1. Un vecino observa la instalación de una antena de telefonía móvil en las cercanías de su vivienda. En el punto más cercano la antena se sitúa a 7 m. El vecino se informa de que la antena emite con una potencia de 10 W, en las frecuencias 2110 – 2170 MHz y con una directividad 3. Los terminales (teléfonos móviles) que se comunican con la antena emiten en el rango 1920 - 1980 MHz.

   Nota: las frecuencias referidas en el enunciado son las usadas por la llamada *banda IMT*.

   (a) (3 puntos) En el peor de los casos, ¿qué intensidad de radiación llega a la vivienda?

   Según el RD 1066/2001 estos son los valores de referencia aplicables:

Frecuencia, f	E [$\mathrm{V \cdot m^{-1}}$]	B [μT]	S [$\mathrm{W \cdot m^{-2}}$]
400 - 2000 MHz	$1{,}375\, f^{1/2}$	$4{,}6 \cdot 10^{-3}\, f^{1/2}$	$5 \cdot 10^{-3}\, f$
2 - 300 GHz	61	0,20	10

   (b) (4 puntos) Según la tabla adjunta ¿la emisión calculada de la antena en el peor de los casos supera los límites admisibles? Razone la respuesta.

   (c) (3 puntos) Calcular extensión espacial de los campos electromagnéticos cercanos de un teléfono móvil que funciona en la banda IMT cuando está emitiendo.

Solución:

(a) Podemos considerar el peor de los casos cuando el lóbulo principal de emisión apunta directamente a la vivienda; y también tomaremos el punto más cercano de ésta a la antena (distancia 7 m). En estas circunstancias podemos estimar la intensidad de radiación con la fórmula 3.13:

$$S = D\frac{P}{4\pi r^2} = 3\frac{10}{4\pi(7)^2} \simeq 0{,}049\,\mathrm{W/m^2}$$

(b) La antena emite entre las frecuencias 2110 y 2170 MHz, con lo cual tenemos que aplicar la segunda fila de la tabla. Puesto que estamos comparando intensidad de radiación nos fijamos en la última columna. El valor de referencia es por tanto 10 W/m^2; puesto que estamos en ambiente residencial, la intensidad de radiación no puede superar el 2 % del valor de referencia:

$$S_{\mathrm{res}} = 0{,}02 \times 10 = 0{,}2\,\mathrm{W/m^2}$$

Por tanto, puesto que $S < S_{\mathrm{res}}$, concluimos que la emisión de la antena no va a pasar los límites admisibles, aún en el peor de los casos.

(c) La extensión espacial de los campos cercanos, también llamada *zona de inducción* (ver págs. 42-43) es $3c/f$; el móvil que usa la tecnología asociada a la banda IMT emite en las frecuencias 1920 - 1980 MHz. Tomamos el centro de la banda, 1950 MHz, para hacer los cálculos aproximados:

$$3\frac{c}{f} = 3\frac{3\times10^8}{1950\times10^6} \simeq 0{,}45\,\mathrm{m}$$

Esto es, unos 45 cm es el ámbito de acción de los campos cercanos en un terminal móvil.

2. A una distancia $r_0 = 20{,}0$ m de una fuente puntual isótropa el nivel de intensidad sonora es igual a $L_0 = 30{,}0$ dB. Conteste a las siguientes preguntas:

   (a) (2,5 puntos) ¿Cuál es la relación entre el nivel de intensidad sonora y la distancia a la fuente?

   (b) (2,5 puntos) Obtenga el nivel de la intensidad sonora a una distancia de 10,0 m de la fuente.

   (c) (5 puntos) Obtenga la distancia entre la fuente y punto en el cual deja de percibirse el sonido.

Solución:

(a) $L_r = -20\log r$.

(b) Usando la expresión anterior, tenemos que:

$$L_r - L_0 = 20\log(r_0/r)$$

Por tanto $L_r = L_0 + 20\log(r_0/r) = 30 + 20\times\log(20/10) = 36$ dB

(c) Si no se escucha el sonido es porque $L_r = 0$. Entonces:

$$L_0 = -20\log(r_0/r) = 20\log(r/r_0)$$

Entonces $30 = 20\log(r/r_0)$ y despejando se obtiene $r = 200\sqrt{10} = 630$ m

3. Una fuente de Co^{60}, que es emisor gamma, está blindada con 10 cm de plomo y se desea sustituir ese blindaje por uno de hormigón que produzca la misma atenuación.
   (a) (6 puntos) Calcule el espesor de hormigón necesario para producir la misma atenuación que los 10 cm de plomo
   (b) (1 punto) ¿Qué es el blindaje?
   (c) (2 puntos) ¿Qué es el espesor de semirreducción?¿Cuál será el espesor de semirreducción del Plomo? ¿Y el del hormigón?
   (d) (1 punto) ¿Se podría atenuar totalmente la emisión gamma del Co^{60}?

   Datos:

   Densidad del plomo: $\rho_{Pb} = 11{,}3$ g/cm^3
   Coeficiente de atenuación másico del plomo $(\mu/\rho)_{Pb} = 0{,}22$ cm^2/g
   Densidad del hormigón: $\rho_{hor} = 2{,}8$ g/cm^3
   Coeficiente de atenuación másico del hormigón $(\mu/\rho)_{hor} = 0{,}18$ cm^2/g

Solución:

(a) La ley de atenuación exponencial dice que cuando un haz de fotones de intensidad I_0 atraviesa un medio material de espesor x, la intensidad del haz transmitido, I, será:

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad *$$

Siendo μ el coeficiente de atenuación lineal del absorbente.

Aplicando la expresión de atenuación exponencial al plomo y al hormigón, y teniendo en cuenta que en ambos casos I_0 es la misma y que I también lo será ya que esa es la condición impuesta (que se produzca la misma atenuación):

$$I = I_0 e^{-\mu_{Pb} x_{Pb}}$$
$$I = I_0 e^{-\mu_{hor} x_{hor}}$$

De las dos expresiones anteriores se deduce que para que se cumpla la condición:

$$\mu_{Pb} x_{Pb} = \mu_{hor} x_{hor} \Rightarrow x_{hor} = \frac{\mu_{Pb} x_{Pb}}{\mu_{hor}} \qquad \star$$

Se tienen que calcular los coeficientes de atenuación lineal de ambos materiales, ya que los datos proporcionados son los coeficientes de atenuación másico. La relación entre ellos es:

$$\mu = \rho \times (\mu/\rho) \Rightarrow \begin{cases} \mu_{Pb} = \rho_{Pb} \times (\mu/\rho)_{Pb} = 11{,}3 \times 0{,}22 = 2{,}486 \text{ cm}^{-1} \\ \\ \mu_{hor} = \rho_{hor} \times (\mu/\rho)_{hor} = 2{,}8 \times 0{,}18 = 0{,}504 \text{ cm}^{-1} \end{cases}$$

Sustituyendo en $\star$

$$x_{hor} = \frac{2{,}486 \times 10}{0{,}504} = \boxed{49{,}32 \text{ cm}}$$

(b) El blindaje es un factor de protección contra la irradiación externa producida por radiaciones ionizantes. Consiste en un material absorbente de radiaciones ionizantes que se interpone entre la fuente emisora y el individuo, que se pone con la finalidad de tener a la salida una disminución adecuada de la radiación.

(c) El espesor de semirreducción ($X_{1/2}$) o capa hemirreductora de un material para radiación X ó gamma, es el espesor de material que, interpuesto en el camino de la radiación, reduce la intensidad a la mitad. Se relaciona con el coeficiente de atenuación, μ, con la siguiente expresión:

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

Se aplica la expresión anterior al plomo y al hormigón

$$X_{1/2}(Pb) = \frac{\ln 2}{\mu_{Pb}} = \frac{\ln 2}{2{,}486} = \boxed{0{,}279 \text{ cm}}$$

$$X_{1/2}(hor) = \frac{\ln 2}{\mu_{hor}} = \frac{\ln 2}{0{,}504} = \boxed{1{,}375 \text{ cm}}$$

(d) No se puede atenuar totalmente la emisión gamma. La atenuación total significa que a la salida del blindaje la intensidad sea 0, $I = 0$, y como la atenuación para radiación electromagnética , X y γ, es exponencial no es posible. En la expresión $*$ se conseguiría $I = 0$ sólo si $e^{-\mu x} = 0$ y eso únicamente ocurre para $x \to \infty$