PROPAGACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Grado en Ingeniería en Sistemas de Comunicaciones. Curso 18-19. Examen 23 Enero de 2019
CUESTIONES (4 puntos) Duración: 45 minutos
NOMBRE:

$\boxed{1}$ Un dipolo que mide 15 cm se utiliza primeramente a la frecuencia a la que esta longitud es 0.5λ, es decir, a 1 GHz. Si ahora le proponen utilizar el mismo dipolo a la frecuencia doble (2 GHz) indique qué ocurriría con su directividad y con su ganancia. *(0.5 puntos)*

Si aumenta la frecuencia, la directividad de la antena aumentará porque es eléctricamente más grande.

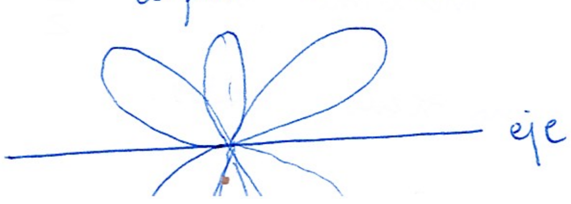
En cambio la ganancia es de esperar que disminuya porque la antena no estará adaptada.

$\boxed{2}$ Indique las características compartidas por un dipolo de longitud finita y una antena de onda progresiva. Haga un esquema del aspecto que tendría el diagrama de radiación para ambas antenas para $L = 3\lambda$. *(0.5 puntos)*

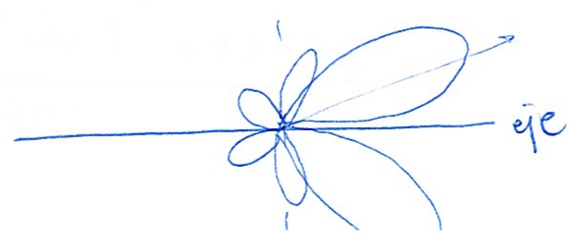
- Ni el dipolo ni la antena de onda progresiva radian en su eje
- Las dos antenas presentan un campo radiado con polarización lineal
- Sus diagramas tienen simetría de revolución respecto a su eje.

De forma aproximada

dipolo $L = 3\lambda$



onda progresiva $L = 3\lambda$



3 Considere un dipolo $\lambda/2$ que trabaja a una frecuencia de $f_0 = 100MHz$ y tiene una eficiencia total del 93 %. Sobre dicho dipolo incide una onda plana, de polarización lineal orientada según el eje del dipolo, que produce una potencia recibida a la salida de la antena. Obtenga la amplitud de campo E de la onda plana incidente si la potencia recibida por el dipolo es de $0.2mW$. *(0.5 puntos)*

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3\cdot 10^8}{100\cdot 10^6} = 3\ m \qquad A_{ef} = \frac{\lambda^2}{4\pi}\cdot e \cdot D$$

$$D_{\lambda/2} = 1{,}64 \qquad = \frac{3^2}{4\pi}\cdot 0{,}93\cdot 1{,}64 = 1{,}092\ m^2$$

Potencia recibida $= 0{,}2\ mW$

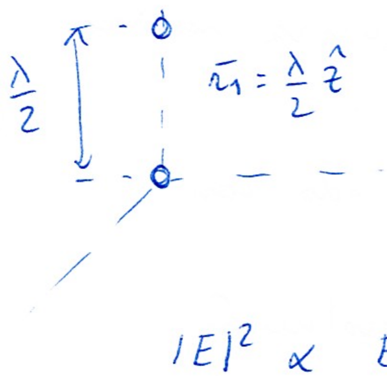
$$P_{rec} = A_{ef}\cdot W_i \qquad W_i = \frac{0{,}2\cdot 10^{-3}}{1{,}092} = 1{,}83099\cdot 10^{-4}\ \frac{W}{m^2}$$

$$W_i = \frac{|E|^2}{2\eta} \qquad |E| = \sqrt{1{,}83099\cdot 10^{-4}\cdot 2\cdot 120\pi} = \sqrt{0{,}13805}$$

$$= 0{,}372\ V/m.$$

4 Considere una antena formada por dos radiadores isotrópicos con polarización lineal según $\hat{\phi}$, el primero está situado en el origen mientras que el segundo se coloca a una distancia $d = \lambda/2$ según el eje $\hat{z}$. Considerando que el primero radia un campo de amplitud E_0 y el segundo radia otro campo de amplitud $3E_0$, obtenga el campo eléctrico radiado por el conjunto y su diagrama de radiación. Indique la dirección de máxima radiación de la antena y la dirección de sus nulos si es que los tiene. *(0.5 puntos)*

$$\bar{E}_1 = E_0\,\hat{\phi}\,\frac{e^{-jkr}}{r} \qquad \bar{E}_2 = 3E_0\,\hat{\phi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}$$



$$\bar{E}_{total} = E_0\,\hat{\phi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\left[1 + 3e^{+jk\bar{r}_1\cdot\hat{r}}\right]$$

$$= E_0\,\hat{\phi}\,\frac{e^{-jkr}}{r}\left[1 + 3e^{j\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{\lambda}{2}\cos\theta}\right]$$

$$|E|^2 \propto E_0^2\,(1 + 3e^{j\pi\cos\theta})(1 + 3e^{-j\pi\cos\theta})$$

$$1 + 3e^{-j\pi\cos\theta} + 3e^{j\pi\cos\theta} + 3\cdot 3$$

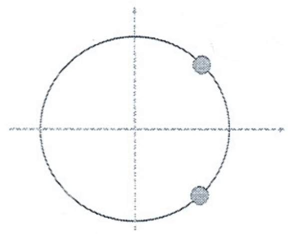
$$[10 + 6\cos(\pi\cos\theta)]$$

$$t = \frac{10 + 6\cos(\pi\cos\theta)}{16}$$

máximo en $\theta = \frac{\pi}{2}$

no tiene nulos.

5 Suponga un array de 4 elementos con amplitudes uniformes, cada uno de los cuales está formado a su vez por un array cuya representación en el círculo de Schelkunoff es la de la figura. Calcule la expresión del diagrama de radiación total suponiendo que las antenas son isotrópicas. NOTA: si utiliza variables en la expresión como Ψ o z, indique su correspondencia con los ángulos de coordenadas esféricas. *(0.5 puntos)*



Array de 4 el. con amp. uniformes.

Supongo qe están separados d_1

$$FA_1 = \frac{1}{4}\frac{\text{sen}(4\Psi_1/2)}{\text{sen}(\Psi_1/2)}$$

con $\Psi_1 = kd_1\cos\theta$.

Cada elemento es un array de 3 elementos, separados d_2 y con amplitudes no uniformes:

$$FA_2 = (z - e^{j\pi/4})(z - e^{-j\pi/4}) = z^2 + 1 - 2z\cos\frac{\pi}{4} =$$

$$z^2 - \frac{2\sqrt{2}}{2}z + 1$$ con $z = e^{j\Psi_2}$

y $\Psi_2 = kd_2\cos\theta$

$$\boxed{DR_{tot} = FA_1^2 \cdot FA_2^2 = \frac{1}{16}\frac{\text{sen}^2(4\Psi_1/2)}{\text{sen}(\Psi_1/2)} \cdot \frac{(z^2 - \sqrt{2}z + 1)^2}{(2\mp\sqrt{2})^2}}$$

6 Diseñe un array lineal con amplitud uniforme, con dos máximos de radiación en las direcciones 30° y 150° con respecto a su eje. *(0.5 puntos)*

Tendrá qe tener fase progresiva α

1er max $\Psi = kd\cos\theta_{M_1} + \alpha = 0$

2º max $\Psi = kd\cos\theta_{M_2} + \alpha = \pm 2\pi$

$$kd\cos 30 + \alpha = 0$$

$$kd\cos 150 + \alpha = -2\pi$$

$$kd(\cos 30 - \cos 150) = 2\pi \rightarrow \boxed{d = 0{,}57\lambda}$$

$$\boxed{\alpha = -\pi}$$

7 Una apertura de tamaño 4λx3λ presenta una distribucion de campo de la forma $\vec{E_{ap}} = E_0 cos(\frac{\pi y}{B})\hat{y}$. Calcule su anchura de haz entre nulos en los planos principales. Indique cuál es el plano E y cuál el plano H. (*(0.5 puntos)*

El plano E es el YZ → distr. coseno

$w = 1,5 = 3 \operatorname{sen} \theta_N \rightarrow \theta_N = 30°$

$\boxed{BW_E = 60°}$

El plano H es el XZ → distr. uniforme

$w = 1 = 4 \operatorname{sen} \theta_N \rightarrow \theta_N = 14,47°$

$\boxed{BW_H = 28,9°}$

8 Si pudiese diseñar una antena de apertura libremente, y le piden maximizar su directividad, ¿qué propondría? *(0.5 puntos)*

Para maximizar la directividad, el campo en la apertura ha de tener:

- distribución de amplitud uniforme
- " de fase uniforme
- " de polarización uniforme.

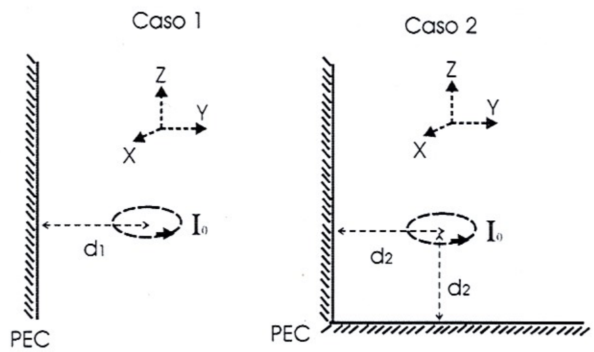
Además, la apertura ha de ser lo más grande posible.

PROPAGACIÓN Y TRANSMISIÓN INALÁMBRICA

Grado en Ingeniería en Sistemas de Comunicaciones. Curso 18-19. Examen 23 de enero de 2019

PROBLEMAS (6 puntos) Duración: 2 horas

$\boxed{1}$ Considere un lazo infinitesimal de corriente I_0 orientado según el eje $\hat{z}$, como el mostrado en la figura (caso 1), que se sitúa a una distancia $d_1 = \lambda/2$ de un plano conductor perfecto (y=0). .

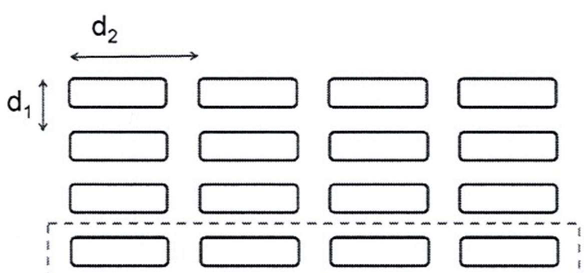


- Obtenga el campo $\vec{E}$ radiado por dicha configuración y el diagrama de radiación del conjunto *(0.75 puntos)*
- Represente el diagrama de radiación obtenido en los planos XY e YZ. (*0.5 puntos*).
- Considere ahora que el problema es el descrito por la figura en el caso 2 y que el lazo está en presencia de dos planos conductores perfectos en lugar de uno tal y como muestra el dibujo. El lazo se sitúa a una distancia $d_2 = \lambda/2$ de cada plano en este caso. Obtenga el campo radiado por el conjunto para la segunda configuración indicando detalladamente el procedimiento para encontrarlo. Compare la solución con el primer caso y argumente cualitativamente qué espera que ocurra con la directividad de la antena. (*0.75 puntos*)

$\boxed{2}$ Se pretende diseñar una antena con un diagrama de radiación lo más simétrico posible. La antena es un array plano de ranuras como el que se representa en la figura.

La ranura es una antena de apertura con tamaño 0.5λ x 0.01λ con una distribución de campo tipo cosenoidal en su lado ancho y uniforme en su lado estrecho. Además, el campo en la ranura tiene polarización perpendicular al lado ancho de la misma.

Las ranuras se alimentan con guías de onda rectangulares y eso fija la distancia entre las filas de ranuras a d_1=0.5λ. Por su parte, la distancia entre los elementos de cada fila del array es d_2=0.7λ.



- Si consideramos las amplitudes y fases de las ranuras uniformes, calcule la anchura de haz en los dos planos principales. *(0.5 puntos)*

- Para intentar simetrizar el diagrama de radiación, no se pueden cambiar las distancias d_1, d_2, pero sí las alimentaciones de las ranuras. Proponga una solución con el diagrama simétrico (misma anchura de haz) en ambos planos y calcule la anchura de haz en el plano diagonal del array. *(1 punto)*

- Ahora este array se utiliza en un sistema de radar monopulso y para ello además del diagrama suma simétrico calculado en el apartado anterior, hace falta calcular también el diagrama diferencia. En este diagrama se alimentan en oposición de fase (diferencia de fase 180°) las dos primeras filas con respecto a las dos segundas. Calcule el diagrama de radiación y represéntelo en los dos planos principales. *(0.5 puntos).*

NOTA: *para la resolución de todos los apartados de este problema considere las ranuras como antenas isotrópicas.*

$\boxed{3}$ Considerando ahora las ranuras del problema anterior,

- calcule el diagrama de radiación de una de las ranuras. *(0.5 puntos).*

- Considere ahora cada fila del array anterior como una única antena de apertura (del tamaño de la fila de ranuras) cuya distribución de campo coincide con la de una ranura. Calcule de nuevo la anchura de haz en los dos planos principales. *(0.75 puntos)*

- Indique también en ambos planos el nivel de lóbulos secundarios del array de aperturas del apartado anterior y su número. *(0.75 puntos)*

$\pi = \frac{2\pi}{\lambda}\,\lambda/2$ sen θ

$a =$

Universidad Carlos III de Madrid

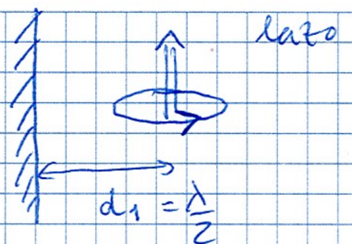
Escuela Politécnica Superior

Asignatura

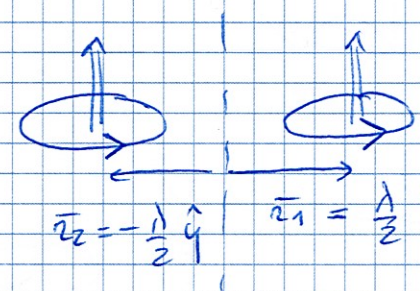
Nombre y Apellidos: Problemas Enero 2019.

Fecha   Curso   Grupo

(1)



Aplicando el teorema de las Imágenes (fuente simétrica)



a)

$$\bar{E}_{lazo} = E_0 \operatorname{sen}\theta\, \hat{\phi}\, \frac{e^{-jkr}}{r}$$

$$\bar{E}_{total} = E_0 \operatorname{sen}\theta\, \hat{\phi}\, \frac{e^{-jkr}}{r} \left[e^{+jk\bar{r}_1\cdot\hat{r}} + e^{jk\bar{r}_2\cdot\hat{r}} \right]$$

$$\left[e^{jk\frac{\lambda}{2}\operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi} + e^{-jk\frac{\lambda}{2}\operatorname{sen}\theta\operatorname{sen}\phi} \right]$$

$$\bar{E}_{total} = E_0 \operatorname{sen}\theta\, \hat{\phi}\, \frac{e^{-jkr}}{r} \cos(\pi \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi)$$

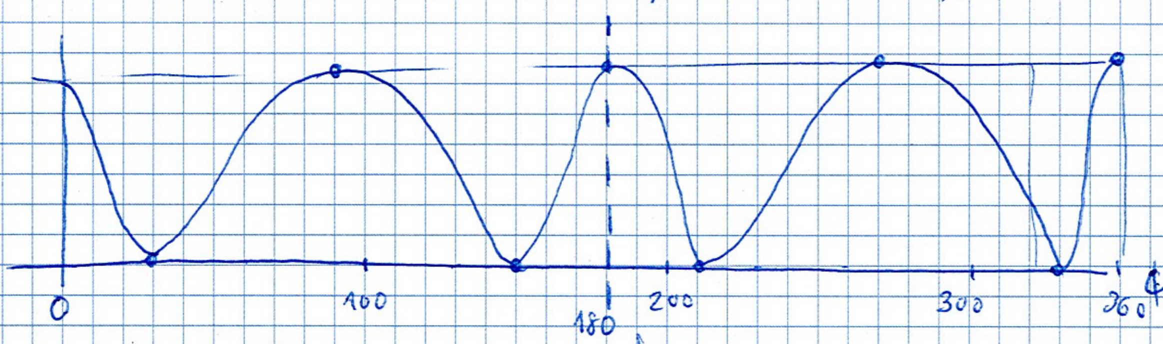
para $y>0$

$$r(\theta,\phi) = \operatorname{sen}^2\theta \cdot \cos^2(\pi \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi)$$

b) Representar en plano XY $\theta = \frac{\pi}{2}$ $\quad r(\phi) = \cos^2(\pi \operatorname{sen}\phi)$

max en $\phi = 0, 90, 180, 270, 360$

nulos en $\phi = 30, 150, 210, 330$

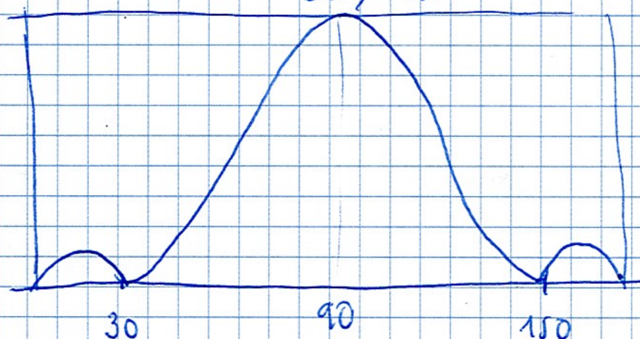


sólo vale $0 \leq \phi \leq 180°$

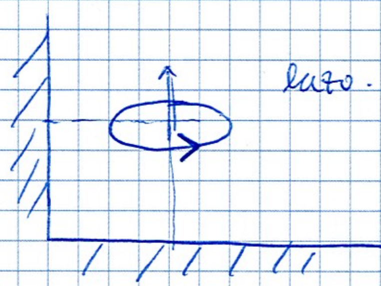
Plano ~~XY~~ YZ $\qquad \phi = \frac{\pi}{2}$

$$r(\theta) = \operatorname{sen}^2\theta \, \cos^2(\pi \operatorname{sen}\theta)$$

nulos en $\theta = 0, 180$; $30, 150$ $\qquad$ max en $\theta = 90°$

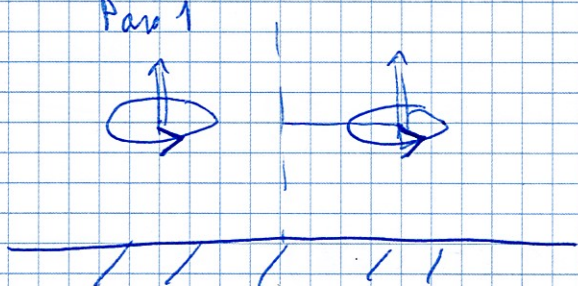


c) Caso 2

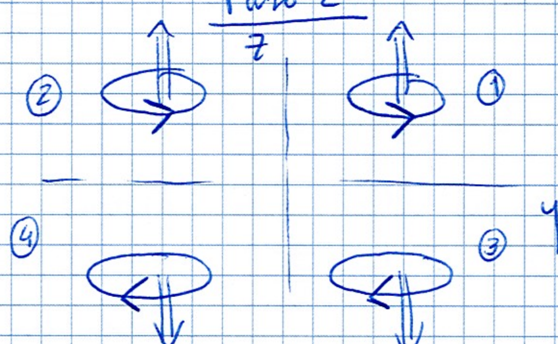


Por el teorema de las imágenes, en 2 pasos creamos las fuentes que replican las condiciones de contorno.

Paso 1



Paso 2



con $\vec{r}_1 = \frac{\lambda}{2}(\hat{y} + \hat{z})$ $\quad \vec{r}_2 = \frac{\lambda}{2}(-\hat{y} + \hat{z})$ $\quad \vec{r}_3 = \frac{\lambda}{2}(\hat{y} - \hat{z})$ y $\vec{r}_4 = -\frac{\lambda}{2}(\hat{y} + \hat{z})$

$$\hat{y} = \hat{r} \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi + \hat{\theta} \cos\theta \operatorname{sen}\phi + \hat{\phi} \cos\phi$$

$$\hat{z} = \hat{r} \cos\theta - \hat{\theta} \operatorname{sen}\theta$$

Universidad Carlos III de Madrid

Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre y Apellidos

Fecha Curso Grupo

$$\bar{E}_{total} = \bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \bar{E}_3 + \bar{E}_4 =$$

$$E_0 \, sen\theta \, \hat{\phi} \, \frac{e^{-jkr}}{r} \left[e^{jk\bar{r}_1 \cdot \hat{r}} + e^{jk\bar{r}_2 \cdot \hat{r}} - e^{jk\bar{r}_3 \cdot \hat{r}} - e^{jk\bar{r}_4 \cdot \hat{r}} \right]$$

$$= E_0 \, sen\theta \, \hat{\phi} \, \frac{e^{-jkr}}{r} \left[e^{j(\pi \, sen\theta \, sen\phi + \pi \cos\theta)} + e^{j(-\pi \, sen\theta \, sen\phi + \pi \cos\theta)} \right.$$

$$\left. - e^{j(\pi \, sen\theta \, sen\phi - \pi \cos\theta)} - e^{j(-\pi \, sen\theta \, sen\phi - \pi \cos\theta)} \right] =$$

$$2\cos(\pi \, sen\theta \, sen\phi) \left[e^{j\pi\cos\theta} + e^{j\pi\cos\theta} \right]$$

$$- \left(2\cos(\pi \, sen\theta \, sen\phi) \left[e^{-j\pi\cos\theta} + e^{-j\pi\cos\theta} \right] \right.$$

$$2\cos(\pi \, sen\theta \, sen\phi) \, 2j \, sen(\pi\cos\theta) + 2\cos(\pi \, sen\theta \, sen\phi) \cdot 2j \, sen(\pi\cos\theta)$$

$$= 8j \cos(\pi \, sen\theta \, sen\phi) \, sen(\pi\cos\theta)$$

$$\bar{E}_{total} = C \, \frac{e^{jkr}}{r} \, \hat{\phi} \, sen\theta \left[\cos(\pi \, sen\theta \, sen\phi) \cdot sen(\pi\cos\theta) \right]$$

para $y > 0$ $x > 0$ primer cuadrante, en los otros no hay campo.

Al concentrar la energía en el 1er cuadrante, se espera que la antena más la escuadra, tengan una mayor directividad

Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

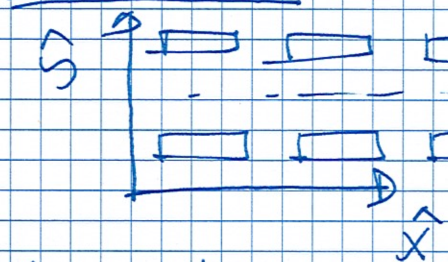
Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

Fecha Curso Grupo

Problema 2



1 $d_x = d_2 = 0{,}7\lambda$
$d_y = d_1 = 0{,}5\lambda$

- Plano XZ 1er nulo $\psi_x = \frac{2\pi}{4} = k d_x \operatorname{sen}\theta_N$

$\theta_N = 20{,}9^\circ$ $\boxed{BW_x = 41{,}8^\circ}$

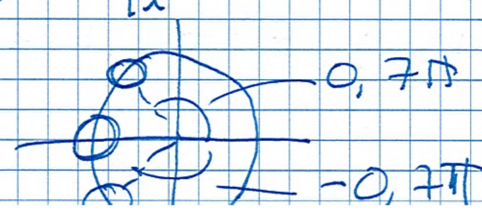
- Plano YZ 1er nulo $\psi_y = \frac{2\pi}{4} = k d_y \operatorname{sen}\theta_N$

$\theta_N = 30^\circ$ $\boxed{BW_y = 60^\circ}$

2 Tengo que cambiar las amplitudes.
Como la dist. uniforme me da el diagrama más estrecho, tengo que cambiar las amplitudes en x para que se ensanche y tenga 60°.

$\Rightarrow$ Nulos en $\theta = 30{,}9^\circ \Rightarrow \psi_x = k d_x \operatorname{sen} 30{,}9$
$\simeq 0{,}7\pi$

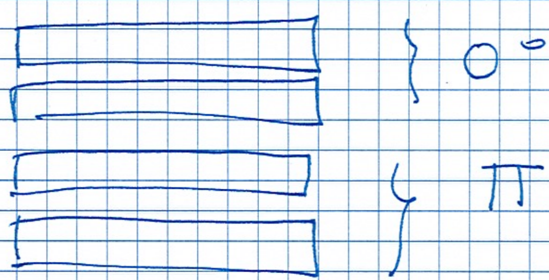
$\Rightarrow$ Añado un cero
porque son 4 elementos



$$FA = \left(z - e^{j0,7\pi}\right)\left(z - e^{-j0,7\pi}\right)\left(z+1\right)$$
$$= z^3 + 2,17\, z^2 + 2,17\, z^2 + 1$$

$\Rightarrow$ Amplitudes en x : $[1,\ 2,17,\ 2,17,\ 1]$

$\boxed{3}$



$\Rightarrow$ Array de 2 elementos con $\alpha = \pi$ (FA_1)
Cada elemento es un array de 2 elementos en fase. (FA_2)
Cada elemento de ese array es un array lineal de 4 el. (FA_3)

$$DR = FA_1^2 \cdot FA_2^2 \cdot FA_3^2$$

$$FA_1 = \frac{1}{2}\,\frac{\text{sen}(2\psi_1/2)}{\text{sen}\,\psi_1/2}$$

$\psi_1 = k d_1 \,\text{sen}\theta\, \text{sen}\phi + \alpha$

$\alpha = \pi$

$d_1 = \lambda$

$$FA_2 = \frac{1}{2}\,\frac{\text{sen}(2\psi_2/2)}{\text{sen}(\psi_2/2)}$$

$\psi_2 = k d_2 \,\text{sen}\theta\, \text{sen}\phi$

$d_2 = 0,5\lambda$

$$FA_3 = z^3 + 2,17\, z^2 + 2,17\, z^2 + 1 \quad \text{con}$$

$z = e^{j\psi_3}$

Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

Fecha Curso Grupo

Planos principales

XZ $\rightarrow \phi = 0 \rightarrow \psi_1 = \pi$

$\psi_2 = 0$

$\psi_3 = k d_3 \operatorname{sen} \theta$

$\Rightarrow FA_1 = 0$

$\rightarrow \boxed{D.R\Big|_{ZX} = 0}$

YZ $\rightarrow \phi = 90^{\circ} \rightarrow \psi_1 = k d_1 \operatorname{sen} \theta + \pi$

$\psi_2 = k d_2 \operatorname{sen} \theta$

$\psi_3 = 0$

$DR = FA_1^{?} \cdot FA_2^{?}$

$\rightarrow (FA_3 = 1)$

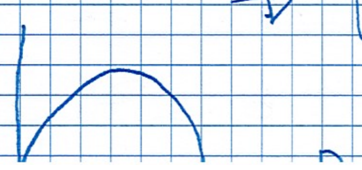
$\rightarrow$ Nulos

$FA_1 \rightarrow \pi = k d_1 \operatorname{sen} \theta + \pi$

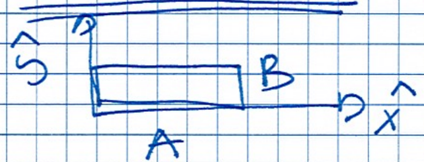
$\Rightarrow \boxed{\theta = 0^{\circ}}$

$FA_2 \rightarrow \pi = k d_2 \operatorname{sen} \theta$

$\rightarrow \boxed{\theta = 90^{\circ}}$



Problema 3



$$\bar{E}_{ap} = E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{A}\right)\hat{y}$$

$A = 0{,}5\lambda$

$B = 0{,}01\lambda$

$$\hat{z} \times \bar{E}_{ap} = E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{A}\right)(-\hat{x})$$

$\boxed{1}$ → $\bar{F} = \text{ctes} \cdot \left(\frac{\cos(\pi w_1)}{1-4w_1^2}\right) \cdot \text{sinc}(w_2) \left\{ (-\cos\theta \cos\phi)\hat{\theta} \right\} + \text{sen}\,\phi\,\hat{\phi}$

$$\bar{E}_{rad} = \text{ctes}\left(\frac{\cos(\pi w_1)}{1-4w_1^2}\right) \cdot \text{sinc}(w_2) \left(\text{sen}\,\phi\,\hat{\theta} + \cos\theta\cos\phi\,\hat{\phi}\right)$$

$$\boxed{r(\theta,\phi) = \text{ctes}\left(\frac{\cos(\pi w_1)}{1-4w_1^2}\right)^2 \text{sinc}^2(w_2)\left(\text{sen}^2\phi + \cos^2\theta\cos^2\phi\right)}$$

$w_1 = 0{,}5 \,\text{sen}\,\theta \cos\phi$

$w_2 = 0{,}01 \,\text{sen}\,\theta\,\text{sen}\,\phi$

$\boxed{2}$

$A = 0{,}7\lambda \times 3 + 0{,}5\lambda$

$\boxed{A = 2{,}6\lambda}$

→ Tengo un array de 4 aperturas grandes.

$DR = FA_y \cdot r(\theta,\phi)_{AP}$

El $r(\theta,\phi)_{AP}$ es como el del apartado anterior pero $w_1 = 2{,}6 \,\text{sen}\,\theta \cos\phi$

Universidad
Carlos III de Madrid
www.uc3m.es

Escuela Politécnica Superior

Asignatura

Nombre del Alumno

Fecha Curso Grupo

$$FA_y = \frac{1}{4} \frac{\operatorname{sen}(4 \Psi_y/2)}{\operatorname{sen}(\Psi_y/2)}$$

$$\Psi_y = k \cdot 0{,}5\lambda \cdot \operatorname{sen}\theta \operatorname{sen}\phi$$

Plano XZ $\phi = 0 \rightarrow \Psi_y = 0$

$W_1 = 2{,}6 \operatorname{sen}\theta$

$W_2 = 0$

$$DR = 1 \cdot \left(\frac{\cos(\pi W_1)}{1 - 4W_1^2} \right)^2 \cdot \cos^2\theta$$

1er nulo $W_1 = 1{,}5 = 2{,}6 \operatorname{sen}\theta_N$

$\theta_N = 35{,}23°$

$$\boxed{BW_{XZ} = 70{,}46°}$$

Plano YZ $\phi = 90° \quad \Psi_y = \pi \operatorname{sen}\theta$

$W_1 = 0$

$W_2 = 0{,}01 \operatorname{sen}\theta$

Nulos $\rightarrow FA_y \rightarrow \frac{2\pi}{4} = \pi \operatorname{sen}\theta_N$

$\theta_N = 30° \longrightarrow \boxed{BW_{YZ} = 60°}$

$\boxed{3}$ - SLL

Plano XZ

1^{er} nulo $w_1 = 1.5$
2^{o} nulo $w_1 = 2.5$ } SLL $\rightarrow w_1 = 2$

$$2 = 2{,}6 \operatorname{sen} \theta_{SLL} \rightarrow \theta_{SLL} = 50{,}28^{o}$$

$$SLL = \left(\frac{\cos(\pi \cdot 2)}{(1 - 4 \cdot 2^2)} \right)^2 \cdot \cos^2(50{,}28^{o})$$

$$= 0{,}0018 \rightarrow \boxed{-27{,}41\,dB}$$

Plano YZ

$$SLL \rightarrow \psi_y = \frac{3\pi}{4}$$

$$\frac{3\pi}{4} = \pi \operatorname{sen} \theta_{SLL} \rightarrow \theta_{SLL} = 48{,}59^{o}$$

$$SLL = \left| \frac{1}{4} \frac{\operatorname{sen}(4(3\pi/4)/2)}{\operatorname{sen}(3\pi/4/2)} \right|^2 \cdot \operatorname{sinc}^2(0{,}0075)$$

$$w_2 = 0{,}01 \cdot \operatorname{sen}(48{,}59^{\circ}) = 0{,}0075$$

$$\rightarrow SLL = 0{,}0732 \sim \boxed{-11.35\,dB}$$