



Capítulo 4

Fuentes Puntuales

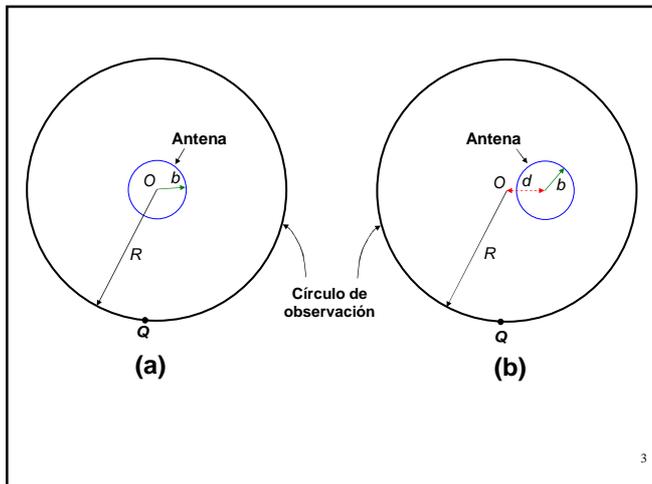
UNI - FIEE
Lima - PERÚ

Ing. Marcial Antonio López Tafur
mlopez@uni.edu.pe

Definición de fuente puntual

- Emisor pequeño o antena medida a una gran distancia. (Concepto Teórico).
- A una distancia suficientemente alejada en la zona de campo remoto de una antena, los campos radiados de la antena son transversales y el flujo de potencia o vector de Poynting (Wm^{-2}) es radial como en el punto O a una distancia R en el círculo de observación de la siguiente figura.

2



3

- En la Fig. (a). anterior, el centro O de la antena coincide con el centro del círculo de observación.
- Si el centro de la antena es desplazado de O , aun a tal grado que O quede fuera de la antena como en la Fig (b), la distancia d entre los dos centros tiene un efecto insignificante en el diagrama del campo en el círculo de observación, con tal que $R \gg d$, $R \gg b$ y $R \gg \lambda$.

4

- Sin embargo los diagramas de fase generalmente serán diferentes, dependiendo de d .
- Sí $d = 0$, el desplazamiento de fase alrededor del círculo de observación es mínimo.
- Mientras d se incremente, el desplazamiento de fase observado se vuelve más grande
- Podría ser suficiente especificar solo la variación con el ángulo de la densidad de potencia o la magnitud del vector de Poynting (w/m^2) de la antena $[S_{r(\theta, \phi)}]$.

5

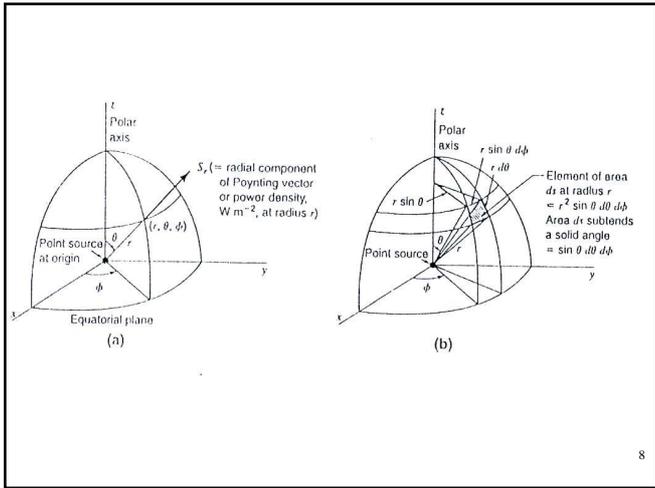
Diagramas de Potencia

- Para una fuente puntual (o en el campo remoto de cualquier antena), el vector de Poynting \mathbf{S} solo tiene un componente radial S_r , sin ningún componente en las direcciones θ o ϕ ($S_\theta = S_\phi = 0$).
- Así, la magnitud del vector Poynting, o la densidad de potencia, es igual al componente radial ($|\mathbf{S}| = S_r$).

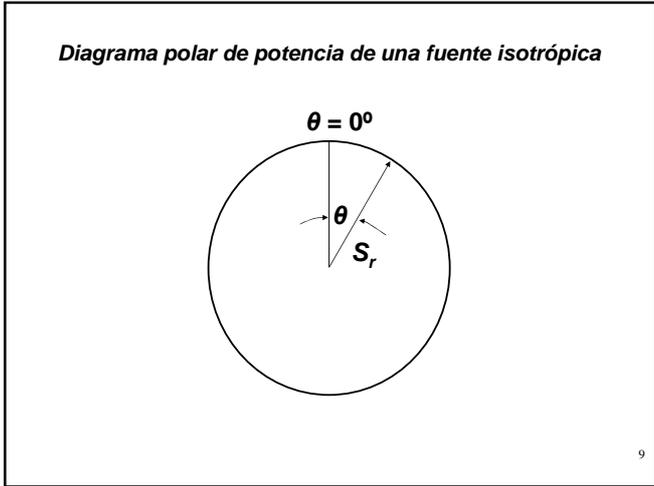
6

- Una fuente que irradia energía en todas las direcciones uniformemente es una **fuente isotrópica**.
- Para tal fuente la componente radial S_r del vector Poynting es independiente de θ y ϕ .
- Un grafico de S_r a un radio constante como una función del ángulo es un vector de Poynting, diagrama de flujo de potencia, pero usualmente es llamado **diagrama de potencia**.
- El diagrama de potencia tridimensional para una fuente isotrópica es un círculo (una sección transversal a través de una esfera), como esta mostrado en la siguiente figura

7



8



9

- Aunque la fuente isotrópica es conveniente en la teoría, esta no es físicamente realizable.
- Aun las antenas más simples tienen propiedades direccionales, es decir estas irradian más energía en algunas direcciones que en otras.
- En contraste a la fuente isotrópica, podrían haber fuentes anisotrópicas. Como un ejemplo, el diagrama de potencia de una de tales fuentes es mostrado en la Fig.4-4A, donde S_{m} es el máximo valor de S_r .
- Si S_r es expresado en vatios por metro cuadrado, el grafico es un **diagrama de potencia absoluto**. De otro modo, si S_r es expresado en términos de su valor en alguna dirección de referencia, la grafica es un **diagrama de potencia relativo**.

10

Teorema de la Potencia y su aplicación para una fuente isotrópica

- Si el vector de Poynting es conocido en todas los puntos en una esfera de radio r desde una fuente puntual en un medio sin pérdidas, la potencia total radiada por la fuente es la integral sobre la superficie de la esfera de la componente radial S_r del vector Poynting promedio. Así:

$$P = S_r \iint ds = S_r \times 4\pi r^2$$

11

Intensidad de radiación

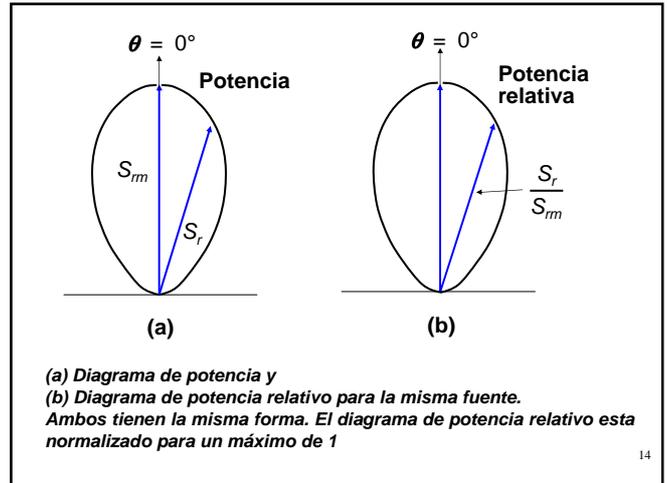
- $U = r^2 S_r = P/4\pi$ (W/sr)
- La potencia total radiada es dada por la integral de la intensidad de radiación sobre un ángulo sólido de 4π estereorradianes
- Aplicando $P = \iiint S_r \cdot ds = \iiint s_r \cdot ds$ a una fuente isotrópica, obtenemos:

$$P = 4\pi U_0 \quad (W)$$
 donde: U_0 = intensidad de radiación de un fuente isotrópica, Wsr^{-1}

12

- Los diagramas de potencia pueden ser expresados en términos del vector de Poynting (densidad de potencia) o de la intensidad de radiación.
- Un diagrama de radiación en términos de U es la misma como en la Fig. 4-4a con el vector de Poynting máximo S_m reemplazado por la intensidad de radiación máxima U_m y el vector de Poynting como función de r (S_r) reemplazado por la intensidad de radiación como función de r (U_r).
- El máximo valor de U_m es en la dirección $\theta = 0^\circ$. Los diagramas relativos del vector de Poynting y la intensidad de radiación son idénticos.

13



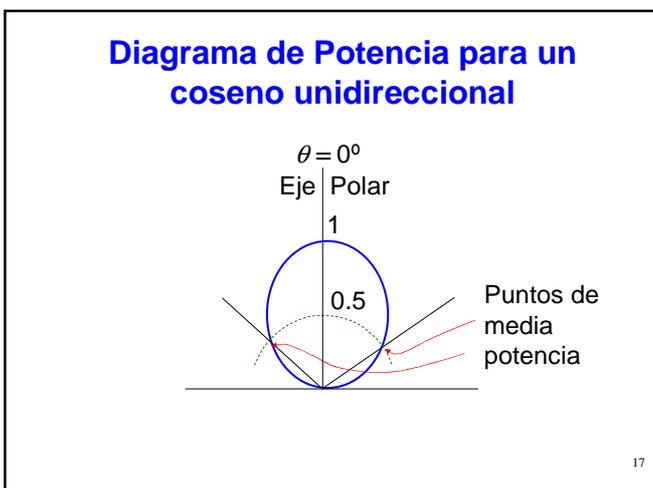
14

- ### Ejemplos de diagramas de energía
1. Fuente con diagrama de energía cosenoidal unidireccional.
 2. Fuente con un diagrama de potencia coseno bidireccional.
 3. Fuente con diagrama de potencia senoidal (Doughnut)
 4. Fuente con diagrama de radiación senoidal cuadrático.
 5. Fuente con diagrama de potencia cosenoidal cuadrático

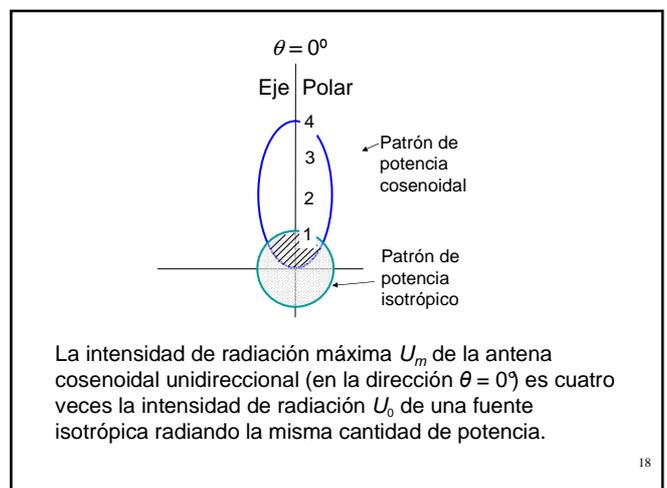
15

- ### 1. Fuente con diagrama de energía cosenoidal unidireccional
- $U = U_m \cos\theta$
 - $P = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} U_m \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi = \pi U_m$
 - $\pi U_m = 4\pi U_0$
 - Directividad = $U_m/U_0 = 4 = D$ Rpta.

16



17



18

2. Diagrama de potencia con coseno bidireccional

- Para este caso la intensidad de radiación máxima es la mitad del valor que en el ejemplo anterior
- Es decir: $D = 4/2 = 2$

$$D = 2$$

19

3. Fuente con diagrama de potencia senoidal

- $U = U_m \sin \theta$
- $P = U_m \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin^2 \theta d\theta d\phi = \pi^2 U_m$
- $\pi^2 U_m = 4\pi U_0$
- Directividad = $U_m/U_0 = 4/\pi = 1.27 = D$

Rpta

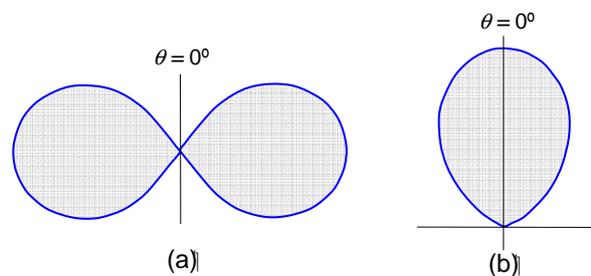
$$D = 1.27$$

20

4. Fuente con diagrama de radiación senoidal cuadrático

- $U = U_m \sin^2 \theta$
- $P = U_m \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta d\phi = \frac{8}{3} \pi U_m$
- Si P es la misma para una fuente isotrópica, $(8/3)\pi U_m = 4\pi U_0$ y
- Directividad = $U_m/U_0 = 3/2 = 1.5 = D$ Rpta.

21



(a) Diagrama de potencia de un seno cuadrático
(b) Diagrama de potencia de un coseno cuadrático unidireccional.

22

5. Fuente con diagrama de potencia coseno cuadrático unidireccional

- $U = U_m \cos^2 \theta$
- $P = U_m \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \cos^2 \theta \sin \theta d\theta d\phi = \frac{2}{3} \pi U_m$
- Si P es igual como en una fuente isotrópica
- $2/3\pi U_m = 4\pi U_0$ y
- Directividad = $U_m/U_0 = 6 = D$ Rpta

23

Directividades de un los diagramas de radiación de fuentes puntuales en Ejemplos 1 al 5

Diagrama	Directividad
Cosenoidal unidireccional	4
Cosenoidal bidireccional	2
Senoidal doughnut	1.27
Senoidal cuadrática doughnut	1.5
Cosenoidal cuadrático unidireccional	6

24

Haz pincel con lóbulos menores

$$D = \frac{4\pi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_n(\theta) \sin\theta d\theta d\phi}$$

$$D = \frac{4\pi}{2\pi \int_0^\pi P_n(\theta) \sin\theta d\theta}$$

$$\frac{\pi}{36} P_n(\theta)_{av} \sin\theta_1 = \frac{\pi}{36} \frac{1.0 + .093}{2} \sin 2.5^\circ$$

25

$$D \approx \frac{4\pi}{2\pi(\pi/36) \sum_{m=1}^{m=36} P_n(\theta_m)_{av} \sin\theta_m}$$

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \approx \frac{4\pi}{2\pi(\pi/36)(0.25 + 0.37 + 0.46 + 0.12 + 0.07)} = \frac{72}{1.27\pi} = 18.0$$

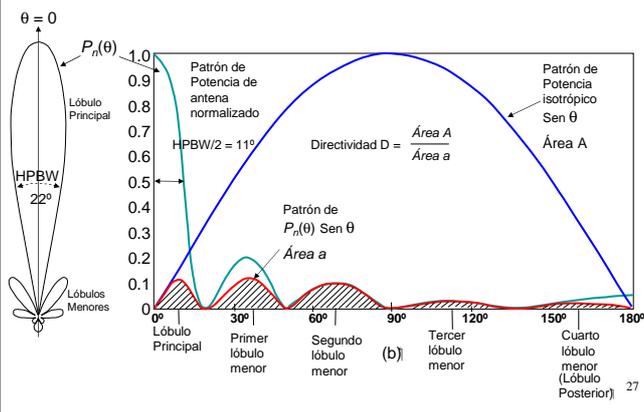
$$D = 12.6 \text{ dBi}$$

la directividad es grandemente afectada por los lóbulos menores, lo cual es común con las antenas actuales. Para este diagrama de antena la eficiencia del haz esta dada por:

$$\epsilon_M = 0.25/1.27 = 0.20$$

26

Diagrama de Potencia en gráfico polar (a) y rectangular (b)



27

Diagramas de campo

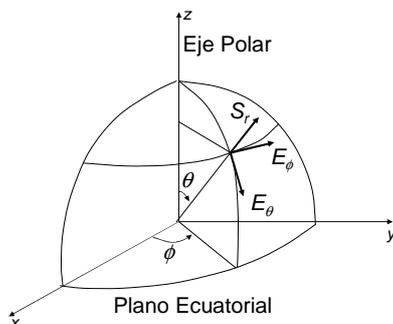
- La relación entre el vector de Poynting promedio y el campo eléctrico en un punto del campo remoto es

$$S_r = \frac{1}{2} \frac{E^2}{Z_0} \quad \text{y} \quad E = \sqrt{E_\theta^2 + E_\phi^2}$$

donde Z_0 = impedancia intrínseca del medio

28

Relación entre el vector de Poynting S y los dos componentes de Campo E en campo lejano



29

Fuente con diagrama de campo cosenoidal

- (a) Diagrama relativo de E_ϕ del ejemplo 4-6.1 y (b) el diagrama de potencia relativo
- La potencia relativa (normalizada) en el plano ecuatorial es igual al cuadrado del diagrama relativo del campo. Así

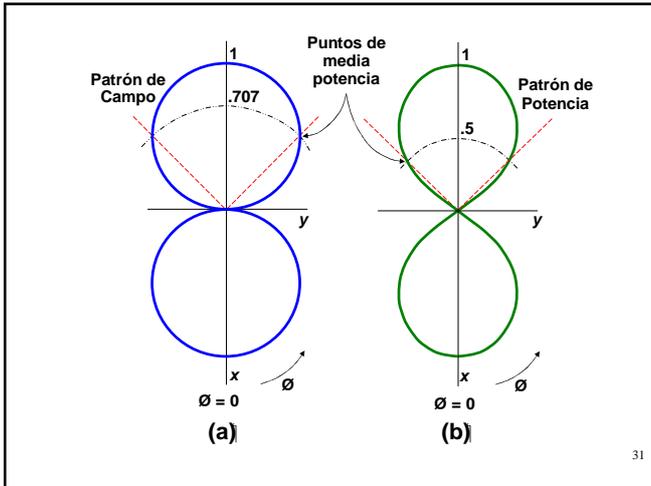
$$P_n = S_r/S_{rm} = U/U_m = (E_\phi/E_{\phi m})^2 \quad (9)$$

y sustituyendo (8) en (9) tenemos

$$P_n = \cos^2\phi$$

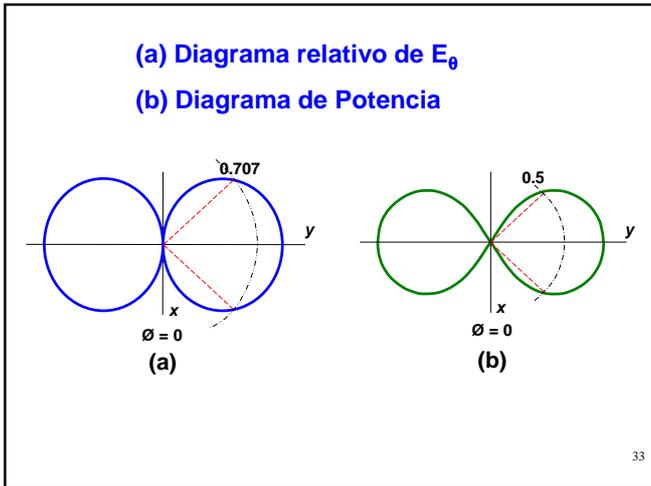
Este diagrama es ilustrado en la derecha de la Fig. 4-10

30



Fuente con diagrama de campo senoidal

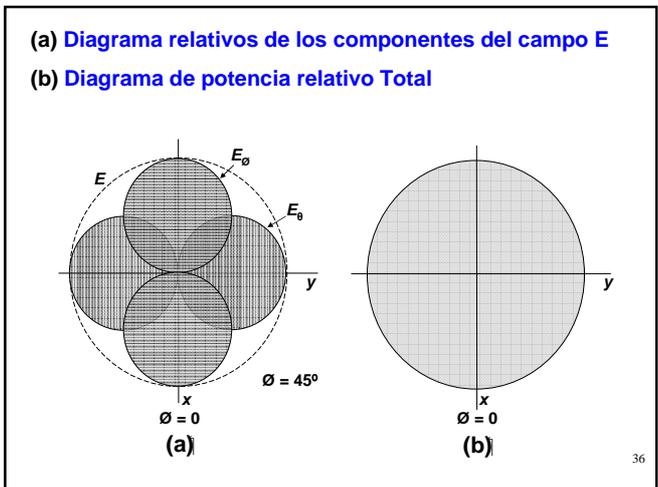
- E_θ (esto es, E_θ como una función de ϕ para $\theta = 90^\circ$) para esta antena está dado por $E_\theta/E_{\theta m} = \text{sen}\phi$ (10)
- Este patrón es ilustrado por la Fig. 4-11a y puede ser producido por una antena de cuadro pequeña. El eje del cuadro coincide con el eje x. Hallar D.
- El diagrama de potencia normalizado en el plano ecuatorial es $P_n = \text{sen}^2\phi$ (11)



Diagramas de un dipolo corto y un lazo

- $E_{\theta m} = E_{\phi m}$. Los patrones individuales para los componentes E_θ y E_ϕ como están dados en (8) y (10) pueden luego ser mostrados a la misma escala por un diagrama, como en la Fig.4-12a. El diagrama relativo de el campo total E es $\frac{E}{E_m} = \sqrt{\text{sen}^2\phi + \text{cos}^2\phi} = 1$

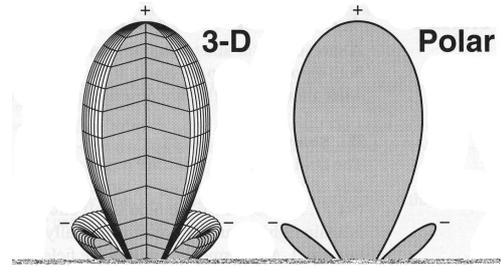
- Lo cual es un círculo como está indicado en la línea punteada en la Fig. 4-12a. Hallar D.
- Notamos en la Fig. 4-12^o que a $\phi = 45^\circ$ las magnitudes de los componentes de campo, E_θ y E_ϕ , son iguales.
- Dependiendo de la fase entre E_θ y E_ϕ , el campo en esta dirección puede ser plano, elípticamente o circularmente polarizado, pero sin tomar en cuenta la fase la potencia es la misma.
- Para determinar el tipo de polarización es requerido conocer el ángulo de fase entre E_θ y E_ϕ . Esto será discutido en la siguiente sección.



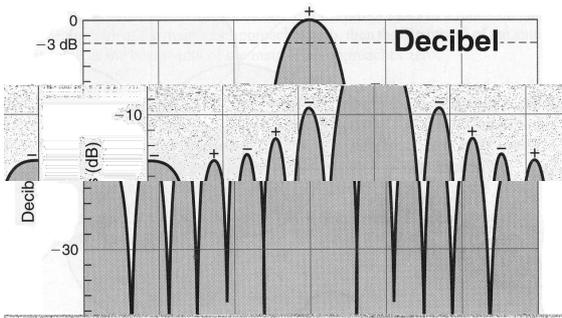
Patrones de fase

1. Amplitud de la componente polar del campo eléctrico E_θ como una función de r, θ y ϕ
2. Amplitud de la componente azimutal del campo eléctrico E_ϕ como una fun. de r, θ y ϕ .
3. Retraso de fase δ de E_ϕ detrás de E_θ como función de θ y ϕ
4. Retraso de fase η de cualquier componente de campo detrás de su valor en el punto de referencia como una función de r, θ y ϕ .

37



38



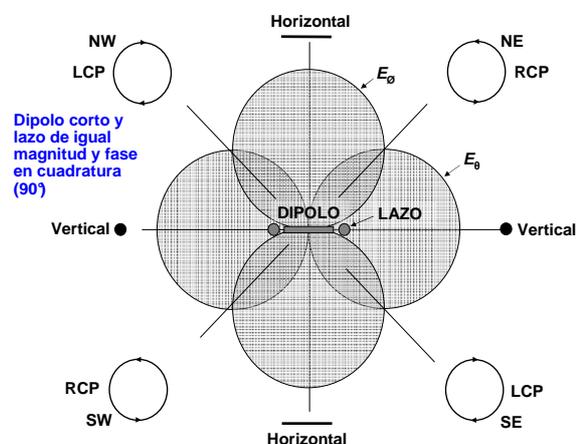
Campo de un dipolo y un cuadro en cuadratura de fase

- Un dipolo corto es situado dentro de un pequeño cuadro como en la Fig. 4-14. La magnitud del campo para ambos el dipolo y el cuadro son iguales. Si el dipolo y el cuadro son alimentados en cuadratura o 90° de desfase, cuales son los campos que son observados como una función de la azimuth en el plano de la página.

40

- **Solución:** El campo norte y sur son polarizados horizontalmente (en el plano de la página).
- El campo este y oeste son polarizados verticalmente.
- A 45° o NE el campo es polarizado circularmente derecho (RCP). A 135° o SE el campo es polarizado circularmente izquierdo (LCP). A 225° o SO el campo es de nuevo polarizado circularmente derecho.
- Finalmente, a 315° o NO el campo es de nuevo polarizado circularmente izquierdo.
- A ángulos intermedios el campo esta elípticamente polarizado

41



42



Muchas gracias por su atención

