

4

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS



Objetivo

- Definir los parámetros espaciales de una antena e interpretar los patrones de radiación para tipos comunes de antenas.

Manual de clases

Última modificación:
12 de septiembre de 2022

Tema 4 de:
COMUNICACIÓN POR RADIO
Edison Coimbra G.

1.- PARÁMETROS BÁSICOS DE LAS ANTENAS

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Se clasifican en circuitales y espaciales

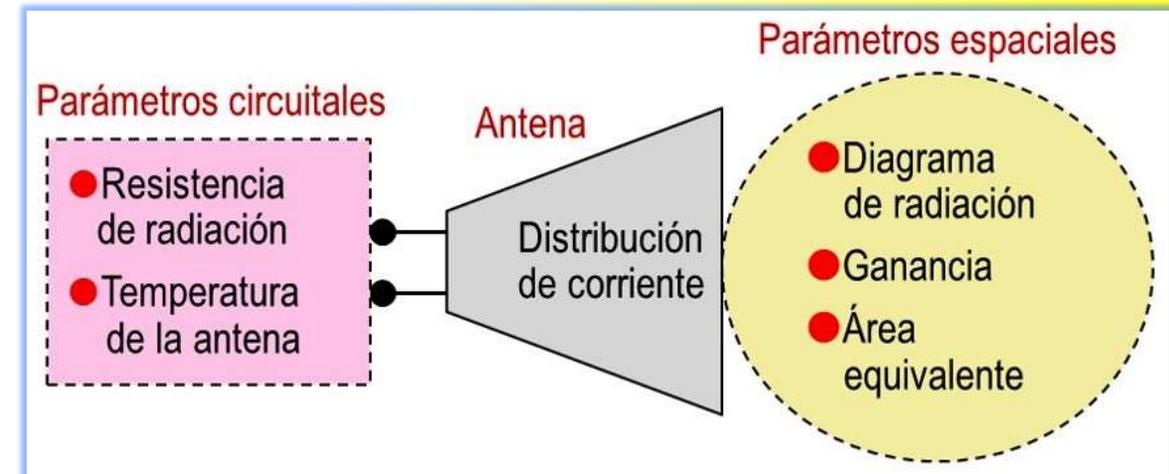
(Kraus, 2000)

Parámetros circuitales

- ▶ **Resistencia de radiación.** La antena se presenta a la línea como una resistencia del espacio (virtual) acoplada a sus terminales.
- ▶ **Temperatura de la antena.** Relacionada con la radiación pasiva de objetos distantes que la antena está “mirando”.

Parámetros espaciales

- ▶ **Diagrama de radiación.** Son cantidades tridimensionales que involucran la variación del **campo E** o de la potencia como una función de coordenadas esféricas.
- ▶ **Ganancia o directividad.** Es una indicación de la capacidad de la antena para conducir la potencia radiada en una determinada dirección. Normalmente se habla de antenas omnidireccionales y directivas.
- ▶ **Área equivalente.** Es el área de la cual la antena extrae potencia del frente de onda que pasa para entregarla al receptor.



- **De acuerdo** con el principio de reciprocidad, los parámetros son los mismos si la antena se utiliza para transmitir o recibir.

2.- DIAGRAMA DE RADIACIÓN

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Clasificación de las antenas según su radiación

- **Una antena** se diseña de modo que radie más potencia en una dirección que en otras.
- **La radiación** se concentra en un patrón con forma geométrica reconocible que se conoce como **diagrama de radiación** o de **campo**.
- **Se habla** de antenas **omnidireccionales** y **directivas**.
 - ► **Antenas omnidireccionales**. Ejemplo, la antena **dipolo**. Su radiación tiene forma similar a un “donut” sin agujero, donde las puntas de los brazos son puntos “sordos” hacia donde no radia.
 - ► **Antenas directivas**. Ejemplo, la antena **Yagi**, **bocina cónica**. Tienen un patrón de radiación similar al cono de luz de un proyector.
- **El patrón de radiación** es la forma característica en que una antena radia energía.

(Kraus, 2000) (Anguera, 2008)

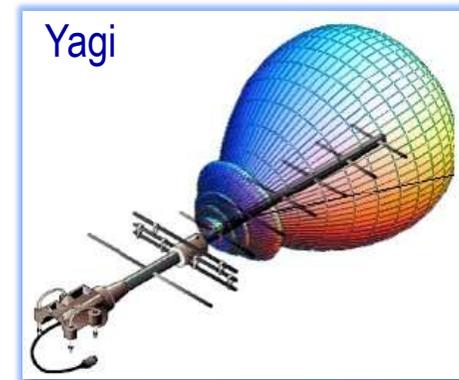
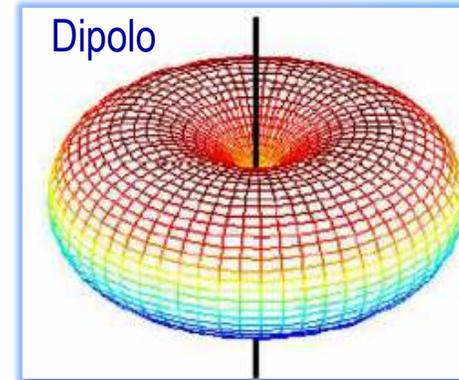


Diagrama de radiación

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Diagrama de radiación con coordenadas esféricas

(Kraus, 2000) (Anguera, 2008)

- **La radiación se grafica** en **3D**, en función de las coordenadas esféricas r , θ y ϕ a una distancia fija. Muestra la variación del **campo E**.
- **Como el campo H** se deriva del **E**, la representación se realiza a partir de cualquiera de los dos, siendo habitual que los diagramas se refieran al **campo E**.
- **En campo lejano**, la densidad de potencia es proporcional al **campo E**, lo que hace que un **diagrama de radiación de campo** contenga la misma información que un **diagrama de potencia**.
- **Si el diagrama es simétrico** alrededor de un eje, es suficiente la representación con cortes extraído del diagrama en 3D para θ o ϕ constantes, y se denominan **planos principales** (x - z o y - z).

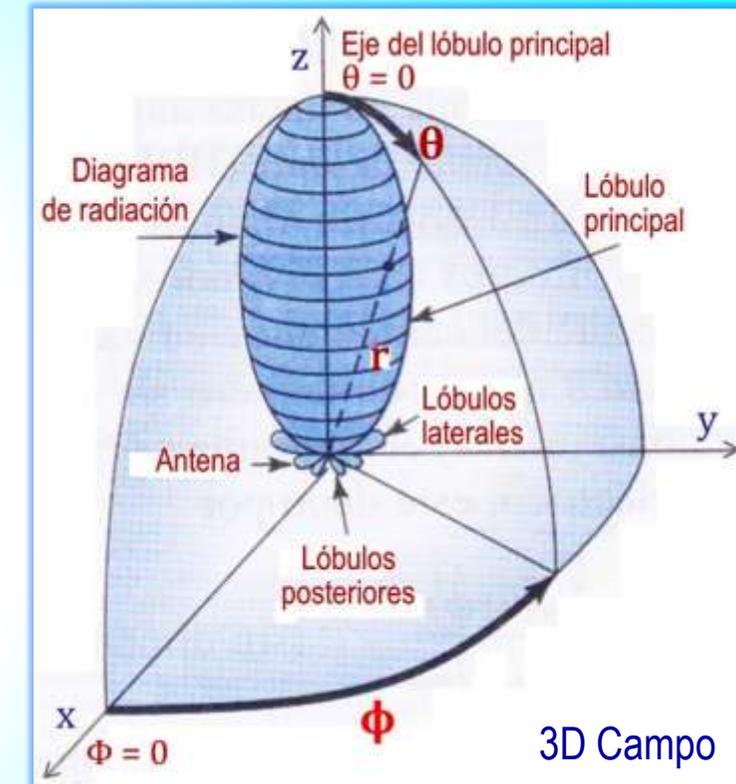
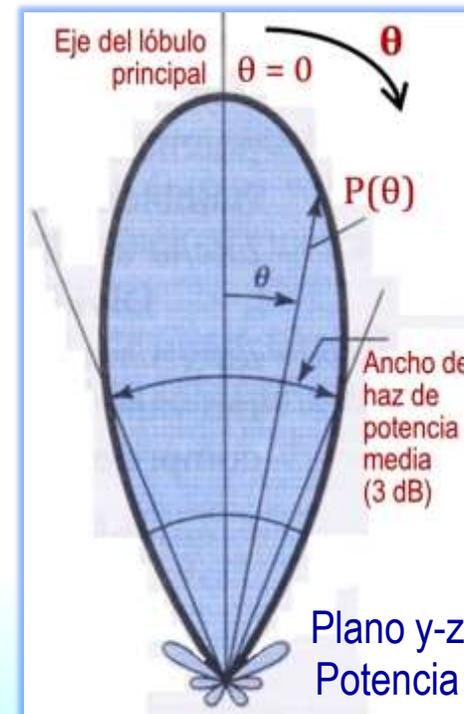


Diagrama de radiación

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Parámetros del diagrama de plano principal

(Blake, 2004)

- **En el diagrama** se definen **parámetros** que describen el comportamiento de la antena y permiten especificar su funcionamiento. Son cantidades escalares necesarias para diseñar **antenas directivas**.
- **El campo E** se representa de forma **relativa** (normalizando el valor máximo a la unidad) y en escala logarítmica.
- **Un diagrama relativo logarítmico** tiene el máximo en 0 dB y el resto de direcciones del espacio con dB negativos.
- **Cuando la escala es logarítmica**, los diagramas de campo y de potencia son idénticos.
- **Ejemplo 1. Parámetros del diagrama directivo típico**
 - **Lóbulo principal**. Es la zona en la que la radiación es máxima.
 - **Ancho de haz** (BW_{3dB}). Es el ancho del lóbulo principal entre puntos de potencia media, $-3dB$, igual a 20° .
 - **Nivel de lóbulo secundario** (SLL). Es el mayor de los máximos secundarios medido respecto al máximo principal: $-13dB$.
 - **Relación frente/atrás** (F/B). Es la relación en dB de la radiación principal a la obtenida en la dirección opuesta: $20dB$.

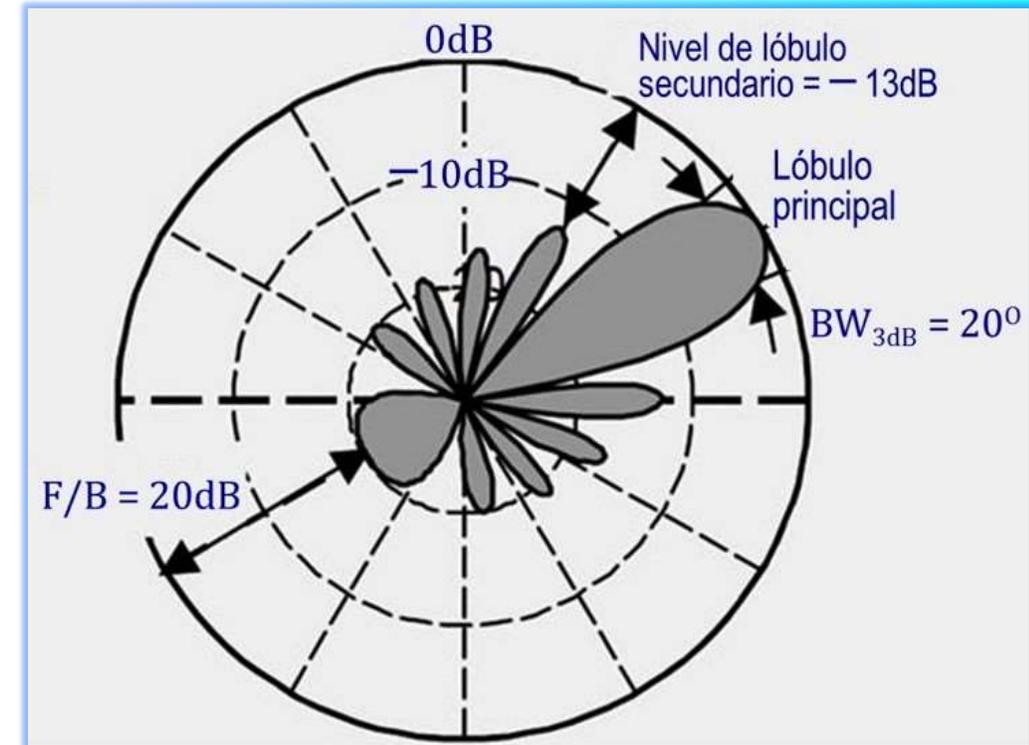


Diagrama de radiación

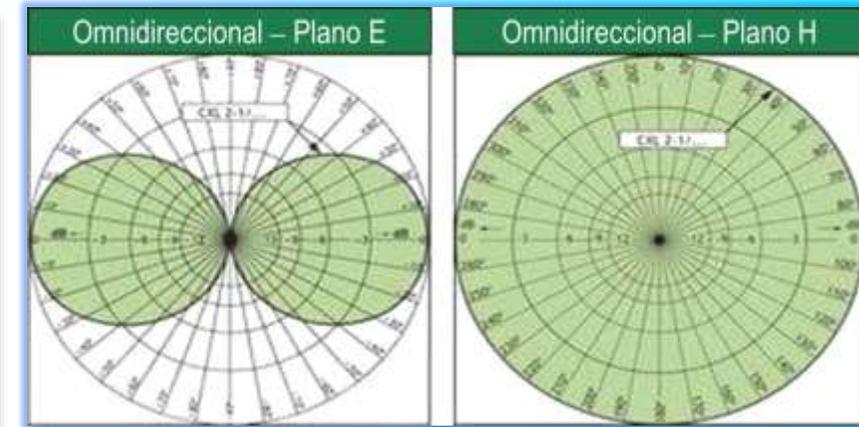
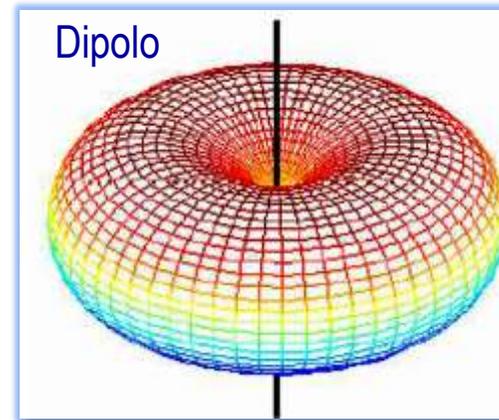
PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Ejemplos de diagramas de radiación típicos

(Blake, 2004)

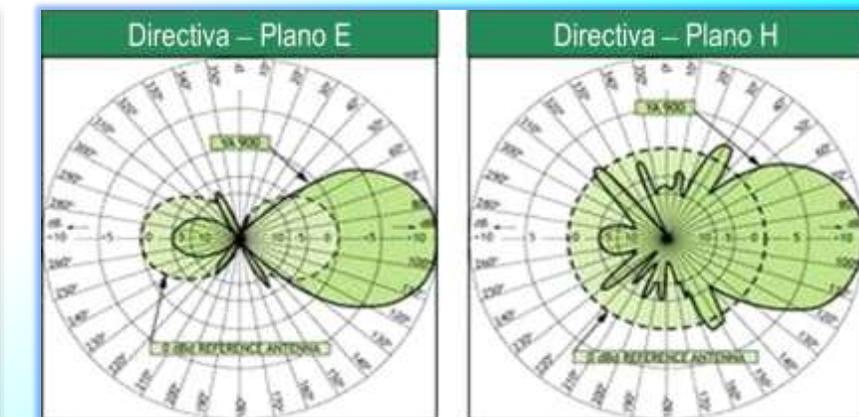
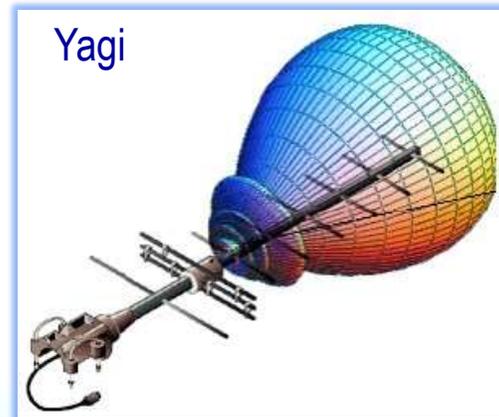
▪ Ejemplo 2. Diagrama de antena dipolo

- ► En el plano $y-z$ se muestra el diagrama de **campo E** que es bidireccional.
- ► En el plano $y-x$, perpendicular al $y-z$, se muestra el diagrama de **campo H** que es omnidireccional. En la práctica, la antena dipolo es considerada **omnidireccional**.



▪ Ejemplo 3. Diagrama de antena Yagi

- ► En el plano $y-z$ se muestra el diagrama de **campo E** que es directivo.
- ► En el plano $y-x$, perpendicular al $y-z$, se muestra el diagrama de **campo H** que es directivo.



3.- GANANCIA DE LA ANTENA

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

El radiador isotrópico

(Blake, 2004)

- Sería **inútil** hablar de antenas si no se tiene algo con qué compararlas. Por eso se creó el **radiador isotrópico**.
- El **radiador isotrópico** es una antena imaginaria **omnidireccional** que radia potencia en forma de esfera perfectamente uniforme, con la misma intensidad en todas las direcciones.
- ► **Densidad de potencia de un radiador isotrópico**. Si se dibujara una esfera concéntrica al radiador, toda la energía radiada pasaría por la superficie de la esfera.
- **En consecuencia**, la **densidad de potencia** sería la potencia radiada o transmitida entre el área de la superficie de la esfera.
- La **potencia** se **dispersa** sobre una superficie más grande a medida que aumenta la distancia.



$$S_i = \frac{P_T}{4\pi r^2}$$

S_i = densidad de potencia isotrópica, en W/m^2 .
 P_T = potencia radiada o transmitida, en W .
 r = distancia radial desde el radiador, en m .

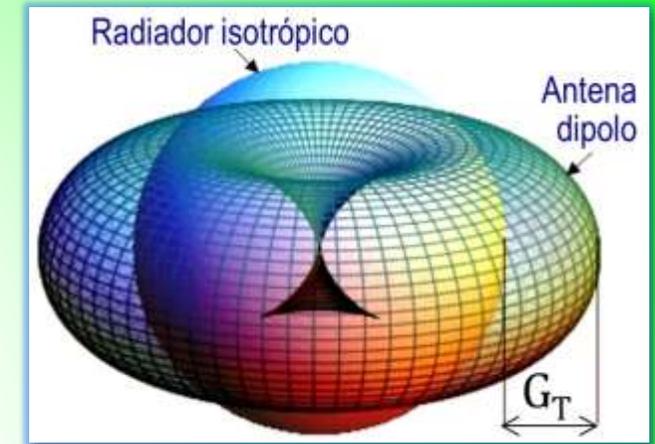
Ganancia de la antena

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Ganancia de la antena transmisora

(Blake, 2004) (Anguera, 2008)

- **La ganancia** es una indicación de la capacidad de la antena para conducir la potencia radiada en una determinada dirección.
- **Se dice**, por tanto, que una antena tiene **ganancia** en la dirección de máxima radiación, cuando se compara con un **radiador isotrópico**.
- **Ejemplo 4. Ganancia de la antena dipolo.** La antena dipolo radia **1,64** veces con mayor intensidad en la dirección de máxima radiación que un radiador isotrópico (según mediciones de laboratorio), es decir que la densidad de potencia **S** que radia el dipolo es **1,64** veces mayor que la densidad de potencia isotrópica **S_i**. A esta relación se le llama Ganancia de la antena transmisora, **G_T**, y se expresa en **dBi**, el i es por la referencia isotrópica. Por tanto, la ganancia de dipolo es **G_T = 10 log 1,64 = 2,15 dBi**.



$$G_T = \frac{S}{S_i} = 1,64$$

$$G_{T(\text{dBi})} = 10 \log G_T = 2,15 \text{ dBi}$$

$$G_T = 10^{0.215} = 1,64$$

G_T = ganancia de la antena transmisora.
 S = densidad de potencia transmisora, en W/m^2 .
 S_i = densidad de potencia isotrópica, en W/m^2 .

- **La ganancia**, por tanto, se calcula como la razón entre la densidad de potencia en la dirección de máxima radiación y la que radiaría un radiador isotrópico con la misma potencia radiada o transmitida. Se expresa en **dBi**.
- **La radiación isotrópica** se utiliza como referencia. La ganancia de la antena isotrópica es **G_i=1 (0dBi)**. Una antena con una ganancia superior a la isotrópica radiará más potencia en una dirección dada, en detrimento de otras, donde radiará menos.

Ganancia de la antena

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Ejemplos – Ganancia y densidad de potencia

(Blake, 2004)

- **Ejemplo 5. Ganancia de una antena Yagi.** ¿Cuánto más fuerte es la radiación de una antena Yagi de 12 dBi comparada con la de un radiador isotrópico?

$$G_T = 15,84$$

- **Ejemplo 6. Ganancia una antena parabólica.** ¿Cuánto más fuerte es la radiación de una antena parabólica de 50 dBi comparada con la de un radiador isotrópico?

$$G_T = 100.000$$

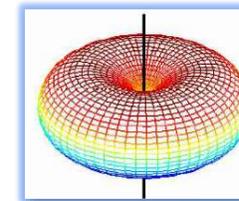
- **Ejemplo 7. Densidad de potencia isotrópica.** Se suministra 100 W de potencia a un radiador isotrópico. Calcule la densidad de potencia que produce a un punto distante 10 km.



$$S_i = 79,6 \text{ nW/m}^2$$

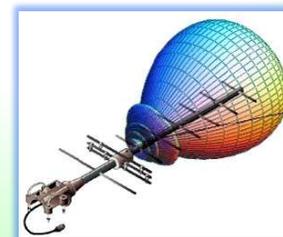
En términos de radio, es una señal bastante fuerte.

- **Ejemplo 8. Densidad de potencia antena dipolo.** Se suministra 100 W de potencia a una antena dipolo. Calcule la densidad de potencia que produce a un punto distante 10 km en la dirección de máxima radiación.



$$S = 130,5 \text{ nW/m}^2$$

- **Ejemplo 9. Densidad de potencia antena Yagi.** Se suministra 100 W de potencia a una antena Yagi de 12 dBi. Calcule la densidad de potencia que produce a un punto distante 10 km en la dirección de máxima radiación.



$$S = 1.260 \text{ nW/m}^2$$

$$S_i = \frac{P_T}{4\pi r^2}$$

$$G_T = \frac{S}{S_i}$$

$$G_T(\text{dBi}) = 10 \log G_T$$

Ganancia de la antena

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

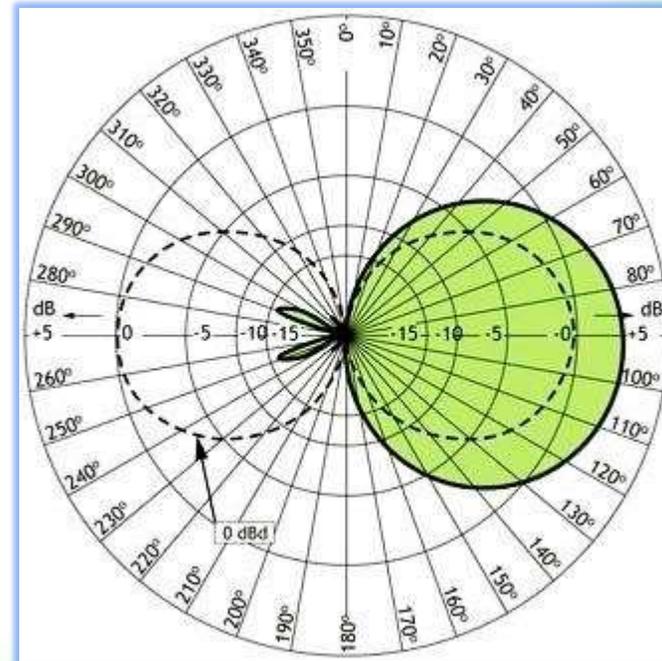
Ejemplos – Ganancia y diagramas

(Blake, 2004)

- **Ejemplo 10. El dipolo estándar.** Es una antena casi perfecta que también se usa como punto de comparación. Se construye bajo un control estricto de laboratorio, garantizando que su construcción, materiales y comportamiento sean idénticos a un estándar establecido para antenas dipolo. Dos antenas tienen ganancias de 5.3 dBi y 4.5 dBd, respectivamente. ¿Cuál tiene mayor ganancia?
- **Ejemplo 11. Patrón de radiación.** Determine la ganancia y el ancho de haz para la antena de la figura.

La de 4.5 dBd = 6.65 dBi.

$G = 3 \text{ dBd} = 5,15 \text{ dBi}$.
Ancho de haz = 70° .



Ganancia de la antena

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Ejemplos – Ganancia y diagramas (cont.)

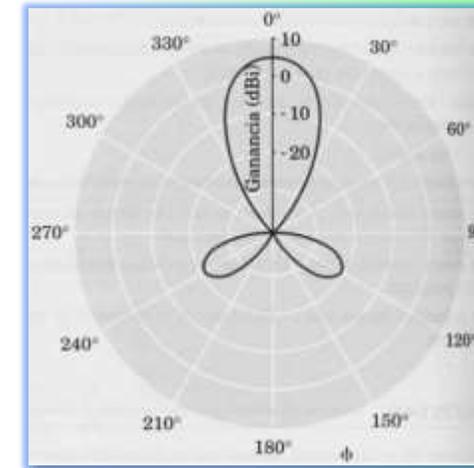
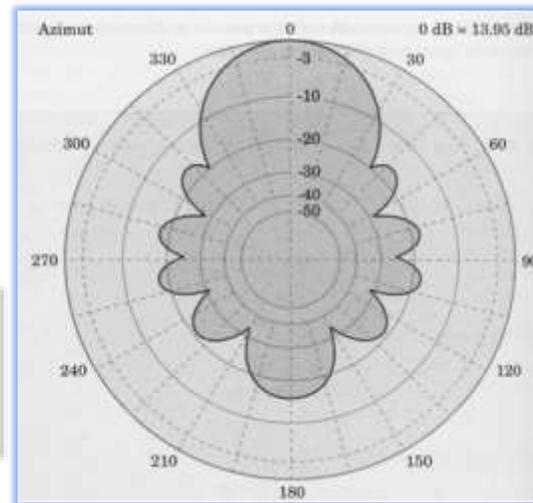
(Blake, 2004)

- **Ejemplo 12. Patrón de radiación.** Determine la ganancia y el ancho de haz para la antena de la figura.

- **Ejemplo 13. Patrón de radiación.** Para el patrón de antena en la figura, encuentre:

- La ganancia de la antena en dBi.
- La relación frente-atrás en dB.
- El ancho de haz para el lóbulo principal.

- $G = 13,95$ dBi
- $F/B = 15$ dB
- Ancho de haz = 44°



$G = 5$ dBi
Ancho de haz = 20°

- **► Ganancia y Directividad.** A veces se usa el término directividad, que no es lo mismo que ganancia.
 - La **ganancia** pone de manifiesto el hecho de que una antena real no radia toda la potencia que se le suministra, si no que parte de ésta se disipa en forma de calor (R_Ω).
 - La **ganancia** es la **directividad** multiplicada por la eficiencia de la antena.

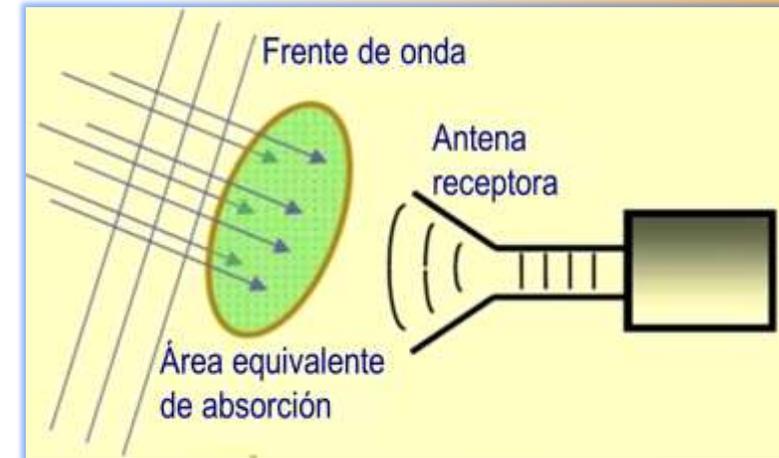
4.- ÁREA EQUIVALENTE DE ABSORCIÓN

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

¿Qué es el área equivalente de absorción?

(Blake, 2004)

- **Es el área** del cual la antena receptora **absorbe potencia** del frente de onda que pasa por ella, para entregarla al receptor. Por tanto, es razonable pensar que:
 - ► **La antena absorbe** más potencia si es más grande, porque cubre un área más grande.
 - ► **La antena es más eficiente** para absorber potencia desde una dirección que desde otra.
- **Quiere decir** que la antena receptora tiene **ganancia**, y la potencia que absorbe depende de su tamaño físico y de su ganancia.
- **Con base a la teoría electromagnética**, se demuestra que el **área equivalente** depende de la ganancia de la antena y de la longitud de onda.
- **La ganancia es la misma** si la antena se utiliza para transmitir o recibir (principio de reciprocidad).



$$A_{eq} = \frac{P_R}{S}$$

A_{eq} = área equivalente de absorción, en m^2 .
 P_R = potencia absorbida o recibida, en W .
 S = densidad de potencia en la dirección de máxima radiación, en W/m^2 .

$$A_{eq} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$

A_{eq} = área equivalente de absorción, en m^2 .
 λ = longitud de onda de la onda, en m .
 G_R = ganancia de la antena receptora.

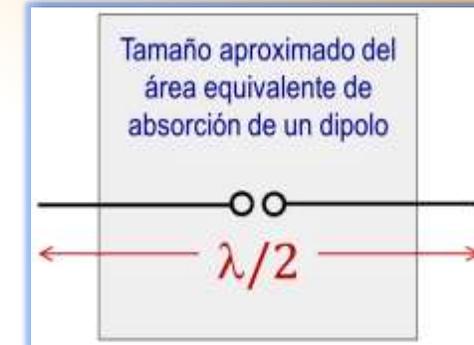
Área equivalente de absorción

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Ejemplos – Área equivalente de absorción

(Blake, 2004) (Anguera, 2008)

- **Ejemplo 14. Área equivalente del dipolo.** El área equivalente de una antena dipolo es proporcional al área de un cuadrado cuyos lados son casi iguales a media longitud de onda.



- **Ejemplo 15. Área equivalente de una antena.** Una antena tiene una ganancia de 7 dBi con respecto a un radiador isotrópico:

- a) ¿Cuál es su área equivalente de absorción si opera a 200 MHz?
- b) ¿Cuánta potencia absorbe de una señal con una intensidad de campo de 50 mV/m?

$$a) A_{eq.} = 0,897 \text{ m}^2$$

$$b) P_R = 5,95 \text{ } \mu\text{W}$$

$$A_{eq} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_R$$

$$A_{eq} = \frac{P_R}{S}$$

$$S = \frac{E^2}{Z_0}$$

- **Ejemplo 16. Área equivalente de las antenas parabólica.** El área equivalente de las antenas parabólicas usadas en microondas es proporcional al diámetro del plato reflector, el cual enfoca la radiación hacia la apertura. Una antena más grande tiene mayor área equivalente.



Referencias bibliográficas

PARÁMETROS ESPACIALES DE LAS ANTENAS

Referencias bibliográficas

- APC, Asociación para el progreso de las comunicaciones (2007). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. Mountain View, CA. USA: Limehouse Book Sprint Team.
- Blake, Roy (2004). *Sistemas electrónicos de comunicaciones*. México: Thomson.
- Frenzel (2003). *Sistemas Electrónicos de Comunicaciones*. Madrid: Alfaomega.
- Forouzan, B. A. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.
- Kraus, J., & Fleisch, D. (2000). *Electromagnetismo con Aplicaciones*. México: McGraw-Hill.
- RadioMobile. *RadioMobile*. Recuperado el 16 de marzo de 2015, de <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.
- Stallings, William (2007). *Data and Computer Communication*. New Jersey: Pearson.

FIN

Tema 4 de:
COMUNICACIÓN POR RADIO
Edison Coimbra G.