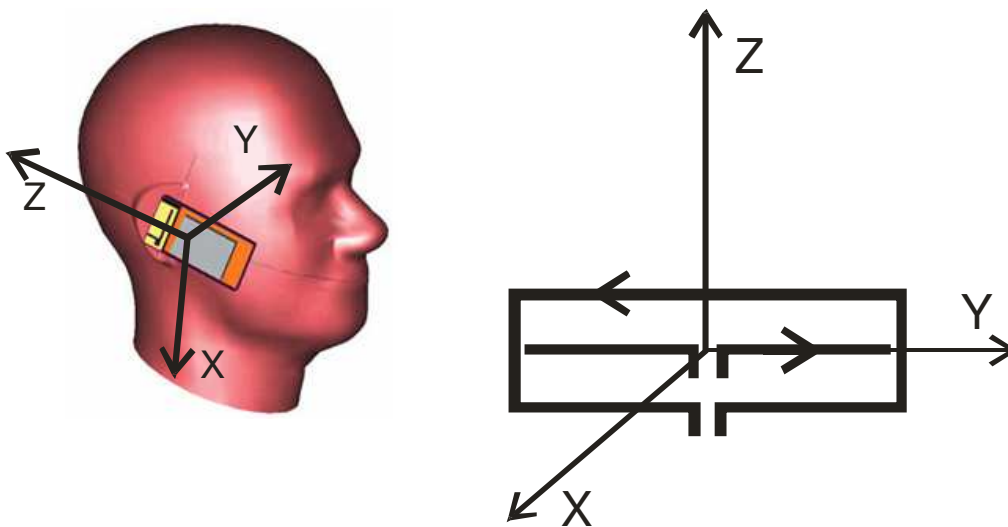


PROBLEMA 1

Un grupo de esforzados investigadores de la UPV acaba de desarrollar una nueva antena para móviles que no produce radiación en la dirección de la cabeza (dirección $-z$ en la figura).



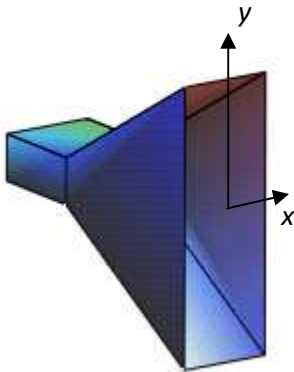
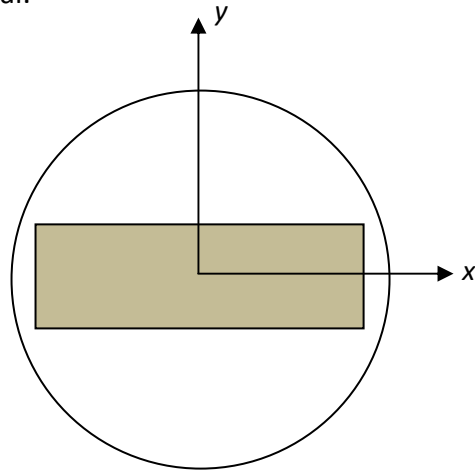
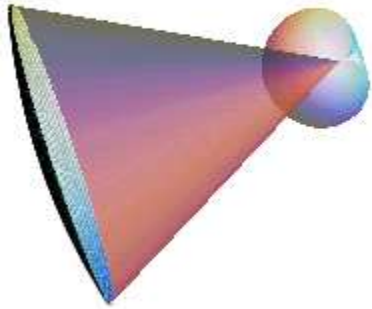
La antena consiste en una espira rectangular de dimensiones $L_1 \times L_2$ y un dipolo de longitud L_1 . Además $L_2 = \lambda/2\pi$. Ambas antenas se pueden considerar elementales y centradas en el origen.

La corriente por la espira es $I_E = jI_0$ y por el dipolo es $I_D = I_0$.

- Obtenga la expresión del campo radiado por la antena. Utilice el momento dipolar para obtener el campo de la espira. (3 puntos)
- Determine la polarización del campo en la dirección del máximo de radiación. (2 puntos)
- Dibuje los diagramas plano E y plano H. (2 puntos)
- Dibuje también el diagrama en plano perpendicular a la dirección del máximo de radiación. (1 puntos)
- Obtenga la directividad de la antena. (2 puntos)

PROBLEMA 2

Se trata de analizar una antena reflectora formada por un reflector parabólico de revolución de 1 m de Diámetro y cuya distancia focal $f=1\text{m}$ que se corta con una sección rectangular de dimensiones 90 cm en horizontal y 30 cm en vertical.



El reflector se alimenta con una bocina Plano E, situada en el foco del reflector parabólico, con una longitud suficiente para que el error de fase sea 0° en dicho plano.

La bocina se alimenta desde una guía de onda rectangular de dimensiones 3cm x 1cm con el modo fundamental. Las dimensiones de la boca de la bocina son 3cm x 12 cm, y la frecuencia de trabajo es 10 GHz.

- (2 puntos) Calcule el ancho de haz entre ceros de la bocina en el Plano E.
- (2 puntos) Determinar los anchos de haz a -3dB de la bocina en los dos planos. Se puede despreciar el efecto de la apertura elemental.
- (2 puntos) La bocina ilumina al reflector recortado. Determine la caída en dB debido a la diferencia de caminos en el plano horizontal y vertical respecto al centro.
- (2 puntos) ¿Cuál es la diferencia de iluminación debida a los diagramas planos E y H de la bocina, respecto del centro?
- A la vista de los resultados obtenidos sugiera posibles variaciones en la bocina para conseguir la máxima directividad.

Solución Problema 1

a) El campo total es la superposición de los campos del dipolo y la espira:

Los vectores de radiación de cada antena son:

Dipolo elemental:

$$\vec{N}_D = I_D L_1 \hat{y} \Rightarrow \begin{cases} N_{D\theta} = I_D L_1 \cos \theta \sin \phi \\ N_{D\phi} = I_D L_1 \cos \phi \end{cases}$$

Espira elemental: el momento dipolar de la espira es $\vec{m} = I_E L_1 L_2 \hat{x}$

$$\vec{N}_E = jk\vec{m} \times \hat{r} = jkI_E L_1 L_2 (-\cos \theta \hat{y} + \sin \theta \sin \phi \hat{z})$$

$$\Rightarrow \begin{cases} N_{E\theta} = -jkI_E L_1 L_2 \sin \phi \\ N_{E\phi} = -jkI_E L_1 L_2 \cos \theta \cos \phi \end{cases}$$

De modo que el vector de radiación total resulta

$$\begin{cases} N_\theta = I_0 L_1 \sin \phi (\cos \theta + 1) \\ N_\phi = I_0 L_1 \cos \phi (\cos \theta + 1) \end{cases}$$

A partir del vector de radiación, el campo es inmediato: $\vec{E} = -j\omega \frac{\mu}{4\pi} \frac{e^{-jkr}}{r} (N_\theta \hat{\theta} + N_\phi \hat{\phi})$

b) El máximo de radiación se observa que se produce en la dirección $\theta = 0$. En dicha dirección el vector de radiación las componentes esféricas están indeterminadas pero observando las cartesianas, que en esa dirección siguen siendo transversales a la propagación se obtiene $\vec{N} = 2I_0 L_1 \hat{y}$. De modo que la polarización es lineal.

c) Conocida la dirección del máximo y la polarización del mismo en esa dirección es inmediato determinar que el plano E es el plano YZ, mientras que el plano H es el XZ.

En ambos planos el diagrama de campo normalizado es $d_N(\theta) = \frac{1}{2}(\cos \theta + 1)$.

Se trata de una cardioide. El mismo tipo de diagrama que una apertura elemental. Resulta inmediato constatar el nulo que presenta el diagrama en la dirección $-z$ (dirección de la cabeza)

d) El plano perpendicular a los planos E y H es el XY, en el cual el campo resulta, después de particularizar para $\theta = \pi / 2$,

$$\vec{N} = I_0 L_1 (\sin \phi \hat{\theta} + \cos \phi \hat{\phi}), \text{ y el diagrama es omnidireccional: } |\vec{N}| = \sqrt{|N_\theta|^2 + |N_\phi|^2} = I_0 L_1$$

e) Finalmente la directividad se puede calcular fácilmente integrando el diagrama de radiación de potencia, resultando el mismo valor conocido para la apertura elemental:

$$D_{\max} = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \frac{1}{4} (\cos \theta + 1)^2 \sin \theta d\theta d\phi} = 3$$

Solución del Problema 2

a) Anchos de haz entre ceros.

El campo radiado por la bocina corresponderá a una apertura rectangular de dimensiones 3cm x 12 cm, $\lambda = 3\text{cm}$, con distribución de campos coseno en horizontal y uniforme en vertical

$$E_{\theta} = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} \sin \phi \left(\frac{\eta}{Z_0} \cos \theta + 1 \right) \iint_{s'} E(x', y') e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy'$$

$$E_{\phi} = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} \cos \phi \left(\frac{\eta}{Z_0} + \cos \theta \right) \iint_{s'} E(x', y') e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy'$$

Las transformadas de Fourier se pueden calcular como

$$\iint_{s'} E(x', y') e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy' = E_0 \int_{x'} f(x') e^{jk_x x'} dx' \int_{y'} g(y') e^{jk_y y'} dy'$$

Siendo las funciones

Distribución	Transformada	Ancho haz -3 dB	NLPS
1	$a \frac{\sin(u)}{u}$	$\frac{50.6}{\left(\frac{a}{\lambda}\right)}$	-13.2
$\cos\left(\frac{\pi}{a} x'\right)$	$a \frac{\pi}{2} \frac{\cos(u)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - u^2}$	$\frac{68.8}{\left(\frac{a}{\lambda}\right)}$	-23.2

Los ceros en el plano E se producirán

$$a \frac{\sin(u)}{u} = 0$$

$$u = \pi$$

$$\frac{k_y b}{2} = \pi$$

$$\frac{2\pi \sin(\theta_y) 4\lambda}{2\lambda} = \pi$$

$$\theta_y = \sin^{-1} \frac{1}{4} = 14.5^\circ$$

El ancho de haz entre ceros será 29°

b) Anchos de haz a -3dB

Utilizando las fórmulas, sin la corrección debida a la apertura elemental se obtendrían:

$$\frac{50.6}{\left(\frac{b}{\lambda}\right)} = \frac{50.6}{\left(\frac{4\lambda}{\lambda}\right)} = 12.65^\circ$$

$$\frac{68.8}{\left(\frac{a}{\lambda}\right)} = 68.8^\circ$$

También es posible calcular los ángulos a partir de las siguientes condiciones, en los planos E y H respectivamente.

$$\frac{\sin(u)}{u} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$
$$\frac{\pi \cos(u)}{2 \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - u^2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

c) Atenuación de los campos debido a la diferencia de caminos.

$$\tau_c = 40 \log \left(\cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

Hay que calcular el ángulo para el plano vertical y el plano horizontal

Las ecuaciones paramétricas de la parábola son

$$R = \frac{f}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}}$$

$$\rho = 2f \tan \frac{\alpha}{2}$$

Tenemos que calcular los ángulos para las distancias de 15 cm y 45 cm

$$\rho = 2f \tan \frac{\alpha}{2}$$

$$\alpha_1 = 2 \tan^{-1} \left(\frac{15}{200} \right) = 8.8^\circ \quad \tau_1 = -0,05dB$$

$$\alpha_2 = 2 \tan^{-1} \left(\frac{45}{200} \right) = 25.36^\circ \quad \tau_2 = -0,43dB$$

d) Atenuación de los campos debido al diagrama.

En este caso hay que utilizar los mismos ángulos y se puede utilizar la aproximación parabólica para los diagramas de radiación. También se podrían particularizar los diagramas para dicha dirección.

$$\tau_d = -12 \left(\frac{\theta}{\Delta\theta_{-3dB}} \right)^2 dB$$

$$\tau_1 = -5.8dB$$

$$\tau_2 = -1.63dB$$

e) Optimización de la directividad.

Como se puede observar, las diferencias de iluminación debidas a la diferencia de caminos son muy pequeñas.

Las diferencias debidas al diagrama se pueden justificar porque el diagrama vertical es directivo y el horizontal es prácticamente omnidireccional debido a las pequeñas diferencias de las bocina en dicho plano.

Sumando las dos contribuciones, caídas debidas al diagrama y a la diferencia de caminos, se obtiene la atenuación total en el borde respecto del centro.

$$\tau_v = -5.8dB - 0.05dB = -5.85dB$$

$$\tau_h = -1.63dB - 0.43dB = -2.06dB$$

Para que el reflector esté iluminado de forma óptima es necesario que en el borde la alimentación sea del orden de -10 dB. En los dos casos no se llega a dicho valor.

Se podría aumentar la caída situando una antena más directiva en el foco.

En conclusión debería utilizarse una bocina que tuviese unos anchos de haz inferiores a la antena propuesta.

Por lo tanto deberían aumentarse las dimensiones en el plano vertical, y también en el horizontal.

Es decir en vez de una bocina plano E sería conveniente utilizar una bocina piramidal.