



Capítulo 2

Teoría básica de antenas: Parámetros

Ing. Marcial Antonio López Tafur
mlopez@uni.edu.pe
2010-3

Introducción *

- Bienvenidos al maravilloso mundo de las antenas, su lenguaje y cultura; de la familia de apertura (efectiva y dispersa), la familia de lóbulos (principal, lateral, posterior y emparrillada); a anchos de banda, directividad y ganancia.
- Las antenas son tridimensionales y viven en el mundo del área de haz, estéreo-radianes, grados cuadrados y ángulos sólidos.

* Tomado del capítulo 2 del Libro de Kraus "Antennas for all applications", 3rd Edition McGraw-Hill, 2003
EE525 - Antenas UNI 2

- Tienen impedancias (propia y mutua).
- Ocupan todo el espacio
- Tienen medidas de temperatura en $^{\circ}$ Kelvins,
- Tienen polarización (lineal, elíptica y circular).
- En este capítulo conoceremos el lenguaje de las antenas y nos haremos familiares con su cultura.
Los tópicos son:

EE525 - Antenas UNI

3

- Parámetros básicos
- Patrones
- Área de Haz
- Eficiencia de Haz
- Directividad y Ganancia
- Aperturas físicas y efectivas
- Apertura distribuida
- Radio enlace (Ecuación de Friis)
- Apertura de dipolos y antenas de $\lambda/2$

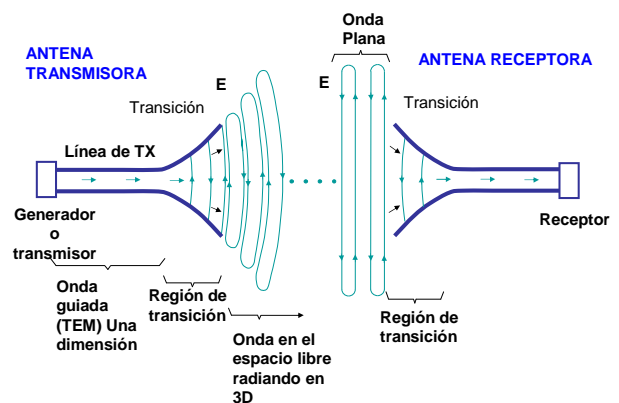
EE525 - Antenas UNI

4

- Resistencia de radiación
- Impedancia de la antena
- Dualidad de las antenas
- Fuentes de radiación
- Zonas de campo
- Consideraciones sobre la formación de impedancia
- Polarización de la antena

EE525 - Antenas UNI

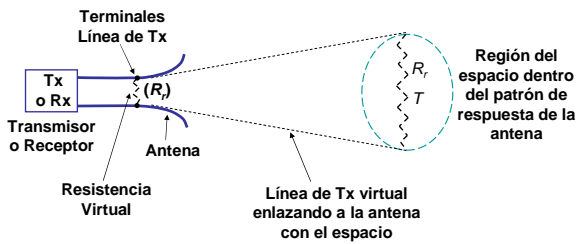
5



EE525 - Antenas UNI

6

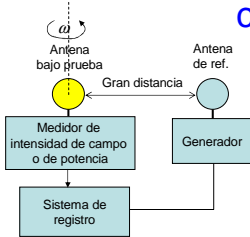
Concepto de resistencia de radiación



Patrón de radiación

- El patrón de radiación de una antena es su representación (pictórica o matemática) de la distribución del flujo de potencia de salida (radiada) desde la antena (en el caso de antenas transmisoras), o de entrada (recibida) a la antena (en el caso de antena receptora) como una función de la dirección de los ángulos desde la antena
 - Patrón de radiación de la antena (*patrón de la antena*):
 - Es definido a gran distancia de la antena, donde la distribución espacial (angular) de la potencia radiada no depende de la distancia desde la fuente de radiación.
 - Es independiente de la dirección del flujo de potencia: es la misma cuando la antena es usada para transmitir y cuando es usada para recibir ondas de radio.

Patrón de potencia vs. patrón de campo



- El patrón de potencia es el medido (ó calculado) y se plotea la potencia recibida: $|P(\theta, \phi)|$ a una (gran) distancia de la antena
- El patrón de campo es el medido (ó calculado) y se plotea la intensidad de campo eléctrico (ó magnético), $|E(\theta, \phi)|$ o $|H(\theta, \phi)|$ a una (gran) distancia de la antena

El patrón de potencia y patrón de campos están inter-relacionados:
 $P(\theta, \phi) = (1/Z_0) * |E(\theta, \phi)|^2 = Z_0 * |H(\theta, \phi)|^2$
 P = potencia
 E = componente del vector campo eléctrico
 H = componente del vector campo magnético
 $Z_0 = 377 \text{ ohm}$ (impedancia de una onda plana en el espacio libre)

Patrón normalizado

- Usualmente, el patrón describe valores de intensidad de campo (o de potencia) *normalizado* con respecto al valor máximo.

Diagrama de Campo

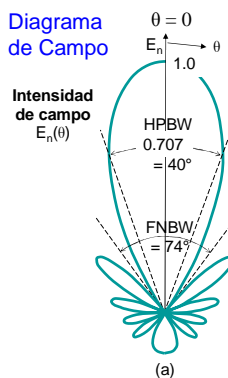
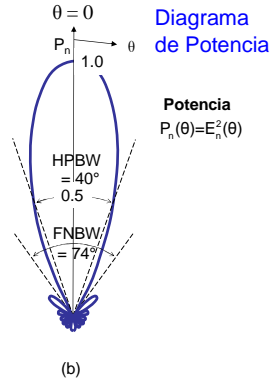
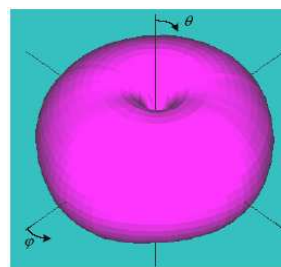


Diagrama de Potencia

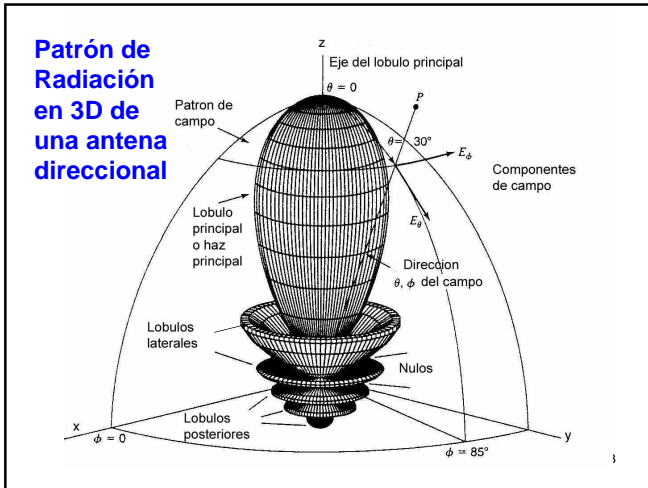


Patrón en 3-D



Patrón en 3-D de un dipolo

- El patrón de radiación de la antena es tri-dimensional (3-D)
- La gráfica del patrón de la antena en 3-D asume que ambos ángulos θ y ϕ están variando.
 - $0 \leq \theta \leq 180^\circ$
 - $0 \leq \phi \leq 360^\circ$



Patrones en 2-D

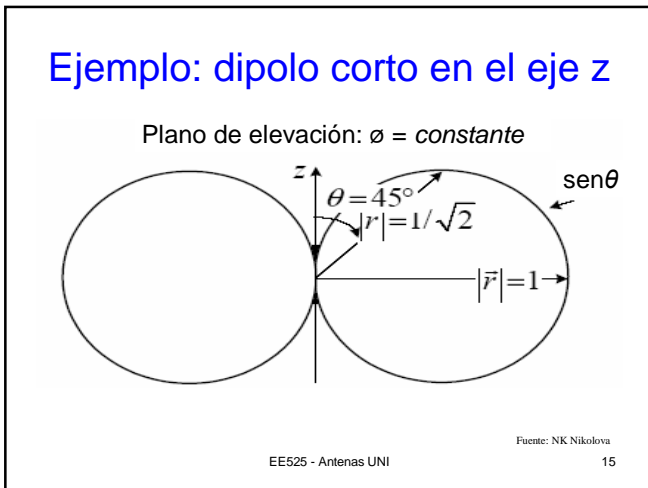
Usualmente el patrón de una antena es presentado como un dibujo en 2-D, donde uno sólo de los ángulos de dirección θ ó ϕ varía.

Es una intersección del gráfico en 3-D con un plano determinado

- Usualmente es con el plano $\theta = \text{constante}$ o con el plano $\phi = \text{constante}$ que contenga el patrón de máximo valor

Dos patrones en 2-D

Fuente: NK Nikolova
EE525 - Antenas UNI 14

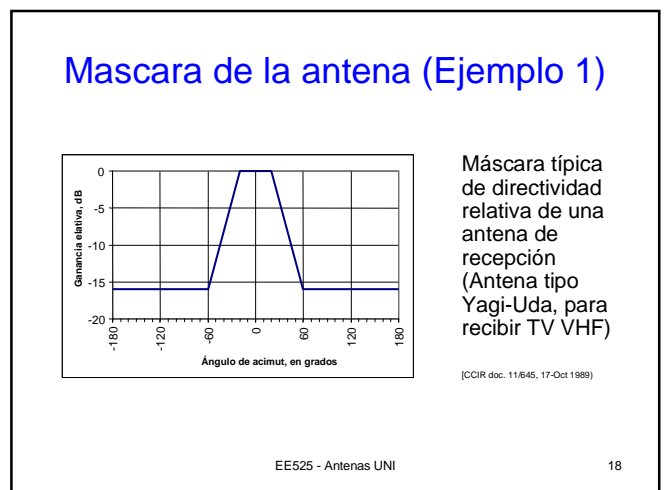
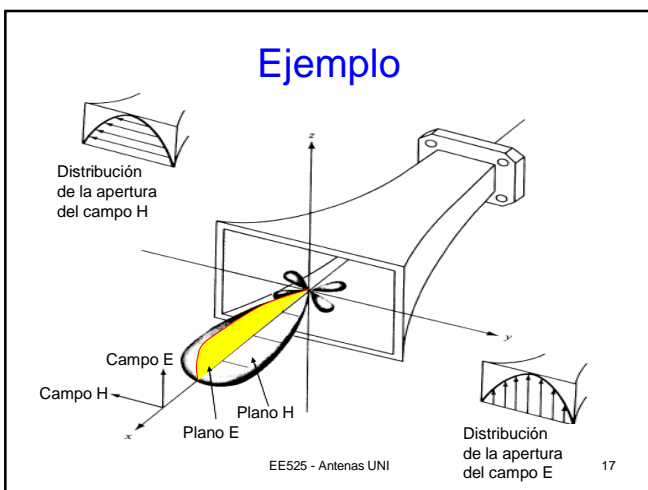


Patrones principales

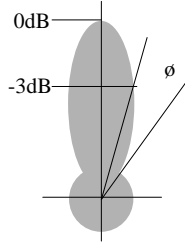
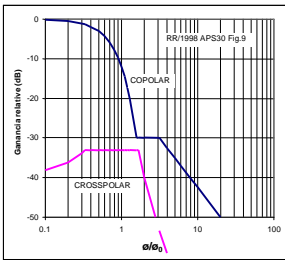
- Para las antenas linealmente polarizadas son patrones en 2-D, medidos en 2 planos

- El **plano-E**: plano paralelo al del vector **E** vector y conteniendo la dirección de máxima radiación, y
- El **plano-H**: plano paralelo al vector **H**, ortogonal al plano-E, y conteniendo la dirección de máxima radiación

EE525 - Antenas UNI 16



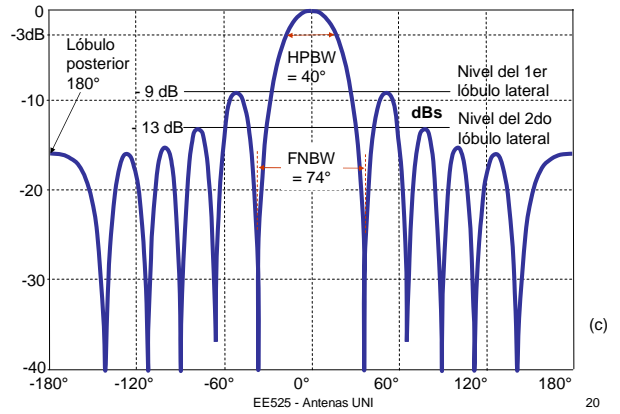
Mascara de la antena (Ejemplo 2)



Patrón de referencia para los componentes co-polar y cross-polar para antenas transmisoras al satélite. Para aplicaciones de radiodifusión (Broadcasting, banda de ~12 GHz)

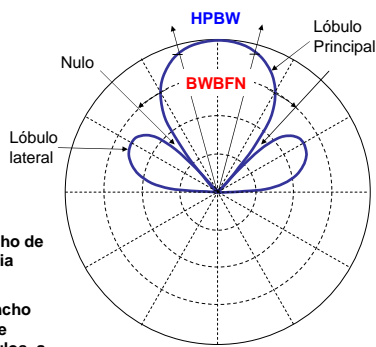
EE525 - Antenas UNI

19



EE525 - Antenas UNI

20

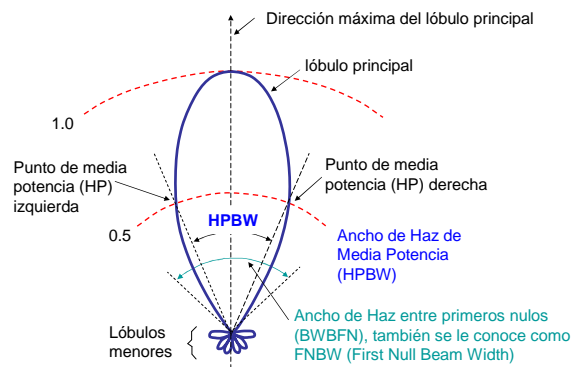


HPBW: Ancho de Haz de Media Potencia

BWFBN: Ancho de Haz entre primeros nulos, a veces se le denomina **FNBW**

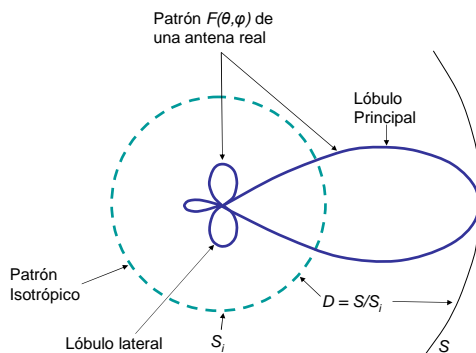
EE525 - Antenas UNI

21



EE525 - Antenas UNI

22

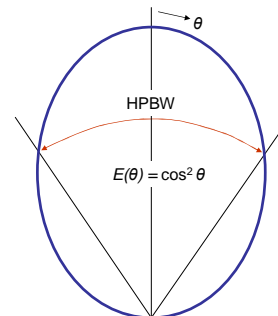


EE525 - Antenas UNI

23

Calcule el HPBW siguiente:

La antena tiene un patrón de campo dado por:
 $E(\theta) = \cos^2 \theta$
 para $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$



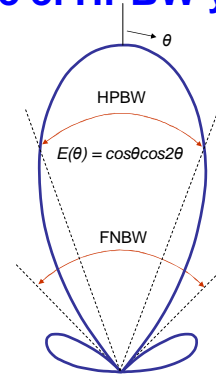
EE525 - Antenas UNI

24

Solución

- Dato: $E(\theta) = \cos^2\theta$ para $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$
- $E(\theta)$ a media potencia = 0.707.
- Luego $0.707 = \cos^2\theta$,
- También $\cos \theta = \sqrt{0.707}$
- Resultando $\theta = 33^\circ$
- Como HPBW = $2\theta = 66^\circ$ Respuesta

Calcule el HPBW y FNBW



- (a) $E(\theta)$ a mitad de potencia = 0.707.
Luego $0.707 = \cos \theta \cos 2\theta = 1/\sqrt{2}$.
 $\cos 2\theta = 1/\sqrt{2} \cos \theta$
 $2\theta = \cos^{-1} (1/\sqrt{2} \cos \theta)$ y
 $\theta = (1/2) \cos^{-1} (1/\sqrt{2} \cos \theta')$
Iterando con $\theta = 0^\circ$ como primer valor $\theta = 22.5^\circ$. Poniendo $\theta = 22.5^\circ$, $\theta = 20.03^\circ$, etc.,
Hasta después de la siguiente iteración
 $\theta = \theta = 20.47^\circ \approx 20.5^\circ$ y
HPBW = $2\theta = 41^\circ$ Rpta. (a)
- (b) $0 = \cos \theta \cos 2\theta$, para $\theta = 45^\circ$ y
FNBW = $2\theta = 90^\circ$ Rpta. (b)

Iterativamente con $\theta' = 0$ como inicio,
 $\theta = 22.5^\circ$
asignando $\theta' = 22.5^\circ$, $\theta = 20.03^\circ$, etc.,
hasta que $\theta = \theta' = 20.47^\circ = 20.5^\circ$

HPBW = $2\theta = 41^\circ$ **RPTA**

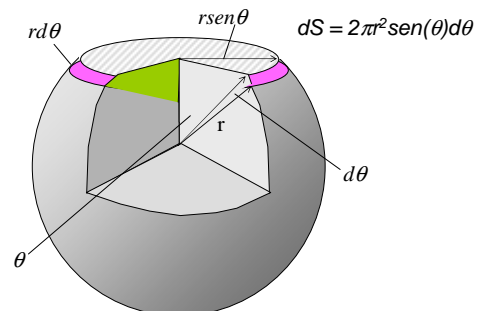
Sí $\cos \theta \cos 2\theta = 0$, implica que $\theta = 45^\circ$ y

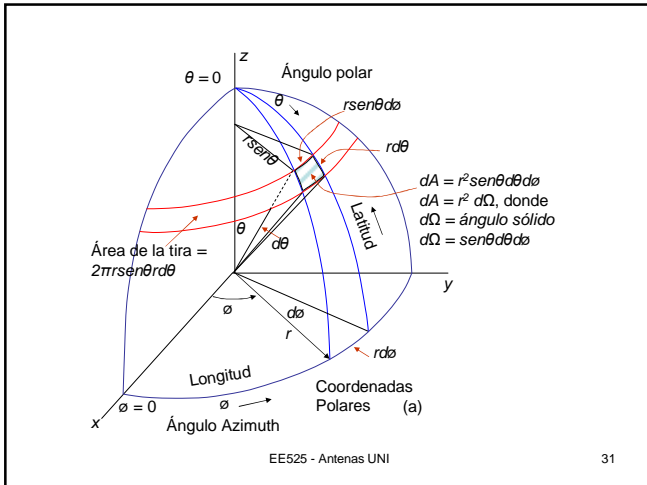
FNBW = $2\theta = 90^\circ$ **RPTA**

Área de Haz Ω_A

- En coordenadas polares de dos dimensiones un área incremental dA sobre la superficie de la esfera es el producto de la dimensión $r d\theta$ en la dirección θ (latitud) y $r \sin \theta d\phi$ en la dirección ϕ (longitud):
 $dA = (r d\theta)(r \sin \theta d\phi) = r^2 d\Omega$
donde $d\Omega = \text{ángulo sólido expresado en estereo-radianes (sr) o grados cuadrados (}^\square\text{)}$

Superficie de Integración





El área de la tira con $r d\theta$ extendiéndose alrededor de la esfera con un ángulo cte. θ está dado por $(2\pi r \sin\theta)(r d\theta)$. Integrando para valores de θ desde 0 a π , da el área de la esfera, esto es:

$$\text{Área esfera} = 2\pi r^2 \int_0^\pi \sin\theta d\theta = 2\pi r^2 [-\cos\theta]_0^\pi$$

donde $4\pi =$ ángulo sólido sustentado por una esfera

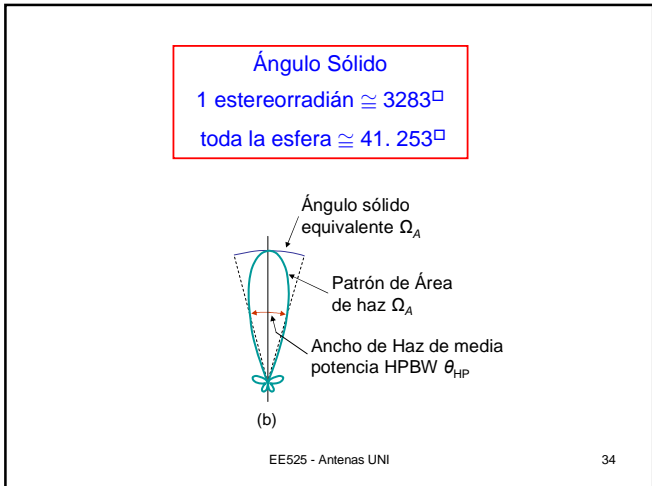
1 estereorradian = 1 sr

$$1 \text{ sr} = \left(\frac{\text{ángulo sólido de esfera}}{4\pi} \right)$$

$$1 \text{ sr} = 1 \text{ rad}^2 = \left(\frac{180}{\pi} \right)^2 (0^2) = 3282.8064^\square$$

$$4\pi \text{ sr} = 3282.8064 \times 4\pi = 41,252.96 = 41,253^\square \text{ (Toda la esfera)}$$

$4\pi \text{ sr} =$ ángulo sólido en una esfera



El área de haz o ángulo sólido de haz o Ω_A de una antena está dado por la integral del patrón de potencia normalizado sobre una esfera ($4\pi \text{ sr}$)

$$\Omega_A = \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} P_n(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi$$

$$\Omega_A = \int \int_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (\text{sr}) \quad \text{Área de Haz}$$

donde: $d\Omega = \sin\theta d\theta d\phi$

El área de haz Ω_A es el ángulo sólido a través del cual toda la potencia radiada por la antena fluiría si $P(\theta, \phi)$ mantuviese su máximo valor sobre Ω_A y fuese cero en cualquier otro lugar.

Luego:

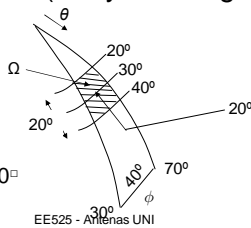
Potencia radiada = $P(\theta, \phi) \Omega_A$ en vatios.

El área de haz de una antena puede ser descrito aproximadamente en términos de los ángulos subtendidos por los puntos de media potencia del lóbulo principal en sus dos planos principales

$$\text{Área de Haz} \cong \Omega_A \cong \theta_{HP} \phi_{HP} \quad (\text{sr})$$

donde θ_{HP} y ϕ_{HP} son los anchos de haz de media potencia (HPBW) en los dos principales planos, los lóbulos menores están siendo despreciados.

Ejemplo: Encuentre el número de grados cuadrados en el ángulo sólido Ω de una superficie esférica que está entre $\theta = 20^\circ$ y $\theta = 40^\circ$ (o 70° y 50° latitud norte) y entre $\phi = 30^\circ$ y $\phi = 70^\circ$ (30° y 70° longitud este)



$$\Omega = 20^\circ \times 20^\circ = 400^\square$$

$$\text{Sq: } \Omega = \int_{30^\circ}^{70^\circ} d\phi \int_{20^\circ}^{40^\circ} \sin\theta d\theta = \frac{40}{360} 2\pi [-\cos\theta]_{20^\circ}^{40^\circ}$$

$$\Omega = 0.222\pi \times 0.173 = 0.121 \text{ sr}$$

$$\Omega = 0.121 \times 3283 = 397^\square \text{ (Grados cuadrados)}$$

El ángulo sólido Ω mostrado en el dibujo puede ser *aproximado* como el producto de dos ángulos $\Delta\theta = 20^\circ$ y $\Delta\phi = 40^\circ \sin 30^\circ = 40^\circ \times 0.5 = 20^\circ$ donde 30° es el valor medio de latitud θ , esto es: $\Omega = \Delta\theta\Delta\phi = 20^\circ \times 20^\circ = 400^\square$, el cual está 0.75% de la respuesta dada anteriormente.

Ejemplo: Area de Haz Ω_A para una antena con un patrón $\cos^2\theta$

$$\text{Sq: } \Omega_A = \int \int_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega \quad (\text{sr})$$

$$\Omega_A = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi \cos^4\theta \sin\theta d\theta d\phi$$

$$\Omega_A = -2\pi \left[\frac{1}{25} \cos^5\theta \right]_0^{\pi/2} = \frac{2\pi}{15} = 1.26 \text{ sr}$$

$\Omega_A \cong \theta_{HP} \phi_{HP}$ donde θ_{HP} y ϕ_{HP} son los HPBW en los dos planos principales.

Del ejemplo: $\theta_{HP} = \phi_{HP} = 66^\circ$, luego

$$\Omega_A \cong \theta_{HP} \phi_{HP} = 66^2 = 4356^\square$$

Como 1 radian cuadrado es 3283[□]

El área de haz

$$\Omega_A = 4356 / 3282 = 1.33 \text{ sr}$$

la cual tiene un error de 6% comparado con la respuesta anterior

Intensidad de Radiación

Es la potencia radiada de una antena por unidad de ángulo sólido (W / sr ó W / sr)
 El patrón de potencia normalizado se expresa como la relación de la intensidad de radiación a su máximo valor $U(\theta, \phi)$

$$P_n(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U(\theta, \phi)_{\max}} = \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{\max}}$$

El vector de Poynting S depende de la distancia desde la antena (variando inversamente proporcional con el cuadrado de la distancia), mientras que U es independiente de la distancia (campo lejano)

Eficiencia de Haz

El área de haz (total) Ω_A (ó haz de ángulo sólido) es el área del haz principal (ó ángulo sólido) Ω_M más el área de los lóbulos menores (ó ángulo sólido) Ω_m , es decir

$$\Omega_A = \Omega_M + \Omega_m$$

La relación del área de haz principal a la de área total del haz se llama eficiencia de haz principal ϵ_M

$$\text{Eficiencia de Haz} = \epsilon_M = \frac{\Omega_M}{\Omega_A} \quad (\text{sin dimensiones})$$

La relación del área de lóbulo menor Ω_m al total

$$\text{es llamada factor de pérdida} \quad \epsilon_m = \frac{\Omega_m}{\Omega_A}$$

$$\text{tal que: } \epsilon_M + \epsilon_m = 1$$

Área de Haz $\Omega_A = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi P_n(\theta, \phi) \cdot \sin(\theta) d\theta d\phi = \iint_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega$

Área lóbulo principal $\Omega_M = \iint_{\text{Haz principal}} P_n(\theta, \phi) d\Omega$

Área lóbulos menores $\Omega_m = \iint_{\text{lóbulos menores}} P_n(\theta, \phi) d\Omega$

$$\Omega_A = \Omega_M + \Omega_m$$

Eficiencia del haz principal $\epsilon_M = \frac{\Omega_M}{\Omega_A}$

Directividad (D) y Ganancia (G)

$$D = \frac{P(\theta, \phi)_{\max}}{P(\theta, \phi)_{\text{av}}} \quad \text{Directividad del Patrón}$$

$$D = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad \text{De un haz de área } \Omega_A$$

$$P_n(\theta, \phi) = P(\theta, \phi) / P(\theta, \phi)_{\max} = \text{patrón de potencia normalizado}$$

Para una antena que radíe solo la mitad de una esfera el área de haz $\Omega_A = 2\pi$ sr, la directividad:

$$D = 4\pi / 2\pi = 2 \quad (3.01 \text{ dBi})$$

La antena isotrópica tiene $D = 1$

El dipolo tiene un $\Omega_A = 2.67\pi$ sr

$$\rightarrow D = 1.5$$

EE525 - Antenas UNI

49

La ganancia G de una antena es una cantidad menor que el valor de D , debido a las pérdidas óhmicas en la antena o su cobertor. En transmisión estas pérdidas involucran alimentar potencia a la antena el cual no es radiado pero calienta a la estructura de la antena. La desadaptación de Z con el cable puede reducir la ganancia.

$$G = \eta D,$$

donde η es el factor de eficiencia,

con valores: $0 \leq \eta \leq 1$

EE525 - Antenas UNI

50

$$\text{Ganancia} = G = \frac{P_{\max}(AUT)}{P_{\max}(ant \text{ ref})} \times G(ant \text{ ref})$$

Sí el HPBW de una antena se conoce, entonces:

$$D = \frac{41,253^2}{\theta_{HP}^{\circ} \phi_{HP}^{\circ}},$$

donde: $41,253^2 =$ número de $^{\circ}$ en una esfera

$\theta_{HP}^{\circ} =$ HPBW en un plano principal,

$\phi_{HP}^{\circ} =$ HPBW en el otro plano principal

como se está despreciando los lóbulos menores

$$D = \frac{40,000^2}{\theta_{HP}^{\circ} \phi_{HP}^{\circ}} \quad \text{Directividad aproximada}$$

EE525 - Antenas UNI

51

Ejemplo :

Sí HPBW = 20° en ambos planos principales

$$D = 40,000^2 / 400^2 = 100 \text{ ó } 20\text{dBi}$$

significa que la antena radía 100 veces la potencia en la dirección del haz principal que la que radiaría una antena isotrópica para la misma potencia de entrada.

El producto Directividad - ancho de haz de $40,000^2$ es una **gruesa aproximación**, para ciertos tipos de antena los valores deberán calcularse más exactamente.

EE525 - Antenas UNI

52

Sí una antena tiene un lóbulo principal con ambos anchos de haz de media potencia (HPBW) = 20° , la directividad según (8) es *aproximadamente*:

$$D = \frac{4\pi(sr)}{\Omega_A(sr)} = \frac{41,253^2}{\theta_{HP}^{\circ} \phi_{HP}^{\circ}} = \frac{41,253^2}{20^{\circ} \times 20^{\circ}} \cong 103$$

$$\Rightarrow 20\text{dBi (dB sobre el isotrópico)}$$

lo que significa que la antena radia su potencia en dirección del máximo del lóbulo principal el cual es cerca de 100 veces que el radiado por una antena no direccional (isotrópica) para la misma potencia de entrada.

EE525 - Antenas UNI

53

Directividad y Resolución

Es igual a la mitad del ancho de haz entre primeros nulos (FNBW/2), por ejemplo para una antena con un FNBW= 2° , tiene una resolución de 1° y debería distinguir entre transmisores de dos satélites adyacentes en la órbita geoestacionaria, separados por 1° . Con buen alineamiento, su primer nul o coincide con el satélite adyacente

$$\frac{\text{FNBW}}{2} \cong \text{HPBW}$$

EE525 - Antenas UNI

54

$$\Omega_A = \left(\frac{\text{FNBW}}{2}\right)_\theta \left(\frac{\text{FNBW}}{2}\right)_\phi$$

$$N = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \quad \therefore D = N$$

Establece que la directividad es igual al número de áreas de haz en los cuales el patrón de la antena puede subdividirse el espacio y se puede decir que la directividad es igual al número de fuentes puntuales en el espacio que la antena puede resolver bajo la presunción de que existen condiciones ideales de fuentes de distribución uniforme.

Apertura de la Antena

Consideremos una antena receptora rectangular tipo corneta inmersa en un campo uniforme de ondas planas, la densidad de Potencia (Vector Poynting) sea $S \text{ W/m}^2$, y el área o apertura física de la corneta sea $A_p \text{ m}^2$, si la corneta extrae toda la potencia de la onda sobre la totalidad de su apertura física la potencia total absorbida de la onda será:

$$P = \frac{E^2}{Z} A_p = S A_p \quad (\text{W})$$

Como la respuesta al campo no es uniforme en la corneta a través de la apertura A porque E en los bordes debe ser igual a cero, la apertura efectiva A_e de la corneta es menor que la apertura física A_p

$$\epsilon_{ap} = A_e / A_p \quad \text{Eficiencia de la Apertura}$$

Para una corneta cónica con apertura A_e que radia toda su potencia en un patrón cónico de área de haz Ω_A Asumiendo campo uniforme E_a sobre la apertura

$$P = E_a^2 A_e / Z_0$$

$$P = E_a^2 r^2 \Omega_A / Z_0$$

$$\text{como } E_r = E_a A_e / r \lambda$$

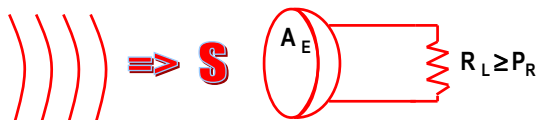
$$\lambda^2 = A_e \Omega_A \quad (\text{m}^2)$$

relación apertura - área de haz

$$D = 4\pi \frac{A_e}{\Omega_A}$$

directividad debido a la apertura

Apertura Efectiva



S = Densidad de Potencia

A_E = Apertura Efectiva

$$P_R = S A_E$$

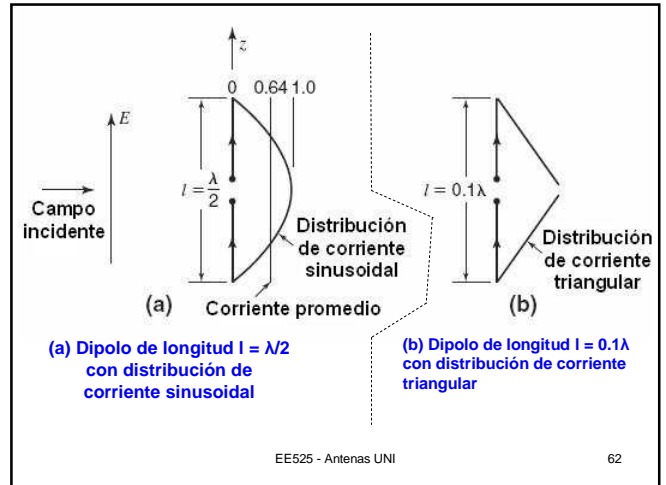
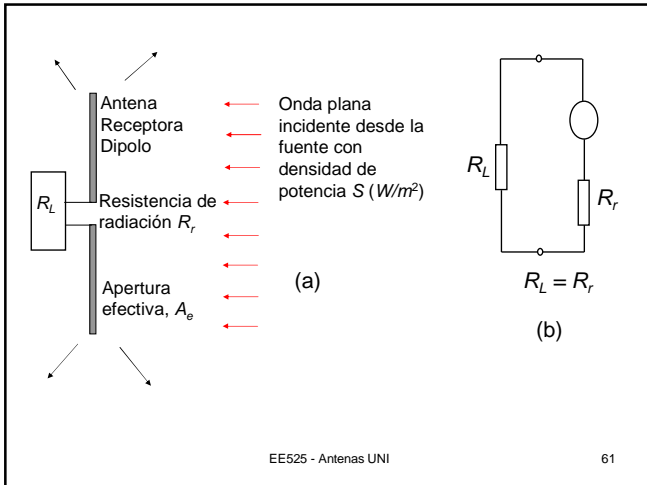
Altura Efectiva

Parámetro relacionado con la apertura

$$V = hE \quad E \text{ en V/m e igual polarización}$$

$$h = V/E \quad (\text{m})$$

Si un dipolo de $l = \lambda/2$ en un campo E , si la distribución de corriente es *uniforme* su altura efectiva sería l



La distribución real es casi sinusoidal con un valor promedio de $2/\pi = 0.64$ (del máximo), la altura efectiva $h = 0.64l$, se asume que la antena está orientada para máxima respuesta

$$h_e = \frac{1}{I_0} \int_0^{h_p} I(z) dz = \frac{I_{av}}{I_0} h_p$$

$$P = \frac{1}{4} \frac{V^2}{R_r} = \frac{h^2 E^2}{4R_r} \text{ (W)} = SA_e = \frac{E^2}{Z_0}$$

$$h_e = 2\sqrt{\frac{R_r A_e}{Z_0}} \text{ (m)} \text{ y } A_e = \frac{h_e^2 Z_0}{4R_r}$$

EE525 - Antenas UNI 63

- En términos de la apertura efectiva la misma potencia está dada por:

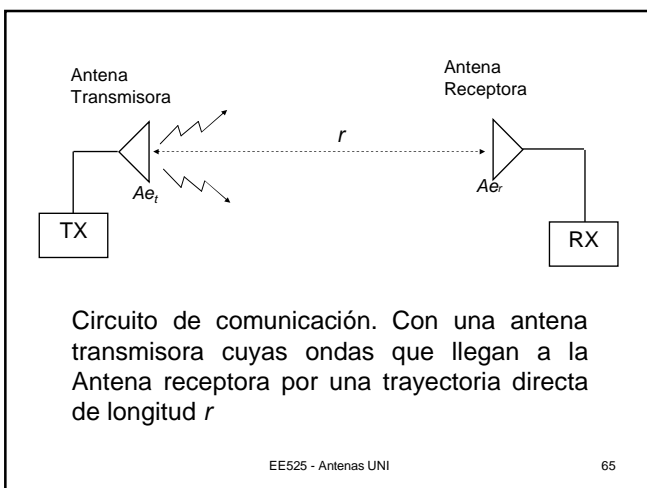
$$P = SA_e = \frac{E^2 A_e}{Z_0} \text{ en vatios}$$

Donde Z_0 es la impedancia intrínseca del espacio ($=377\Omega$)

$$h_e = 2\sqrt{\frac{R_r A_e}{Z_0}} \quad A_e = \frac{h_e^2 Z_0}{4R_r}$$

Luego la altura efectiva y apertura efectiva están relacionadas vía la resistencia de radiación y la impedancia intrínseca del espacio.

EE525 - Antenas UNI 64



La comunicación por radio enlace

La potencia recibida por unidad de área en la antena receptora es

$$S_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \text{ (W)} \quad S_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \text{ (W)}$$

la potencia recibida sin perdida, por la antena receptora de apertura efectiva

$$P_r = S_r A_{er} = \frac{P_t G_t A_{er}}{4\pi r^2} \text{ (W)}$$

EE525 - Antenas UNI 66

la ganancia de la antena transmisora se puede expresar como :

$$G_t = \frac{4\pi A_{et}}{\lambda^2}$$

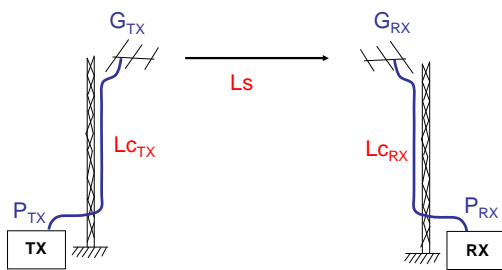
Fórmula de transmisión de Friis

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{A_{er} A_{et}}{r^2 \lambda^2}$$

- P_r = potencia recibida, w
- P_t = potencia transmitida, w
- A_{et} = apertura efectiva de la antena de transmisión, m²
- A_{er} = apertura efectiva de la antena de receptora, m²
- r = distancia entre antenas, m
- λ = longitud de onda, m

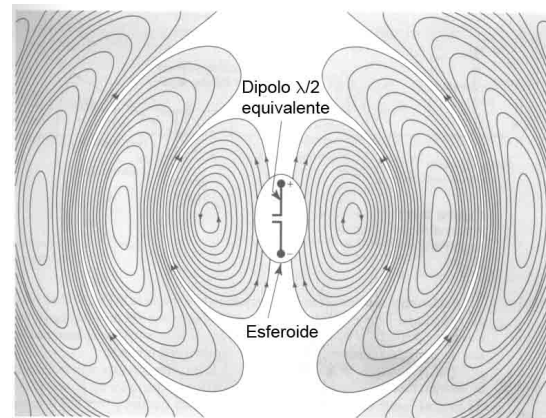
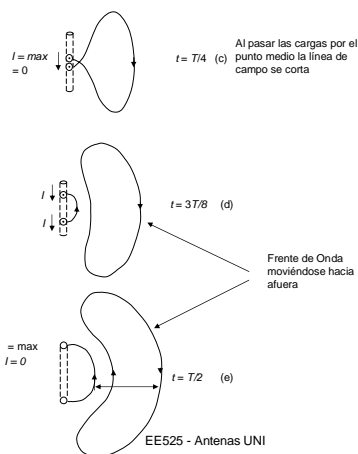
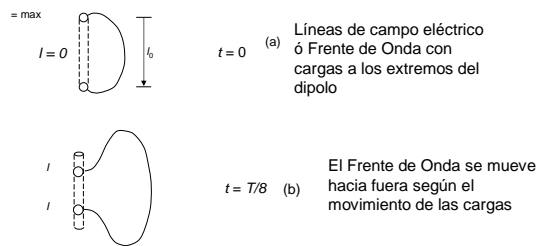
Otra forma de la fórmula de Friis

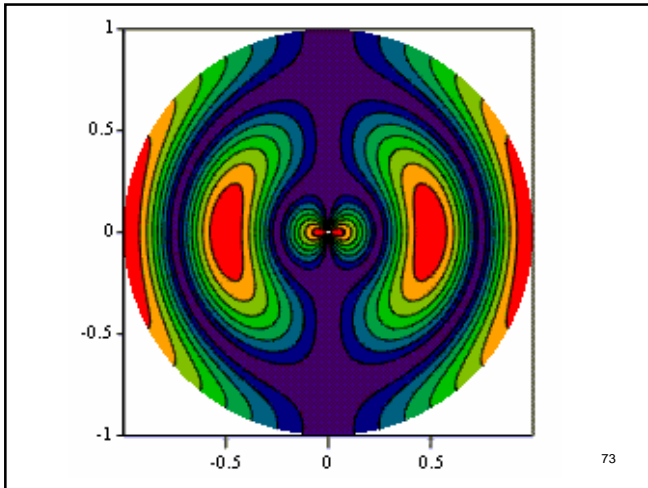
- $P_R = [P_T G_T G_R \lambda^2] / [(4\pi)^2 R^2]$
- La potencia recibida es proporcional a:
 - La potencia transmitida
 - La ganancia de las antenas
 - La apertura efectiva (isotrópica)
- La potencia recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia



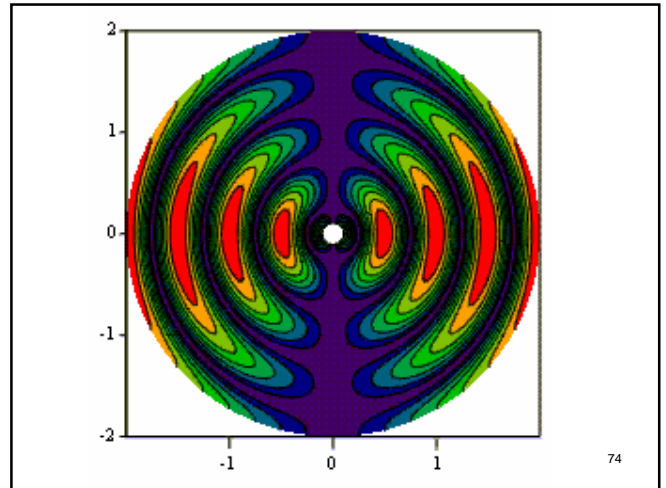
$$P_{RX} = P_{TX} - LC_{TX} + G_T - Ls + G_R - LC_{RX}$$

Campos de un dipolo oscilante





73



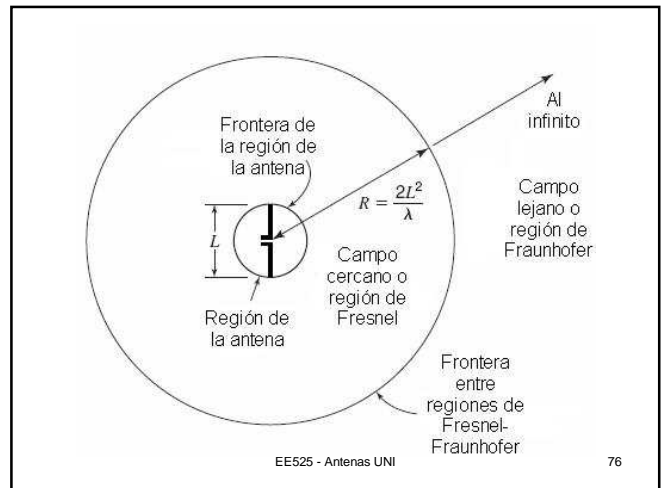
74

Zonas de campo de las antenas

- Los campos alrededor de una antena pueden ser divididos en dos grupos o regiones principales:
 - una cercana a la antena, llamada **campo cercano ó zona de Fresnel** y
 - la otra a una gran distancia llamada **campo lejano o zona de Fraunhofer**.
 - la frontera entre ambas puede ser arbitrariamente tomada como el radio R

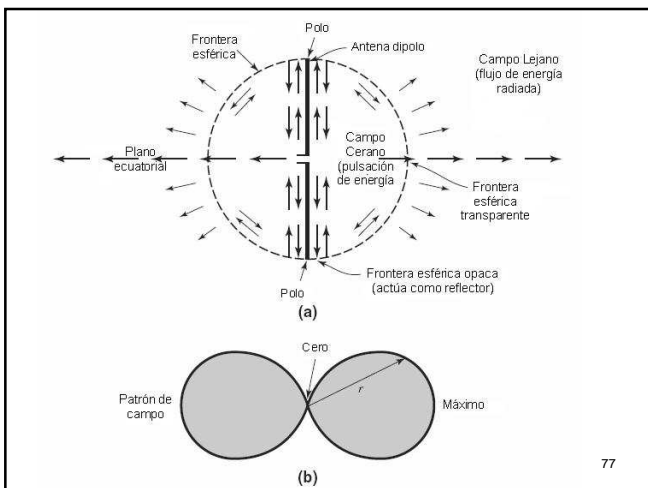
EE525 - Antenas UNI

75



EE525 - Antenas UNI

76



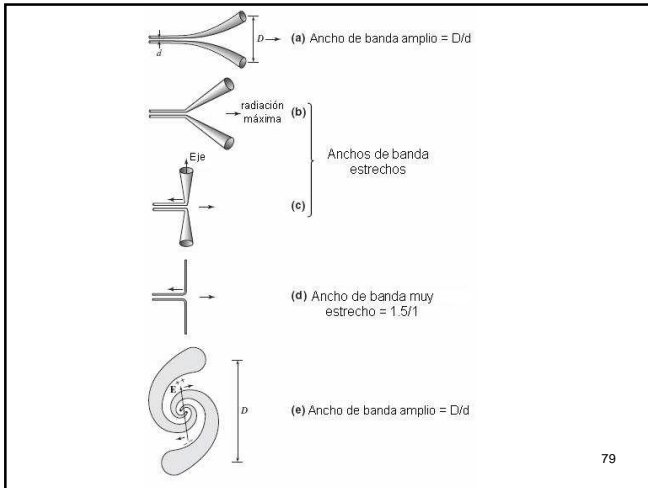
77

Consideraciones forma de la antena – Impedancia

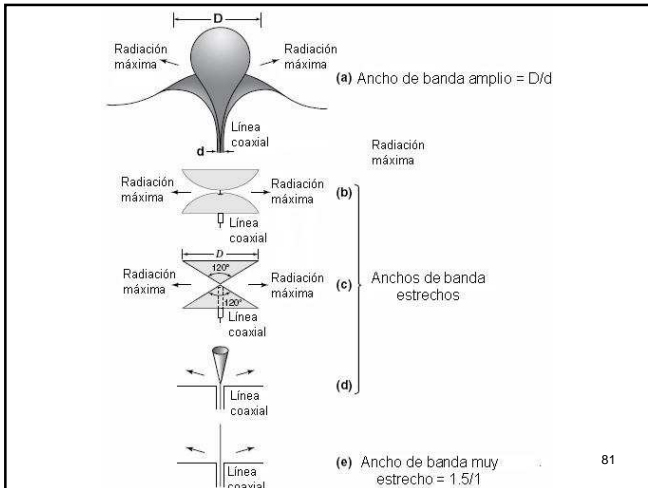
- Es posible en muchos casos deducir el comportamiento cualitativo de una antena por su forma.
- Empezando con un extremo abierto de una línea de transmisión de los alambres (figura sgte.) encontramos que sí lo extendemos lo suficiente, una impedancia casi constante aparecerá al extremo de entrada (izquierda)

EE525 - Antenas UNI

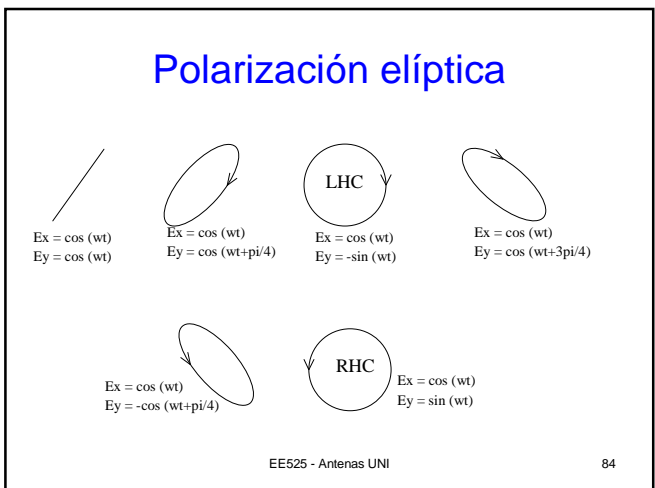
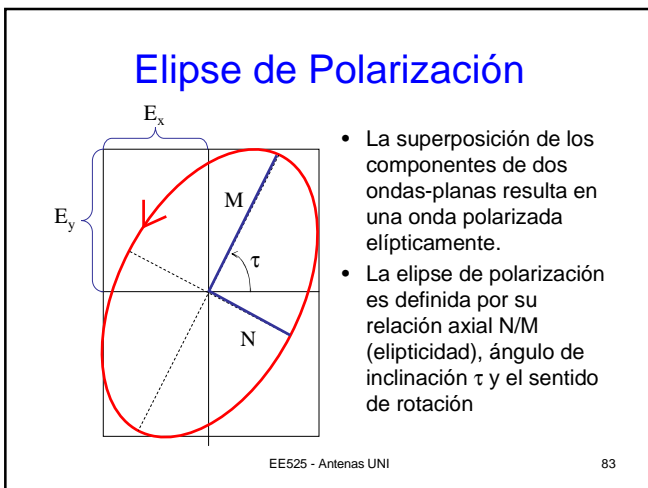
78



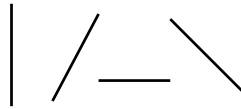
- Una modificación diferente, aquí los dos conductores están curvados más abruptamente y en direcciones opuestas, resultando en una antena espiral con máxima radiación de lado o lateral amplio perpendicular a la página y con polarización la cual rota en sentido horario.
 - Exhibe características de banda ancha.
 - Son balanceadas y es son alimentadas por líneas de transmisión de dos conductores balanceadas.
- EE525 - Antenas UNI
- 80



- La figura anterior muestra una evolución similar de una antena mono polo, antenas alimentadas por coaxial líneas de transmisión coaxial no balanceadas.
- EE525 - Antenas UNI
- 82

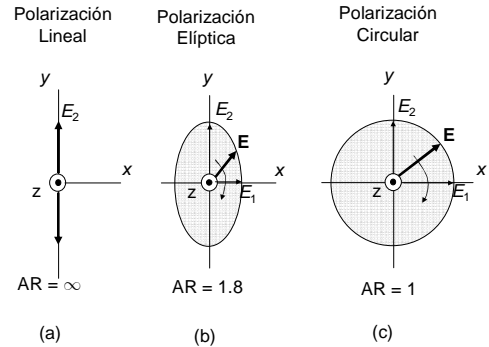


Polarización lineal

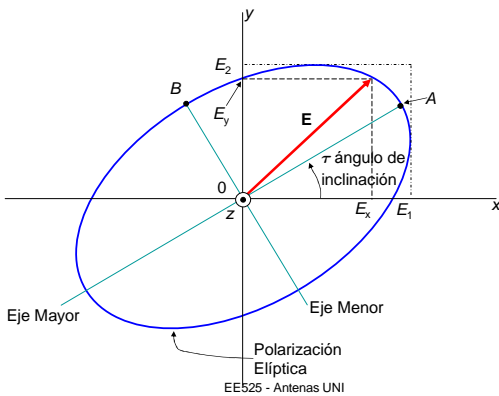


- En una onda plana polarizada linealmente la dirección del vector E es constante

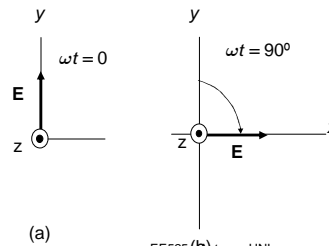
Polarización lineal, elíptica y circular



Polarización elíptica con un ángulo de inclinación



En una posición fija ($z = 0$) el vector de campo eléctrico gira en el sentido de las manecillas del reloj (viendo llegar la onda) de acuerdo con la IEEE, esto corresponde a una polarización izquierda. La dirección de rotación opuesta ($\delta = -90^\circ$) corresponde a una polarización circular derecha.



- La definición de la IEEE es opuesta a la definición de la óptica clásica que se ha usado por centurias.
- Por consiguiente, el intento del Comité de Estándares de la IEEE fue hacer que su definición concordara con la definición de la óptica clásica, pero no se concretó, así que ahora se usan las dos definiciones.
- En este curso se optó por usar la definición del IEEE, ya que concuerda con las antenas helicoidales.

Vector de Poynting para ondas polarizadas elíptica y circularmente

$$S = \frac{1}{2} \mathbf{E} \times \mathbf{H}^*$$

$$S_{av} = \text{Re} S = \frac{1}{2} \text{Re} \mathbf{E} \times \mathbf{H}^*$$

$$S_{av} = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{z}} \frac{E_1^2 + E_2^2}{Z_0} = \frac{1}{2} \bar{\mathbf{z}} \frac{E^2}{Z_0}$$

Vector de Poynting promedio

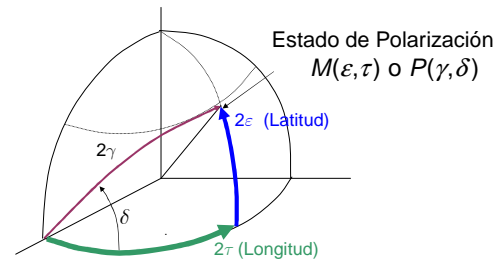
$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \text{ Amplitud total del campo } \mathbf{E}$$

La polarización elíptica y la esfera de Poincaré

- La representación en la esfera de Poincaré de una onda polarizada.
- El estado de la polarización esta descrito por un punto de la esfera donde la longitud y latitud del punto están relacionados a los parámetros de polarización elíptica ver figura siguiente:

EE525 - Antenas UNI

91

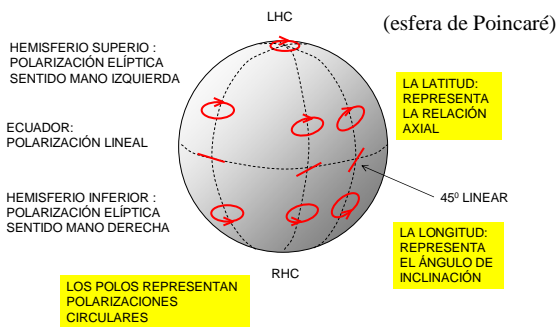


Donde: $\tau =$ ángulo de inclinación,
 $0^\circ \leq \tau \leq 180^\circ$ y $\varepsilon = \tan^{-1}(1/\mp AR), -45^\circ \leq \varepsilon \leq +45^\circ$

EE525 - Antenas UNI

92

Estados de la polarización



EE525 - Antenas UNI

93

Parámetros de la polarización

$$\cos 2\gamma = \cos 2\varepsilon \cos 2\tau$$

$$\tan \delta = \frac{\tan 2\varepsilon}{\sin 2\tau}$$

$$\tan 2\tau = \tan 2\gamma \cos \delta$$

$$\sin 2\varepsilon = \sin 2\gamma \sin \delta$$

EE525 - Antenas UNI

94

- Conociendo ε , y τ podemos determinar δ y γ o viceversa.
- Describa el estado de la polarización por uno de los dos juegos de ángulos (ε, τ) o (γ, δ) .
- $M(\varepsilon, \tau)$ o $M, P(\gamma, \delta)$ o P

EE525 - Antenas UNI

95

- Respuesta de voltaje de la antena (V)

$$V = k \cos \frac{MM_a}{2}$$

- Donde:

$MM_a =$ ángulo subtendido por la línea del gran círculo del estado de polarización de M a M_a

$M =$ estado de polarización de la onda

$M_a =$ estado de polarización de la antena

$k =$ constante

EE525 - Antenas UNI

96

- Factor de adaptación de la polarización (F)

$$F = \cos^2 \frac{MM_a}{2}$$

adaptación perfecta $MM_a = 0^\circ$ y $F = 1$,
completa desadaptación $MM_a = 180^\circ$ y $F = 0$
- Para polarización lineal:

$$MM_a/2 = \Delta\tau$$

$$F = \cos^2 \Delta\tau$$

donde: $\Delta\tau$ = diferencia de los ángulos de inclinación de la onda y la antena

EE525 - Antenas UNI 97

Elipse de polarización mostrando la relación entre: ϵ, γ y τ

EE525 - Antenas UNI 98

EE525 - Antenas UNI 99

Temperatura de la Antena

- La potencia recibida de la antena es una forma de cuerpo negro o de resistencia de radiación a una temperatura T_a

EE525 - Antenas UNI 100

Resumen

<p>Cantidades circuitales</p> <ul style="list-style-type: none"> Impedancia de antena Resistencia de radiación Temperatura de antena 	<p>Cantidades físicas</p> <ul style="list-style-type: none"> Tamaño Peso Distribución de corriente ANTENA (Región de transición) 	<p>Cantidades espaciales</p> <ul style="list-style-type: none"> Patrones de campo Polarización Patrones de Potencia Área de haz Directividad Ganancia Apertura efectiva Radar cross-section
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

EE525 - Antenas UNI 101

Muchas gracias por su atención

EE525 - Antenas UNI 102