



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 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  $\rho$  (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  $\vec{\nabla} \cdot G_r \hat{r} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial(r^2 G_r)}{\partial r}$ ).

**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 plano 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  $\frac{dV}{dt}$ .

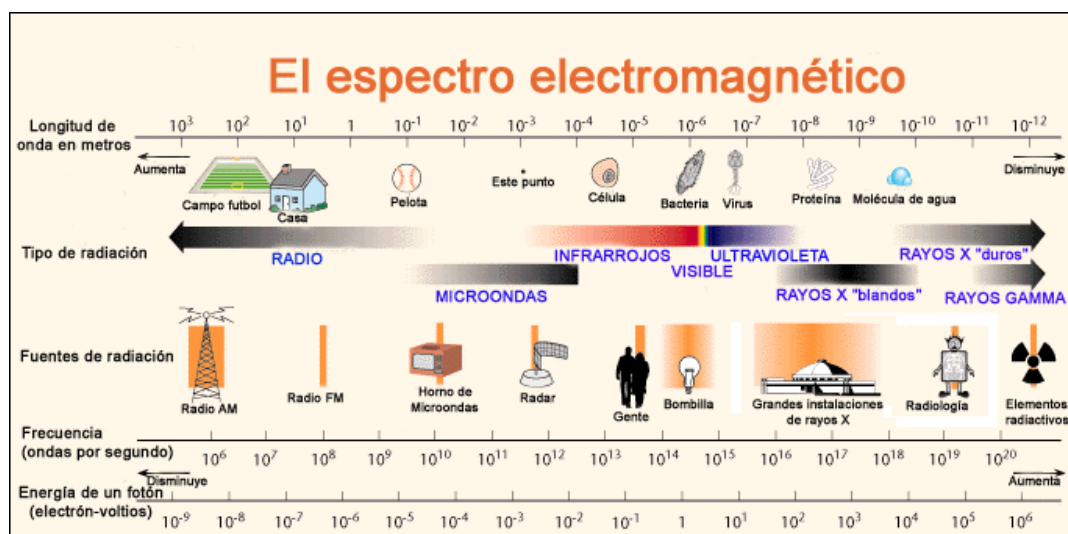
**P3.** Considere un capacitor de placas paralelas circulares de radio 0,6 cm cuya capacidad es de 1,2  $\mu\text{F}$ . El mismo se carga a una tasa de 12,9 mC/s.

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  $\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = \vec{\nabla} (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$ ,
- 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  $\vec{E}(x, t) = A e^{-\alpha(x-vt)} \hat{j}$  (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.



- 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.
- 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.
- 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 estratósfera.
- 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 ondas 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.

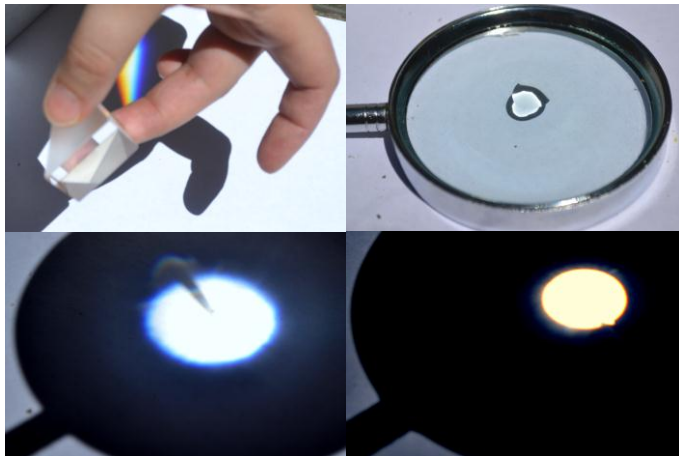
## E1. Espectro de luz blanca

*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

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

### E3. Radiación ultravioleta

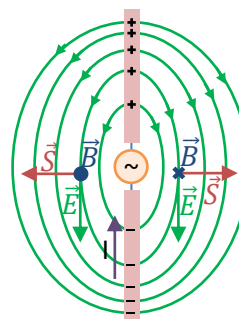
*Materiales:*

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

*Armado del dispositivo:*

- Escriba algo con el resaltador amarillo en la hoja negra.
  - Ilumine la hoja con la luz.
    - ¿Qué observa?
  - Coloque el filtro (anteojos) entre la luz y la hoja negra.
    - ¿Qué observa?
    - ¿Cómo explica el fenómeno?
    - ¿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.
- ¿Cuál es el valor de la permitividad del vacío en este nuevo universo?
  - 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?

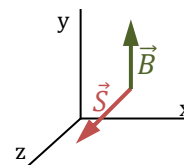
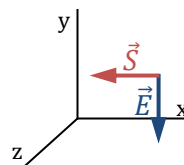
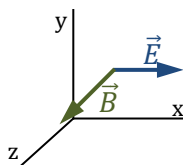


- Orientada de arriba-abajo a lo largo de la página,
- Orientada de izquierda-derecha a lo largo de la página
- Orientada de forma perpendicular a la página.

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

- P5.** ¿Quién oír 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  $4 \times 10^{13}$  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  $\vec{E}(z, t) = 30 \cos(kz - \omega t) \hat{i}$  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  $\vec{S}(z, t) = -220 \cos^2(12z + 3,6 \times 10^9 t) \hat{k}$ . 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  $\vec{E}(z, t) = (30 \hat{i} + 20 \hat{j}) \cos(kz + \omega t)$  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  $\vec{B}(\vec{r}, t) = (4 \hat{i} + 2 \hat{j}) \times 10^{-4} \cos(\vec{K} \cdot \vec{r} + \omega t)$  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  $1000 \text{ W/m}^2$ . 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.





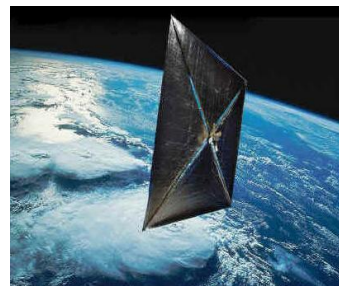
P: problemas; C: ejercicios conceptuales para discutir en grupos; A: ejercicios de aplicación; E: experimentos para realizar en la casa;  
L: ejercicios relacionados con el laboratorio; : ejercicios filmados


necesario para que funcione.


- a) 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?
- b) Un secador de pelo que consume 1500 W. ¿Podrá instalarse dicho panel solar sobre el techo de su casa?
- c) 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  $1340 \text{ W/m}^2$ .

- a) ¿Qué fuerza se ejerce sobre la vela?
- b) ¿Cuál es la aceleración de la misma?
- c) ¿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  $1353 \text{ W/m}^2$ , según la NASA.

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

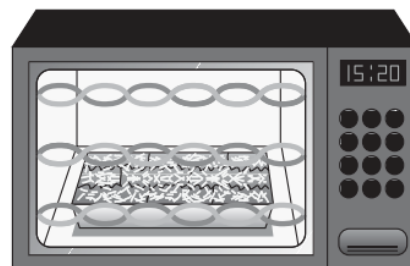
El 20 de mayo de 2010 fue lanzada por la agencia espacial japonesa JAXA la sonda espacial experimental IKAROS, impulsada parcialmente mediante una vela solar cuadrada de 20 m de lado, que incorpora unas celdas solares para generar la energía necesaria para los equipos.

- b) 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  $1200 \text{ m}^2$ . 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  $5 \mu\text{m}$  de espesor.

- c) 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.

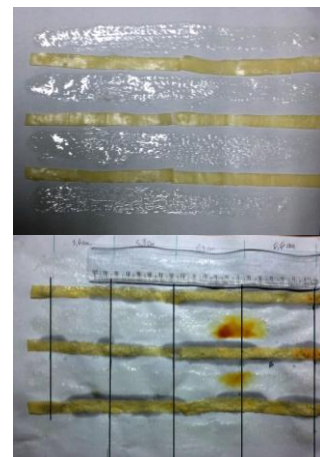
## E4. Medición de la velocidad de la luz

*Materiales:*

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

*Armado del dispositivo:*

- 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.
- Retire el plato giratorio del microondas y coloque el papel.
- Seleccione la potencia del microondas (80%) y el tiempo (10 segundos). Prenda el microondas y espere a que finalice el tiempo.
- Retire el papel con cuidado de no quemarse. Marque las posiciones quemadas (o derretidas).
- Repita el punto iii y iv, hasta obtener varias marcas. Procure mantener la misma orientación del papel dentro del microondas.
- Mida la distancia entre dos zonas quemadas consecutivas.
  - Sabiendo que en el microondas se producen ondas estacionarias ¿qué representan las zonas quemadas?
  - ¿Qué representa físicamente la distancia entre dos zonas quemadas consecutivas?
  - 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:*

- Envuelva uno de los celulares con la hoja de papel.
- Llame al teléfono envuelto.
  - ¿Puede comunicarse?
- Envuelva el mismo celular con el papel aluminio.
- Llame nuevamente al teléfono envuelto.
  - ¿Puede comunicarse? ¿Por qué? (revise la guía de trabajos prácticos N° 3).

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

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

**A5.** El filamento de una lámpara incandescente de resistencia  $50 \Omega$  consume una corriente de 1 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?

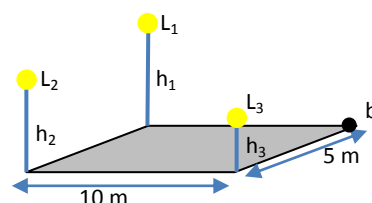
**P14.** Una fuente de luz monocromática de 500 nm y 20 W se combina con otra fuente de 600 nm y 10 W. Determine:

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

**P15.** Una pantalla tiene una superficie de  $60 \text{ cm}^2$ . 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.