito mostrado en la figura. Grafique las dos conexiones. ¿En qué caso el sistema adquirirá mayor carga? Justifique.

- C8.** Si a usted le dan tres capacitores idénticos,
- ¿cuántas combinaciones diferentes puede producir?
 - Si les aplica a cada combinación el mismo voltaje ¿cuál de ellas almacena mayor energía?

- P7.** Un capacitor de $5 \mu\text{F}$ se carga a 200 V y un capacitor de $2 \mu\text{F}$ se carga a 130 V . Despues de cargados se conectan las placas positivas entre sí y lo mismo se hace con las placas negativas.
- Calcule la diferencia de potencial y la carga final en cada capacitor.
 - ¿Cuál sería el voltaje y la carga en cada capacitor si se conectaran los terminales de signo opuesto entre sí en vez de los del mismo signo?
 - Determine la energía total almacenada antes y después de que se conectaron los dos capacitores tanto en el inciso a) como en el b).

- P8.** Tres capacitores se conectan como se indica en la figura. Primero se cierra el interruptor S_1 . Luego de transcurrido un tiempo largo se abre S_1 y se cierra S_2 .
- ¿Cuál es la diferencia de potencial en cada capacitor después de



Constantes:
 $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; radio de la Tierra: $6,378 \times 10^3 \text{ km}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- trascurrido mucho tiempo de cerrada S_2 ?
 b) ¿Cuál es la carga en cada capacitor?

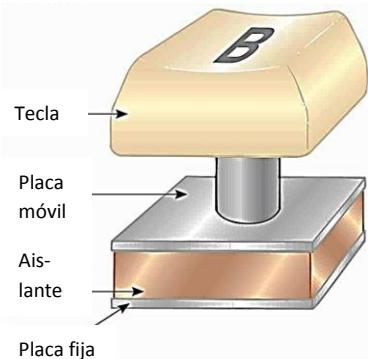
- P9.** El sistema de la figura está formado por una esfera conductora y por dos discos conductores idénticos. La esfera tiene una capacidad de 10 pF. Los discos tienen un radio de 36 mm y forman un capacitor plano paralelo de capacidad 360 pF. Uno de los discos conductores permanece en todo momento conectado a tierra. El otro disco está conectado mediante un cable suficientemente largo y delgado a la esfera. La esfera se conecta al electrodo negativo de una batería de 300 V, cuyo electrodo positivo está conectado a tierra.



- a) Calcule el radio de la esfera y la separación de las placas.
 b) Calcule la carga de cada uno de los conductores.

- A1.** Un cable coaxil utilizado para conectar una TV a la señal de cable es un capacitor cilíndrico de capacidad por unidad de longitud de 69 pF/m
 a) Calcule el cociente de los radios de los conductores interior y exterior (ver ejercicio P1).
 b) Si la diferencia de potencial entre las conductores interior y exterior es de 2 V ¿cuál es la densidad lineal de carga en cada uno de los conductores?

- A2.** En cierto tipo de teclados de computadora, cada tecla está conectada a una placa metálica que funciona como una de las placas de un capacitor. La otra placa del capacitor está fija en la carcasa del teclado. Cuando se oprime la tecla, la separación entre las placas disminuye ¿qué ocurre con la capacidad?
 Los circuitos electrónicos detectan el cambio de la capacidad y con ello la tecla que se oprimió. En un teclado en particular el área de cada placa metálica es de 42 mm^2 y la separación de las placas es de 0,7 mm antes de oprimir la tecla. El valor de la constante dieléctrica del aislante es 1,00059.



- a) Calcule la capacidad antes de oprimir la tecla.
 b) Si los circuitos son capaces de detectar un cambio en la capacidad de 0,25 pF, ¿qué distancia se debe oprimir la tecla para que los circuitos lo detecten?

- A3.** El sintonizador de una radio antigua está integrado por un capacitor variable con cuatro placas móviles conectadas entre sí, las cuales se conectan en forma alternada entre cuatro placas adicionales fijas. Cada placa está separada de la otra por una distancia de 1 mm. Las placas móviles se pueden desplazar de tal forma que el área de solapamiento de cada placa varíe desde 2 cm^2 hasta 9 cm^2 .
 a) ¿Los capacitores están conectados en serie o paralelo?
 b) Determine el rango de capacidad del dispositivo.

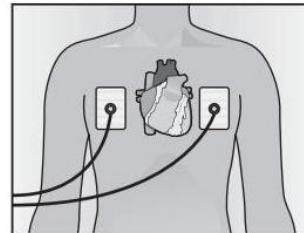
- A4.** Las unidades de flash electrónicas de las cámaras fotográficas contienen un capacitor que almacena energía para producir el destello. El destello dura 1,5 ms y la potencia luminosa es de $2,7 \times 10^5 \text{ W}$. La diferencia de potencial entre las placas del capacitor es de 125 V. Si la conversión de energía eléctrica en luz tiene una eficiencia del 95% (el resto de la energía se transforma en

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

energía térmica), calcule:

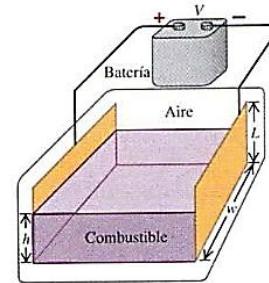
- la energía que debe almacenar el capacitor para obtener el destello,
- la capacidad del capacitor.

- A5.** Durante un ataque cardíaco el corazón late de manera errática (fibrilación). Una forma de lograr que el corazón vuelva a su ritmo normal es impartirle energía eléctrica suministrada por un desfibrilador cardíaco. Para producir el efecto deseado se requieren aproximadamente 300 J. Típicamente un desfibrilador almacena esta energía en un capacitor cargado por una fuente de 5000 V.



- ¿Cuál es la capacidad del instrumento?
- ¿Cuál es la carga en las placas del capacitor?

- A6.** Un medidor de combustible utiliza un capacitor para determinar la altura que alcanza el combustible dentro del tanque. La constante dieléctrica efectiva cambia del valor 1 (cuando el tanque está vacío) a una valor κ (cuando el tanque está lleno). Uno de los sistemas de circuitos eléctricos del auto puede determinar la constante dieléctrica efectiva de la combinación de aire y combustible al considerar al tanque como un capacitor.



- A7.** Dentro de algunos modelos de micrófonos hay un capacitor con una placa rígida y otra flexible. Las dos placas se mantienen a una diferencia de potencial constante. Las ondas sonoras provocan que la placa flexible se mueva hacia adelante y atrás provocando un cambio en la capacidad del capacitor. Este cambio de capacidad ocasiona un movimiento de cargas (¿por qué?) convirtiendo la onda sonora en un flujo de cargas, el cual se puede amplificar y grabarse en forma digital.

E1. Botella de Leyden

Materiales:

Papel aluminio (de cocina), una pequeña botella de plástico, cable, clavo largo (o tornillo), trozo de polietileno, televisión vieja (que funcione).

Armado del dispositivo:

- Llene la botella de plástico con el papel aluminio aplastándolo lo mejor que pueda contra las paredes internas.
- Tape la botella con un trozo de polietileno y atraviéselo con el clavo hasta tocar el papel de aluminio del interior de la botella.
- Cubra la parte externa de la botella con papel de aluminio sin tocar el cuello de la botella.
- Enrolle un trozo de cable pelado a la botella, dejando libre un extremo.
- Cubra la pantalla de la televisión con papel aluminio.
- Conecte a tierra el cable de la botella.
- Toque con el clavo la pantalla de la televisión, teniendo cuidado en no tocar el cable o el papel aluminio exterior.
- Encienda la televisión y espere 20 segundos aproximadamente. Explique qué sucede.
- Separé el clavo de la pantalla de la televisión y desconecte el cable de tierra sin tocarlo.
- Tome el extremo del cable sin tocar el cobre y acérquelo al clavo.
 - ¿Qué observa?
 - ¿Cómo puede explicar el fenómeno? (recuerde el punto C4)
 - ¿Cómo se comporta la botella de Leyden?



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- L1. Se utilizó un capacitor de placas planas paralelas para determinar la permitividad de un material desconocido (la distancia de separación entre las placas es $d = 5 \text{ mm}$). Se obtuvieron los siguientes resultados

| Material desconocido | |
|----------------------|-----------------|
| $A [\text{m}^2]$ | $C [\text{pF}]$ |
| 0,006 | 64 |
| 0,012 | 126 |
| 0,018 | 191 |
| 0,024 | 254 |
| 0,030 | 320 |
| 0,036 | 384 |
| 0,042 | 446 |
| 0,048 | 508 |
| 0,054 | 576 |
| 0,060 | 639 |

Determine la permitividad y compare con los valores tabulados. ¿Puede determinar, a partir de la tabla de permitividades y su resultado experimental, el material desconocido?

Nota: Para calcular la mejor recta que ajusta los N puntos $(x_i; y_i)$ se definen:

$$S_x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad S_y = \sum_{i=1}^N y_i; \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i; \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2$$

entonces, la pendiente y la ordenada al origen de la recta $y = a x + b$ se obtienen:

$$a = \frac{N S_{xy} - S_x S_y}{N S_{xx} - S_x^2}; \quad b = \frac{S_y S_{xx} - S_{xy} S_x}{N S_{xx} - S_x^2}$$

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 7

CAMPO MAGNÉTICO. LEY DE BIOT-SAVART Y LEY DE AMPERE

- C1.** Discuta con sus compañeros dónde identifica la presencia de campos magnéticos en la vida cotidiana.

E1. Visualización de líneas de campo magnético

Materiales:

Glicerina líquida, limaduras de hierro, frasco, imanes.

Armado del dispositivo:

- i. Vierta las limaduras de hierro en el frasco.
 - ii. Llene el frasco con glicerina (sin llegar al borde) y ciérrelo.
 - iii. Agite el frasco para suspender las limaduras y luego acerque los imanes.
- a) ¿Qué observa?
 - b) ¿Cómo puede explicar la disposición espacial adoptada por las limaduras de hierro?
 - c) ¿Coincide lo observado con la teoría?

| Campo magnético | |
|----------------------------|--------------|
| Enana blanca | 10 kT |
| Aceleradores de partículas | 10 T |
| Resonancia magnética | 1,5 T |
| Manchas solares | 1T |
| Imán | 0,01 T |
| Superficie de la Tierra | 50 μ T |
| Junto a un teléfono móvil | 100 μ T |
| Cerebro humano | 10^{-13} T |



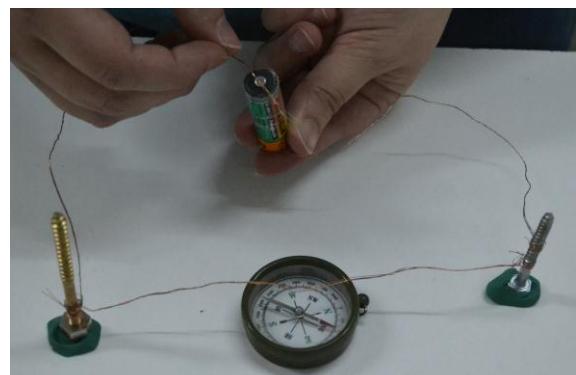
E2. Experimento de Oersted

Materiales:

Pila, trozo de alambre y brújula.

Armado del dispositivo:

- i. Coloque la brújula debajo del alambre y observe la dirección en la que apunta antes de comenzar el experimento.
 - ii. Conecte la pila al trozo de alambre (tenga cuidado que puede quemar, ¿por qué?).
- a) ¿Qué observa?
 - b) ¿Hacia dónde se desvía la brújula?
 - c) ¿Qué dirección tendrá el campo magnético generado por la corriente?
 - d) ¿Qué sucederá si se invierte el sentido de la corriente?



- P1.** Se tiene un conductor de longitud 20 cm orientado según el eje x , por el cual circula una corriente de 20 A. El conductor se encuentra ubicado entre los puntos $x = 0$ y $x = 20$ cm.

Constantes:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2; \text{ campo magnético de la Tierra: } 0,5 \times 10^{-4} \text{ T.}$$



Física II

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- Determine el campo magnético en un punto arbitrario sobre el eje y .
- Discuta la dirección y sentido del campo magnético y el valor de su módulo en relación al sentido de circulación de la corriente en el cable.

P2. Un alambre delgado y largo transporta una corriente de 25 A. Determine el campo magnético en un punto arbitrario del plano xy suponiendo que el alambre se localiza a lo largo del eje x .

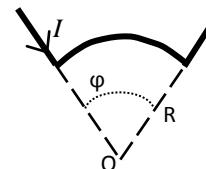
P3. Dos alambres paralelos muy largos se encuentran separados por una distancia de 8 cm.

- Discuta en qué sentido deben circular las corrientes en los alambres para que el campo magnético en el punto equidistante a ambos conductores sea no nulo.
- ¿Cuáles son las intensidades de las corrientes que deben circular en los alambres para que el campo magnético en el punto equidistante tenga una magnitud de 296 μT ? Suponga que las intensidades de corriente en ambos alambres son iguales.

A1. Dos excursionistas leen una brújula debajo de una línea de trasmisión situada a 5,5 m del suelo, que transporta una corriente de 800 A en la dirección Norte - Sur.

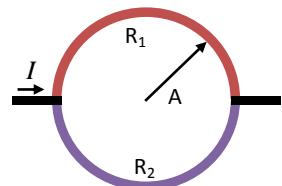
- ¿Podrán los excursionistas determinar correctamente la dirección Norte? (*revise el experimento E2 de esta guía de trabajos prácticos*).
- Uno de los excursionistas sugiere caminar 50 m para evitar las lecturas inexactas causadas por la corriente. ¿Cómo justifica esta sugerencia?
- ¿Para dónde debería caminar?

P4. Calcule el campo magnético en el punto O del conductor de la figura si por el mismo circula una corriente I . El ángulo subtendido por el arco es ϕ y el radio del arco es R .



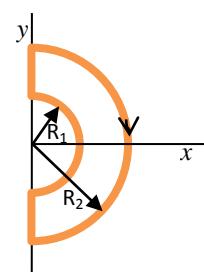
P5. Un conductor está formado por dos cables de forma semicircular (de radio A) de resistencias R_1 y R_2 tales que $R_1 = 3 R_2$ (ver figura). Este conductor está conectado a dos cables rectos muy largos, y de resistencia despreciable por los que circulan una corriente I .

- Calcule la corriente que circula en cada tramo semicircular.
- ¿Cuál es el campo en el centro del anillo?



P6. Por la espira conductora de la figura circula una corriente de 15 A. Los radios son $R_1 = 10 \text{ cm}$ y $R_2 = 20 \text{ cm}$

- Calcule la magnitud y la dirección de campo magnético en el origen. Exprese el resultado en coordenadas cartesianas.
- Si ahora la espira de radio R_1 se dobla 90° localizándola en el plano yz , calcule el campo en el origen. Compare este resultado con el obtenido en el inciso a).



P7. Suponga una espira de radio A por la que circula una corriente I .

- Determine el campo magnético en todo punto ubicado en el eje de la espira.
- Utilizando el resultado del inciso anterior evalúe el campo magnético en el centro de la espira.

A2. Los rayos pueden producir corrientes de hasta 20 kA aproximadamente. Suponga que una persona es tan desafortunada que está a 5 m del lugar donde "cae" el rayo (modele al rayo como una

Constantes:
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$.



Física II

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

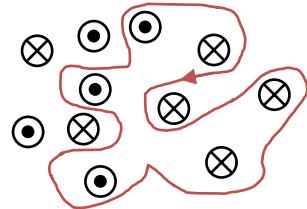
corriente recta infinita).

- ¿Cuál será el campo magnético que experimenta? (revise el ejercicio P2 de esta guía de trabajos prácticos).
- ¿Es comparable este campo magnético al experimentado por una persona a 5 cm de una corriente eléctrica doméstica de 10 A? (suponga un cable muy largo en comparación con la distancia entre la persona y el cable).

- C2.** Considerando la curva de la figura, el valor que toma la integral de línea $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ es:

- un número positivo;
- un número negativo;
- cero;
- no posee los argumentos para indicar el resultado de la integral.

Justifique su respuesta indicando claramente sus hipótesis.

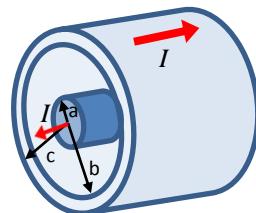


- C3.** Un alambre recto y largo conduce una corriente constante I . Considerando la Ley de Ampere indique el resultado de la integral de línea del campo magnético en los siguientes casos:

- una curva no circular ubicada en un plano perpendicular al alambre y que encierra al alambre;
- una curva circular ubicada en un plano perpendicular al alambre y que encierra al alambre;
- una curva que no encierra al alambre;
- una curva circular ubicada en un plano que forma un ángulo Φ con el alambre y que encierra al alambre.

- C4.** Para los casos del ejercicio anterior (C3) indique en cuáles podrá utilizar la Ley de Ampere y en cuáles correspondería usar la Ley de Biot-Savart para obtener el campo magnético sobre la curva. ¿Cuál es el método más general para calcular el campo magnético generado por un conductor por el que circula corriente?

- P8.** Considere la sección transversal de un cable coaxil (ver figura). Por los conductores circulan corrientes de igual intensidad y antiparalelas, distribuidas uniformemente.



- Calcule el campo magnético en todos los puntos del espacio.
- Grafique el módulo del campo magnético como función de la distancia al centro del eje.

- P9.** Un cilindro largo, recto, sólido y orientado con su eje en la dirección \hat{k} conduce una corriente cuya densidad viene dada por la expresión:

$$\vec{J} = \begin{cases} \frac{2I_0}{\pi a^2} \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right] \hat{k} & r \leq a \\ 0 & r > a \end{cases}$$

donde a es el radio del cilindro, r es la distancia radial desde el eje del cilindro e I_0 es una constante expresada en Ampere.

- Calcule la corriente total que circula por el cilindro.
- Calcule la corriente que circula a través de una sección trasversal de radio r . Analice los casos $r < a$ y $r > a$.
- Calcule el campo magnético en todo el espacio como función de la distancia radial desde el eje del cilindro.

Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$.



Física II

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

d) Grafique el módulo del campo en función de la distancia radial.

P10. Considere un solenoide de N vueltas y dimensiones tales que su radio A es muy pequeño comparado con su longitud L . Sabiendo que por el mismo circula una corriente I , calcule el campo magnético en su interior.

P11. Considere un toroide de 500 vueltas por el cual circula una corriente de 300 mA. Su radio interior es $R_1 = 75$ mm y su radio exterior es $R_2 = 90$ mm. Calcule el campo magnético en todos los puntos del espacio.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 6

CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA.

P1. En un tubo fluorescente de 3 cm de diámetro pasan a través de su sección transversal 2×10^{18} electrones y $0,5 \times 10^{18}$ iones positivos cada segundo. ¿Cuál es la corriente que circula por el tubo?

P2. Un alambre de plata de sección transversal circular de 1 mm de radio transporta 7200 C en 1 hora. Se sabe que la plata tiene disponible un electrón libre por átomo, que su densidad es $10,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ y su masa atómica es 108 g/mol. Calcule:
 a) la cantidad de electrones que se mueven en una hora,
 b) la velocidad de los electrones,
 c) la densidad de corriente.

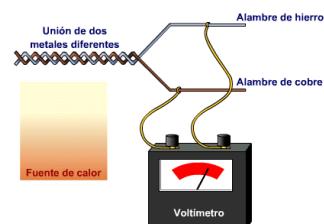
P3. Un fluido con resistividad de $9,4 \Omega\text{m}$ se filtra hacia el espacio entre las placas de un capacitor de placas paralelas de capacidad 110 pF (cuando entre las platas hay vacío). Calcule, cuando el espacio está completamente lleno, la resistencia entre placas.

C1. Se fabrican dos resistencias del mismo material y de igual longitud. Si una de las resistencias posee una sección transversal el doble que la otra y se conectan en serie entre los terminales de una batería, obtenga:
 a) la relación entre las densidades de corrientes que circulan por cada una de ellas,
 b) la relación entre las diferencias de potencial de sus extremos,
 c) la relación entre los campos eléctricos en ellas.

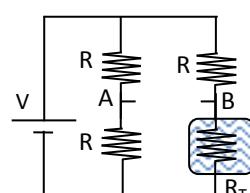
| Material | Resistividad ($\Omega \text{ m}$) | $\alpha (\text{ }^\circ\text{C}^{-1})$ |
|------------------|-------------------------------------|--|
| Plata | $1,59 \times 10^{-8}$ | $3,80 \times 10^{-3}$ |
| Cobre | $1,70 \times 10^{-8}$ | $3,90 \times 10^{-3}$ |
| Oro | $2,44 \times 10^{-8}$ | $3,40 \times 10^{-3}$ |
| Aluminio | $2,82 \times 10^{-8}$ | $3,90 \times 10^{-3}$ |
| Tungsteno | $5,60 \times 10^{-8}$ | $4,50 \times 10^{-3}$ |
| Hierro | $10,0 \times 10^{-8}$ | $5,00 \times 10^{-3}$ |
| Platino | $11,0 \times 10^{-8}$ | $3,92 \times 10^{-3}$ |
| Plomo | $22,0 \times 10^{-8}$ | $3,90 \times 10^{-3}$ |
| Aleación nicromo | $1,50 \times 10^{-6}$ | $0,40 \times 10^{-3}$ |
| Carbono | $3,50 \times 10^{-5}$ | $-0,50 \times 10^{-3}$ |
| Germanio | 0,46 | $-48,0 \times 10^{-3}$ |
| Silicio | $2,30 \times 10^3$ | $-75,0 \times 10^{-3}$ |
| Vidrio | $10^{10} \text{ a } 10^{14}$ | |
| Hule vulcanizado | $\sim 10^{13}$ | |
| Azufre | 10^{15} | |
| Cuarzo fundido | $75,0 \times 10^{16}$ | |

P4. Un alambre de platino tiene una resistencia de $0,5 \Omega$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ y puesto en un baño de agua su resistencia se eleva a $0,6 \Omega$. ¿Cuál es la temperatura del baño? Recordar que R_0 se mide a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

A1. Una termocupla es un dispositivo compuesto por dos metales diferentes unidos por un extremo. Al calentarse, los materiales cambian su resistencia y entre los dos extremos libres se produce una diferencia de potencial muy pequeña. A partir de ésta puede determinarse la temperatura (es decir que son sensores de temperatura). Estos instrumentos son muy utilizados en calefacciones a gas y hornos.



P5. En el circuito puente de la figura, la resistencia R_T está sumergida en un líquido y aislada eléctricamente. Su resistencia es 100Ω cuando la temperatura es de $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y su coeficiente térmico de resistividad es $0,0008 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Las resistencias R valen 100Ω y la diferencia de potencial entregada por la batería es 5 V. ¿Cuál será la temperatura del líquido del recipiente en el que está sumergido R_T , si la diferencia de potencial $V_B - V_A$ es de $-0,85 \text{ mV}$?



Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; número de Avogadro: $6,02 \times 10^{23}$ átomos/mol; $c_v = 4190 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ kg/l}$.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- P6.** La diferencia de potencial entre los bornes de una batería es de 14,7 V cuando el circuito está abierto, mientras que al cortocircuitar sus bornes entrega una corriente de 200 A. Calcule la intensidad de corriente al conectar una resistencia de 0,5 Ω a dicha batería.

- C2.** Las baterías siempre se rotulan con su fem (por ejemplo una batería AA se rotula como de 1,5 V). ¿Por qué no sería apropiado incluir un rótulo en las baterías que indique la corriente que suministran?

- P7.** Dos resistencias, $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 3,3 \text{ k}\Omega$, se conectan en serie junto a una batería. La diferencia de potencial en bornes de la batería es de 12 V.

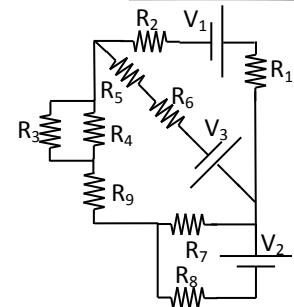
- Encuentre la caída de potencial en cada resistencia.
- Si en paralelo con R_2 se conecta otra resistencia de 2,7 kΩ, la nueva diferencia de potencial en bornes de la batería es de 11,92 V (no se cambia de batería). Explique qué ocurre y cómo modelaría la conexión de la resistencia interna de la batería.
- Obtenga la resistencia interna de la batería y su fem.

- P8.** Una cafetera eléctrica tiene una resistencia de 22 Ω. ¿Cuántas cafeteras pueden conectarse en paralelo a una batería de 220 V, si el fusible que protege la misma soporta una corriente máxima de 30 A? ¿Qué ocurre si conecto otra cafetera a la cantidad obtenida anteriormente?

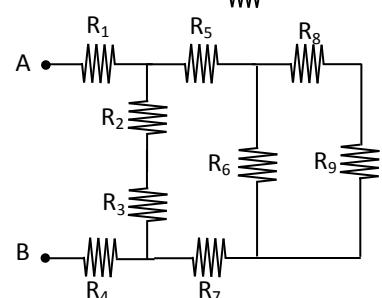
- C3.** En los estabilizadores de tensión que se conectan a las computadoras hay un fusible que consta de un cable delgado en un tubo de vidrio. Explique qué ocurre con el hilo si circula una corriente elevada. ¿Cómo lo que sucede al hilo contribuye para proteger a los aparatos electrónicos conectados al estabilizador?



- C4.** Discuta qué condiciones deben cumplir dos resistencias para considerar que se encuentran conectadas en serie y para considerar que se encuentran conectadas en paralelo.



- C5.** Analice el circuito de la figura e identifique cuáles resistencias se encuentran en serie y cuáles en paralelo, tomando en cuenta lo discutido en el ejercicio anterior.

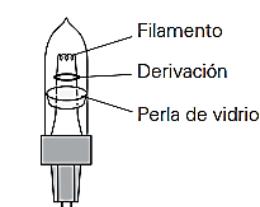


- P9.** Los valores de las resistencias en el gráfico de la derecha son: $R_1 = R_5 = R_7 = 10 \Omega$, $R_2 = R_8 = 15 \Omega$, $R_3 = 5 \Omega$, $R_4 = 20 \Omega$, $R_6 = 12 \Omega$ y $R_9 = 9 \Omega$.

- Encuentre la resistencia equivalente entre los puntos A y B de la figura.
- Si entre los puntos A y B se conecta una batería de 12 V, calcule la potencia entregada al circuito.
- ¿Qué porcentaje de la potencia entregada al circuito se disipa en la resistencia de 12 Ω?

- A2.** En las guirnaldas de luces que se utilizan para los árboles de navidad las lamparitas están conectadas en serie.

- ¿Qué ocurre cuando una lamparita se quema?
- En la práctica, cada lamparita de la guirnalda de luces posee un puente de derivación que si se quema un filamento, la derivación completa el circuito. En este caso, ¿las demás luces:
 - brillarán con más intensidad?
 - brillarán más débilmente?



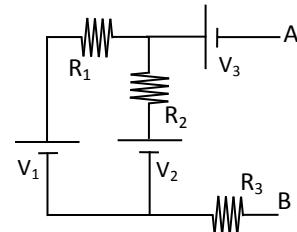
Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; número de Avogadro: $6,02 \times 10^{23}$ átomos/mol; $c_v = 4190 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ kg/l}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

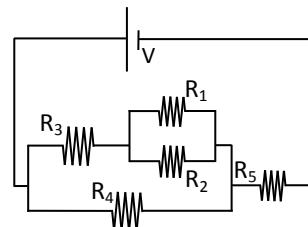
- iii. no se verán afectadas?

- P10.** En el circuito de la figura $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 15 \Omega$, $R_3 = 20 \Omega$, $V_1 = 15 \text{ V}$, $V_2 = 8 \text{ V}$ y $V_3 = 4 \text{ V}$.



- a) ¿Por dónde circula corriente? Indique el sentido de la circulación de la corriente en el gráfico.
- b) ¿Cuál es la potencia disipada por la resistencia de 20Ω ? Justifique su respuesta.
- c) Calcule la diferencia de potencial entre A y B. Identifique el punto a mayor potencial.

- P11.** La diferencia de potencial entregada por la batería es 12 V y las resistencias valen $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 12 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 8 \Omega$ y $R_5 = 1 \Omega$. La resistencia interna de la batería del circuito (no representada en el gráfico) es 1Ω . Calcule



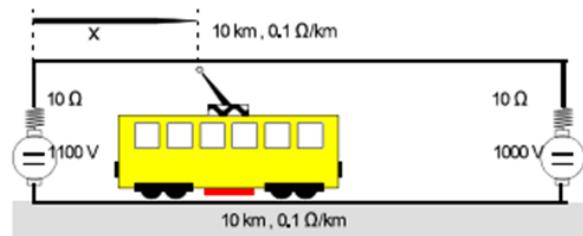
- a) la resistencia equivalente y dibuje el circuito reducido,
- b) la corriente que entrega la batería,
- c) la corriente en cada resistencia,
- d) la potencia disipada en cada resistencia (incluida la resistencia interna de la batería),
- e) la potencia entregada por la batería.

- P12.** La corriente que circula por un alambre varía con el tiempo según $i(t) = 20 + 3t^2$, donde las unidades de cada magnitud están expresadas en el sistema MKS.

- a) ¿Qué carga se transporta entre $t = 0$ y $t = 10 \text{ s}$?
- b) Si dicha corriente circula a través de una resistencia de 100Ω , calcule la energía disipada durante los primeros 10 segundos.
- c) ¿Qué corriente constante transportará igual cantidad de carga en ese intervalo de tiempo? Calcule la energía disipada durante los primeros 10 segundos por esta nueva corriente.

- A3.** Cuando una corriente eléctrica atraviesa un músculo éste se contrae de forma involuntaria. Suponga que la máxima intensidad de corriente que puede pasar por una mano sin que impida el funcionamiento del músculo es de 14 mA . ¿Cuál debe ser la mínima resistencia desde la mano hasta el suelo para que al tocar accidentalmente un conductor a 220 V se pueda soltar?

- A4.** Una línea de tranvía, de 10 km de longitud, está alimentada por dos generadores de corriente continua, de $1,1 \text{ kV}$ y 10Ω de resistencia interna y 1 kV y de 10Ω de resistencia interna, respectivamente, conectados cada uno en un extremo de la línea, como se muestra en la figura. La resistencia eléctrica por unidad de longitud del cable y de las vías es de $0,1 \Omega/\text{km}$. El tranvía requiere una intensidad de corriente de 100 A para su funcionamiento. Para una posición genérica del tranvía, determine las intensidades de las corrientes y potencias que suministran cada uno de los generadores. Encuentre la diferencia de potencial que alimenta al tranvía.



Este problema puede tomarse como analogía eléctrica de transporte de fluidos en cañerías para el cual se emplea más de una bomba ya que el fluido es viscoso.

- C6.** Enuncie las leyes de Kirchhoff y discuta su significado físico.

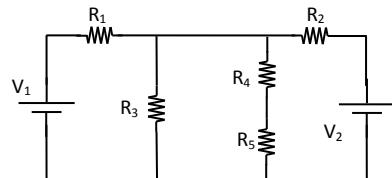
Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$; número de Avogadro: $6,02 \times 10^{23}$ átomos/mol; $c_v = 4190 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ kg/l}$.

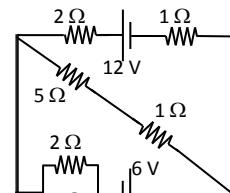
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- C7.** Si en un circuito de dos mallas hay resistencias que no cumplen con la ley de Ohm, ¿las leyes de Kirchhoff son válidas para el circuito?

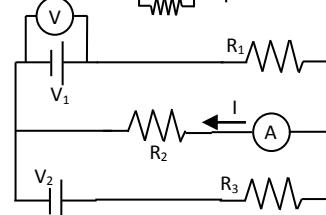
- P13.** En el circuito de la figura $V_1 = 10V$, $V_2 = 15V$, $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 12 \Omega$, $R_4 = 8 \Omega$ y $R_5 = 4 \Omega$. Calcule:
 a) las corrientes en cada rama del circuito,
 b) la potencia entregada o disipada en cada elemento del circuito.
 c) ¿Podría hacer los cálculos más simples reduciendo el circuito antes de aplicar las leyes de Kirchhoff?



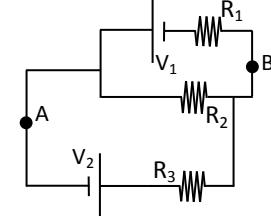
- P14.** En el circuito de la figura, calcule
 a) las corrientes en cada rama del circuito,
 b) la potencia entregada o absorbida en cada batería y disipada en las resistencias de 5Ω y 4Ω .



- P15.** En el circuito de la figura los valores de las resistencias son $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 3 \Omega$, $R_3 = 5 \Omega$ determine:
 a) el valor de la fem V_2 para que la corriente en el amperímetro sea de $I = 2,4 \text{ A}$ cuando el voltímetro indica 9 V ,
 b) la potencia suministrada por las baterías,
 c) la energía por unidad de tiempo disipada en las resistencias.



- P16.** Para el circuito de la figura calcule la diferencia de potencial entre A y B. Las resistencias valen $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$ y $R_3 = 6 \Omega$, mientras que la diferencia de potencial entregadas por las baterías son $V_1 = 12 \text{ V}$ y $V_2 = 8 \text{ V}$.



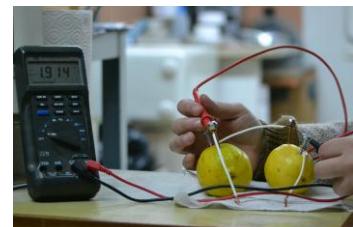
E1. Pila eléctrica

Materiales:

Dos limones o dos papas, dos tornillos de bronce, dos tornillos galvanizados, tres trozos de cables y un diodo LED.

Armado del dispositivo:

- Inserte en cada limón (o papa) dos tornillos, uno de bronce y otro galvanizado.
- Une el tornillo de bronce de un limón (o papa) con el tornillo galvanizado del otro limón (o papa) utilizando el cable.
- Une cada terminal del LED con los tornillos libres usando los cables.



Una vez realizado el experimento, trate de explicar por qué los limones o papas funcionan como baterías y cómo están conectadas (en serie o paralelo).

Alrededor de 1800 Volta construyó la primera pila que constaba de una serie de placas cilíndricas de cobre y zinc alternadas entre las cuales colocó discos de cartón empapados con agua salada (salmuera). En esta pila, ocurre una reacción electroquímica (reacciones tipo óxido-reducción o redox) en la cual el cobre cede electrones (se oxida) y el zinc gana electrones (se reduce).

- A5.** Un calentador de inmersión es un aparato común y resulta útil para calentar agua para té, café, mate o sopa. El calentador que opera a tensión eficaz de 220 V se sumerge en una taza de agua (de capacidad 250 ml) que está a temperatura ambiente. Suponiendo que el 100% del calor va al agua, determine la resistencia del calentador para calentar la taza de agua a punto de ebullición (sin evaporar) en 3 minutos, considere que la temperatura ambiente es de 20°C .

- A6.** Suponga que una anguila eléctrica toca la cabeza y la cola de un pez de 20 cm de longitud, con

Constantes:

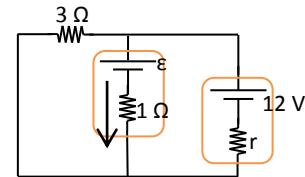
$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$; $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$; número de Avogadro: $6,02 \times 10^{23}$ átomos/mol; $c_v = 4190 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\rho_{\text{agua}} = 1 \text{ kg/l}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

forma cilíndrica (de 4 cm de diámetro) y le aplica un voltaje de 300 V.

- Si la corriente resultante es de 0,8 A, estime la resistividad promedio de la carne del pez.
- Suponga ahora, que para su siguiente comida, la anguila elige una especie de pez diferente, que tiene el doble de la resistividad promedio, la mitad de la longitud y la mitad del diámetro del pez anterior. ¿Cuál es la corriente en este pez si la anguila le aplica 400 V en el cuerpo?

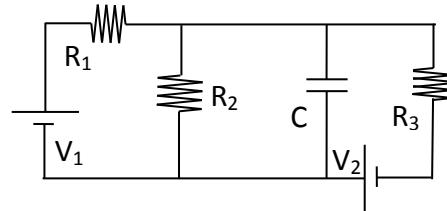
- A7.** En el circuito de la figura, una fuente de 12 V con resistencia interna desconocida está conectada a una batería recargable descargada, con fem desconocida y resistencia interna de $1\ \Omega$, y a una bombilla indicadora con resistencia de $3\ \Omega$ por la cual circula una corriente de 2 A. La corriente a través de la batería descargada es de 1 A en el sentido que se indica. Calcule:



- la corriente que suministra la fuente de 12V,
- la resistencia interna de la misma,
- la fem de la batería descargada,
- la potencia entregada por la fuente y la absorbida por la batería descargada.
- ¿Qué le dato es el que le indica a Ud. si la fuente entrega o absorbe energía?

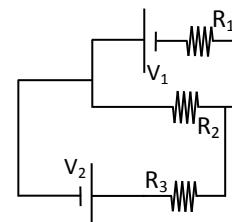
- A8.** ¿Puede relacionar el ejercicio anterior con la carga de una batería de un auto al utilizar la batería de otro auto? Describa cómo lo relaciona.

- P17.** En el circuito de la figura las resistencias tienen un valor de $R_1 = 50\ \Omega$, $R_2 = 100\ \Omega$ y $R_3 = 20\ \Omega$ y la capacidad es $12\ \mu F$. Las baterías entregan una diferencia de potencial de $V_1 = 40\ V$ y $V_2 = 15\ V$. Suponiendo que el circuito estuvo conectado mucho tiempo, determine la carga del capacitor.



- L1.** En el circuito de la figura se sabe que las resistencias no cumplen la ley de Ohm. Sin embargo se ha medido la diferencia de potencial (en la malla que involucra V_1 , R_1 y R_2 se midió en sentido antihorario, en la malla que involucra V_2 , R_3 y R_2 en sentido horario) de cada elemento resultando:

| Elemento | $V\ [V]$ |
|----------|----------|
| V_1 | 4,94 |
| V_2 | -5,03 |
| R_1 | -3,92 |
| R_2 | -1,00 |
| R_3 | 6,01 |



¿Se cumple la ley de mallas de Kirchhoff? ¿Puede identificar el sentido de circulación de las corrientes a partir de los datos?

Además se midieron las corrientes en cada una de las ramas resultando:

| Rama | $I\ [\text{mA}]$ |
|-------|------------------|
| R_1 | 9,99 |
| R_2 | 8,11 |
| R_3 | 1,89 |

¿Se cumple la ley de nodos?

- L2.** Se tiene varios cilindros de diferentes diámetros y largo 10 cm de una material desconocido. Para determinar el material se mide la resistencia para los diferentes cilindros, obteniendo:

Constantes:

$e = 1,6 \times 10^{-19}\ \text{C}$; $K = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$; número de Avogadro: $6,02 \times 10^{23}\ \text{átomos/mol}$; $c_v = 4190\ \text{J kg}^{-1}\ \text{K}^{-1}$; $\rho_{\text{agua}} = 1\ \text{kg/l}$.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

| D [cm] | R [kΩ] |
|--------|--------|
| 0,50 | 2,345 |
| 1,00 | 0,580 |
| 1,50 | 0,260 |
| 1,75 | 0,194 |
| 2,00 | 0,144 |

Determine el material del cilindro al comparar sus resultados con valores tabulados.

Nota: Para calcular la mejor recta que ajusta los N puntos $(x_i; y_i)$ se definen:

$$S_x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad S_y = \sum_{i=1}^N y_i; \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^N x_i y_i; \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^N x_i^2$$

entonces, la pendiente y la ordenada al origen de la recta $y = a x + b$ se obtienen:

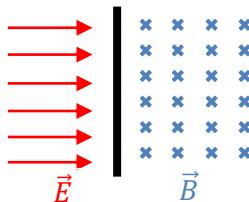
$$a = \frac{N S_{xy} - S_x S_y}{N S_{xx} - S_x^2}; \quad b = \frac{S_y S_{xx} - S_{xy} S_x}{N S_{xx} - S_x^2}$$

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 8

FUERZA DE LORENTZ. INTERACCIÓN ENTRE CORRIENTE Y CAMPO MAGNÉTICO.

- C1.** La figura representa dos regiones del espacio en las que se establecen campos, a la izquierda únicamente un campo eléctrico uniforme y a la derecha un campo magnético uniforme. La división entre las dos regiones es imaginaria, no hay ningún tipo de barrera. Se deja una partícula cargada positivamente de masa m , en reposo en la región izquierda, a una distancia D de la división entre las dos regiones.



- Encuentre una expresión para la velocidad con la que la partícula llegará a la “división”.
- ¿Qué tipo de movimiento seguirá la partícula en la primera región? Justifique.
- Calcule el trabajo que realiza el campo eléctrico para acelerar la partícula.
- Ahora la partícula entra dentro de la región en que sólo existe campo magnético. ¿Qué trayectoria realizará la partícula? Dibújela representando también la velocidad y la fuerza.
- Calcule el trabajo realizado por la fuerza en la región donde hay campo magnético.
- ¿Qué ocurre si la partícula es dejada en reposo en un punto de la región derecha? ¿Alcanzará la región en la que existe campo eléctrico?

- P1.** Un campo eléctrico de $1,5 \text{ kV/m}$ y un campo magnético de $0,44 \text{ T}$, ortogonales entre sí, actúan sobre un electrón en movimiento de forma tal que la fuerza neta sobre el mismo es nula.

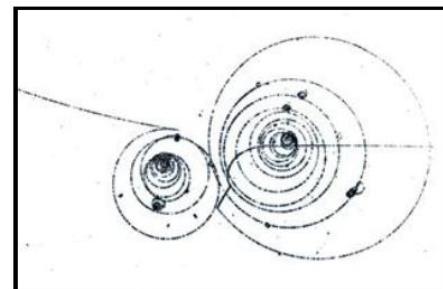
- Realice un diagrama que represente la orientación de los vectores \vec{E} , \vec{B} y \vec{v} (recordar que la carga del electrón es negativa).
- Calcule el módulo del vector velocidad del electrón.

- P2.** Un protón que tiene una energía cinética de 5 MeV entra a una región con campo magnético uniforme de módulo $0,2 \text{ T}$. El vector velocidad del protón es perpendicular a la dirección del campo. ¿Cuál es radio de la trayectoria? (1 eV , electronvolt, es una unidad de energía equivalente a $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$).

- P3.** Un electrón se mueve a través de una región del espacio donde existe un campo magnético dado por $\vec{B} = (0,45\hat{i} + 0,20\hat{j}) \text{ T}$ y un campo eléctrico $\vec{E} = (3\hat{i} - 4,2\hat{j}) \times 10^3 \text{ V/m}$. En un instante determinado la velocidad del electrón es $\vec{v} = (6\hat{i} + 3\hat{j} - 5\hat{k}) \times 10^3 \text{ m/s}$. Determine la fuerza sobre el electrón.

- A1.** *Cámara de niebla.* La cámara de niebla está compuesta por un recipiente lleno de vapor saturado inmerso en un campo magnético uniforme. Cuando una partícula, por ejemplo un electrón o protón, pasa a través del vapor deja un rastro de gotas que se fotografían para mostrar la trayectoria de la partícula.

- ¿Cómo podría determinar el signo de la carga de una partícula a partir de la fotografía de la trayectoria? Realice todas las hipótesis que considere necesarias.
- ¿Cómo determinaría la velocidad inicial de la partícula a partir de la fotografía?
- La partícula cargada sigue una trayectoria espiral ¿por qué? ¿Qué cantidad está cambiando?
- ¿Cómo sería la trayectoria de un neutrón?



Link de interés para la cámara de niebla: <https://www.youtube.com/watch?v=pewTySxfTQk>

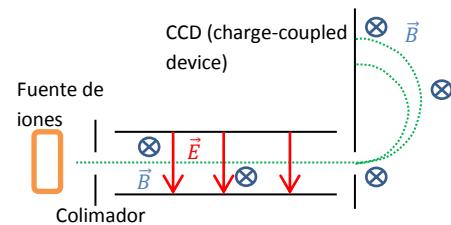
Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$; masa de ^{12}C : $1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$; masa ^{13}C : $2,16 \times 10^{-26} \text{ kg}$; 1 uma = $1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del protón: $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del electrón: $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; carga del protón: $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

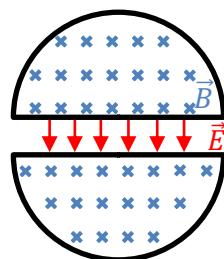
- P4.** ¿Cuál debe ser el valor del campo magnético en un selector de velocidades si su campo eléctrico vale $1,5 \times 10^3 \text{ N C}^{-1}$ y la velocidad de salida de los iones debe ser $3 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$?

- P5.** Un haz de iones de Mg^+ , magnesio una vez ionizado, está compuesto por una mezcla de isotopos ^{24}Mg y ^{25}Mg . Para analizar el haz se utiliza un espectrómetro de masas. Para obtener datos interpretables, es necesario que las partículas que se analizan ingresen al sector del analizador con una velocidad bien definida. Por este motivo el haz de iones atraviesa previamente un selector de velocidades. Considere que los campos eléctricos y magnéticos que se establecen en el selector tienen una magnitud de 150 V/cm y $0,5 \text{ T}$ y que el campo magnético del analizador tiene la misma magnitud que el establecido en el selector de velocidades (esta condición no siempre se cumple en los espectrómetros de masa).



- Discuta el movimiento que realizan los iones de Mg^+ en el selector de velocidades y en el analizador.
 - Encuentre la separación entre las posiciones de impacto de los iones sobre el CCD. Considere que los pesos atómicos de los isotopos coinciden con sus números másicos.
- A2.** Un método para determinar la cantidad de maíz en las dietas de los antiguos indígenas norteamericanos es la técnica del *análisis de la razón del isótopo estable*. Esta planta concentra el isótopo del ^{13}C durante el proceso de fotosíntesis, mientras que la mayoría de las demás plantas concentran el ^{12}C . El consumo excesivo de maíz puede relacionarse con ciertas enfermedades, porque carece del aminoácido esencial lisina. Los arqueólogos utilizan espectrómetros de masa para separar los isótopos del carbono una vez ionizado en muestras de restos humanos. Suponga que utiliza un selector de velocidades para obtener átomos monoionizados con una velocidad de $8,5 \text{ km/s}$ y los introduce en una región con un campo magnético tal que los átomos de ^{12}C describen una trayectoria semicircular de 25 cm de radio.
- ¿Qué campo magnético es necesario para producir dicha trayectoria?
 - ¿Cuál será el radio correspondiente para el otro isótopo?
 - ¿Podrá distinguirse la separación entre los isótopos con facilidad?

- C2.** La investigación en física nuclear que busca entender las interacciones que gobiernan la materia a dicha escala, escala nuclear, utiliza grandes máquinas que aceleran partículas para su posterior colisión. Estas máquinas se pueden separar en tres grupos, aceleradores lineales, ciclotrones y sincrotrones. Un ejemplo de estas máquinas es el sincrotrón conocido como LHC (Large Hadronic Collider) conocido como la máquina de Dios.



El ciclotrón es un aparato inventado por Ernest Orlando Lawrence en 1932 que consta de dos bloques semicirculares huecos enfrentados entre los cuales existe un campo eléctrico de pequeña intensidad. Los bloques se encuentran inmersos en una región con campo magnético cuya dirección es perpendicular al dispositivo.

- ¿Cuál es el campo responsable de acelerar las partículas?
- ¿Cuál es el campo responsable de modificar la trayectoria rectilínea de las partículas?
- ¿Por qué el campo eléctrico debe alternar su sentido?
- ¿Cuál es la frecuencia con la que deberá realizarse dicha inversión?
- Grafique la trayectoria de un protón que inicia su movimiento en el centro del ciclotrón hasta que sale del mismo.

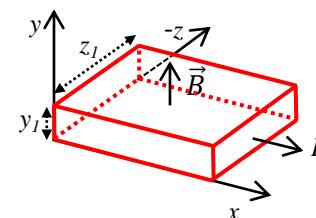
Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$; masa de ^{12}C : $1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$; masa ^{13}C : $2,16 \times 10^{-26} \text{ kg}$; 1 uma = $1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del protón: $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del electrón: $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; carga del protón: $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

- P6.** Un ciclotrón para acelerar protones tiene un campo magnético de 1,4 T y un radio de 1,7 m.
- ¿Cuál es la frecuencia de inversión del ciclotrón?
 - Halle la energía de los protones cuando salen del ciclotrón.
 - ¿Cuál será la energía de salida si en lugar de protones se utilizan ${}^4\text{He}^+$ (partículas alfa, es decir dos protones y dos neutrones, una vez ionizado)? Considere la masa de los neutrones igual a la de los protones.

- P7.** Por una porción de cinta de plata de dimensiones $z_I = 2 \text{ cm}$, $y_I = 1 \text{ mm}$ circula una corriente de 200 A en el sentido positivo del eje x (ver figura). La cinta se encuentra en una región donde existe un campo magnético uniforme de 1,5 T, según el sentido positivo del eje y .



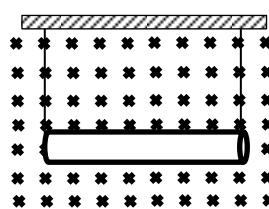
- Suponga que se mueven cargas positivas en la cinta, ¿hacia dónde se mueven?
- ¿Cambia su respuesta si las cargas que se mueven son negativas?
- Si existen $7,4 \times 10^{28}$ electrones libres por m^3 en la cinta, encuentre la velocidad de arrastre de los electrones en la dirección x , el campo eléctrico debido al efecto Hall y la diferencia de potencial Hall.

- P8.** El movimiento de iones cargados en la sangre genera un voltaje Hall entre las paredes de las arterias. Por una arteria gruesa de diámetro 0,85 cm circula sangre a una velocidad de flujo de 0,6 m/s. Si una sección de esta arteria se encuentra en un campo magnético de 1,5 T (campo típico en un equipo de Resonancia Magnética Nuclear de uso médico) ¿cuál es la diferencia de potencial entre las paredes de la arteria?

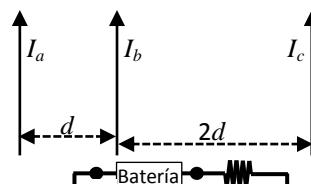
- A3.** *Celulares y el efecto Hall.* Algunos teléfonos inteligentes están equipados con una brújula. Para medir el campo magnético terrestre, estos celulares utilizan un magnetómetro de tres ejes. Estos magnetómetros son sensores basados en el efecto Hall y funcionan generando una diferencia de potencial proporcional al campo magnético aplicado. Según la polaridad de la diferencia de potencial se determina la dirección del campo.
 Otros celulares inteligentes muy conocidos utilizan el efecto Hall para determinar si la funda del teléfono está abierta o cerrada para mostrar o no la información de la pantalla en la ventana de la funda.

Para más información ver <http://es.slideshare.net/chinchiyarrakena>

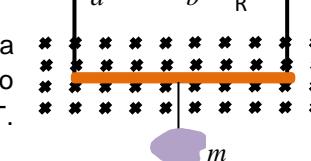
- P9.** Un conductor de densidad lineal 0,04 kg/m se encuentra suspendido por dos cuerdas de masa despreciable en una región donde existe un campo magnético de 3,6 T. Calcule la magnitud y sentido de la corriente que debe circular en el conductor para que la tensión en los alambres sea cero.



- P10.** Tres alambres infinitos se disponen según se muestra en la figura. Suponiendo que por los alambres circulan corrientes con igual dirección y sentido encuentre la fuerza por unidad de longitud que experimenta el alambre b debido a las corrientes que circulan por los alambres a y c .



- P11.** *Balanza magnética.* El circuito de la figura muestra el esquema de una balanza magnética. La masa m , que se va a medir, se cuelga del centro de la barra que está inmersa en un campo magnético uniforme de 1,5 T.



Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$; masa de ${}^{12}\text{C}$: $1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$; masa ${}^{13}\text{C}$: $2,16 \times 10^{-26} \text{ kg}$; 1 uma = $1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del protón: $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del electrón: $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; carga del protón: $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

La barra horizontal, de un material sumamente ligero, mide 60 cm de largo y está conectada a una batería y a una resistencia de $5\ \Omega$. Los alambres que conectan la barra con la batería tienen resistencia despreciable y son incapaces de soportar tensión. El voltaje de la batería puede modificarse.

- Explique el funcionamiento del instrumento.
- Analizando la dirección de la fuerza magnética ¿cuál extremo de la batería corresponde al borne positivo, el *a* o el *b*?
- Si el voltaje máximo de la batería es 175 V ¿cuál es la masa máxima que puede pesar la balanza?

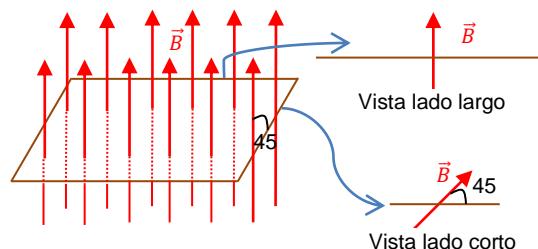
P12. Una bobina rectangular de lados 2 cm y 4 cm y 50 vueltas se coloca a 1 cm de un alambre recto infinito. En ambos circula una corriente de 2,5 A en el sentido indicado en el esquema.

- Calcule el campo magnético producido por el alambre en la región
- Calcule la fuerza que experimenta cada segmento de alambre de la bobina.
- Calcule la fuerza neta sobre la bobina.



P13. Una bobina rectangular de lados 2 cm y 3 cm tiene 600 vueltas y trasporta una corriente de 1 mA. La misma se coloca bajo la acción de un campo magnético uniforme de 0,5 T, cuya dirección es perpendicular a los lados de 3 cm y forma un ángulo de 45° con los lados de 2 cm. Calcule:

- la fuerza sobre cada lado de la bobina,
- la fuerza resultante sobre la bobina,
- el torque que experimenta la bobina indicando claramente el punto de referencia.



Vista lado largo
Vista lado corto

C3. Sobre el piso del aula se encuentra una espira circular de alambre que conduce una corriente constante *I* en sentido de las manecillas del reloj, vista desde arriba. ¿Cuál es la dirección del momento dipolar magnético de esta espira de corriente?

E1. Electroimán

Materiales:

Batería, alambre, un clavo largo, una varilla de madera de igual tamaño del clavo, clips de metal.

Armado del dispositivo:

- Enrolle el alambre alrededor del clavo (unas 10 ó 12 vueltas).
- Conecte el alambre a la batería (recuerde que la temperatura del cable se elevará).
- Acerque el clavo a los clips de metal. ¿Qué observa?
- Repita el procedimiento enrollando otro alambre en la varilla de madera. ¿Qué ocurre con los clips de metal?



A4. La fuerza magnética y la medicina. Existen aplicaciones del magnetismo en la medicina moderna como el sistema de imágenes por resonancia magnética. Sin embargo el uso del magnetismo en medicina no termina allí. En la actualidad se están desarrollando tratamientos experimentales como el tratamiento de cáncer de seno por calor inducido magnéticamente (hipertermia magnética). Los tratamientos consisten en inyectar dentro de pequeños tumores localizados sustancias ferromagnéticas como la magnetita fluida. En presencia de un campo magnético externo las

Constantes:

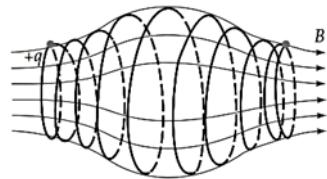
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4}\ \text{T}$; masa de ^{12}C : $1,99 \times 10^{-26}\ \text{kg}$; masa ^{13}C : $2,16 \times 10^{-26}\ \text{kg}$; 1 uma = $1,66 \times 10^{-27}\ \text{kg}$; masa del protón: $1,672 \times 10^{-27}\ \text{kg}$; masa del electrón: $9,11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$; carga del protón: $1,6 \times 10^{-19}\ \text{C}$.



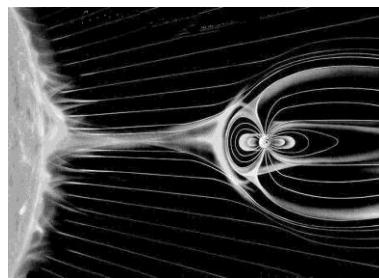
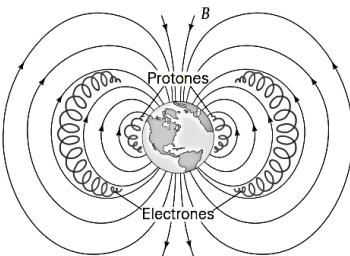
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

partículas de hierro se calientan gracias a las corrientes inducidas (se estudiará este punto en la próxima guía de trabajos prácticos) y el calor destruye a las células cancerígenas.

- A5. Una partícula que entra a un campo magnético no uniforme describe una trayectoria en espiral. En ciertas condiciones el movimiento de las partículas puede quedar confinado dentro del campo magnético. A este efecto se lo conoce como una botella magnética.



- A6. Los llamados cinturones de Van Allen que rodean la superficie terrestre "atrapan" partículas cargadas que emite el Sol, evitando que lleguen a la superficie. Este efecto está relacionado con el fenómeno conocido como aurora boreal. Busque información entre la relación de los cinturones de van Allen y las auroras boreales.



Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$; masa de ^{12}C : $1,99 \times 10^{-26} \text{ kg}$; masa ^{13}C : $2,16 \times 10^{-26} \text{ kg}$;
1 uma = $1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del protón: $1,672 \times 10^{-27} \text{ kg}$; masa del electrón: $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$; carga del protón: $1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

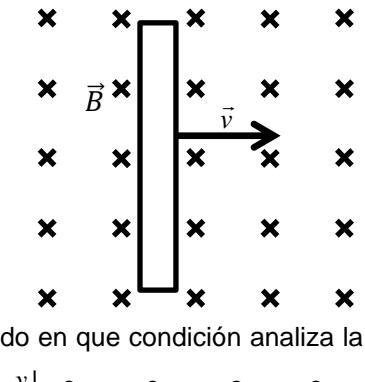
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO Nº 9

FEM POR MOVIMIENTO. LEY DE INDUCCIÓN DE FARADAY-LENZ. AUTOINDUCCIÓN. INDUCTANCIA MUTUA

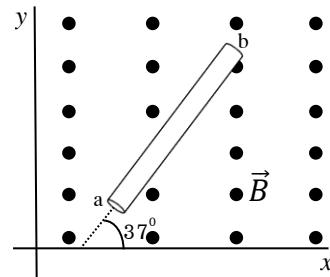
- P1.** Una barra conductora se mueve hacia la derecha con una velocidad constante y perpendicular a un campo magnético.

- ¿Qué fuerzas experimentan los electrones libres del conductor?
- Indique la dirección del campo eléctrico en la barra y cuál es el extremo que se encuentra a mayor potencial.
- ¿Hacia dónde apuntaría el campo eléctrico si la barra se moviese hacia la izquierda?
- Para mantener la barra moviéndose a velocidad constante ¿se requiere una fuerza externa? Justifique su respuesta indicando en qué condición analiza la respuesta.

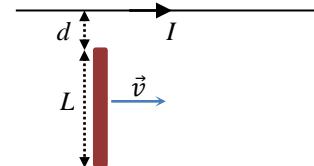


- P2.** Una barra de 1,41 m de longitud se mueve a través de un campo magnético uniforme de 1,2 T con una velocidad de 2,5 m/s. Calcule la diferencia de potencial entre los extremos de la barra indicando el extremo de mayor potencial si la barra se mueve:

- en dirección del eje x ;
- en dirección del eje z .



- P3.** Se tiene un conductor rectilíneo muy largo por el que circula una corriente de 40 A. Una barra metálica, de longitud $L = 0,9$ m, se mueve con velocidad constante de 2 m/s a una distancia $d = 0,1$ m del conductor rectilíneo (ver figura). Al alcanzar el equilibrio, calcule la diferencia de potencial entre los extremos de la barra.



- A1.** ¿Qué tan rápido tendría que moverse una barra de cobre de 10 cm en un plano perpendicular a un campo magnético de 0,65 T para establecer entre sus extremos 1,5 V? ¿Le parece una forma práctica de generar electricidad?

- A2.** Los aviones y trenes se desplazan a través del campo magnético terrestre a grandes velocidades y uno se puede preguntar si este campo tiene un efecto sobre ellos.

- El tren francés TGV y el tren bala japonés alcanzan una velocidad de 300 km/h, cuando se desplazan en sus rieles que están separados por 1,5 m. ¿Qué diferencia de potencial se induciría a través de los rieles cuando el tren se mueve a dicha velocidad y el campo terrestre es perpendicular al vector velocidad?
- La longitud entre los extremos de las alas de un avión Boing es 60 m y la velocidad de crucero a la que vuela es 300 m/s. Si la dirección del campo magnético terrestre forma un ángulo de 58° con la línea que une los extremos de las alas del avión, calcule el voltaje generado entre las puntas de las alas.

- P4.** El flujo magnético a través de una cara de un cubo es de 0,12 Wb.

- ¿Cuál es el flujo magnético a través de las cinco caras restantes?
- ¿Necesita saber las dimensiones del cubo?

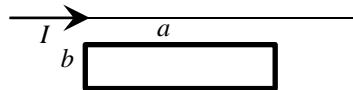
Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/A²; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4}$ T.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- P5.** Una espira rectangular de lados a y b , se encuentra a una distancia d de un cable recto infinito por el que circula una corriente I (ver figura). Determine el flujo a través de la espira.



- C1.** Una espira conductora con resistencia R se mueve con una velocidad constante en una región con campo magnético en dirección paralela a la normal de la espira. Indique si se induce corriente en la espira si:

- el campo magnético es uniforme y estacionario y la espira permanece siempre dentro de la región donde hay campo;
- el campo magnético es uniforme y disminuye con el tiempo;
- la espira rota sobre un eje coincidente con un diámetro dentro de la región con campo;
- la espira duplica su área dentro de la región de campo;
- la espira está saliendo de la región con campo magnético.
- Analice los incisos anteriores si la espira es no conductora.

- P6.** Una antena circular de televisión de UHF tiene un diámetro de 11,2 cm y una resistencia determinada por su material. Un campo magnético uniforme de una señal de TV es normal al plano de la antena y disminuye su magnitud a razón de 157 mT/s.

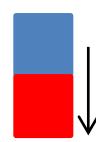
- Realice un gráfico de la situación planteada.
- Calcule la fem inducida en la antena.
- En relación a su gráfico indique el sentido de circulación de la corriente en la antena.

- P7.** Una bobina de 200 vueltas tiene un radio de 2 cm y una resistencia de 25Ω . ¿A qué velocidad deberá cambiar un campo magnético perpendicular a la misma para producir en ella una corriente de 4 A?

- P8.** Una bobina cuadrada de 50 vueltas de alambre se coloca en un campo magnético de manera tal que la normal al plano de la bobina forma un ángulo de 30° con la dirección del campo. El módulo del campo magnético aumenta de $200 \mu\text{T}$ a $600 \mu\text{T}$ en 0,4 segundos induciendo en la bobina una fem media de 80 mV.

- Calcule la variación media del flujo del campo magnético.
- ¿Cuál es la longitud total del alambre?

- P9.** Un imán se deja caer a través de una espira conductora de 4 cm de diámetro. El flujo de campo magnético a través de la espira cambia de $0,005 \text{ Wb}$ a $0,007 \text{ Wb}$ en medio segundo.



- ¿Cuál es la magnitud y el sentido del campo eléctrico inducido en la espira? (suponga que el imán no atraviesa completamente la espira).
- Discuta que pasaría con el flujo y la corriente inducida cuando el imán atravesó la espira.
- ¿Cambia la situación si giro el imán 180° (invierte norte por sur)?

- A3.** *Linternas y antiterrorismo.* En la vida diaria utilizamos el fenómeno de inducción electromagnética de muchas formas sin ser conscientes del uso.

- Un ejemplo muy común es la linterna que funciona sin baterías. Al agitar la linterna un imán oscila a través de bobinas induciendo una fem que cargará (luego de rectificar la corriente inducida) un capacitor. Este capacitor es el dispositivo que almacena energía para poder encender la linterna.

Constantes:

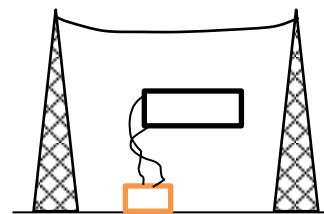
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- b) En los aeropuertos, el fenómeno de inducción electromagnética es utilizado para detectar objetos metálicos. Busque información sobre el tema.

P10. En referencia al ejercicio P5, suponga que la corriente del alambre varía según $i(t) = i_0 e^{-gt}$, donde i_0 es el valor de la corriente para el tiempo inicial y g es una constante con unidades de 1/s. Sabiendo que puede utilizar la expresión del campo magnético encontrada con la ley de Ampere,

- a) calcule la fem inducida en la espira.
 b) Si la espira tiene una resistencia R , ¿cuál será el valor de la corriente inducida? Indique el sentido de circulación en el gráfico.



A4. Un campesino avisado ha sido descubierto robando corriente de líneas de alta tensión que pasan por sus tierras por las que circula una corriente $i(t) = i_0 \sin \omega t$, utilizando un dispositivo como se muestra en la figura. ¿Cuál es la fem inducida en su dispositivo?

P11. Una barra conductora de longitud 10,8 cm y resistencia 415 mΩ se mueve sobre rieles conductores en forma de U, de resistencia y fricción despreciable, a velocidad constante de 4,86 m/s sobre el plano del papel. Un campo magnético de magnitud 1,18 T, uniforme y en dirección normal a la hoja de papel, ocupa la región en que se mueve la barra.

- a) Realice un esquema de la situación planteada.
 b) Halle la fem inducida en la barra indicando por qué se origina.
 c) Calcule la corriente en la espira conductora.
 d) Determine la fuerza que debe aplicar un agente externo a la barra para mantener su movimiento a velocidad constante.

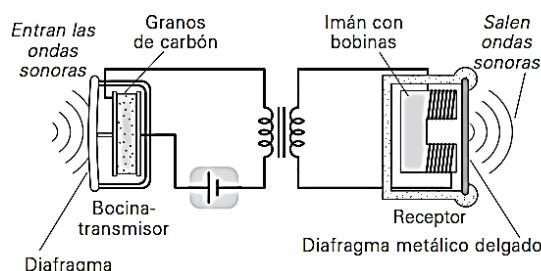
P12. Considere una espira cuadrada de lado L y resistencia R , que rota a velocidad angular constante en presencia de un campo magnético uniforme y constante con el tiempo (ver figura). Calcule la fem y la corriente inducida en la espira.



A5. En un alternador de automóvil de 250 vueltas, el flujo magnético en cada vuelta varía con el tiempo según $2,5 \times 10^{-4} \cos \omega t$ (en el sistema MKS), donde ω es la frecuencia angular del alternador. Este alternador gira tres veces por cada rotación del motor. Cuando el motor está funcionando a 1000 rpm, determine:

- a) la fem inducida en el alternador como una función del tiempo;
 b) la máxima fem en el alternador.

A6. Un teléfono básico consiste en una bocina transmisora y un receptor. Hasta la llegada de los teléfonos digitales en la década del 1990, el transmisor tenía un diafragma acoplado a una cámara de carbón (llamada botón), con granos de carbón sueltos en su interior. Al vibrar el diafragma por las ondas sonoras que le llegan, varía la presión en los granos haciendo que se coloquen más o menos juntos, cambiando la resistencia del botón y en consecuencia la corriente que circula a través de la bobina de la izquierda. El receptor, ligado a la bobina de la derecha, convierte estos impulsos eléctricos en sonido. Explique físicamente el funcionamiento indicando claramente en qué leyes de Física se



Constantes:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2; \text{ campo magnético de la Tierra: } 0,5 \times 10^{-4} \text{ T.}$$



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

basan.

- A7.** Las corrientes parásitas se producen cuando un conductor se encuentra en una región del espacio en donde existe una variación del flujo de campo magnético con el tiempo. Gracias a la interacción entre estas corrientes y los campos magnéticos se pueden construir frenos magnéticos, detectores de metales y otros dispositivos de gran utilidad, pero también tienen efectos indeseables, como ser calentamiento de transformadores.

- P13.** Calcule la autoinductancia de (*revise los ejercicios P10 y P11 de la guía de trabajos prácticos Nº 7*):

- un solenoide de longitud A y radio R con N vueltas;
- un toroide de sección cuadrada, de lado A , con N vueltas y radio interior R .
- A partir de sus resultados ¿puede afirmar que la autoinductancia de una bobina depende de la corriente que circula por ella?

- A8.** Un aparato de resonancia magnética para realizar imágenes del cuerpo humano es, en esencia, un solenoide. Suponga un equipo de 1 m de diámetro y 2 m de longitud, con un devanado de 10000 vueltas por metro. En su interior el campo magnético es de 1,5 T. Calcule:

- la autoinducción del solenoide;
- la intensidad de corriente eléctrica necesaria para obtener el campo magnético;
- la energía magnética almacenada en el campo de la bobina.
- Si la resistencia por unidad de longitud del hilo que forma la bobina es de $0,1 \Omega \text{m}^{-1}$, calcule la potencia que se disipa en forma de calor.

- C2.** Se realiza un experimento que requiere la densidad de energía más alta posible en el interior de un solenoide muy largo que transporta corriente. ¿Cuál de las siguientes opciones aumenta la densidad de energía? (Puede haber más de una elección correcta) Justifique su elección.

- Aumentar el número de vueltas por cada unidad de longitud en el solenoide.
- Incrementar el área de la sección transversal del solenoide.
- Aumentar sólo la longitud del solenoide mientras se mantiene fijo el número de vueltas por cada unidad de longitud fija.
- Incrementar la corriente en el solenoide.

- P14.** Considere la espira del ejercicio P5. Determine la inductancia mutua entre la espira y el cable infinito. ¿De qué magnitudes depende?

- P15.** Suponga que tiene dos bobinas pequeñas de igual radio, N_1 y N_2 vueltas respectivamente, enfrentadas entre sí y suficientemente cerca como para que se pueda considerar que el campo es uniforme en interior de ambas. Por la bobina 1 circula una corriente que varía en el tiempo de manera armónica.

- Calcule el flujo magnético en la segunda bobina debido al campo producido por la corriente que circula en la primera bobina.
- Determine el coeficiente de inductancia mutua indicando de qué magnitudes depende.
- ¿Existe fem inducida en la segunda bobina originada por la corriente que circula en la primera? De ser así calcule el valor de dicha fem.

Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$; campo magnético de la Tierra: $0,5 \times 10^{-4} \text{ T}$.

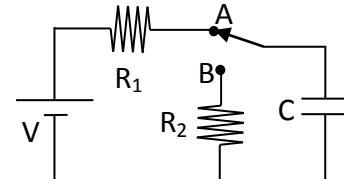


P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

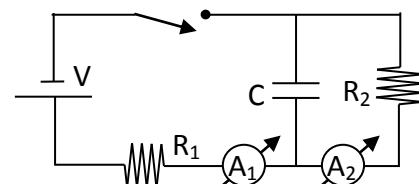
TRABAJO PRÁCTICO N° 10

CIRCUITOS DE CORRIENTE CONTINUA EN ESTADO TRANSITORIO.

- P1.** Un capacitor de capacidad C , se conecta a dos resistencias, R_1 y R_2 y a una batería V tal como se muestra en la figura. Inicialmente la llave se localiza en la posición A con el capacitor descargado.
- Calcule la carga en el capacitor; la corriente a través de la resistencia y la diferencia de potencial entre las placas del capacitor y en los extremos de la resistencia, para todo instante de tiempo.
 - Grafique las expresiones obtenidas en a) en función del tiempo.
 - Encuentre la expresión de la energía almacenada en el capacitor como función del tiempo y la energía total almacenada en el mismo.
 - Calcule la tasa de variación de la energía del capacitor en función del tiempo.
 - Evalúe la potencia disipada en la resistencia y entregada por la batería en función del tiempo. Compare los resultados obtenidos con el calculado en c) y discuta qué sucede con la energía del sistema.
 - ¿Con la presencia de qué magnitud física está asociada la energía almacenada en el capacitor?
 - Si la llave es desplazada de la posición A a la B, encuentre las nuevas expresiones en función del tiempo para la carga y diferencia de potencial del capacitor y la corriente a través de la resistencia.
 - Grafique las expresiones obtenidas en g) en función del tiempo.
 - ¿Cuál será el tiempo de relajación del sistema cuando la llave se encuentra en A y cuando se encuentra en B? Suponiendo que $R_1 > R_2$, ¿qué proceso se producirá más rápidamente la carga o descarga del capacitor?



- P2.** El capacitor de $1 \mu\text{F}$ del circuito de la figura se encuentra inicialmente descargado, las resistencias valen $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ y la batería entrega una diferencia de potencial de 12 V . Determine las lecturas de cada amperímetro,
- en el instante en que se cierra el interruptor;
 - después que el interruptor se mantuvo cerrado durante un tiempo largo.
 - Calcule la carga del capacitor.



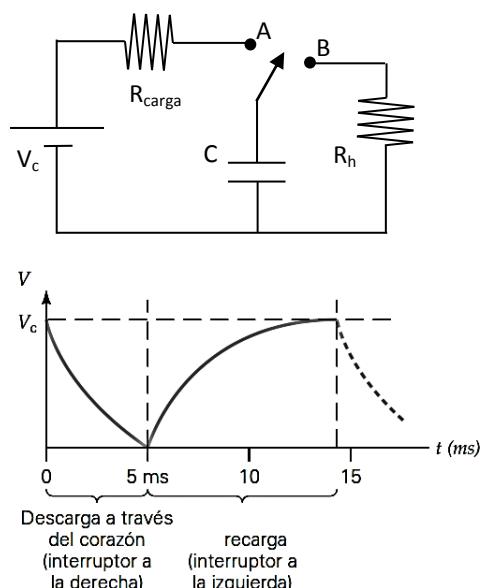
- C1.** Un capacitor se descarga a través de una resistencia. Si la carga $Q(t)$ sobre el capacitor tarda un tiempo t_a en caer a la mitad de su valor inicial, ¿cuánto tiempo tarda la energía en caer a la mitad de su valor inicial?
- C2.** En un circuito RC conectado a una batería, si el tiempo característico se duplica manteniendo inalterada la capacidad del capacitor, ¿cómo afecta esta variación
- a la energía total almacenada?
 - a la energía almacenada por unidad de tiempo?
 - al tiempo necesario para almacenar $1/e$ de la energía final?

- A1.** Un dispositivo de desfibrilación (revise la guía de trabajos prácticos N° 5 y N° 6) proporciona un choque eléctrico en la zona del corazón descargando un capacitor cargado inicialmente a 5000 V . La resistencia eléctrica del cuerpo entre los electrodos es de 500Ω .
- ¿Cuál es la intensidad de corriente cuando el capacitor empieza a descargarse?
 - Después de $6 \times 10^{-3} \text{ s}$, el voltaje del capacitor es de 250 V . ¿Cuál es la capacidad del dispositivo?
 - ¿Cuánta energía se ha cedido al cuerpo durante la descarga?

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

- A2.** En muchas cámaras fotográficas, el flash integrado se enciende con la energía almacenada en un capacitor. Este último se mantiene cargado usando baterías de 9 V. Una vez que se enciende el flash el capacitor debe cargarse rápidamente por medio de un circuito RC interno. Si la capacidad del capacitor tiene un valor de 0,1 F, ¿cuál debe ser la resistencia para que el capacitor quede cargado al 80% de su carga máxima (cantidad mínima de carga para encender la luz de nuevo) en 5 segundos? (revise la guía de trabajos prácticos Nº 5).

- A3.** Cuando un corazón deja de latir o sus latidos son irregulares puede recobrar su latido normal gracias a un dispositivo llamado marcapasos cardiaco. Estas unidades tienen el tamaño de una caja de fósforos, poseen una batería de larga vida y se insertan quirúrgicamente cerca del nodo sinoauricular. El marcapasos envía un estímulo eléctrico que puede repetirse en la frecuencia normal de los latidos. El circuito de activación envía una señal al marcapasos para que se “encienda” si el corazón deja de latir (llave en posición B); si late normalmente, el interruptor queda a la espera de una señal de encendido (llave en posición A). El marcapasos es un circuito RC, cuyo capacitor (por lo común de 10 μ F) permanece cargado gracias a la batería y debe estar listo para liberar su energía tan rápido como 70 veces por minuto. La resistencia del dispositivo corresponde a la del músculo cardíaco, proporcionando una constante de tiempo de descarga de 1 ms.

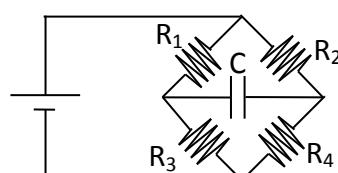


- A4.** Muchos automóviles están equipados con limpiaparabrisas que pueden funcionar intermitentemente durante una lluvia ligera. Los limpiadores son parte de un circuito RC cuya constante de tiempo puede variar al seleccionar diferentes valores de R a través de un interruptor de posiciones múltiples. Conforme aumenta el voltaje a través del capacitor, éste alcanza un punto en el que se descarga y activa los limpiadores. El intervalo de tiempo entre barridos individuales de los limpiadores está determinado por el valor de la constante de tiempo del circuito RC.

- A5.** En lugares como salas de operación en hospitales o fábricas de tableros de circuitos electrónicos se deben evitar chispas eléctricas. Una persona de pie, calzada y aislada del entorno tiene una capacidad corporal de 230 pF. La persona adquiere carga eléctrica estática al interactuar con muebles, ropa, equipo, materiales de empacado, etc. Un par de zapatos de calle con suela de goma puede presentar una resistencia equivalente de 5000 M Ω , mientras que un par de zapatos con suelas especiales disipadoras de estática puede tener una resistencia equivalente de 1 M Ω . Considere el cuerpo de la persona y los zapatos como formadores de un circuito RC serie con el suelo.

- a) ¿Cuánto tardan los zapatos con suela de goma en reducir el potencial de una persona de 3000 V a 100 V?
- b) ¿Cuánto tardan los zapatos disipadores de estática en hacer lo mismo?

- P3.** Las resistencias del circuito de la figura valen $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 8 \Omega$, $R_3 = 4 \Omega$, $R_4 = 2 \Omega$, la capacidad del capacitor es de 1 μ F y la pila tiene una diferencia de potencial de 10 V. Si el circuito lleva conectado mucho tiempo,

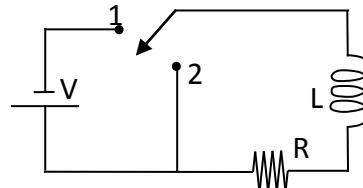


P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- ¿Cuál es la diferencia de potencial entre las placas del capacitor?
- Si se desconecta la batería, ¿cuánto tiempo tarda el capacitor en descargarse hasta la décima parte de su diferencia de potencial inicial?

P4. Suponga que el interruptor de la figura está inicialmente en la posición 1.

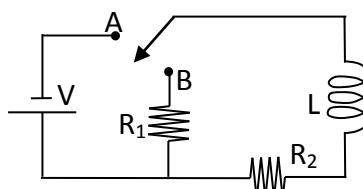
- Calcule la corriente a través de la resistencia y la diferencia de potencial en los extremos de la bobina y en los extremos de la resistencia para todo instante de tiempo.
- Encuentre la expresión de la energía almacenada en la bobina como función del tiempo y la energía total almacenada en la misma.
- Calcule la tasa de variación de la energía en la bobina como función del tiempo.
- Evalúe la potencia disipada en la resistencia y entregada por la batería como función del tiempo. Compare los resultados obtenidos con el calculado en c).
- Suponiendo que el interruptor se cambia de la posición 1 a la posición 2, calcule nuevamente la corriente, la diferencia de potencial, la energía almacenada en la bobina y la potencia disipada en la resistencia en función del tiempo.
- Muestre que la energía almacenada en la bobina se disipa como energía térmica en la resistencia.
- ¿Con la presencia de qué magnitud física está asociada la energía almacenada en la bobina?



P5. Una bobina, cuya resistencia es de $0,5\ \Omega$, se conecta a una batería de 5 V. Un segundo después de la conexión la corriente en el circuito es 4 A. Calcule la inductancia del circuito.

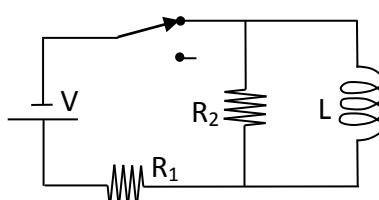
C3. Una lámpara se conecta en serie con una resistencia y en paralelo con una bobina de gran inductancia y resistencia muy pequeña. Cuando se cierra el interruptor que conecta ese circuito con una batería, la lámpara destella antes de perder brillo. Cuando el interruptor se abre, la lámpara vuelve a destellar y finalmente se apaga. Explique por qué sucede.

P6. En la generación de alto voltaje se puede utilizar un circuito RL como el que se representa en la figura. En este caso particular, el valor de la inductancia es 2 H, las resistencias valen $R_1 = 100\ \Omega$ y $R_2 = 12\ \Omega$. La batería tiene una diferencia de potencial entre sus extremos de 12 V.



- Calcule la corriente al cerrar el circuito con la llave en la posición A.
- ¿Cuál será el valor de la corriente transcurrido mucho tiempo?
- El interruptor se desplaza rápidamente de A a B. Calcule la corriente que circula por cada resistencia y la diferencia de potencial en los extremos de cada resistencia inmediatamente después de cambiar la llave de posición.
- Obtenga la diferencia de potencial en los extremos de la bobina en el instante en que se lleva la llave a la posición B.
- ¿Cuánto tiempo se requiere para que la diferencia de potencial de la bobina disminuya hasta 12 V?
- Calcule la constante de tiempo del circuito cuando la llave se localiza en la posición A y en la posición B. ¿En qué caso la corriente variará más rápidamente?

P7. La bobina tiene resistencia despreciable, $R_1 = 5\ \Omega$, $R_2 = 1\ \Omega$ y la batería entrega una diferencia de potencial de 6 V. Cuando el interruptor se abre, después de haber estado cerrado por un largo tiempo, la corriente en la bobina disminuye a 0,25 A en 0,15 s. ¿Cuál es la inductancia de la bobina?

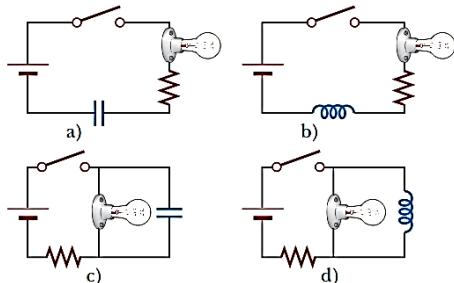




P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

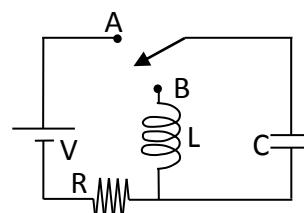
- C4.** Considere los cuatro circuitos que se muestran en la figura, donde cada uno consiste en una batería, un interruptor, una lámpara, una resistencia y un capacitor o una bobina. Suponga que el capacitor tiene una capacidad alta y que la bobina tiene una inductancia alta y una resistencia despreciable. La lámpara tiene alta eficiencia y brilla siempre que conduce corriente eléctrica.

- Describa que le sucede a la lámpara en cada uno de los circuitos después de que el interruptor se cierra.
- Describa que le sucede a la lámpara en cada circuito después de transcurrido mucho tiempo.
- Si el interruptor se abre, describa que le sucede a la lámpara en cada circuito.



- P8.** Una batería de 12 V se conecta, como se muestra en la figura, a una bobina de inductancia 2,81 mH y a un capacitor de capacidad 9 pF. El interruptor se pone en la posición A durante un tiempo considerablemente largo, de modo que el capacitor se carga. Luego el interruptor se pone en la posición B.

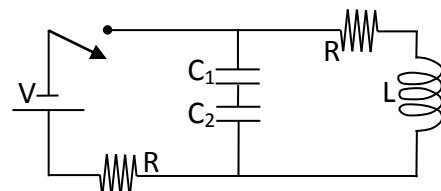
- Calcule la carga del capacitor y la corriente en todo instante de tiempo.
- Halle la frecuencia de oscilación del circuito.
- Calcule las energías almacenadas en cada elemento del circuito en función del tiempo. Analice las transformaciones de energía en el circuito.



- A6.** Para la sintonización de un radioteléfono en un barco se utiliza una inductancia de 1,05 mH en serie con un capacitor variable. ¿Qué capacidad es necesaria para sintonizar una señal proveniente de un transmisor que emite a 6,3 MHz?

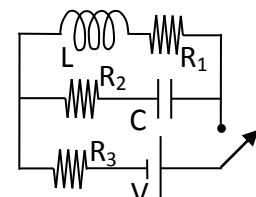
- P9.** En el siguiente circuito se sabe que $V = 12 \text{ V}$, $R = 60 \Omega$, $L = 120 \text{ mH}$, $C_1 = 0,47 \mu\text{F}$ y $C_2 = 0,33 \mu\text{F}$. Los capacitores se encuentran inicialmente descargados. Calcule:

- las corrientes en cada rama al cerrar la llave,
- las corrientes en cada rama después de mucho tiempo de haber cerrado la llave,
- la carga de cada capacitor.



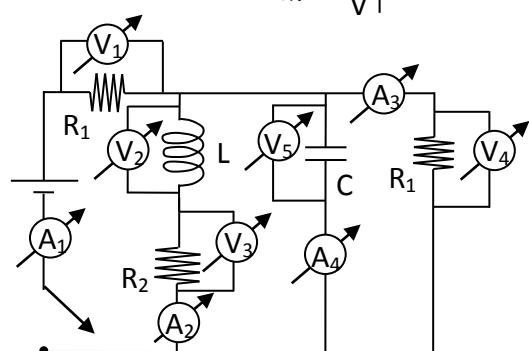
- P10.** Para el circuito de la figura, $V = 100 \text{ V}$, $R_1 = 195 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 5 \Omega$, $L = 1 \text{ mH}$ y $C = 3 \mu\text{F}$. Calcule:

- las corrientes en cada rama al cerrar la llave,
- las corrientes en cada rama después de mucho tiempo de haber cerrado la llave,
- la carga del capacitor.



- P11.** En el circuito de la figura el capacitor se encuentra inicialmente descargado. Las resistencias valen $R_1 = 50 \Omega$ y $R_2 = 100 \Omega$, la capacidad es $12 \mu\text{F}$ y la autoinductancia vale 5 mH . La batería entrega una diferencia de potencia del 40 V.

- Determine la lectura de cada amperímetro y voltímetro inmediatamente después de cerrar la llave.

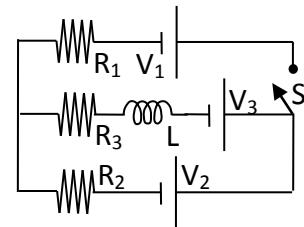


P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

- b) Determine la lectura de cada instrumento de medición después de que ha transcurrido un tiempo muy largo.
- c) Calcule la carga del capacitor.
- d) Realice un gráfico cualitativo de la lectura de los voltímetros V_4 y V_5 como función del tiempo.

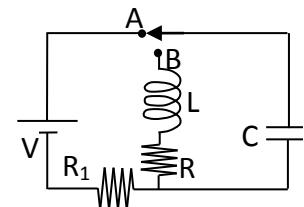
- P12.** En el circuito de la figura se tiene que $V_1 = 20V$, $V_2 = 40V$, $V_3 = 10V$, $R_1 = 3\Omega$, $R_2 = 10\Omega$, $R_3 = 20 \Omega$. Si antes de cerrar el interruptor de la figura, por la malla inferior se había establecido una corriente estacionaria, encuentre:

- a) la corriente que circula por la malla inferior un instante previo de cerrar S,
- b) la corriente en cada rama del circuito inmediatamente luego de que se cerró el interruptor S,
- c) la corriente en cada rama del circuito transcurrido un tiempo muy largo después de cerrar S.



- C5.** En el circuito de la figura, el interruptor estuvo mucho tiempo en la posición A, de forma tal que el capacitor se ha cargado. Al cerrar la llave a la posición B, se espera que la energía almacenada en el circuito se disipe por la resistencia. La ecuación que corresponde al circuito es

$$-L \frac{dI}{dt} - IR + \frac{Q}{C} = 0,$$



donde las variables dependientes del tiempo son la corriente y la carga del capacitor. Además estas dos funciones están relacionadas mediante $I = -\frac{dQ}{dt}$. Al reemplazar esta expresión se encuentra la ecuación diferencial del circuito a resolver:

$$L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = 0.$$

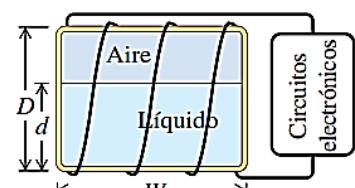
Esta ecuación diferencial tiene la misma forma que la correspondiente a un oscilador armónico amortiguado (ver libros de Física I). La solución se escribe como:

$$Q = Q_0 e^{-\frac{R}{2L}t} \cos(\omega t + \varphi),$$

donde $\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$ es la frecuencia de oscilación y Q_0 es una constante que depende de la condición inicial y φ es la fase inicial. Analizando la frecuencia se tienen tres regímenes:

- i. subamortiguado donde $R^2 < \frac{4L}{C}$ ($\omega^2 > 0$),
- ii. sobreamortiguado cuando $R^2 > \frac{4L}{C}$ ($\omega^2 < 0$),
- iii. amortiguamiento crítico si $R^2 = \frac{4L}{C}$ ($\omega^2 = 0$).

- A7.** *Medidor de volumen.* Un tanque que contiene un líquido tiene espiras de alambre enrolladas, lo que hace que actúe como un inductor. El contenido líquido del tanque puede medirse usando su inductancia para determinar la altura que alcanza el líquido en el interior del tanque. La inductancia del tanque cambia de un valor de L_0 correspondiente a una permeabilidad relativa de 1, cuando el tanque está vacío, a un valor de L_f que corresponde a una permeabilidad relativa de K_m (permeabilidad relativa del líquido) cuando el tanque está lleno. Los circuitos electrónicos apropiados son capaces de determinar la inductancia con cinco cifras significativas y, por lo tanto, la permeabilidad relativa efectiva de la combinación de aire y líquido dentro de la cavidad rectangular del tanque. De esta forma se puede determinar la cantidad de líquido en el tanque.



- L1.** Determine la constante de tiempo de un circuito RC cuando obtuvieron los resultados de la tabla



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

para la carga del capacitor.

| t [s] | V_c [V] |
|---------|-----------|
| 0 | 0,00 |
| 5 | 1,70 |
| 10 | 2,83 |
| 15 | 3,57 |
| 20 | 4,06 |
| 25 | 4,38 |
| 30 | 4,59 |
| 500 | 5,00 |

- L2. Determine la constante de tiempo de un circuito RC cuando obtuvieron los resultados de la tabla para la descarga del capacitor:

| t [s] | V_c [V] |
|---------|-----------|
| 0 | 5,00 |
| 1 | 3,35 |
| 2 | 2,24 |
| 3 | 1,51 |
| 4 | 1,01 |
| 5 | 0,68 |
| 6 | 0,45 |
| 7 | 0,30 |

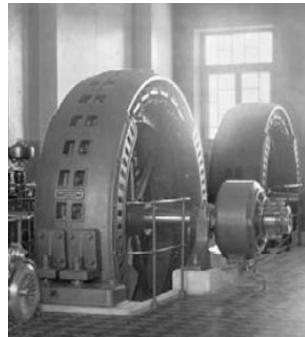
Nota: Interpolación lineal: Para obtener la coordenada x que se corresponde a un valor y entre dos valores y_1 e y_2 de una tabla, se realiza una interpolación lineal. El procedimiento implica obtener la recta que pasa por los puntos de coordenadas $(x_1; y_1)$ e $(x_2; y_2)$, es decir obtener la ordenada al origen y la pendiente. Con esta recta finalmente se obtiene el valor de x al considerar que la recta también pasa por y .

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 11

CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA.

- P1.** Los generadores eléctricos reciben energía mediante trabajo mecánico, la convierten en energía eléctrica y la transfieren al exterior (*revise la guía de trabajos prácticos N° 9 ejercicio P12*). En las plantas eléctricas, la energía requerida para hacer girar la espira se puede obtener de una diversidad de fuentes. Por ejemplo, en una planta hidroeléctrica, el movimiento rotatorio se produce por una caída de agua dirigida hacia las aspas de una turbina; en una planta termoeléctrica a base de coque de carbón, la energía liberada al quemar el carbón se utiliza para convertir el agua en vapor y éste es dirigido hacia las aspas de la turbina; en una planta nuclear el vapor que se genera en el circuito secundario mueve las aspas de una turbina. Una bobina particular en un generador de corriente alterna (CA) consiste en ocho vueltas de alambre cada una de área de $0,09 \text{ m}^2$ y la resistencia es de 12Ω . La bobina da vueltas en un campo magnético de $0,5 \text{ T}$ con una frecuencia constante de 60 Hz . Encuentre la fem y la corriente inducidas en la bobina como función del tiempo.



- P2.** Considere un generador de fuerza electromotriz $\varepsilon(t) = \varepsilon_M \sin(\omega t)$, donde ε_M es el valor máximo de la diferencia de potencia y ω es la frecuencia angular.
- Deduzca la expresión que relaciona $\varepsilon(t)$ con la corriente $i(t)$, si entre los terminales de dicho generador se conecta una resistencia.
 - Repita el inciso anterior para el caso que en lugar de una resistencia se conecte un capacitor.
 - Repita el inciso anterior para el caso que en lugar de un capacitor se conecte una inductancia.
 - Represente para cada uno de los incisos anteriores, en gráficos separados, el diagrama fasorial correspondiente.

- C1.** Tomando en cuenta lo analizado en el problema 2, en el caso de tener una resistencia conectada al generador,
- grafique la corriente como función del tiempo.
 - Grafe, en el mismo dibujo que en el inciso anterior la corriente al cuadrado como función del tiempo.
 - Obtenga el valor medio de la corriente al cuadrado e indíquelo en el gráfico.
 - Obtenga la raíz cuadrada del valor medio calculado anteriormente e indíquela en el mismo gráfico.

- A1.** Un osciloscopio es un instrumento para visualizar gráficamente las diferencias de potencial en función del tiempo. Las mediciones se presentan en una pantalla. El eje horizontal corresponde al tiempo y el eje vertical corresponde a la diferencia de potencial.

El multímetro (ya sean en modo voltímetro o modo amperímetro) no puede medir la dependencia temporal de la señal de un generador de corriente alterna, sino que mide valores eficaces (ya sea de corriente o de diferencia de potencial).

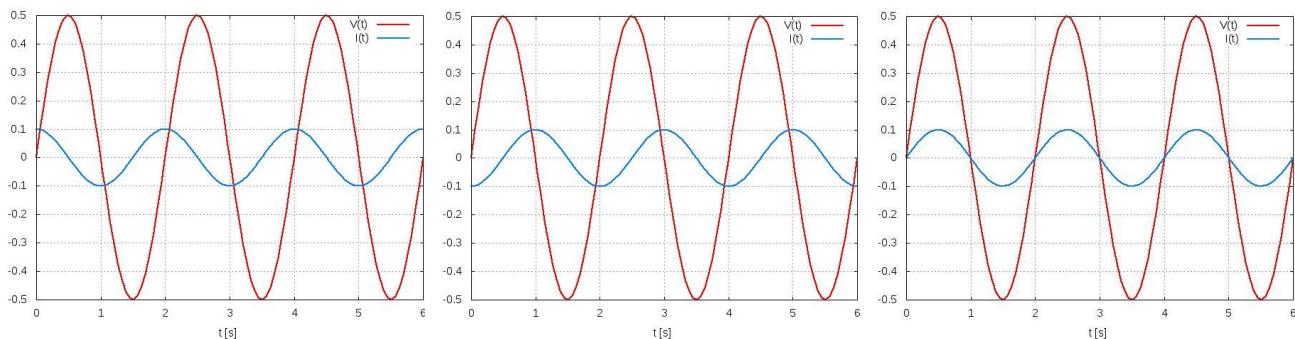
Según el generador de corriente alterna utilizado en un circuito se puede establecer la diferencia de potencial máxima o la diferencia de potencial pico a pico. La diferencia de potencial máxima es la correspondiente al valor máximo de la diferencia de potencial (amplitud), mientras que el valor pico a

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

pico corresponde a la diferencia de potencial entre el valor máximo y el mínimo, es decir, que corresponde al doble de la diferencia de potencial máxima.

C2. Las siguientes figuras muestran las gráficas de la diferencia de potencial y la corriente para los circuitos analizados en el ejercicio P2.

- Identifique cada gráfico con el circuito correspondiente.
- Calcule, para cada gráfico, la frecuencia, la diferencia de potencial máxima, la intensidad de la corriente máxima, la diferencia de potencial pico a pico y la diferencia de fase entre la corriente y la diferencia de potencial (el tiempo está medido en segundos, la diferencia de potencial en V y la corriente en A).
- Determine el valor de R, L o C según corresponda.
- Discuta y calcule las mediciones qué obtendría con un voltímetro y un amperímetro e indíquelas en los gráficos.



P3. Considere un circuito RLC en serie donde la capacidad del capacitor es $50 \mu\text{F}$, la autoinducción de la bobina vale $0,1 \text{ H}$ y la resistencia es de 70Ω , conectado a una fuente de fem de pico a pico 600 V y de 50 Hz frecuencia.

- Realice el diagrama fasorial del circuito.
- Calcule el factor de potencia y la impedancia del circuito, indique si el circuito es capacitivo o inductivo.
- Obtenga la intensidad máxima de corriente que recorre el circuito y escriba también la expresión que describe la intensidad de corriente como función del tiempo.
- Calcule las caídas de tensión instantáneas en cada elemento.
- ¿Coincide el diagrama fasorial del circuito dibujado en el inciso a) con sus resultados? De no ser así rehaga el diagrama fasorial.

C3. Para el circuito del ejercicio P3,

- realice un esquema indicando donde localizaría el multímetro para medir la corriente que circula por cada elemento y para medir la diferencia de potencial en cada elemento del circuito, aclarando que valor de corriente y tensión obtendría de dicha lectura.
- Represente como vería en la pantalla del osciloscopio la diferencia de potencial suministrada por la fuente y la corriente suministrada por la fuente.

P4. Considere un circuito RLC en paralelo donde la capacidad del capacitor es $50 \mu\text{F}$, la autoinducción de la bobina vale $0,1 \text{ H}$ y la resistencia es de 70Ω , conectado a una fuente de fem de pico a pico 600 V y de 50 Hz frecuencia.

- Realice el diagrama fasorial del circuito.
- Calcule el factor de potencia y la impedancia del circuito, indique si el circuito es capacitivo o inductivo.

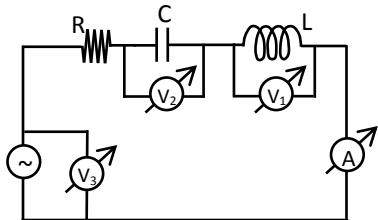
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

- c) Obtenga la intensidad máxima de corriente en cada elemento y escriba también la expresión que describe la intensidad de corriente como función del tiempo.
- d) ¿Coincide el diagrama fasorial del circuito dibujado en el inciso a) con sus resultados? De no ser así rehaga el diagrama fasorial.

C4. Para el circuito del ejercicio P4,

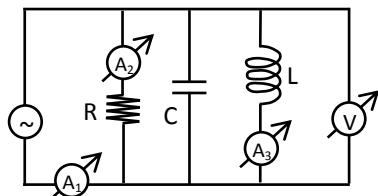
- a) Realice un esquema indicando donde localizaría el multímetro para medir la corriente que circula por cada elemento y para medir la diferencia de potencial en cada elemento del circuito, aclarando que valor de corriente y tensión obtendría de dicha lectura.
- b) Represente como vería en la pantalla del osciloscopio la diferencia de potencial suministrada por la fuente y la corriente suministrada por la fuente.

P5. Los instrumentos de la figura indican valores eficaces. Si la indicación de los mismos es V_1 : 60 V, V_2 : 20 V, V_3 : 50 V y A : 5 A, calcule sabiendo que la frecuencia es 50 Hz:



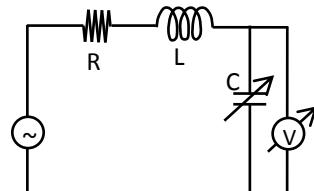
- a) la diferencia de potencial eficaz en la resistencia,
- b) el valor de R , L y de C ,
- c) la potencia disipada en el circuito.
- d) Realice el diagrama fasorial correspondiente al circuito.
- e) Determine la frecuencia de resonancia, la diferencia de potencial en cada elemento del circuito, la corriente y la impedancia en este caso.

P6. Los instrumentos de la figura indican valores eficaces. Si la indicación de los mismos es A_1 : 5 A, A_2 : 3 A, A_3 : 4 A y V : 100 V, sabiendo que la frecuencia es 50 Hz, calcule:

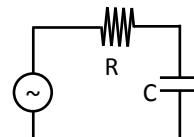


- a) la corriente eficaz en la rama que contiene al capacitor,
- b) el valor de R , L y de C ,
- c) la potencia disipada en el circuito.
- d) Realice el diagrama fasorial correspondiente al circuito.
- e) Determine la frecuencia de resonancia, la diferencia de potencial, la corriente en cada elemento del circuito y la impedancia en este caso.

P7. En el circuito de la figura se puede modificar la capacidad, la resistencia vale 10 Ω , la autoinductancia es 150 mH y el generador entrega 110 V eficaces a 60 Hz de frecuencia. Obtenga la capacidad necesaria para que el voltímetro mida una diferencia de potencial mayor que la entregada por el generador de corriente alterna.



P8. En el circuito de la figura el generador de corriente alterna opera a una frecuencia de 1 kHz y entrega una diferencia de potencial eficaz de 100 V, la resistencia vale 100 Ω y la capacidad 5 μF .

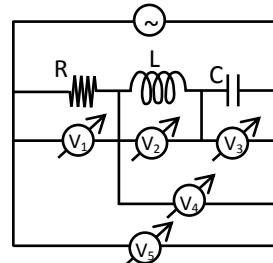


- a) Realice el diagrama fasorial correspondiente.
- b) Calcule el valor eficaz de la diferencia de potencial entre las placas del capacitor.
- c) Si se modifica la frecuencia del generador, ¿a qué frecuencia el valor eficaz de la diferencia de potencial entre las placas del capacitor es igual a la mitad del valor eficaz entregado por el generador?
- d) Grafique, en función de la frecuencia, el valor eficaz de la corriente por el circuito y el factor de potencia.

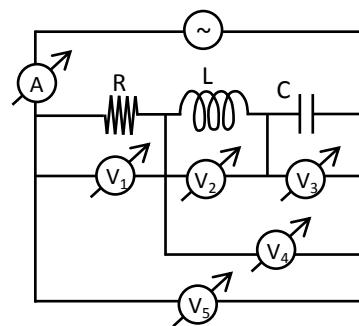
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- C5.** Considere una resistencia en serie con una inductancia conectadas a un generador de corriente alterna. ¿Depende la potencia disipada en la resistencia de la frecuencia del generador? Justifique la respuesta.
- C6.** ¿Qué aparatos necesitaría y cómo se dispondrían para medir la impedancia de una bobina? Justifique adecuadamente su respuesta.

- P9.** Cinco multímetros de impedancia infinita están conectados como se indica en la figura. Los elementos del circuito tienen los siguientes valores $R = 200 \Omega$, $L = 0,4 \text{ H}$ y $C = 6 \mu\text{F}$. La fuente puede proveer una diferencia de potencial máxima de 30 V a frecuencias angulares de 200 rad/s y 1000 rad/s. Calcule la lectura de cada voltímetro para cada valor de frecuencia.



- A2.** El circuito de la figura representa a los circuitos de sintonización de radio (*recuerde la guía de trabajos prácticos Nº 5 ejercicio A3*). Este circuito está conectado a las terminales de una fuente de corriente alterna de frecuencia variable. Los voltímetros indican $V_1: 1 \text{ V}$, $V_2: 4 \text{ V}$, $V_3: 4 \text{ V}$, $V_4: 0 \text{ V}$, $V_5: 1 \text{ V}$, el amperímetro indica 2 mA, la resistencia vale 500Ω , la bobina tiene una autoinductancia de $0,4 \text{ mH}$ y la capacidad del capacitor es 100 pF .
- Considerando las lecturas de los voltímetros y del amperímetro indique si la frecuencia del circuito es mayor, menor o igual a la frecuencia de resonancia.
 - Calcule la frecuencia de resonancia.
 - Calcule la reactancia inductiva, la reactancia capacitativa y la impedancia a la frecuencia de resonancia.



- P10.** Una fuente de corriente alterna de frecuencia variable se conecta a una resistencia de 115Ω , un capacitor de $1,25 \mu\text{F}$ y una bobina de $4,5 \text{ mH}$ en serie. Calcule la impedancia de este circuito cuando la frecuencia angular de la fuente de corriente alterna se ajusta a:
- la frecuencia angular de resonancia;
 - el doble de la frecuencia angular de resonancia;
 - la mitad de la frecuencia angular de resonancia.

- C7.** Escriba la expresión de la potencia media suministrada por una fuente e identifique el factor de potencia.
- Relacione el factor de potencia con los elementos de un circuito en el caso de un LRC serie y LRC paralelo.
 - ¿Por qué las empresas distribuidoras de energía eléctrica ponen límites a los valores mínimos permitidos para el factor de potencia? (revise la factura de Edelap).

- A3.** Un motor de corriente alterna funciona, según indica su fabricante, a una diferencia de potencial de 220 V y a una frecuencia de 50 Hz. Un motor puede representarse por un circuito LR en serie. El fabricante indica que la potencia consumida por el motor es de 1 kW y el factor de potencia es 0,7.
- Calcule la corriente que atraviesa su bobinado.
 - Calcule la impedancia y los valores de R y L.
 - Se desea aumentar el factor de potencia utilizando un capacitor en serie con el motor. Calcule el valor de la capacidad que, en esas condiciones, elevaría el factor de potencia a la unidad.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

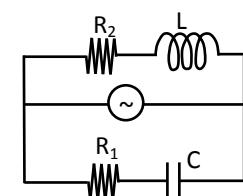
- d) Para la situación descripta en el inciso anterior, calcule el valor eficaz de la diferencia de potencial en bornes del motor y la corriente por el mismo. Compare estos valores con los nominales indicados por el fabricante.
- e) El método utilizado para compensar el factor de potencia consiste en colocar un capacitor en paralelo con el motor, de modo que éste siempre soportará la tensión nominal. Compruebe, mediante la realización del diagrama fasorial correspondiente, que efectivamente colocando un capacitor en paralelo con el motor, disminuye la diferencia de fase entre la tensión aplicada por el generador y la corriente entregada por éste, aumentando por lo tanto el factor de potencia.

- A4.** La espectroscopía de impedancia es una técnica con un extenso campo de aplicación en la ingeniería. Los materiales pueden ser modelados según sus propiedades de conducción, dieléctricas y geométricas como un elemento eléctrico representado por un valor de impedancia Z . La espectroscopía de impedancia consiste en estudiar la respuesta de un material (corriente en función del tiempo) a la aplicación de una diferencia de potencial dependiente del tiempo obteniendo así información sobre la impedancia del material para diferentes frecuencias.

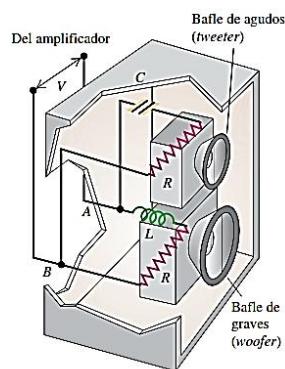
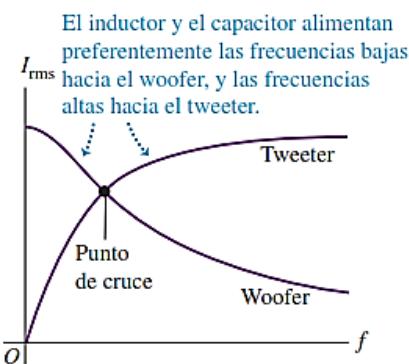
Esta técnica es extensamente usada en una gran diversidad de aplicaciones, como ser:

- evaluaciones biomédicas: capacidad pulmonar, vigilancia del estado nutricional, análisis de la composición corporal (estima cantidad de grasa, músculo y líquido de un individuo), etc.;
- estimación de concentración de nitratos en suelos (para la agricultura);
- determinación y monitoreo del mecanismo de corrosión (industria de los metales);
- control de calidad en todas las etapas de construcción de la microestructuras de cementos (ingeniería civil);
- procesamiento de alimentos, equipos médicos, conversión de energía (ingeniería industrial).

- P11.** Para el circuito de la figura encuentre el factor de potencia y la corriente eficaz entregada por la fuente de alimentación, 45 V eficaz y frecuencia 50 Hz, cuando la capacidad vale $20 \mu\text{F}$, la autoinductancia es 300 mH y las resistencias son $R_1 = 200 \Omega$ y $R_2 = 100 \Omega$. *Este problema se resolvió con fasores y con números complejos en dos filmaciones diferentes.*



- A5.** La figura ilustra un sistema de altavoces. Los sonidos de baja frecuencia son producidos por el woofer, que es un altavoz de diámetro grande, mientras que el tweeter, altavoz de diámetro pequeño, produce sonidos de alta frecuencia. Para dirigir señales de frecuencia diferente al altavoz apropiado, el woofer y el



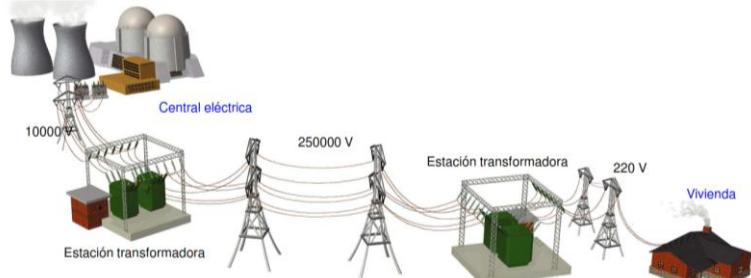
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

tweeter se conectan en paralelo con los extremos de la salida del amplificador. El capacitor del ramal del tweeter bloquea los componentes de baja frecuencia del sonido, pero deja pasar las frecuencias más altas; el inductor del ramal del woofer hace lo contrario.

- A6.** La diferencia de potencial instalada en una central es de 0,01 MV. En una subestación se aumenta a 0,25 MV para su transmisión en un tramo de una línea. La diferencia de potencial de la línea se reduce a 220 V en un transformador ubicado en un poste de servicio doméstico.

- ¿Qué relación de vueltas deberán tener los diferentes transformadores para garantizar reducciones en la diferencia de potencial?
- ¿Cómo se verá afectada la corriente en cada paso de trasformación?
- Discuta por qué este sistema de transmisión es más adecuado para la provisión de energía eléctrica (estudiar la potencia disipada en cada tramo).

Para más información sobre la distribución de energía eléctrica en el país y las tensiones de generación, transporte y uso residencial, comercial e industrial: <http://www.cammesa.com>



- A7.** El transformador de la fuente para una unidad Zip de 250 MB de computadora cambia una entrada de 120 V a una salida de 5 V. Calcule la razón entre el número de vueltas de la bobina primaria y el número de vueltas de la bobina secundaria.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 12

ECUACIONES DE MAXWELL. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS. FOTOMETRÍA

Si tiene dudas sobre gradiente, divergencia, rotor y sobre el tema onda viajeras, revise la guía de trabajos prácticos TP0.

C1. Escriba las ecuaciones de Maxwell en su forma integral, en el vacío, con carga y con corriente. Indique el significado físico de cada una de ellas y deduzca, utilizando las relaciones matemáticas adecuadas, las ecuaciones en su forma diferencial. Recuerde que el significado físico no cambia si están expresadas en forma integral o diferencial.

P1. Sabiendo que el campo eléctrico para una esfera de radio R no conductora, cargada con densidad de carga uniforme ρ (y carga total Q) es

$$\vec{E} = \begin{cases} \frac{\rho r}{3\epsilon_0} \hat{r} & r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} & r \geq R \end{cases}$$

compruebe la ley de Gauss en forma diferencial (recuerde que para una función vectorial $\vec{G} = G_r \hat{r}$, la divergencia se obtiene como $\vec{\nabla} \cdot \vec{G}_r \hat{r} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial(r^2 G_r)}{\partial r}$).

C2. Discuta con sus compañeros las siguientes afirmaciones.

- La supuesta existencia de los monopolos magnéticos afectaría a las ecuaciones de Maxwell (aclare cuál de las ecuaciones de Maxwell se alteraría y escriba cuál sería su nueva forma).
- Las ecuaciones de Maxwell se aplican a campos constantes y/o variables en el tiempo.
- El campo magnético es no conservativo.
- La corriente de desplazamiento al cargar un capacitor es siempre de igual magnitud que la corriente de conducción que circula por los cables.

C3. Suponga que existe un campo eléctrico orientado según el eje x positivo cuyo módulo aumenta con el tiempo. Considere que existe una espira circular en el plano yz cuya normal apunta en la dirección x .

- Determine el sentido del campo magnético inducido en todo punto de la espira (aclare desde dónde observa la espira).
- Si considera que el campo eléctrico disminuye con el tiempo a la misma tasa, indique diferencias y similitudes con la situación anterior.

P2. Un capacitor tiene placas planas paralelas circulares de 2,3 cm de radio separadas 1,1 mm y sin material entre ellas. En una placa está entrando carga al mismo tiempo que sale de la otra a un ritmo de 5 C/s.

- Halle la variación por unidad de tiempo del campo eléctrico entre las placas del capacitor.
- Calcule la corriente de desplazamiento. Discuta si la presencia de esta corriente implica transporte de carga a través de las placas.
- Encuentre la expresión de la corriente de desplazamiento en función de $\frac{dV}{dt}$.

P3. Considere un capacitor de placas paralelas circulares de radio 0,6 cm cuya capacidad es de 1,2 μF . El mismo se carga a una tasa de 12,9 mC/s.

Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- a) ¿Cuál será el valor del módulo del campo magnético a una distancia de 0,15 cm del eje central de las placas?
- b) Demuestre que el módulo del campo magnético a distancias mayores que el radio de las placas (medidas desde el eje central de las placas) se escribe $B = \frac{\mu_0 i_d}{2\pi r}$.

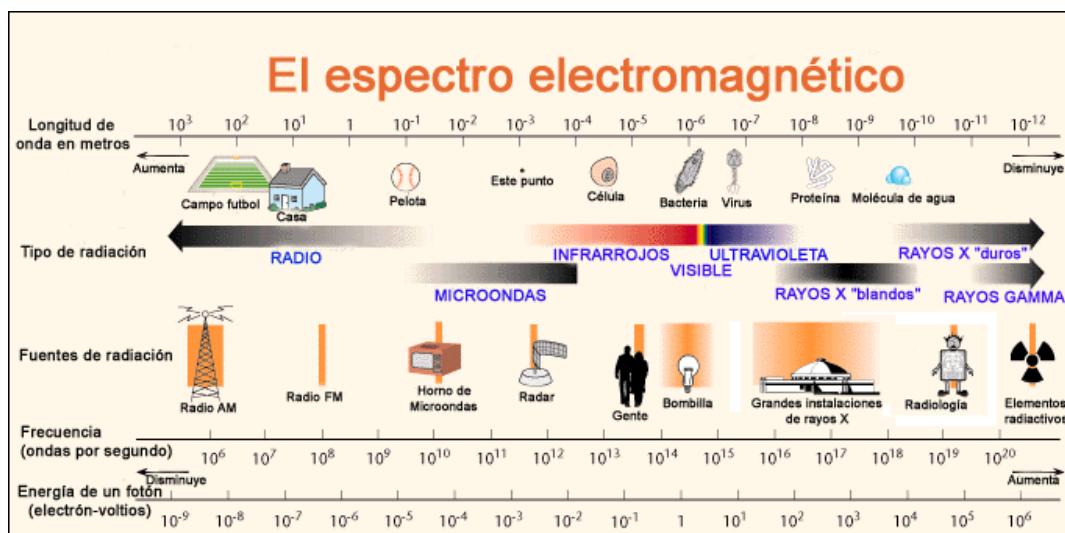
P4. El campo eléctrico entre las placas de un capacitor de placas circulares y radio R varía con el tiempo según $\vec{E} = (100 t^2 - 200 t) \hat{k}$, (las magnitudes están expresadas con unidades en el sistema MKS). Encuentre el campo magnético que existe en esa región del espacio.

C4. A partir de las ecuaciones de Maxwell en forma diferencial y utilizando la relación $\vec{\nabla} \times (\vec{E} \times \vec{A}) = \vec{\nabla} (\vec{E} \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$,

- a) encuentre las ecuaciones de onda que satisfacen los campos eléctrico y magnético.
- b) Conociendo los valores de la permitividad y permeabilidad eléctrica en el vacío determine la velocidad de propagación de las ondas.
- c) Indique de qué tipo de onda se tratan: transversal o longitudinal, estacionaria o viajera.

C5. Verifique que si $\vec{E}(x, t) = Ae^{-\alpha(x-vt)} \hat{j}$ (con magnitudes expresadas en el sistema MKS) es una solución válida de la ecuación de onda del campo eléctrico. Utilizando las ecuaciones de Maxwell en forma diferencial, encuentre la expresión que representa al campo magnético.

C6. La figura representa el espectro de las ondas electromagnéticas. Los nombres que se han dado a cada zona (definida por el valor de la longitud de onda o la frecuencia) son simplemente una forma conveniente en la descripción de la región del espectro en el que están.



- i. Las **ondas de radio** son el resultado de cargas que se aceleran en alambres conductores. Estas ondas son generadas por dispositivos electrónicos, como osciladores LC, y se utilizan en los sistemas de radio y televisión.
- ii. Las **microondas** son generadas por dispositivos electrónicos. Debido a sus longitudes de onda cortas son muy adecuadas para el estudio de las propiedades atómicas y moleculares de la materia. Los hornos de microondas son una aplicación doméstica interesante de estas ondas.
- iii. Las **ondas infrarrojas** son producidas por moléculas y objetos a la temperatura ambiente siendo

Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

fácilmente absorbidas por la mayor parte de los materiales. Tiene aplicaciones prácticas y científicas, por ejemplo la fisioterapia, la fotografía infrarroja y la espectroscopia vibratoria.

- iv. La **luz visible**, que es la forma más familiar de las ondas electromagnéticas, es aquella parte del espectro electromagnético que el ojo humano puede detectar. Se produce mediante la reorganización de los electrones en los átomos y moléculas.
- v. Las **ondas ultravioleta** provienen fundamentalmente del Sol, la mayor parte es absorbida por las moléculas de ozono (O_3) en la atmósfera superior de la Tierra, en una capa llamada estratosfera.
- vi. Los **rayos X** tienen como fuente más común el frenado de electrones de alta energía que impactan un objeto metálico. Se utilizan como una herramienta de diagnóstico en la medicina, como tratamiento para ciertos tipos de cáncer y en el estudio de la estructura de los cristales ya que las longitudes de onda son comparables con las distancias de separación de los átomos en los sólidos.
- vii. Los **rayos gamma** son ondas electromagnéticas emitidas por núcleos radioactivos. Los rayos gamma de alta energía son un componente de los rayos cósmicos que entran en la atmósfera de la Tierra desde el espacio. Son rayos muy penetrantes y producen daños serios si son absorbidos por tejidos vivos en altas dosis.

Considere el espectro electromagnético mostrado en la figura. ¿Qué tipo de ondas tienen longitudes de onda próximas

- a) al largo de un campo de fútbol?
- b) al ancho de un dedo?
- c) al espesor de un pelo?
- d) al tamaño de un átomo?
- e) al tamaño de un núcleo?
- f) Enumere otras aplicaciones cotidianas en las que se utilicen ondas de las diferentes regiones del espectro electromagnético.

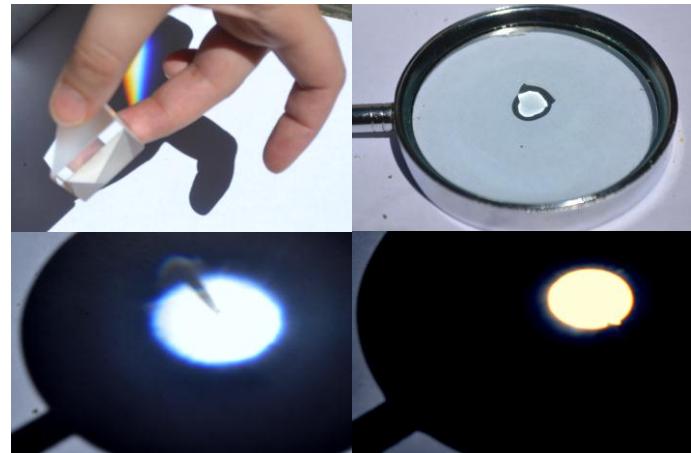
E1. Espectro de luz blanca

Materiales:

Lupa, aceite, hoja blanca de papel y luz blanca (proveniente de una lámpara o del Sol).

Armado del dispositivo:

- i. Coloque una gota de aceite sobre la lupa.
- ii. Coloque la hoja en una superficie plana e ilumine la lupa con la luz blanca de forma de obtener una imagen en la hoja.
- iii. Suba y baje la lupa lentamente hasta obtener sobre el papel el espectro visible.
 - a) ¿Qué longitudes de onda forman a la luz blanca?
 - b) ¿Cómo se denominan cada una de esas longitudes de onda?



E2. Disco de Newton

Materiales:

Cartón en forma de disco, hoja en blanco (con la misma forma de disco del cartón), lápices (o marcadores) de color rojo, naranja, amarillo, verde, celeste, azul y violeta, hilo grueso, pegamento.

Armado del dispositivo:



Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- i. Divida la hoja en siete sectores iguales y píntelos según el siguiente orden rojo, naranja, amarillo, verde, celeste, azul y violeta.
- ii. Pegue la hoja al cartón.
- iii. Realice dos pequeños agujeros cerca del centro del círculo para pasar el hilo.
- iv. Enrolle el hilo y luego estírelo para que el disco gire.
 - a) ¿Qué observa?
 - b) ¿Cómo relaciona lo observado con la experiencia anterior?

E3. Radiación ultravioleta

Materiales:

Hoja negra, resaltador amarillo, luz ultravioleta y filtro ultravioleta (anteojos de sol o con filtro UV).

Armado del dispositivo:

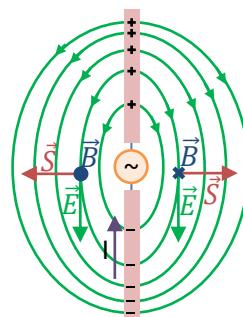
- i. Escriba algo con el resaltador amarillo en la hoja negra.
- ii. Ilumine la hoja con la luz.
- a) ¿Qué observa?
- iii. Coloque el filtro (anteojos) entre la luz y la hoja negra.
- b) ¿Qué observa?
- c) ¿Cómo explica el fenómeno?
- d) ¿Por qué los anteojos de sol tienen filtro ultravioleta?

C7. Suponga un Universo donde la velocidad de la luz es igual a la velocidad del sonido y la permeabilidad del vacío es igual a la de nuestro Universo.

- a) ¿Cuál es el valor de la permitividad del vacío en este nuevo universo?
- b) Si la luz del Sol, en nuestro Universo, tarda en llegar a la Tierra 8 minutos, ¿cuánto tardaría en este nuevo Universo?

A1. Cada vez que la corriente en un alambre cambia con el tiempo se emite radiación electromagnética. El mecanismo fundamental responsable de esta radiación es la aceleración de una partícula con carga. Las ondas electromagnéticas también pueden inducir corrientes en una antena receptora. Si la antena de la figura representa la fuente de una estación de radio lejana ¿cuál sería la mejor orientación para la antena de una radio portátil ubicada a la derecha de la figura?

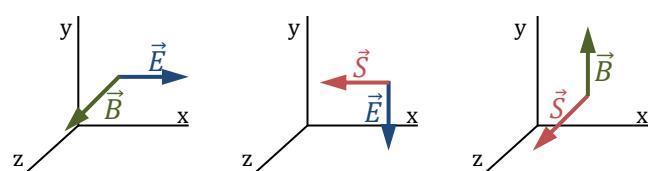
- i. Orientada de arriba-abajo a lo largo de la página,
- ii. Orientada de izquierda-derecha a lo largo de la página
- iii. Orientada de forma perpendicular a la página.



Ver: <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/radio-waves>

P5. ¿Quién oirá la voz de un cantante primero: una persona en un asiento a 50 m del escenario o una persona a 3000 km en casa cuyo oído está próximo a la radio? ¿Cuánto tiempo antes?

C8. En cada uno de los gráficos se representan tres direcciones de dos de los vectores que caracterizan a las ondas electromagnéticas en un punto. Dibuje, para cada caso, la dirección y sentido del vector que representa la magnitud faltante.



Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- P6.** Un láser emite una onda electromagnética sinusoidal de frecuencia 4×10^{13} Hz. La onda se propaga en el vacío en la dirección y , el campo magnético oscila en la dirección x siendo su amplitud de $7,3 \times 10^{-7}$ T. Usando las ecuaciones de Maxwell diferenciales determine las expresiones de los campos eléctrico y magnético y el vector de Poynting en función de las coordenadas y del tiempo.
- P7.** Una onda electromagnética plana linealmente polarizada tiene una frecuencia de 100 MHz y se propaga en el vacío. El campo eléctrico está dado por $\vec{E}(z, t) = 30 \cos(k z - \omega t) \hat{i} \text{ V/m}$. Determine:
- la longitud de onda, la dirección y sentido de propagación,
 - el campo magnético como función de las coordenadas espaciales y del tiempo,
 - el vector de Poynting como función de las coordenadas espaciales y del tiempo, y la intensidad de la onda.
 - Realice un gráfico adecuado que represente la onda que se propaga.
 - Calcule la densidad de energía transportada por la onda.
- P8.** El vector de Poynting de una onda electromagnética plana en el vacío, expresado en el sistema MKS, es $\vec{S}(z, t) = -220 \cos^2(12 z + 3,6 \times 10^9 t) \hat{k}$. Determine:
- las unidades en que se miden cada uno de las magnitudes de la expresión anterior,
 - la longitud de onda y la frecuencia,
 - la dirección y sentido de propagación,
 - el campo magnético y el campo eléctrico como función de las coordenadas espaciales y del tiempo,
 - la intensidad de la onda.
 - Realice un gráfico adecuado que represente la onda que se propaga.
 - Calcule la densidad de energía transportada por la onda.
- P9.** Una onda electromagnética plana tiene una frecuencia de 50 MHz y se propaga en el vacío. El campo eléctrico está dado por $\vec{E}(z, t) = (30 \hat{i} + 20 \hat{j}) \cos(k z + \omega t) \text{ V/m}$. Determine:
- la longitud de onda, la dirección y sentido de propagación,
 - el campo magnético como función de las coordenadas espaciales y del tiempo, utilizando las ecuaciones diferenciales de Maxwell,
 - el vector de Poynting como función de las coordenadas espaciales y del tiempo, y la intensidad de la onda.
 - Calcule la densidad de energía transportada por la onda.
- P10.** Una onda electromagnética plana tiene una frecuencia de 450 MHz y se propaga en el vacío. El campo magnético es $\vec{B}(\vec{r}, t) = (4 \hat{i} + 2 \hat{j}) \times 10^{-4} \cos(\vec{K} \cdot \vec{r} + \omega t) \text{ T}$, donde $\vec{K} = \pi \hat{i} - 2\pi \hat{j} + 2\pi \hat{k}$, expresado en el sistema MKS. Determine:
- la longitud de onda, la dirección y sentido de propagación,
 - el campo eléctrico como función de las coordenadas espaciales y del tiempo, utilizando las ecuaciones diferenciales de Maxwell,
 - el vector de Poynting como función de las coordenadas espaciales y del tiempo, y la intensidad de la onda.
- A2.** En un día despejado la luz solar llega a la superficie de la Tierra con una intensidad de 1000 W/m^2 . Una celda solar puede convertir el 10% de la energía que recibe del Sol en energía eléctrica. Para cada uno de los siguientes artefactos calcule el área del panel solar



Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

necesario para que funcione.

- Una calculadora que necesita para funcionar 50 mW. ¿Es el área lo suficientemente pequeña como para que la celda solar sea parte de la calculadora?
- Un secador de pelo que consume 1500 W. ¿Podrá instalarse dicho panel solar sobre el techo de su casa?
- Un auto eléctrico que requiere para su funcionamiento 20 hp (14913 W). ¿Qué tamaño debería tener el auto para instalarla en su techo?

P11. Un medio posible para el vuelo espacial es colocar una hoja aluminizada perfectamente reflectante en órbita alrededor de la Tierra y utilizar la luz solar para empujar esta “vela solar”. Suponga una vela con un área de $6 \times 10^5 \text{ m}^2$ y una masa de 6000 kg se coloca en órbita de cara al Sol. Suponga que la intensidad solar es 1340 W/m^2 .

- ¿Qué fuerza se ejerce sobre la vela?
- ¿Cuál es la aceleración de la misma?
- ¿Cuánto tiempo tarda la vela en llegar a la Luna?



P12. En las presentaciones muchas personas usan un puntero láser para dirigir la atención de la audiencia a la información en la pantalla. Si un puntero de 3 mW crea una mancha sobre la pantalla de 2 mm de diámetro, determine la presión de radiación sobre la pantalla si refleja 70% de la luz.

A3. El flujo de energía que llega al exterior de la atmósfera terrestre, debida a los rayos solares, es en promedio 1353 W/m^2 , según la NASA.

- Estime la presión de radiación ejercida sobre la superficie de un objeto que se encuentra en órbita y que absorbe toda la radiación.

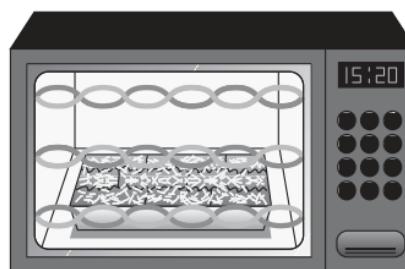
El 20 de mayo de 2010 fue lanzada por la agencia espacial japonesa JAXA la sonda espacial experimental IKAROS, impulsada parcialmente mediante una vela solar cuadrada de 20 m de lado, que incorpora unas celdas solares para generar la energía necesaria para los equipos.

- Estime la fuerza ejercida por la radiación solar cuando la sonda se encuentra en las inmediaciones de la órbita de la Tierra.

Científicos del Programa de Tecnología Espacial de la NASA están construyendo la que será la vela solar más grande del mundo, capaz de mover una nave de grandes dimensiones. La vela tendrá una superficie de 1200 m^2 . Los científicos que trabajan en el proyecto la han bautizado como Sunjammer, en honor a una novela de ciencia ficción de Arthur C. Clarke. En el caso de la Sunjammer, el material utilizado para la vela, se llama Kapton, creado por DuPont, que permite crear una capa reflectante de solo 5 μm de espesor.

- Suponiendo que puedan lograr confeccionar velas ligeras de 1,2 kg y despreciando el peso del resto de la sonda, calcule la aceleración en un punto inicial cercano a la órbita de la Tierra.

A4. Al igual que para el caso de las ondas mecánicas, las ondas electromagnéticas se reflejan sobre superficies conductores o dieléctricas. La coexistencia de ondas incidentes y reflejadas en la misma región del espacio puede originar ondas estacionarias. Las paredes metálicas de un horno de microondas forman una cavidad de $37 \text{ cm} \times 37 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$. Cuando en esta cavidad se introducen de manera continua microondas de 2,45 GHz, la reflexión de las ondas en las



Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

paredes producen ondas estacionarias con nodos en las paredes. La onda estacionaria posee una longitud de onda de 12,2 cm, longitud de onda que el agua de los alimentos absorbe intensamente. Como la onda tiene nodos separados por una distancia 6,1 cm, es necesario hacer girar los alimentos mientras se cocinan, de lo contrario, las partes que se encuentran en un nodo (donde la amplitud del campo eléctrico y magnético es igual a cero) permanecerán frías.

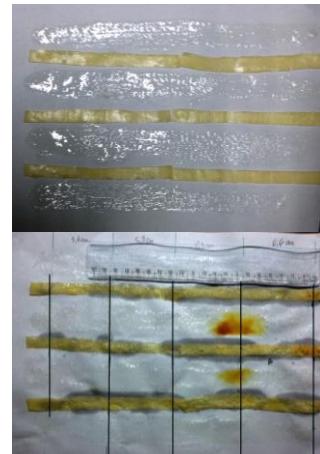
E4. Medición de la velocidad de la luz

Materiales:

Papel cuadriculado, mezcla espesa de agua y azúcar o tiras de queso de máquina, una regla y un microondas.

Armado del dispositivo:

- i. Pinte en la hoja de papel líneas con la mezcla de agua y azúcar o coloque las tiras de queso de modo de cubrir la hoja.
- ii. Retire el plato giratorio del microondas y coloque el papel.
- iii. Seleccione la potencia del microondas (80%) y el tiempo (10 segundos). Prenda el microondas y espere a que finalice el tiempo.
- iv. Retire el papel con cuidado de no quemarse. Marque las posiciones quemadas (o derretidas).
- v. Repita el punto iii y iv, hasta obtener varias marcas. Procure mantener la misma orientación del papel dentro del microondas.
- vi. Mida la distancia entre dos zonas quemadas consecutivas.
 - a) Sabiendo que en el microondas se producen ondas estacionarias ¿qué representan las zonas quemadas?
 - b) ¿Qué representa físicamente la distancia entre dos zonas quemadas consecutivas?
 - c) Sabiendo la frecuencia en que opera el microondas (generalmente 2450 MHz), calcule la velocidad de la luz y compare con el valor tabulado.



E5. Celulares y señales electromagnéticas

Materiales:

Dos celulares, hoja blanca de papel y papel aluminio (de cocina).

Armado del dispositivo:

- i. Envuelva uno de los celulares con la hoja de papel.
- ii. Llame al teléfono envuelto.
 - a) ¿Puede comunicarse?
- iii. Envuelva el mismo celular con el papel aluminio.
- iv. Llame nuevamente al teléfono envuelto.
 - b) ¿Puede comunicarse? ¿Por qué? (revise la guía de trabajos prácticos Nº 3).

P13. Una estación de radio en la superficie terrestre emite una onda sinusoidal con una potencia media de 50 kW. Suponiendo que el trasmisor irradia uniformemente en todas direcciones sobre el terreno (radiación isotrópica), calcule

- a) las amplitudes $E_{\text{máx}}$ y $B_{\text{máx}}$ detectadas por un satélite ubicado a 100 km de la antena;
- b) la intensidad que recibe dicho satélite.

A5. El filamento de una lámpara incandescente de resistencia 50 Ω consume una corriente de 1 A.

- a) ¿Cuánta energía por unidad de tiempo recibe la lámpara? Explique las formas en que esa energía se transfiere al medio.

Constantes:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- b) Suponga que un 5% de la misma se emite en el visible donde la longitud de onda representativa se considera igual a 555 nm. Encuentre las amplitudes de los campos eléctrico y magnético (suponga una onda esférica) para el visible a 1 m del filamento.
- c) ¿Cuál es la intensidad de radiación visible a 10 m de la lámpara?

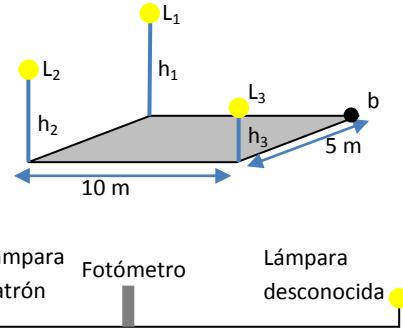
P14. Una fuente de luz monocromática de 500 nm y 20 W se combina con otra fuente de 600 nm y 10 W. Determine:

- a) el flujo radiante del conjunto;
- b) el flujo luminoso;
- c) el rendimiento.

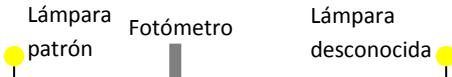
P15. Una pantalla tiene una superficie de 60 cm^2 . A ella llega un flujo luminoso de 0,2 lm al ser iluminada con una fuente de 50 cd.

- a) ¿A qué distancia se ubica la fuente luminosa de la pantalla?
- b) ¿Qué iluminancia total hay sobre la pantalla?
- c) ¿A qué altura se deberá instalar otra lámpara de 10 cd para que la iluminancia sea igual a la de la lámpara anterior?
- d) Si la segunda lámpara tiene un rendimiento luminoso total de 12 lm/W, determine la potencia eléctrica que necesita dicha lámpara para funcionar.

P16. Para el arreglo de lámparas de la figura, calcule la iluminancia horizontal en el centro de la placa y en el punto b. Las lámparas tienen una intensidad de L_1 : 100 cd, L_2 : 100 cd, L_3 : 50 cd y están ubicadas en $h_1 = 5 \text{ m}$, $h_2 = 3 \text{ m}$ y $h_3 = 2 \text{ m}$, respectivamente.



A6. Un banco de un fotómetro de 2 metros de longitud tiene una lámpara patrón colocada en uno de sus extremos cuya intensidad, en la dirección del fotómetro, es 30 lm/sr. Se ubica una lámpara de intensidad desconocida en el otro extremo de forma tal que si el fotómetro está localizado a 50 cm de la lámpara patrón la iluminancia en ambas caras del fotómetro es la misma.



- a) Determine la intensidad de la lámpara desconocida en la dirección del fotómetro.
- b) Si la lámpara patrón es considerada como una fuente luminosa puntual e isotrópica calcule su flujo luminoso.
- c) ¿Cuál es la potencia eléctrica suministrada si la eficiencia total de la lámpara patrón es 12 lm/W?

Constantes:
 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$; radio de la órbita lunar: $3,84 \times 10^8 \text{ m}$; velocidad del sonido en el aire: 340 m/s; velocidad de la luz 300000 km/s.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 13

COEFICIENTES DE FRESNEL. POLARIZACIÓN. LEY DE SNELL.

- P1.** Una onda de luz incide sobre una placa de vidrio "crown" ($n = 1,52$) inmersa en aire, con un ángulo de 30° respecto de la normal. Si el campo eléctrico de dicha onda vibra paralelo al plano de incidencia,

- Opcional a) calcule los coeficientes de reflexión y transmisión. ¿La onda reflejada se encuentra en fase con la onda incidente? ¿y la transmitida?
b) ¿Cómo se modifican sus respuestas anteriores si la onda electromagnética incide con ángulos de: 75° , $56^\circ 39' 33''$ y 0° ?
c) Repita los cálculos anteriores suponiendo que el campo eléctrico de la onda de luz vibra perpendicular al plano de incidencia.

- P2.** Para la placa de vidrio crown del problema anterior y utilizando los resultados encontrados,

- Opcional a) determine los coeficientes de reflectancia y transmitancia de la interfase para todos los ángulos de incidencia considerados anteriormente, para el caso en que el campo eléctrico vibra paralelo y perpendicular al plano de incidencia;
b) realice la suma de los coeficientes de reflexión R y transmisión T, para cada caso. ¿Cómo justifica el valor obtenido?

- P3.** Se hace incidir luz de intensidad $I_0 = 1400 \text{ W/m}^2$ sobre una placa de vidrio crown inmersa en aire con un ángulo de $56^\circ 39' 33''$. Suponiendo que el campo eléctrico vibra perpendicular al plano de incidencia y utilizando lo calculado anteriormente,

- Opcional a) determine la intensidad de la onda reflejada y de la onda transmitida.
b) Repita los cálculos cuando el campo eléctrico vibra paralelo al plano de incidencia.
c) ¿Cómo calcularía las intensidades de la onda reflejada y de la transmitida si el campo oscila a 60° respecto del plano de incidencia?
d) Determine la dirección de vibración del campo eléctrico de la onda reflejada y de la onda transmitida para cada caso.

- P4.** Nuevamente se hace incidir luz de intensidad $I_0 = 1400 \text{ W/m}^2$ sobre una placa de vidrio crown inmersa en aire con un ángulo de 30° . El campo eléctrico vibra con un ángulo de 60° respecto del plano de incidencia.

- Opcional a) Determine, utilizando lo calculado anteriormente, el ángulo entre el campo eléctrico de la onda reflejada y de la transmitida con el plano de incidencia.
b) ¿Cómo cambia su respuesta anterior si se hace incidir luz con un ángulo de 75° ?

- A1.** La longitud de onda de la luz roja de un láser de helio-neón es 633 nm en el aire cambiando a 474 nm en el humor acuoso del globo ocular.

- a) ¿Cambia la frecuencia de la luz al cambiar de medio?
b) Calcule el índice de refracción del humor acuoso.
c) Determine la velocidad de la luz en el humor acuoso.

- C1.** Una placa de vidrio plana refleja aproximadamente el 8% de la luz incidente para incidencia normal. Un espejo plateado común refleja más del 90% de la luz incidente. A incidencia casi rasante, la

Constantes:

Velocidad de la luz en el vacío: 300000 km/s.

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

reflexión del vidrio es prácticamente la misma que la del espejo, es decir que casi el 100% de la luz se refleja. ¿Puede justificar este fenómeno utilizando los coeficientes de Fresnel?

- P5.** Sobre un polarizador lineal incide luz natural de intensidad I_0 . La luz, ahora polarizada, incide sobre una superficie plana de vidrio sin experimentar reflexión.
- Indique si el plano de vibración de la luz incidente coincide con el plano de incidencia en el vidrio.
 - Determine el ángulo de trasmisión en el vidrio y la intensidad de la luz transmitida
 - Describa el estado de polarización de la luz reflejada si incidiera luz natural en la superficie de vidrio.
- C2.** Suponga un material transparente de índice de refracción n' inmerso en un medio con índice de refracción n . Muestre que los ángulos de polarización para la reflexión externa (la luz incide desde el medio a la interfase) e interna (la luz incide desde el material en la interfase) son complementarios.
- P6.** El Sol se ve sobre un estanque tranquilo lleno de agua. A medida que el día transcurre el Sol eleva su altitud variando el ángulo de incidencia de la luz sobre el estanque. Determine el ángulo para el cual la luz reflejada estará completamente polarizada. ¿Se propaga luz en el estanque?

E1. Polarización de luz

Materiales:

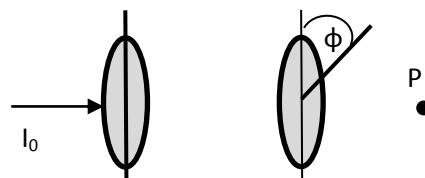
Linterna pequeña, lentes de sol (polaroid).

Armado del dispositivo (guía de ondas):

- Coloque la linterna prendida frente a uno de los vidrios del anteojos.
- Ubique el segundo vidrio del anteojos frente al primero y gírelo lentamente.
 - ¿Qué observa?
 - ¿Cómo puede explicar el fenómeno?



- P7.** Se hace pasar luz con intensidad I_0 a través de dos filtros polarizadores. El primer filtro tiene el eje orientado verticalmente y el segundo está rotado un ángulo ϕ respecto de la vertical. Se desea ajustar ϕ de manera que la intensidad en el punto P sea igual a la décima parte de la intensidad original.



- Si la luz original no está polarizada ¿cuál será el valor de ϕ ?
- Si la luz original está linealmente polarizada en la misma dirección que el eje de polarización del primer polarizador ¿cuál es el valor de ϕ en este caso?

- P8.** Un arreglo de tres polarizadores se dispone en una línea de forma tal que la dirección del eje de transmisión del segundo polarizador está rotado 23° con respecto al primero y el tercer polarizador está rotado 62° con respecto al primero. Si sobre el primer polarizador incide luz natural de intensidad 75 W/cm^2 ,
- determine la intensidad al atravesar cada polarizador.
 - ¿Cuál será la nueva intensidad emergente si se retira el segundo polarizador?
 - ¿Cómo cambian sus respuestas anteriores si la luz que incide está linealmente polarizada con el eje

Constantes:

Velocidad de la luz en el vacío: 300000 km/s .

Índice de refracción: aire = 1; agua = $1,33$; vidrio = $1,5$.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

de polarización formando un ángulo de 90° respecto del eje del primer polarizador?

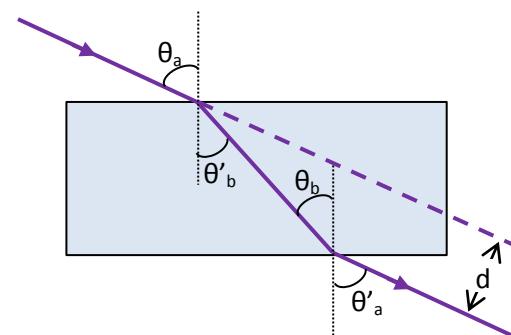
- P9.** Un haz de luz que viaja por el aire incide sobre un vidrio formando un ángulo de 40° con la normal a la superficie del vidrio.
- Determine el ángulo del haz transmitido.
 - ¿Se modifica su respuesta si la luz viaja por el vidrio e incide en la interfase con el mismo ángulo, es decir 40° ?
 - ¿Cuál es el ángulo del haz transmitido si la luz se propaga en el vidrio e incide en la interfase con el ángulo determinado en el inciso a)?

- C3.** Describa la relación (mayor o menor) entre los ángulos de incidencia y transmisión cuando:

- $n_t > n_i$
- $n_t < n_i$

- P10.** Suponga una lámina de caras paralelas, de espesor 2 cm e índice de refracción 1,7, inmersa en un medio único de índice de refracción 1,33. Un rayo de luz incide con un ángulo de 30° .

- Demuestre que un rayo que sale de la lámina es paralelo al rayo incidente.
- Calcule el desplazamiento lateral del rayo saliente d .
- Demuestre que el rayo que se refleja en la primera cara y el que emerge luego de reflejarse en la segunda son paralelos. Realice un esquema de la situación.
- ¿Podrá existir un ángulo de incidencia tal que produzca reflexión total en la cara inferior?



- C4.** Discuta por qué puede verse el Sol cuando está debajo del horizonte. Realice un esquema de la situación. Tenga en cuenta que la luz del Sol atraviesa la atmósfera de la Tierra y que la densidad de la atmósfera disminuye al aumentar la altura. Recuerde que el índice de refracción depende de la densidad del medio y consecuentemente de la presión y la temperatura del medio.

E2. Reflexión y refracción de la luz en un vaso

Materiales:

Vaso de vidrio no cilíndrico, agua, leche y láser.

Armado del dispositivo:

- Coloque agua en el vaso y unas gotas de leche.
- Homogenicé bien la mezcla anterior.
- Apague la luz y alumbre la superficie del vaso con el láser.
- Observe el costado del vaso.
 - Explique con los conceptos estudiados qué observa.
 - ¿Qué ocurre si ahora se alumbrá el vaso con luz blanca?



- C5.** Suponga que un haz de luz incide desde el agua en una interfase con el aire.

- Discuta si existe algún intervalo de ángulos para los cuales ocurre la reflexión total o existe un ángulo único para dicho fenómeno.

Constantes:

Velocidad de la luz en el vacío: 300000 km/s.

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- b) Si ahora el haz procede desde el aire ¿cuál sería el intervalo o el ángulo para el que se produce reflexión total?
- c) ¿La reflexión total interna ocurre cuando la luz que se propaga en un medio incide en una interfase con mayor índice de refracción o cuando incide en una interfase con menor índice de refracción o en ambos casos? Justifique su respuesta.
- d) Explique por qué cuando la luz incide en una interfase entre dos materiales, el ángulo del rayo refractado depende de la longitud de onda, pero el ángulo del rayo reflejado no.

P11. El ángulo crítico para la reflexión total interna en una interfase líquido-aire es $42,5^\circ$.

- a) Si un rayo de luz proveniente del líquido incide en la interfase con un ángulo de 45° ¿qué ángulo forma el rayo refractado en el aire con respecto a la normal?
- b) Si ahora el rayo de luz incide con un ángulo de 35° determine el nuevo ángulo que forma el rayo refractado.

P12. Los índices de refracción de cierta clase de vidrio para el rojo y el violeta son 1,51 y 1,53 respectivamente.

- a) Halle los ángulos límites de reflexión total para rayos monocromáticos de los colores anteriores que inciden en la superficie de separación vidrio-aire.
- b) ¿Qué ocurre si sobre dicha superficie incide luz blanca con un ángulo de 41° ?

P13. Un pequeño cuerpo ubicado en el fondo de un estanque con agua a 1 m de profundidad emite rayos luminosos en todas direcciones. En la superficie, por el fenómeno de refracción, se forma un círculo luminoso. Suponiendo que fuera de este círculo los rayos se reflejan totalmente en la superficie del agua, determine el radio del círculo.

E3. Guía de ondas con botella de Mariotte

Materiales:

Puntero láser o linterna pequeña, cubeta, botella de Mariotte con agua y leche. Para la botella de Mariotte se necesita una botella de plástico transparente con tapa a rosca, una pajita o sorbete, clavo largo, cinta adhesiva.



Armado del dispositivo (botella de Mariotte):

- i. Perfore con el clavo la tapa de la botella e inserte el sorbete, debe quedar bien ajustado.
 - ii. Caliente el clavo con fuego de una hornalla, tenga la precaución de tomar el clavo con una pinza.
 - iii. Con el clavo perfore la botella en una sección recta a $1/3$ de la base.
 - iv. Cubra el orificio con la cinta adhesiva, doblando una punta para poder retirarla.
 - v. Llene la botella de agua con leche y cierre la tapa.
- a) Con los conocimientos adquiridos en Física I, explique el funcionamiento de la botella de Mariotte.



Armado del dispositivo (guía de ondas):

- i. Descubra el orificio de la botella.
 - ii. Apunte el puntero láser hacia el orificio desde el lado opuesto del mismo.
 - iii. Oscurezca la sala.
- b) ¿Puede explicar el fenómeno que observa?

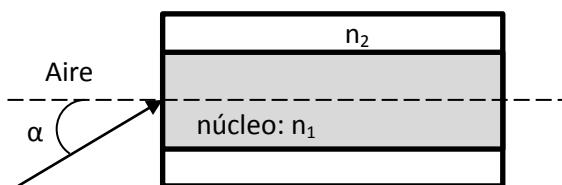
Constantes:

Velocidad de la luz en el vacío: 300000 km/s.

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- A2.** Una fibra óptica consiste en un núcleo central de vidrio, SiO_2 generalmente dopado con Ge, de índice de refracción n_1 rodeada de un material similar pero de índice de refracción n_2 . El ángulo de aceptación α de la fibra es el máximo valor que puede tomar el mismo sin que la luz incidente desde el aire escape del núcleo y pueda, de ese modo, propagarse por la fibra.

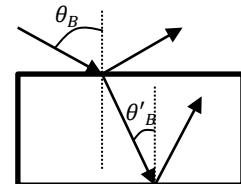


- Si la fibra trabaja por reflexión total interna, muestre que $n_2 < n_1$.
- Encuentre el ángulo de aceptación suponiendo $n_1 = 1,50$ y $n_2 = 1,49$ y que la fibra óptica está rodeada de aire.
- ¿Por qué no se utiliza una fibra “pelada” (núcleo sin su material de cobertura de índice n_2)?
- ¿Por qué en fibras para comunicaciones ópticas se utilizan materiales con índices de refracción muy próximos entre sí?

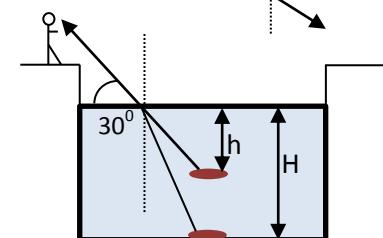
- P14.** La luz del Sol se refleja en la superficie lisa de una pileta de natación llena. Determine:

- el ángulo de incidencia para el cual el rayo reflejado está totalmente polarizado;
- el plano del vector campo eléctrico de la luz reflejada;
- el ángulo de refracción en este caso.
- Si de noche se enciende un reflector dentro de la pileta, responda los incisos anteriores tomando en cuenta que la luz blanca del reflector llega a la superficie desde el agua.

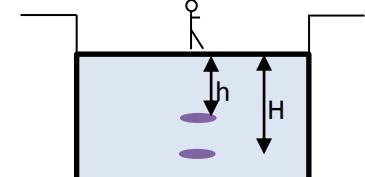
- P15.** Un bloque de vidrio está inmerso en agua. Muestre que luz natural que incide en la primer superficie con el ángulo de polarización (θ_B), será en parte transmitida a la segunda superficie y este haz transmitido incidirá en la segunda superficie con su ángulo de polarización (θ'_B). Recuerde el ejercicio **C2**.



- P16.** Una persona observa desde el aire un objeto que se encuentra en el fondo de una pileta llena de agua. El observador determina una profundidad aparente de $h = 1,8 \text{ m}$. Sabiendo que su visual forma un ángulo de 30° con la superficie del agua, determine la profundidad real H a la que se encuentra el objeto.



- P17.** Si el observador del problema anterior se encuentra ahora ubicado encima de otro objeto (incidencia próxima a la normal), y estima que el mismo se encuentra a una profundidad aparente de $h = 80 \text{ cm}$. Determine la profundidad real a la que se encuentra el objeto.



Constantes:

Velocidad de la luz en el vacío: 300000 km/s.

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 14

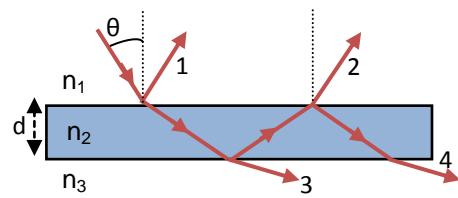
INTERFERENCIA Y DIFRACCIÓN.

P1. Dos fuentes coherentes A y B localizadas en el aire emiten ondas electromagnéticas con una longitud de onda de 2 cm. Un punto P se halla situado a 4,86 m de A y a 5,24 m de B.

- ¿Cuál es la diferencia de camino geométrico entre las dos ondas en el punto P y la diferencia de camino óptico?
- ¿Cuál es la diferencia de fase en P entre estas dos ondas?
- Si las fuentes se sumergen en agua ¿cómo serán ahora la diferencia de camino óptico y de camino geométrico en el punto P? ¿Cambia la diferencia de fase en P?

C1. Un haz de luz con longitud de onda λ incide normalmente sobre una lámina de caras paralelas. Los índices de refracción cumplen $n_1 < n_2$ y $n_2 > n_3$.

- Considerando los rayos 1 y 2 determine la diferencia de fase total, la diferencia de fase por reflexión y la diferencia de fase por diferencia de camino óptico.
- Repita el inciso anterior considerando los rayos 3 y 4.
- Calcule el espesor mínimo de la lámina para que los rayos 1 y 2 interfieran constructivamente.
- Cuando eso sucede ¿qué pasa con los rayos 3 y 4? Justifique la respuesta.
- ¿Qué sucede con los pares de rayos considerados anteriormente si, manteniendo el espesor mínimo calculado en c), se cambia el medio inferior de manera que ahora $n_1 < n_2 < n_3$?



E1. Película delgada

Materiales:

Aqua, detergente, clip grande y linterna.

Armado del dispositivo:

- Mezcle agua tibia con un poco de detergente de forma tal de obtener agua jabonosa.
- Sumerja el clip en el agua preparada anteriormente, de forma tal que se forme una película delgada.
- Alumbre la película con luz blanca de la linterna y muévala hasta obtener colores.
 - ¿Qué observa?
 - Explique por qué se observan colores al alumbrar con luz blanca la película.



P2. Las paredes de una burbuja de jabón inmersa en aire tienen el mismo índice de refracción que el del agua. Si el espesor de la pared de la burbuja mide 290 nm,

- determine la longitud de onda dentro del rango visible que se refleja con mayor intensidad en un punto localizado sobre una burbuja. ¿A qué color corresponde dicha longitud de onda?
- Si la película de jabón es muy delgada y su espesor es mucho menor que una longitud de onda de la luz visible, se ve negra. En contraste, una capa igualmente delgada de agua jabonosa sobre vidrio parece muy brillante. ¿A qué se debe esta diferencia?

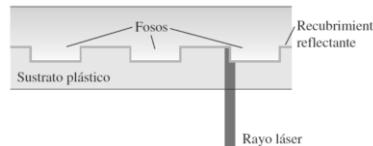
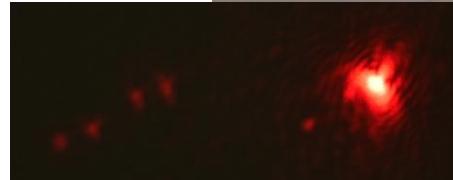
P3. Calcule el espesor de una película de jabón que al ser iluminada por luz natural se ve violeta por reflexión y amarilla por transmisión, cuando se la mira normal a la superficie. Considere que la longitud de onda del violeta es 400 nm y la del amarillo es 600 nm.

A1. Sobre la superficie de la ventana de un automóvil, de índice de refracción de 1,52, se coloca una película plástica con índice de refracción de 1,85 para incrementar la luz reflejada y mantener más fresco el interior del vehículo.

Constantes:

Índice de refracción de agua = 1,33; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- a) ¿Cuál es el espesor mínimo de la película para producir interferencia constructiva entre los rayos reflejados cuando incide luz de 550 nm?
- b) ¿Cuál es el espesor siguiente de la película con el que se puede producir interferencia constructiva?
- c) Calcule los coeficientes de reflexión y transmisión.
- A2.** Los discos compactos (CD) se leen por la parte de abajo mediante un láser semiconductor de longitud de onda 790 nm que pasa a través de un sustrato plástico cuyo índice de refracción es 1,8. Cuando el haz encuentra un foso (pit), una parte del haz se refleja en el foso y otra parte en la región plana que separa los mismos, de manera que los haces interfieren. ¿Cuál debe ser la profundidad mínima de los fosos de manera que los haces interfieran de manera destructiva? Esta cancelación es lo que permite que el aparato reconozca el comienzo y final de un foso.
- 
- A3.** Una celda solar, generalmente hechas con Si de índice de refracción 3,5, tiene pérdidas por reflexión del 30%, pero un recubrimiento puede reducir este valor a casi 10%. Para minimizar estas pérdidas, las celdas solares están recubiertas con una delgada película transparente de SiO, $n=1,45$.
- a) Determine el mínimo grosor de película que produce la menor reflexión al iluminarlo con luz de 550 nm.
- b) ¿Qué ocurre si la luz incidente es blanca?
- c) Calcule los coeficientes de reflexión y transmisión.
- E2. Cuña de aire**
- Materiales:*
Dos trozos de vidrio o acrílico, un hilo de cable, cinta adhesiva y láser.
- Armado del dispositivo:*
- Coloque sobre uno de los trozos de vidrio el hilo de cable.
 - Coloque sobre el cable uno de los extremos del otro trozo de vidrio.
 - Sujete los extremos con una cinta adhesiva.
 - Alumbre con el láser la cuña de forma tal que se proyecte la imagen en una pared blanca.
- a) ¿Qué observa?
- b) Explique por qué se observan diferentes franjas brillantes.
- 
- 
- P4.** Suponga dos placas planas de un material de índice de refracción 1,6, superpuestas en un extremo y separadas por un alambre en el otro, formando una delgada cuña de aire. Cuando sobre la placa incide normalmente luz de longitud de onda 632,8 nm (láser de He-Ne) se observan por reflexión 9 franjas brillantes entre el alambre y el vértice (el alambre se localiza en la décima franja oscura).
- a) Explique por qué el vértice aparece oscuro.
- b) ¿Cómo se observa el vértice cuando se mira por transmisión?
- c) Muestre que las franjas brillantes están uniformemente espaciadas.
- d) Determine el diámetro del alambre.
- e) ¿Qué ocurre si el espacio entre las láminas se llena con aceite de índice de refracción 1,722? ¿Cuántas franjas se observarían por reflexión?
- P5.** Un haz de luz dicromático, de longitudes de onda de 650 nm y 520 nm, incide casi normalmente sobre una lente plano-convexa. La lente que reposa sobre una placa plana, tiene un radio de curvatura de 85 cm y el espacio entre la lente y la placa está lleno de aire. Si la m -ésima banda oscura correspondiente a la longitud de onda de 650 nm coincide con la $(m+1)$ -ésima banda oscura a

Constantes:

Índice de refracción de agua = 1,33; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

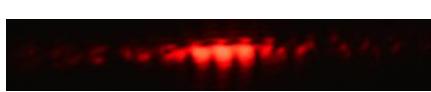
520 nm, determine el radio de dicha banda.

- P6.** En un dispositivo para observar anillos de Newton se mide el diámetro del cuarto anillo brillante. Al llenar el espacio entre la lente y la placa con un líquido desconocido, se mide el diámetro del mismo anillo brillante. Si los diámetros cambian de 2,52 cm a 2,21 cm, calcule el índice de refracción del líquido.
- C2.** El patrón de interferencia originado sobre una pantalla distante al iluminar con luz monocromática dos ranuras se compone de franjas oscuras y brillantes.
- Analice si las franjas brillantes consecutivas se encontrarán igualmente separadas. ¿Qué pasa con la separación de las franjas oscuras?
 - ¿Puede decir que las franjas oscuras se ubican justo en la mitad de la distancia de las franjas brillantes?
- P7.** Dos rendijas estrechas separadas 1,5 mm se iluminan con luz de 400 nm de longitud de onda y después con una de 700 nm. Las franjas de interferencia se observan sobre una pantalla situada a 3 m de distancia.
- Encuentre la separación de las franjas brillantes sobre la pantalla en cada caso.
 - Determine la separación entre franjas oscuras en cada caso. Compare con el resultado anterior.
 - Si la luz monocromática se sustituyera por luz blanca discuta cualitativamente cómo sería el patrón de interferencia sobre la pantalla.

E3. Interferencia usando un láser

Materiales:

Tijeras, láser, cinta aisladora y alambre fino.



Armado del dispositivo:

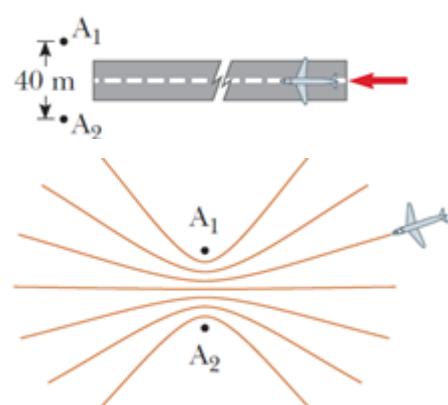
- Corte dos pequeños trozos de cinta aisladora y colóquelos en la abertura del láser para reducirla.
 - Coloque un trozo de alambre fino en el medio de la abertura, pegándolo con la cinta.
 - Pegue dos cintas a los costados del alambre lo más cerca posible sin tocarlo.
 - Apague la luz y encienda el láser, apuntándolo a una hoja/pared blanca.
- ¿Qué observa?
 - ¿Qué condiciones se deben cumplir para observar el patrón de interferencia?

- C3.** Se hace pasar luz roja con longitud de onda de 700 nm a través de dos ranuras, al mismo tiempo que atraviesa luz visible monocromática con otra longitud de onda. Como resultado, la mayor parte del patrón que aparece en la pantalla es una mezcla de dos colores, sin embargo, el centro de la tercera franja brillante ($m = 3$) correspondiente a la luz roja aparece como un rojo puro. ¿Cuáles son las posibles longitudes de onda del segundo tipo de luz visible? Justifique su respuesta.

- A4.** El experimento de doble ranura de Young es la base del sistema de aterrizaje por instrumentos que se emplea para guiar aviones cuando hay mala visibilidad.

Un piloto intenta alinear su avión con la pista, utilizando las señales de dos antenas de radio A_1 y A_2 ubicadas de forma adyacente a la pista y separadas 40 m. Las antenas transmiten ondas de radio coherentes no moduladas de frecuencia 30 MHz.

El piloto sigue la máxima señal en conformidad con el máximo central de interferencia, que se corresponde con el rumbo correcto para aterrizar cuando llegue a la pista.



Constantes:

Índice de refracción de agua = 1,33; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

- a) ¿A qué distancia del centro de la pista estará el avión si el avión vuela siguiendo el primer máximo lateral, cuando se localice a 2 km de las antenas?

Es posible avisarle al piloto que está en el máximo equivocado si se le envían dos señales desde cada antena y se equipa al avión con un receptor de dos canales.

- b) Explique la forma en que funcionaría este sistema de dos frecuencias y por qué no necesariamente daría resultado si las frecuencias estuvieran relacionadas por una relación de enteros.

- P8.** Un sistema de dos rendijas es iluminado por una fuente monocromática de longitud de onda 550 nm. La distancia entre las dos ranuras es 3,3 mm mientras que la distancia desde las ranuras a la pantalla es 3 m. Al colocar detrás de la ranura superior una lámina de caras paralelas y planas de material desconocido, de espesor 0,01 mm, la primer franja brillante de interferencia está a 4,73 mm del centro.
- Determine el valor del índice de refracción del material.
 - ¿Qué ocurre con la posición de la franja central?
 - ¿Se puede detectar dicho corrimiento cuando se emplea una fuente policromática?

- A5.** La figura muestra un dispositivo denominado espejo de Lloyd utilizado para realizar experiencias de interferencia con rayos X. Este dispositivo consta de una fuente de luz S, un espejo y una pantalla. Parte de la luz que emite S es reflejada por el espejo (cuyo índice de refracción es mayor a 1) y contribuye a la iluminación de la pantalla donde interfiere con la luz directa que proviene de S.
- 
- Represente los rayos que parten de S e interfieren en P. Discuta su analogía con la experiencia de Young.
 - Calcule la separación de las franjas brillantes en la pantalla para luz de 0,8 nm, la distancia entre la fuente S y el espejo es de 2 mm y la distancia de la fuente a la pantalla es de 3 m.
 - ¿Cómo se observa la franja central?

- P9.** Suponga que incide luz sobre tres dispositivos que tienen 2, 4 y 7 rendijas cada uno, con la misma separación entre ellas en todos los dispositivos.
- Determine la intensidad de los máximos principales y su posición de los máximos en cada caso.
 - ¿Se modifica su respuesta anterior al cambiar el número de rendijas?
 - Determine la posición de los mínimos y la cantidad de máximos secundarios.
 - ¿Se modifica su respuesta anterior al cambiar el número de rendijas?
 - Estime el ancho de los máximos principales de interferencia en cada caso.
 - Realice un esquema del patrón de interferencia para cada caso.

- P10.** Se hace pasar el haz de un láser de 700 nm de longitud de onda a través de una rendija de 0,2 mm de ancho. Se genera un patrón de difracción sobre una pantalla situada a 6 m de distancia. Determine:
- el ancho del máximo central o lóbulo central de la figura de difracción sobre la pantalla;
 - el ancho de los lóbulos laterales de difracción y su posición.

E4. Difracción usando un láser

Materiales:

Tijeras, láser y cinta aisladora.

Armado del dispositivo:



- Corte dos pequeños trozos de cinta aisladora y colóquelos en la abertura del láser para reducirla.
- Apague la luz y encienda el láser, apuntándolo a una pared blanca.
 - ¿Qué observa?
 - ¿Qué condiciones se deben cumplir para observar el patrón de difracción?

Constantes:

Índice de refracción de agua = 1,33; velocidad de la luz 300000 km/s.



P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

C4. A través de una única ranura de ancho a pasa luz de longitud de onda λ y frecuencia f y observándose el patrón de difracción en una pantalla ubicada a una distancia D de la ranura. Indique, justificando la respuesta en cuáles de los siguientes casos el máximo central se reduce

- a) al disminuir el ancho de ranura;
- b) al disminuir la frecuencia de la luz;
- c) al disminuir la longitud de onda de la luz;
- d) al disminuir la distancia D de la ranura a la pantalla.

P11. Sobre una rendija de ancho de 30000 nm incide normalmente un haz de luz de rayos paralelos monocromática, observándose el patrón de interferencia sobre una pantalla ubicada a 3 m de la rendija.

- a) Sabiendo que la longitud de onda correspondiente a luz roja es 700 nm y la luz violeta es 400 nm, determine la posición del primer mínimo para dichos colores.
- b) ¿Bajo qué ángulo se observarán el segundo mínimo de difracción para cada color?
- c) Si se hace incidir luz blanca, ¿cómo se observa el máximo central? ¿Qué pasa con los lóbulos laterales?

P12. Dos rendijas de ancho 0,015 mm, separadas 0,06 mm, se encuentran iluminadas por luz de longitud de onda de 650 nm.

- a) Sin tener en cuenta los efectos de difracción debidos al ancho de las ranuras, calcule la posición de los cuatro primeros máximos del patrón de interferencia, en una pantalla ubicada a 2 m de las rendijas.
- b) Si ahora se tiene en cuenta los efectos de difracción y sabiendo que la intensidad en el centro del máximo central es I_0 , determine las intensidades en cada una de las posiciones calculadas en el inciso anterior.
- c) ¿Qué máximo de interferencia, producido por la doble rendija, se pierde en el patrón observado en la pantalla en el caso del inciso b)?
- d) ¿Cuántas franjas brillantes o máximos de interferencia se ven en el máximo central de difracción?
- e) ¿Cuántas franjas brillantes o máximos de interferencia se ven en los lóbulos laterales de difracción?

C5. Sobre dos ranuras separadas una distancia d , inciden dos ondas electromagnéticas planas monocromáticas de longitudes de onda λ_1 y λ_2 .

- a) ¿Qué relación debe satisfacer el cociente entre longitudes de onda para que el tercer máximo de interferencia de λ_1 coincida con el tercer mínimo de interferencia de λ_2 ?
- b) Dado la relación entre longitudes de onda determinada en el inciso anterior, determine el ancho de las ranuras si se desea que el tercer máximo de interferencia de λ_1 (que coincide con el tercer mínimo de interferencia de λ_2) coincida con el primer mínimo de difracción de λ_1 .
- c) ¿Qué intensidad se registrará en la pantalla en ese punto?

P13. Un experimento de interferencia-difracción produce un patrón de franjas brillantes y oscuras sobre una pantalla ubicada a 2,50 m de las ranuras. La distancia entre dos puntos brillantes medida desde sus centros es 1,53 mm (excepto por el punto faltante u orden perdido). La fuente de luz es un láser de helio-neón de longitud de onda 632,8 nm. En el lóbulo central se observan 13 franjas brillantes y en los laterales (primer lateral a cada lado del lóbulo central) se observan 6 franjas brillantes.

- a) Determine la distancia de separación de las ranuras y el ancho de las mismas.
- b) ¿Qué máximo de interferencia se pierde en la pantalla?
- c) Si cambia la longitud de onda ¿cambia el orden perdido?
- d) Represente la distribución de intensidad luminosa sobre la pared en función de la posición.
- e) ¿Cómo cambia la distribución de intensidad si una de las ranuras es tapada? Grafique.
- f) ¿Cómo cambia la distribución de intensidad si las ranuras duplican su ancho? Grafique.

Constantes:

Índice de refracción de agua = 1,33; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

P14. Suponga que incide luz sobre tres dispositivos que tienen 2, 4 y 7 rendijas cada uno. Cada rendija de cada dispositivo tiene el mismo ancho a y la misma separación entre ellas $d = 3a$ (recuerde el ejercicio P9).

- Analice la posición de los máximos principales en cada caso.
- ¿Se modifica el ancho el lóbulo central del patrón de difracción cuando cambia el número de rendijas?
- ¿Cuántos máximos principales y cuántos secundarios quedan comprendidos dentro del lóbulo central de difracción en cada caso?
- ¿Cuántos máximos principales y cuántos secundarios quedan comprendidos dentro de los lóbulos laterales de difracción en cada caso?
- Realice un esquema del patrón de interferencia-difracción para cada caso.

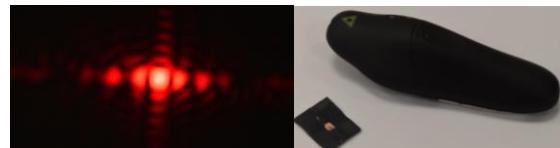
E5. Red de difracción

Materiales:

Tijeras, láser, cinta aisladora y alambre fino.

Armado del dispositivo:

- Corte dos pequeños trozos de cinta aisladora y colóquelos en la abertura del láser para reducirla.
- Pegue 10 trozos de alambre fino en el medio de la abertura.
- Pegue dos cintas a los costados del arreglo de alambres lo más cerca posible sin tocarlo.
- Apague la luz y encienda el láser, apuntándolo a una pared blanca.
 - ¿Qué observa?
 - ¿Qué ocurre si en vez de usar un láser se usa luz blanca?



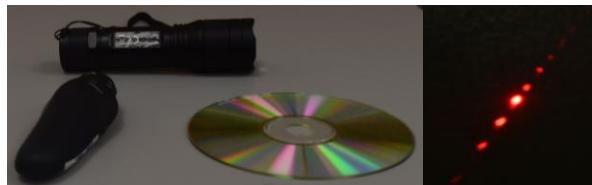
E6. Red de difracción con un CD

Materiales:

CD, láser.

Armado del dispositivo:

- Ilumine un CD con el láser.
 - ¿Qué observa?
 - ¿Cómo explica el fenómeno?
 - ¿La difracción se observa por transmisión o reflexión?



A6. Suponga que la visión del ojo humano está limitada por la difracción originada en la luz que atraviesa la pupila que en condiciones normales de iluminación tiene un diámetro de 2 mm.

- Calcule el ángulo mínimo que permite distinguir dos objetos localizados a una distancia de 25 cm del ojo (distancia de visión clara) cuando se encuentran iluminados con una luz de longitud de onda 550 nm.
- Determine la separación entre dichos objetos.

P15. Las longitudes de onda del espectro visible abarcan aproximadamente desde 400 nm (violeta) hasta 700 nm (rojo).

- Calcule el ancho angular del espectro visible de primer orden que produce una red plana con 600 rendijas por milímetro cuando incide luz blanca en dirección normal sobre la misma.
- ¿Se superponen los espectros de primero y de segundo orden?
- ¿Qué ocurre con los espectros de segundo y de tercer orden?
- ¿Cómo se modifican sus respuestas si se aumenta la cantidad de líneas a 20000 líneas por milímetro?

Constantes:

Índice de refracción de agua = 1,33; velocidad de la luz 300000 km/s.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

E7. Red de difracción con un CD

Materiales:

CD, luz blanca.

Armado del dispositivo:

- i. Ilumine un CD con luz blanca.
- a) ¿Qué observa?
- b) ¿Cómo explica el fenómeno? (*Recuerde el ejercicio A3 del TP14*)
- c) ¿La difracción se observa por transmisión o reflexión?



P16. Se dispone de dos redes de difracción cuadradas de 2 cm de lado, una de ellas tiene 600 líneas/mm y otra 1200 líneas/mm.

- a) Calcule el poder separador de cada red en el primer orden.
- b) ¿Cuál es la separación angular para el primer orden entre las emisiones amarillas del doblete de sodio (589 nm y 589,6 nm)? ¿Es posible separar el doblete del sodio?
- c) Determine el máximo orden observable.

P17. Si una red de difracción produce su máximo de tercer orden a un ángulo de $78,4^\circ$ con luz de longitud de onda de 681 nm, calcule

- a) el número de ranuras por centímetro de la rejilla;
- b) la posición angular de los máximos de primer y segundo orden.
- c) ¿Podrá observar un máximo brillante de cuarto orden? Justifique su respuesta.

A7. Interferometría en astronomía

El observatorio de radio astronomía Karl G. Jansky Very Large Array (VLG) está ubicado en Nuevo México, Estados Unidos. Consta de 27 radiotelescopios (antenas) independientes de 25 metros de radio ubicados en forma de Y. Como cada antena está ubicada sobre rieles puede modificarse la distancia entre ellas, de forma tal de ajustar el balance entre resolución angular y sensibilidad de brillo en la superficie. El arreglo actúa como una única antena con diámetro variable (de hasta 32 km de diámetro) que permite una resolución angular entre 0,2 y 0,04 segundos de arco.

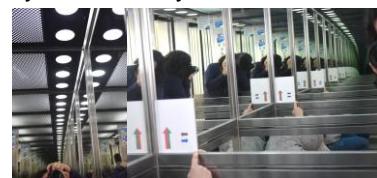


P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

TRABAJO PRÁCTICO N° 15**ÓPTICA GEOMÉTRICA**

Al resolver los ejercicios preste atención a la convención de signos utilizada e indique en TODOS los diagramas de rayos el sentido de la luz. Recuerde realizar los diagramas de rayos a escala.

- P1.** Una vela de 5 cm de alto está ubicada a 40 cm a la izquierda de un espejo plano. ¿Dónde se forma la imagen y cuál es su altura? Realice un esquema de la situación incluyendo los rayos considerados para obtener la imagen. Indique con flechas el sentido de la luz.



- C1.** Explique el fenómeno de reflejos infinitos observado en la figura de la derecha y producido cuando se encuentra en una habitación con espejos planos en dos muros opuestos.

- P2.** Un objeto de altura $R/6$ es localizado frente a un espejo esférico cóncavo de radio R a una distancia $1,5 R$ del vértice del espejo.

- Realice el diagrama de rayos correspondiente indicando claramente dónde se forma la imagen.
- Calcule la ubicación de la imagen y su aumento transversal y longitudinal.
- ¿Qué ocurre si el espejo es convexo?

- C2.** Un objeto se ubica frente a un espejo esférico cóncavo.

- Determine el rango de posiciones del objeto para que el espejo forme una imagen real y el rango para que se forme una imagen virtual. Indique si las imágenes son derechas o invertidas.
- Si el espejo considerado es convexo, ¿cómo cambia su respuesta anterior? Justifique. Indique si las imágenes son derechas o invertidas.
- En base a sus respuestas anteriores, ¿es posible formar una imagen real con un espejo plano?

- C3.** Una persona mira su reflejo en el lado cóncavo de una cuchara reluciente.

- Usando los resultados del ejercicio C2 discuta si la distancia entre el rostro y la cuchara modifica la orientación de la imagen (derecha o invertida).
- Si ahora la persona gira la cuchara y se mira del lado convexo, ¿su imagen será derecha o invertida?



- A1.** En calles muy estrechas se ubican en las esquinas espejos convexos para ver el tránsito de la calle perpendicular y evitar accidentes. En los supermercados y grandes negocios se utilizan este tipo de espejos para seguridad del local.

- A2.** Un odontólogo utiliza un espejo esférico para inspeccionar la dentadura de sus pacientes. Suponga que quiere que se forme una imagen derecha con un aumento transversal de 2, cuando el espejo está a 1,25 cm de una pieza dental del maxilar superior.

- ¿Qué tipo de espejo necesita? Justifique su respuesta usando un diagrama de rayos.
- ¿Cuáles deben ser la distancia focal y el radio de curvatura de este espejo?

- P3.** Un objeto cúbico de 1 cm de lado se coloca a 20 cm del vértice de un espejo cóncavo de distancia focal 40 cm.

- Calcule la posición, tamaño y orientación de la imagen que se forma. Realice el diagrama de rayos

Constantes:

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5; hielo = 1,309; aceite = 1,45.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; ejercicios filmados

correspondiente.

- b) Repita los cálculos si el objeto se encuentra a 60 cm del vértice.

P4. Una partícula de tierra está incrustada a 3,5 cm bajo la superficie de una plancha de hielo plana.

- Si considera la plancha de hielo como un dióptrico, ¿qué valor tiene su radio de curvatura?
- Determine la profundidad aparente de la partícula vista con una incidencia normal empleando la ecuación de los dióptricos.
- Resuelva el problema utilizando la Ley de Snell y compare sus resultados con los obtenidos anteriormente.

P5. Una sustancia transparente de índice de refracción 1,5, está limitada por una superficie esférica de 60 cm de radio. Un objeto, en el aire, frente a la superficie cóncava de la sustancia transparente a 1,4 m.

- Determine las distancias focales objeto e imagen identificándolas en un gráfico.
- Calcule la posición de la imagen y el aumento.
- Repita los cálculos si ahora la superficie es convexa.

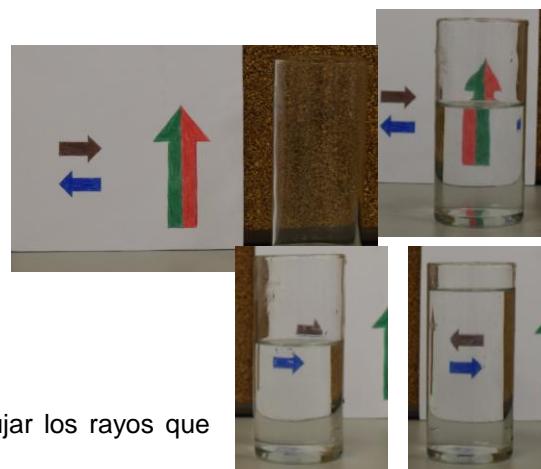
E1. Lente gruesa

Materiales:

Vaso cilíndrico, agua, flecha apuntando hacia la izquierda o derecha sobre hoja blanca.

Armado del dispositivo:

- Ubique el vaso delante de la hoja con la flecha, de forma tal que la flecha sea vista a través del vaso.
 - Llene el vaso con agua mientras observa la flecha.
 - Repita el procedimiento con otros objetos.
- ¿Qué ocurre?
 - Explique el fenómeno de forma teórica (trate de dibujar los rayos que atraviesan los diferentes medios)
 - ¿Cómo vería los dedos de mi mano derecha si la ubico detrás del vaso?



P6. Una varilla cilíndrica de vidrio de longitud 30 cm tiene como borde dos superficies esféricas de radios de curvatura 10 y 20 cm (izquierda y derecha). Un objeto se sitúa a 25 cm

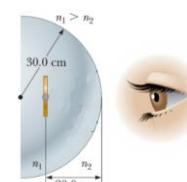


del vértice de la primera superficie como se muestra en la figura.

- Calcule la posición de la imagen final y su aumento cuando la varilla está sumergida en aire.
- Defina el carácter de la imagen (real o virtual, derecha o invertida).
- ¿Cambia la posición de la imagen y su tamaño si el sistema está sumergido en un líquido de índice 1,6? Justifique su respuesta.

P7. Una moneda de 2 cm de diámetro está incrustada en una bola de vidrio sólida de 30 cm de radio e índice de refracción 1,5. La moneda está a 20 cm de la superficie.

- Encuentre la posición de la imagen de la moneda y su aumento transversal y longitudinal. ¿La imagen sigue siendo un círculo? Justifique.
- Si ahora la moneda se encuentra incrustada en un bloque de vidrio cúbico, cómo cambia, si cambia, su respuesta anterior. Justifique.



Constantes:

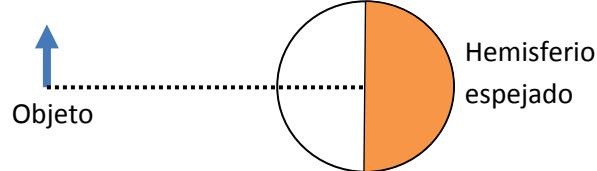
Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5; hielo = 1,309; aceite = 1,45.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

P8. Un pez pequeño flota inmóvil a 7 cm bajo la superficie del agua en un tanque de profundidad 20 cm, cuyo fondo es un espejo.

- ¿Cuál es la profundidad aparente del pez visto a incidencia normal?
- ¿Cuál es la profundidad aparente de la imagen producida por el espejo vista a incidencia normal?
- Realice un esquema de la situación.

P9. Una pecera esférica de radio 20 cm con paredes delgadas con un hemisferio espejado, está llena de un líquido cuyo índice de refracción es 1,25. Calcule la posición final de la imagen de un objeto ubicado a 2,4 m de la pecera. Realice un esquema de rayos



P10. Un objeto está 16 cm a la izquierda de una lente formándose la imagen a 36 cm a la derecha de la misma.

- ¿Cuál es la distancia focal de la lente?
- A partir de sus resultados indique si la lente es convergente o divergente.
- Si el objeto tiene 8 mm de altura, ¿cuál es la altura de la imagen? ¿Es derecha o invertida?
- Compruebe sus resultados mediante un diagrama de rayos.

P11. Una lente convergente de distancia focal 20 cm forma una imagen virtual a 17 cm de la misma de 8 mm de altura. El índice de refracción de la lente es 1,4 y está sumergida en aire.

- Determine los radios de curvatura de la lente, suponiendo que ambos son iguales y su potencia.
- ¿El objeto y la imagen están del mismo lado o en lados opuestos de la lente? Compruebe su respuesta utilizando un diagrama de rayos de la situación.
- ¿La imagen es derecha o invertida?
- Calcule la posición y el tamaño del objeto.
- Repita los cálculos en el caso de una lente divergente con el mismo valor de distancia focal.
- ¿Dónde se ubicaría el objeto si la lente divergente tuviese una distancia focal de 12 cm?

P12. Una lente divergente de menisco hecha de vidrio, con superficies esféricas de radios 7 cm y 4 cm es empleada para obtener la imagen de un objeto colocado a 24 cm a la izquierda de la misma. ¿Cuál es la posición y el aumento de la imagen?



C4. Cuando una lente de vidrio se sumerge en agua, ¿aumenta o disminuye su distancia focal en comparación con su valor en el aire? Explique su respuesta considerando una lente convergente y una divergente.

P13. En un cuarto hay una vela encendida a 1,5 m de una de las paredes. Una lente colocada entre la vela y la pared forma una imagen de la vela sobre la pared. Si la lente es desplazada 90 cm hacia la pared se enfoca nuevamente la imagen en la pared.

- Realice un diagrama de rayos para los dos casos y caracterice las dos imágenes.
- Calcule la distancia focal de la lente utilizada y las dos distancias entre la vela y la lente para que la imagen esté enfocada en la pared.

Este procedimiento se utiliza para la obtención de distancias focales de lente convergentes y es conocido como el **método de Bessel**. Mediante este método se minimiza el error en la distancia focal

Constantes:

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5; hielo = 1,309; aceite = 1,45.

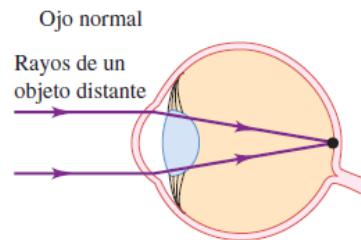
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

debido al espesor de la lente, siempre y cuando la distancia entre objeto y pantalla sea cuatro veces mayor que la distancia focal.

- A3.** En un modelo simplificado del ojo humano se considera que los humores acuoso y vítreo y el cristalino tienen igual índice de refracción de valor 1,40. Es decir que la refracción tiene lugar en la córnea, pudiéndose pensar al sistema como una lente delgada única. El vértice del sistema está a 2,6 cm de la retina, zona sensible ubicada en la parte posterior del ojo. El enfoque de los objetos sobre la retina se realiza modificando la curvatura del cristalino pudiendo así enfocar objetos a distintas distancias. Los límites de enfoque de un ojo normal son:

- punto remoto: en el infinito;
- punto próximo: aproximadamente 25 cm.

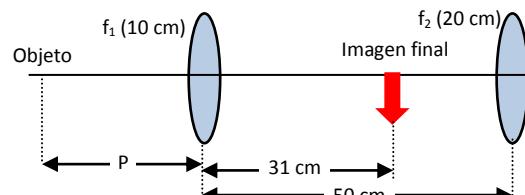
¿Cuál debería ser el radio de curvatura de la córnea, para que la imagen de un objeto, situado a 40 cm del vértice de la córnea, esté enfocado en la retina?



- A4.** Una cámara fotográfica tiene montada una lente fija de 50 mm de distancia focal capaz de enfocar objetos localizados entre 45 cm y el infinito. El registro de la imagen se realiza al colocar una película fotográfica o un sensor en el plano donde se forma una imagen real. Suponiendo que la cámara está fabricada con una única lente,
- ¿puede esta cámara registrar una imagen virtual? Si su respuesta es negativa, indique cómo debería proceder.
 - Teniendo en cuenta su respuesta anterior, ¿la lente de la cámara es convergente o divergente?
 - La cámara se enfoca desplazando la lente cambiando su distancia respecto al sensor o película fotográfica. Determine el rango de distancias entre la lente y el plano del sensor, que permita obtener imágenes nítidas para objetos ubicados entre 45 cm y el infinito.

- P14.** Un sistema óptico está compuesto por dos lentes delgadas biconvexas L_1 y L_2 de distancias focales 10 cm y 20 cm respectivamente, separadas por una distancia de 80 cm (L_1 está a la izquierda de L_2).
- Describa la imagen final correspondiente a un objeto de 5 mm de alto colocado a 15 cm a la izquierda de la primera lente.
 - Realice un diagrama de rayos para comprobar el resultado anterior.

- P15.** Dos lentes convergentes se utilizan para formar una imagen final entre las lentes.
- ¿A qué distancia P a la izquierda de la lente de 10 cm de distancia focal debe estar el objeto?
 - Calcule el aumento transversal y longitudinal.
 - Considerando su respuesta anterior, ¿la imagen final está derecha o invertida?



- A5. *Microscopios.*** La distancia focal del objetivo y del ocular de un microscopio son 3 mm y 2 cm respectivamente. Si las lentes están separadas 20 cm y quiero formar una imagen a 25 cm del ocular,
- ¿a qué distancia se ubica el objeto sobre la platina de observación?
 - Determine el aumento del sistema de lentes.
 - ¿Cuál sería la potencia de una única lente que produjera el mismo aumento?

Constantes:

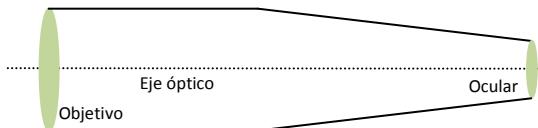
Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5; hielo = 1,309; aceite = 1,45.

P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
 L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

A6. Telescopio refractor.

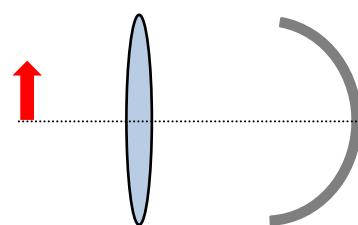
Dado que los objetos astronómicos se encuentran a grandes distancias, los rayos luminosos que provienen de un mismo punto de la fuente pueden considerarse paralelos entre sí.

El telescopio refractor tiene una lente objetivo (colecta la luz de los objetos) y una lente ocular (permite observar las imágenes) que puede ser intercambiada según la necesidad. La distancia focal del objetivo es siempre mucho mayor que la del ocular.



- P16.** Una lente convergente delgada con radios de curvatura $R_1 = 9\text{ cm}$ y $R_2 = 6\text{ cm}$ se ubica frente a un espejo cóncavo de radio $R = 8\text{ cm}$.

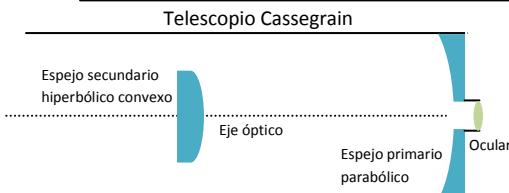
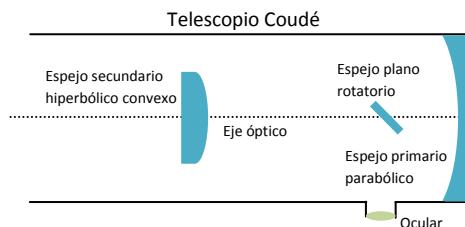
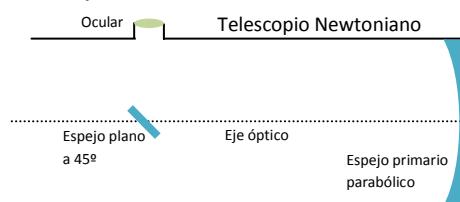
- Si la distancia focal de la lente es 5 cm, determine su índice de refracción.
- Si la lente y el espejo están separados 20 cm y un objeto se coloca a 8 cm a la izquierda de la lente, determine la posición de la imagen final y su aumento.
- ¿La imagen final es real o virtual? ¿Está invertida o derecha? Justifique.



- P17.** A la derecha de una lente biconvexa convergente (distancia focal f) sobre su plano focal se encuentra ubicado un espejo plano. Si a la izquierda de la lente y a una distancia $1,5f$ hay un objeto luminoso,

- calcule la posición de la imagen final y realice un esquema de rayos.
- ¿Es una imagen real o virtual? ¿Está invertida o derecha? Justifique.

- A7. Telescopio reflector.** En el telescopio reflector la luz es recogida por un espejo primario parabólico o esférico y redirigida hacia el ocular por un espejo secundario que puede ser plano o hiperbólico convexo.



A8. Defectos en la visión y su corrección.

Los defectos más comunes en la visión y su forma de corregirlos son:

| Defecto | Problemática | Corrección |
|----------------------|--|--|
| Miopía | Imagen se forma antes de la retina | Lente divergente |
| Hipermetropía | Imagen se forma después de la retina | Lente convergente |
| Astigmatismo | Distorsión de la imagen debido a que la curvatura córnea no esférica | Lentes cilíndricas |
| Cataratas | Deterioro del cristalino que impide el paso normal de la luz, supone visión con nubes o manchas. | Implica cirugía interna, incluyendo una lente intraocular. |

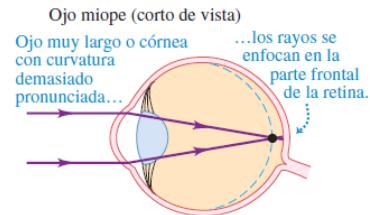
Constantes:

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5; hielo = 1,309; aceite = 1,45.

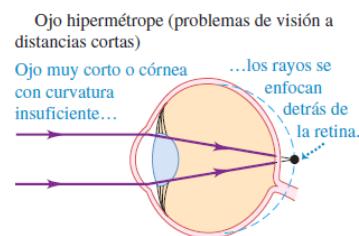
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados

Para algunos defectos se utiliza la corrección mediante láser que consiste en “tallar” la córnea. En algunas ocasiones se puede incorporar en ella una lente.

- A9.** En una forma de cirugía para cataratas, se sustituye el cristalino que se ha enturbiado por una lente artificial. Es posible elegir las propiedades refractivas de la lente de repuesto, de modo que el ojo de la persona enfoque los objetos distantes. Pero se necesitan anteojos o lentes de contacto para ver de cerca. Considerando el modelo simplificado del ojo que se describe en el ejercicio **A3**, ¿cuál es la potencia, en dioptrías, del sistema de lentes que permiten a una persona enfocar una página de un libro a una distancia de 24 cm? Suponga que la lente correctiva está en contacto con la córnea.



- A10.** Cierta persona miope es incapaz de enfocar objetos ubicados a más de 36 cm del ojo. Considere el modelo simplificado del ojo que se describe en el ejercicio **A3**, con el radio de curvatura de la córnea de 0,75 cm cuando el ojo está enfocado en un objeto a 36 cm del vértice de la córnea
- ¿cuál es la distancia del vértice de la córnea a la retina?
 - ¿Qué corrección sería necesaria para enfocar un objeto situado a 1 m?



- P18.** Suponga 4 lentes de distancias focales $f_1=0,1$ cm, $f_2=1$ cm, $f_3=10$ cm y $f_4=100$ cm. Determine la potencia total del sistema con las 4 lentes acopladas en dioptrías.

Constantes:

Índice de refracción: aire = 1; agua = 1,33; vidrio = 1,5; hielo = 1,309; aceite = 1,45.