

*James Clerk Maxwell*  
(1831-1879)

# Antenas y Propagación

## Tema 2

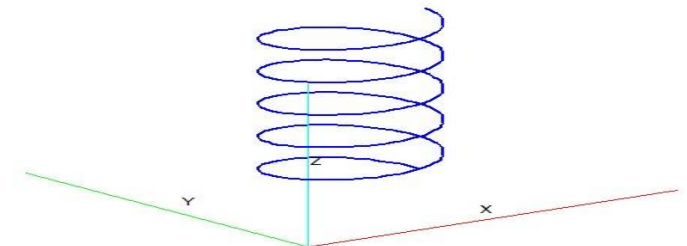
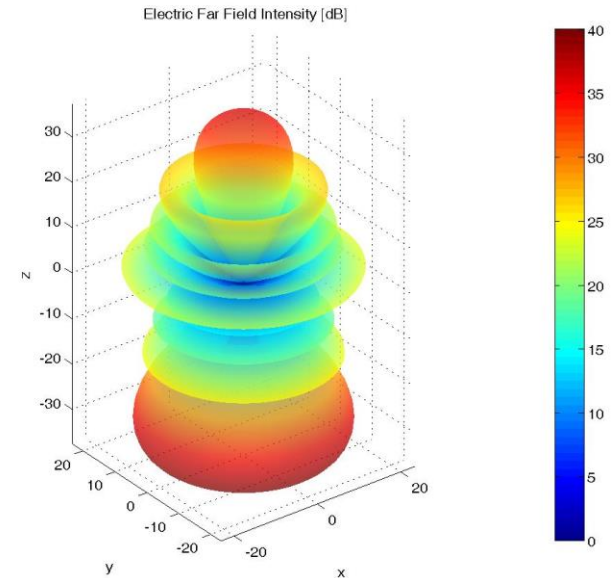
### Parámetros de Antenas



# Tema 2.- Parámetros de Antenas

## Índice:

1. Introducción.
2. Parámetros de antenas en transmisión.
  1. Impedancia de antena
  2. Eficiencia de antena
  3. Intensidad de radiación
  4. Diagrama (patrón) de radiación
  5. Ganancia directa, directividad y ganancia de antena
  6. Polarización
3. Parámetros de antenas en recepción
  1. Adaptación
  2. Área y longitud efectiva
  3. Temperatura de antena
4. Bibliografía



***Intensidad de Campo eléctrico de una antena de hélice en modo axial***



# Tema 2.- Parámetros de Antenas

## 1.- Introducción

Dado que una antena forma parte de un sistema de radiocomunicación, interesará caracterizar a este dispositivo con una serie de parámetros que la describan y permitan calcular el efecto que la antena producirá sobre el propio sistema de comunicación o bien especificar el comportamiento que tendrá una antena específica cuando se integre en dicho sistema de comunicación.

Existe una gran diversidad de tipos de antenas por lo que es necesario elegir un conjunto de parámetros que nos permitan caracterizar las propiedades más importantes de cada una de esas antenas. Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Estos parámetros vienen recogidos en “IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas” (IEEE Std 145-1993)

A efectos de definición de estos parámetros, conviene diferenciarlos según se relacionen con la transmisión o la recepción de la información, aunque a la luz del teorema de reciprocidad, puede establecerse una equivalencia entre antena en transmisión y antena en recepción.

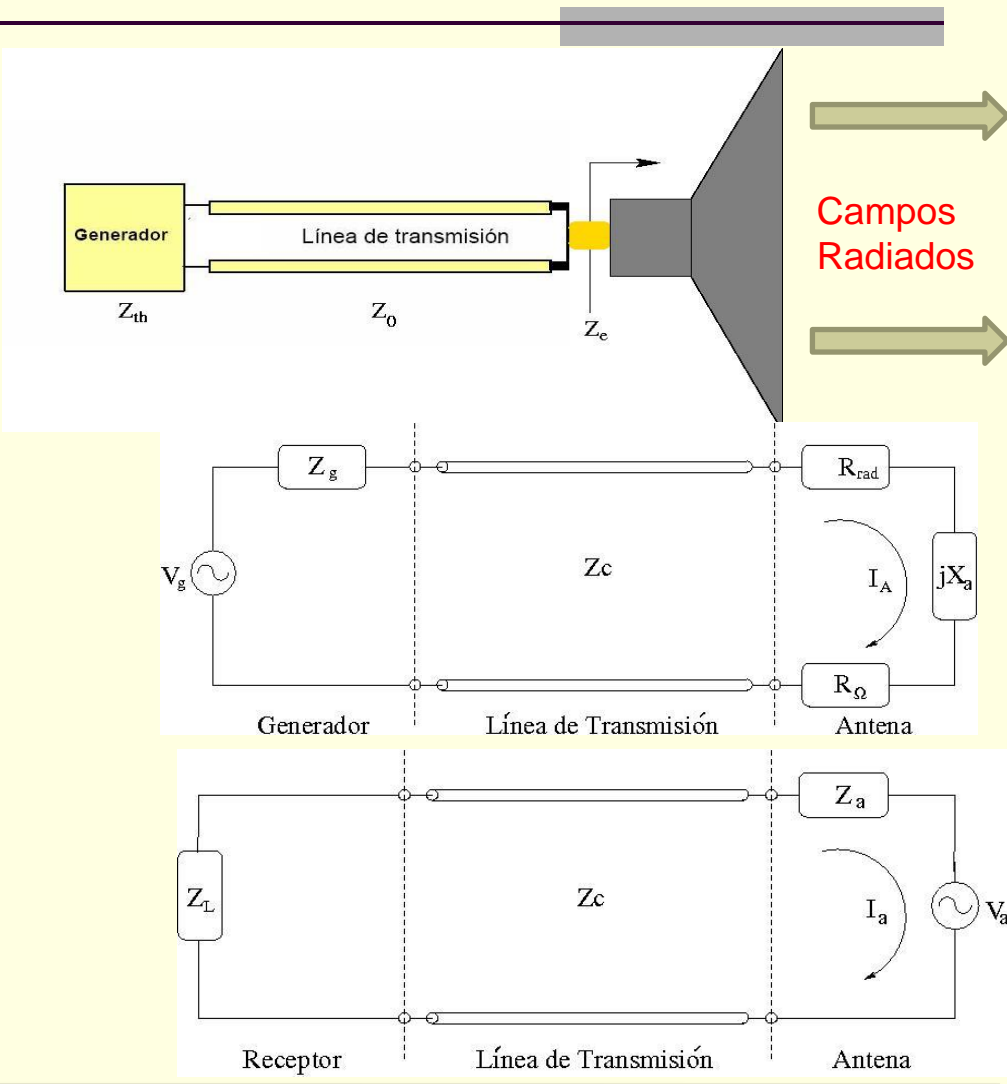


# Tema 2.- Parámetros de Antenas

## 2.- Parámetros de antena en transmisión

La antena puede definirse como la transición entre los dispositivos guiados (líneas de transmisión, guías de ondas) y el espacio libre (o un medio ilimitado). Por tanto el objetivo principal de una antena es convertir la energía de onda guiada en energía en el espacio libre (campos radiados) con la mayor eficiencia posible.

Desde el punto de vista circuital, el sistema generador-línea de transmisión-antena puede esquematizarse, según el tipo de funcionamiento de la misma, tal y como se muestra en la figura.





## Tema 2.- Parámetros de Antenas

Dentro de los parámetros de antenas en transmisión podemos destacar los siguientes:

### Impedancia de antena

Definimos impedancia de entrada (impedancia de antena),  $Z_a$ , de una antena como la impedancia que presenta una antena entre sus terminales o bien como la relación entre la tensión y la intensidad en la entrada de la antena (desde el punto de vista electromagnético, es la relación entre las componentes del campo eléctrico y el magnético en un punto). En general, en régimen estacionario, esta impedancia presenta una parte real y una parte imaginaria, ambas dependientes de la frecuencia.

$$Z_a(\omega) = V_{ent} / I_{ent} = R_a(\omega) + jX_a(\omega)$$

Si la antena no presenta parte reactiva a una frecuencia dada, se dice que la antena es resonante.

Dado que la antena radia energía hacia el exterior (pérdida neta de potencia a través del flujo de vector de Poynting), esta pérdida de potencia puede ser asignada a una resistencia denominada resistencia de radiación ( $R_{rad}$ ) la cual puede ser definida como



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

el valor de la resistencia que disiparía óhmicamente las misma potencia que la radiada por la antena.

$$P_{radiada} = \frac{1}{2} |I_a|^2 R_{rad} \Rightarrow R_{rad} = 2 \frac{P_{rad}}{|I_a|^2}$$

Si además suponemos que la antena presenta una disipación de energía debida a los conductores con la que se construye, debemos asociar estas pérdidas a una resistencia de pérdidas de tal forma que la potencia entregada será la suma de:

$$P_{entregada} = P_{radiada} + P_{disipada} = \frac{1}{2} |I_a|^2 R_{rad} + \frac{1}{2} |I_a|^2 R_{\Omega} = \frac{1}{2} R_a |I_a|^2$$

Luego, en general la parte resistiva de la impedancia de entrada de una antena consta de dos componentes: una asignada a las pérdidas óhmicas en la propia antena y la otra como resistencia de radiación.

$$R_a = R_{rad} + R_{\Omega}$$

La impedancia de entrada de la antena es un parámetro importante ya que condicionará las tensiones de los generadores que deben de aplicarse para obtener determinados valores de la corriente en la antena y por tanto una determinada potencia de radiación en la misma.



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

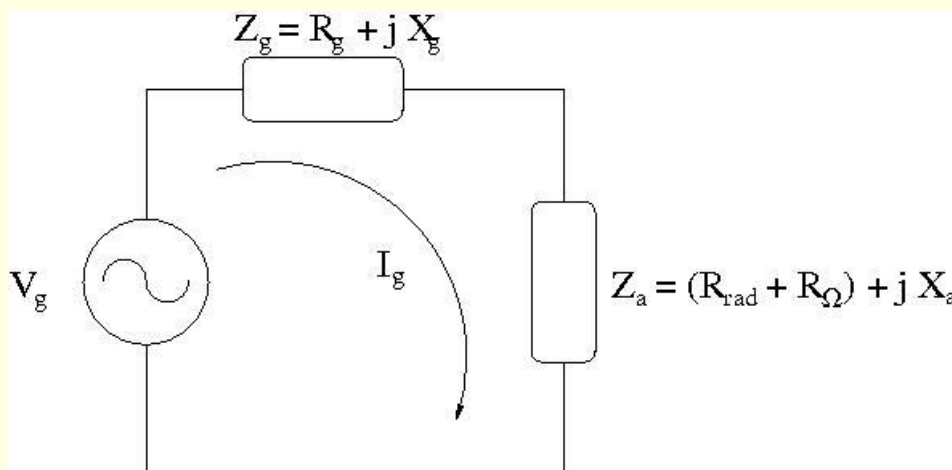
Si suponemos que la antena está alimentada por un generador con una impedancia interna  $Z_g = R_g + jX_g$  (en modo transmisor), el sistema antena más generador puede ser representado (para antenas pequeñas y elementales) como un circuito equivalente Thevenin.

Un análisis de las potencias nos da

$$P_{rad} = \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_{rad}}{(R_{rad} + R_g + R_\Omega)^2 + (X_g + X_a)^2} \right] \quad [\text{W}]$$

$$P_\Omega = \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_\Omega}{(R_{rad} + R_g + R_\Omega)^2 + (X_g + X_a)^2} \right] \quad [\text{W}]$$

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_g}{(R_{rad} + R_g + R_\Omega)^2 + (X_g + X_a)^2} \right] \quad [\text{W}]$$



En condiciones de máxima transferencia de potencia  $R_g = R_r + R_\Omega$  ;  $X_a = -X_g$

$$P_{rad} = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_{rad}}{(R_{rad} + R_\Omega)^2} \right] \quad [\text{W}] \quad ; \quad P_\Omega = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_\Omega}{(R_{rad} + R_\Omega)^2} \right] \quad [\text{W}] \quad ; \quad P_g = \frac{|V_g|^2}{8} \left[ \frac{R_g}{(R_{rad} + R_\Omega)^2} \right] \quad [\text{W}]$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

La impedancia presenta como inconveniente que es difícil medir en alta frecuencia. Como alternativa, se definen una serie de parámetros como por ejemplo:

- El coeficiente de reflexión se define como:

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}$$

Donde  $Z_a$  es la impedancia de antena y  $Z_0$  es la impedancia característica de la guía o de la línea de transmisión que conecta el generador con la antena

- La pérdidas de retorno definida como

$$RL = 10 \log \frac{P_{ref}}{P_{inc}} = 20 \log (\Gamma) \quad [\text{dB}]$$

- La razón de onda estacionaria (o standing wave ratio) de finida como

$$SWR = ROE = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$





# Tema 2.- Parámetros de Antenas

## Eficiencia de la antena

Debido a que toda antena presentará unas pérdidas debido a los conductores, ferritas, etc., no toda la potencia entregada por el transmisor se empleará en la radiación, por lo que se hace necesario definir esta cualidad de la antena. Definimos eficiencia de una antena como la relación entre la potencia radiada y la potencia total entregada a los terminales de la antena

$$e_f = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{P_{rad}}{P_{rad} + P_{\Omega}} = \frac{|I_a|^2 R_{rad}}{|I_a|^2 R_{rad} + |I_a|^2 R_{\Omega}} = \frac{R_{rad}}{R_{rad} + R_{\Omega}} = \frac{R_{rad}}{R_a}$$

La resistencia de pérdidas por conducción dependerá de la frecuencia, esto es,

### ➤ Resistencia en continua ( $R_{dc}$ )

donde:  $\sigma$  es la conductividad específica medida en S/m

- L es la longitud del conductor medida en m
- A es la sección transversal del conductor medida en  $m^2$

$$R_{dc} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A}, [\Omega]$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

### ➤ Resistencia superficial ( $R_s$ ).

A alta frecuencia, la corriente queda confinada en películas delgadas sobre la superficie del conductor (efecto skin). El grosor de dicha película es conocido como profundidad de penetración y viene dado por

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \sigma \mu}}, [m]$$

donde  $f$  es la frecuencia en Hz,  $\sigma$  es la conductividad y  $\mu$  es la permeabilidad magnética medida en H/m.

La resistencia superficial viene definida como el cociente entre la componente tangencial del campo eléctrico y la densidad superficial de corriente (ambos colineales), esto es,

$$R_s = \frac{E}{J_s} = \sqrt{\frac{\pi f \mu}{\sigma}}, [\Omega]$$

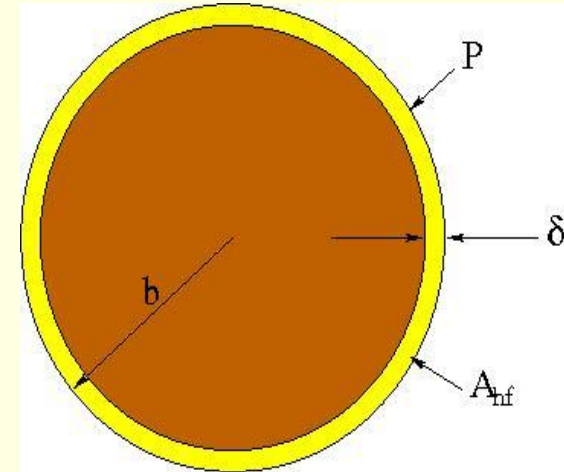
La resistencia superficial puede relacionarse con la resistencia de alta frecuencia de



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

una varilla conductora de longitud  $l$  y de perímetro  $P$  como:

$$R_{hf} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{A_{hf}} = \frac{1}{\sigma} \frac{l}{P\delta} = R_s \frac{l}{P}$$



### Intensidad de radiación

Una de las características fundamentales de una antena es su capacidad para radiar energía electromagnética con una cierta direccionalidad, por lo que será conveniente cuantificar este comportamiento con algún parámetro que nos permita poder comparar diferentes antenas.



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

El marco matemático en el que se encuadra cualquier parámetro asociado (normalmente) a las antenas es el sistema de coordenadas esférico, por lo que para especificar cualquier dirección espacial se utilizan los ángulos  $\theta$  y  $\Phi$ .

Definimos la densidad de potencia radiada como la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección

$$\vec{\wp}(\theta, \phi) = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \Rightarrow |\vec{\wp}(\theta, \phi)| = \frac{E_\theta^2 + E_\phi^2}{2\eta} \quad [\text{W/m}^2]$$

La potencia total radiada se obtiene como la integral de la densidad de potencia en una esfera que encierre a la antena

$$P_{rad} = \iint \vec{\wp}(\theta, \phi) \cdot d\vec{S}$$

Se define la intensidad de radiación como la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección por la antena

$$K(\theta, \phi) = \wp(\theta, \phi) r^2 \quad [\text{W/estereorradián}]$$

por tanto la potencia total radiada puede calcularse también mediante la intensidad de radiación como



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

$$P_{rad} = \iint K(\theta, \phi) d\Omega = \iint K(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi$$

donde  $d\Omega = dS/r^2 = \sin\theta d\theta d\phi$

Este parámetro posee la propiedad de ser independiente de la distancia a la que se encuentra la antena.

Si la fuente es isótropa (no existe variación en  $\theta$  ni en  $\phi$ ), se tiene

$$P_{rad} = \iint K d\Omega = K \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin\theta d\theta d\phi = 4\pi K \Rightarrow K = \frac{P_{rad}}{4\pi}$$

### Diagramas de radiación

El diagrama de radiación de una antena se define como la representación gráfica de las características de radiación en función de las coordenadas espaciales.

Las características de radiación que configura un diagrama o patrón de radiación suele hacerse en la región de campo lejano, donde la distribución espacial (angular) no depende de la distancia. Esta representación pueden ser de campo eléctrico, magnético



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

intensidad de radiación o de densidad de potencia radiada y su representación pueden ser diferente en escala lineal o en escala logarítmica (expresada en decibelios). En la representación en dB, los diagramas de radiación de campo y de potencia coinciden dado que:

$$10\log\left(\frac{\langle \vec{P} \rangle}{\langle \vec{P} \rangle_{\text{máx}}}\right) = 20\log\left(\frac{|\vec{E}|}{|\vec{E}|_{\text{máx}}}\right)$$

La gráfica de la variación espacial de la relación entre la potencia recibida y la radiada a radio constante desde la antena se denomina diagrama de potencia, mientras que la representación de la magnitud de campo eléctrico (magnético) a radio constante desde la antena se denomina campo de amplitudes.

También se puede representar la característica de radiación en términos absolutos (para un valor  $r=\text{cte}$ ) o relativos (normalizado al valor máximo de la función que se quiera representar).

Los diagramas de radiación también suele representarse en patrones de azimuth-elevación, esto es tomando como sistema de coordenadas  $(u, v)$  definidas por

$$u = C_1 \sin\theta \cos\phi \quad ; \quad v = C_2 \sin\theta \sin\phi$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

donde  $C_1$  y  $C_2$  son constantes que dependen del tamaño eléctrico de la antena. Se define área de haz o ángulo sólido de haz ( $\Omega_A$ ) de una antena a la integral del patrón de potencia normalizado sobre una esfera.

$$\Omega_A = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} t_n(\theta, \phi) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} t_n(\theta, \phi) \sin\theta d\theta d\phi$$

Una expresión aproximada es  $\Omega_A \simeq \theta_{HP} \phi_{HP}$  donde los ángulo corresponden a los anchos de haz a media potencia en cada uno de los planos principales (que se definirán posteriormente).

Respecto a su representación gráfica, los patrones de radiación se clasifican en:

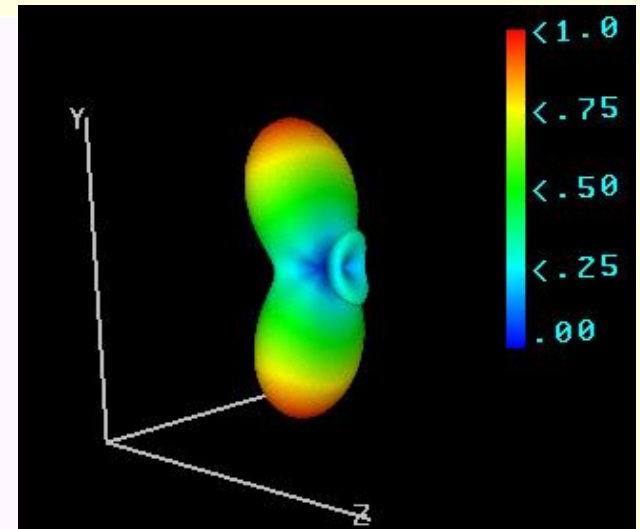
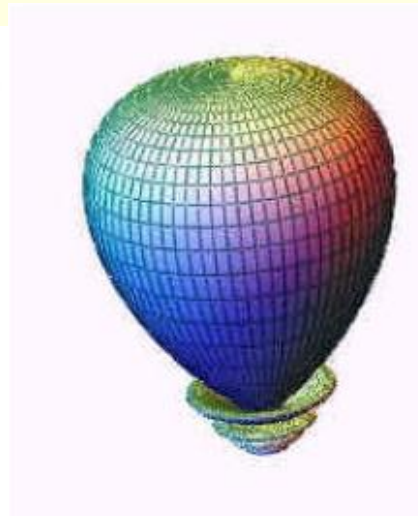
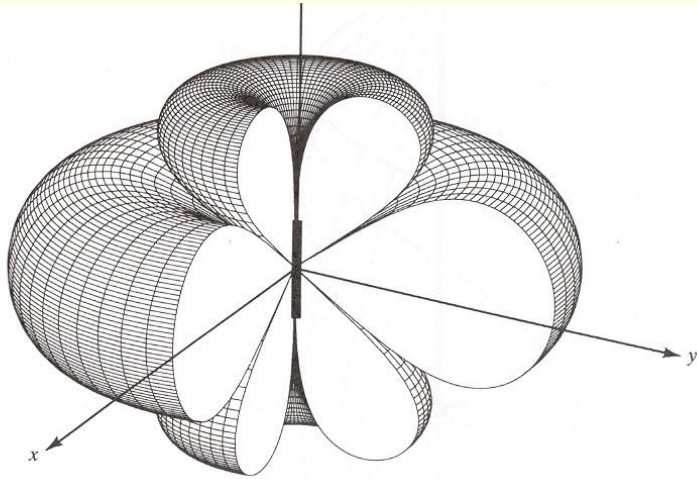
### Diagramas tridimensionales.

Este tipo de diagramas se obtienen representando una de las magnitudes de radiación en función de las coordenadas espaciales (variando  $\theta$  y  $\Phi$ ) (o variando las coordenadas  $u$  y  $v$ ). Este tipo de diagramas ofrecen una visión rápida de la forma en la que una antena confina la energía. Como inconveniente este tipo de representaciones no permiten evaluar cuantitativamente otros parámetros.



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

En la figura se representan algunos ejemplos de diagramas 3-D.



### Diagramas bidimensionales

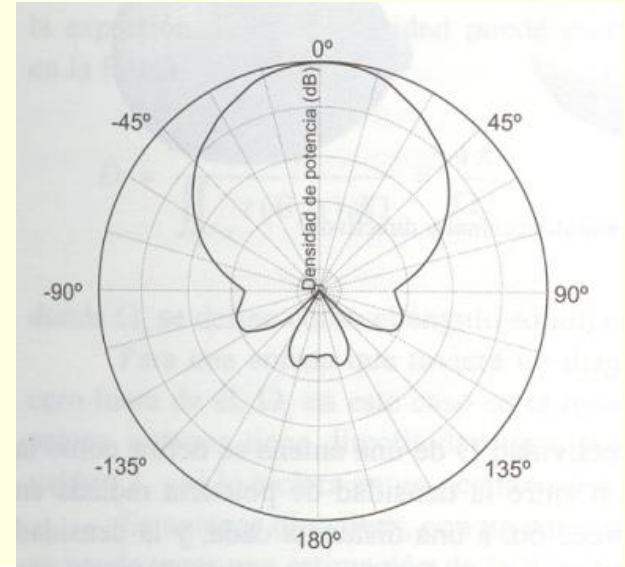
Los diagramas 2-D son obtenidos mediante la intersección de un diagrama 3-D y un plano que, usualmente, suele ser el plano  $\theta = \text{cte.}$  o el plano  $\phi = \text{cte.}$  La representación de estos diagramas suele hacerse en coordenadas cartesianas (azimut-elevación) y escalas logarítmicas o en coordenadas polares.



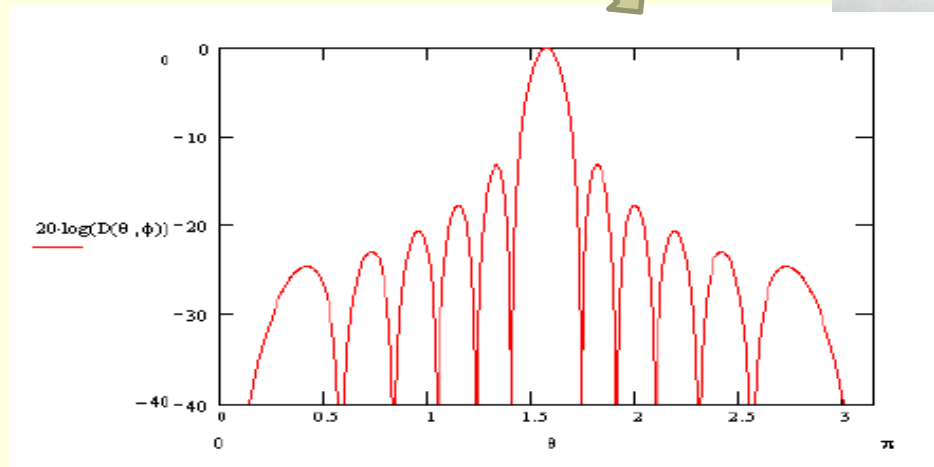


# Tema 2.- Parámetros de Antenas

Diagramas 2-D en coordenadas polares



Diagramas 2-D en coordenadas cartesianas




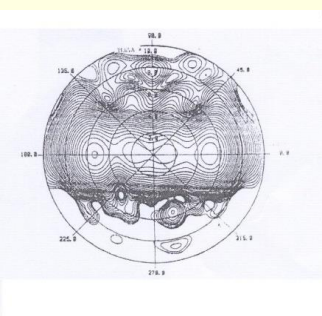


## Tema 2.- Parámetros de Antenas

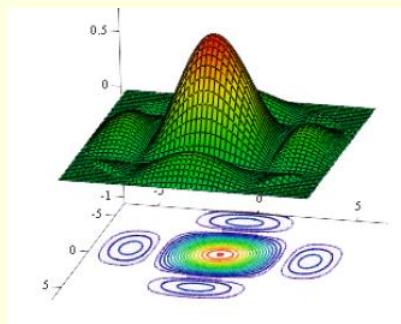
Para antenas con diagramas directivos y polarización lineal basta conocer los diagramas de los planos principales:

- **Diagrama en el plano  $E$** , plano que contiene al vector campo eléctrico y la dirección de máxima radiación (la representación se hace sobre  $\theta$  manteniendo  $\Phi$  como constante)
- **Diagrama en el plano  $H$** , plano que contiene al vector campo magnético y a la dirección de máxima radiación (se representa la magnitud del campo normalizado en función de  $\Phi$  para  $\theta=\pi/2$ ).

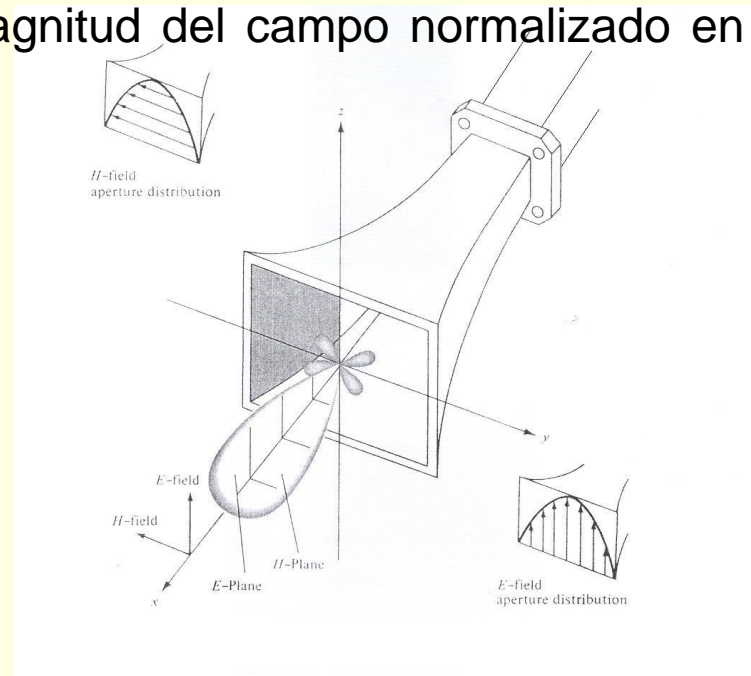
 **Curvas de nivel.** Corresponden a representaciones 2D sobre mallas polares ( Suelen usarse cuando las antenas son muy directivas) ( $\theta, \Phi$ ) o en cartesianas ( $u, v$ )



Polar



Cartesiano





## Tema 2.- Parámetros de Antenas

Atendiendo a la forma del diagrama de radiación, las antenas pueden clasificarse en:

- Antenas **isotrópicas** como aquellas cuya intensidad de radiación es igual en todas las direcciones del espacio. Estas son antenas no realizables (en una única antena) pero suelen servir como antenas de referencia.
- Si el diagrama de radiación presenta simetría de revolución entorno a un eje diremos que la antena es **omnidireccional**.
- Las antenas directivas serán aquellas que emiten y reciben mucho más eficiente en una dirección que en las demás. Dentro de esta clasificación, se pueden tener las de tipo pincel, abanico, multihaz, de haz contorneado (aquellas en la que su sección transversal se ajusta a un determinado perfil geográfico) y las de haz conformado (cuyos diagramas de potencia se ajustan a una determinada función)





## Tema 2.- Parámetros de Antenas

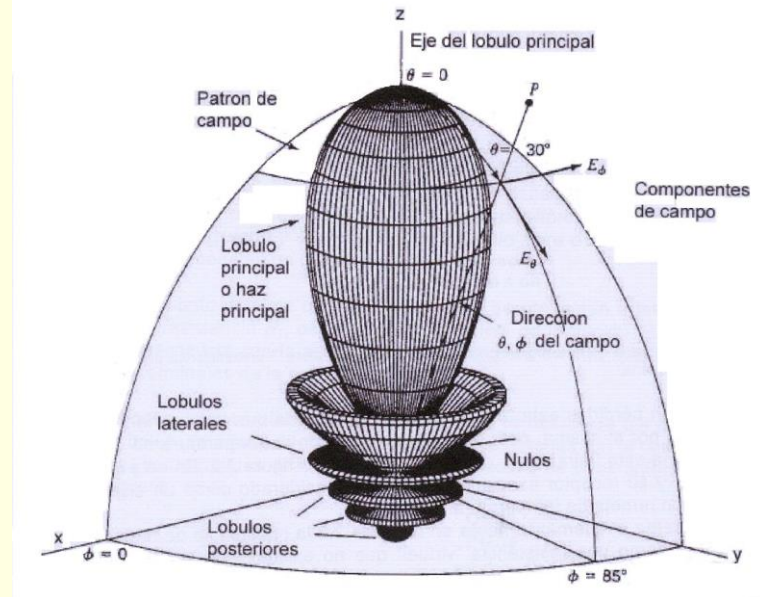
En algunos de los diagramas de radiación anteriores podemos observar una zona en la que la radiación es máxima, zona que denominaremos **haz principal** o **lóbulo principal**. Las zonas que rodean a los máximos de menor amplitud se les denominan **lóbulos laterales** y al lóbulo lateral de mayor amplitud se le denomina **lóbulo secundario**.

Se denomina **lóbulo posterior** al lóbulo en dirección opuesta a la del lóbulo principal.

Dado que los secundarios representan habitualmente radiación indeseada, su magnitud debe ser minimizada.

Respecto al diagrama de radiación, se pueden definir una serie de parámetros de uso frecuente como por ejemplo:

Denominamos **ancho del haz a -3dB** ( $\Delta\theta_{-3dB}$ ) o HPBW (Half Power BeamWidth) a la dirección angular en la que el diagrama de radiación toma por valor la mitad del máximo (véase figura siguiente)

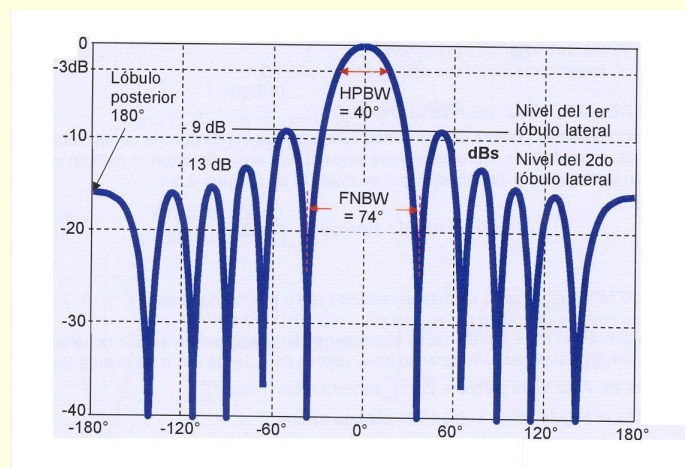
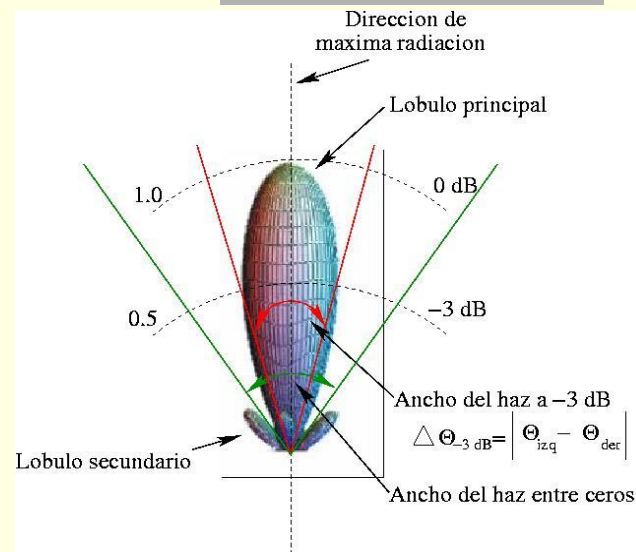
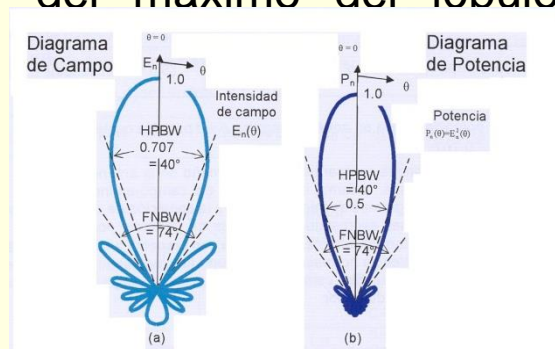
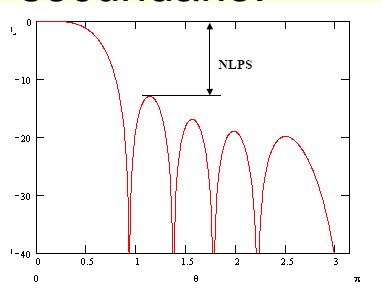




# Tema 2.- Parámetros de Antenas

Denominamos **ancho del haz entre ceros** ( $\Delta\theta_c$ ) o FNBW (First-Null BeamWidth) a la separación angular de las direcciones del espacio en las que el lóbulo principal toma un valor mínimo. ( $FNBW \approx 2HPBW$ ) Estos dos parámetros nos dan una idea de la direccionalidad del patrón y por tanto de su poder de resolución (muy importantes en aplicaciones radar y radiométricas).

Denominamos **relación entre el lóbulo principal y el secundario** (NLPS) como el cociente, expresado en dB, entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y en la dirección del máximo del lóbulo secundario.

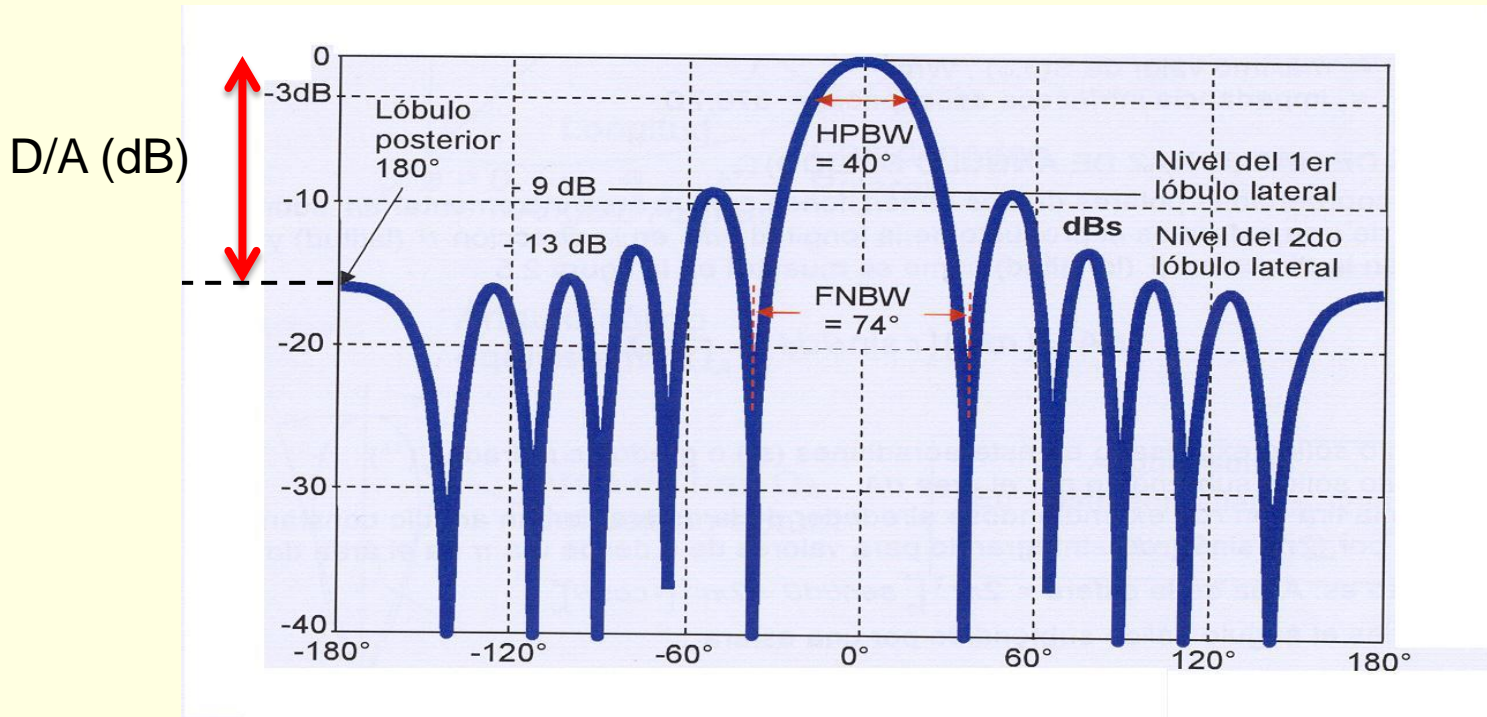







## Tema 2.- Parámetros de Antenas

Denominamos **relación delante/atrás (D/A ó F/B)** a la relación entre el lóbulo principal y el lóbulo posterior. En algunas aplicaciones, como por ejemplo radioenlaces, esta radiación en el lóbulo posterior puede ser causa de interferencias. En el caso de las antenas parabólicas, la radiación posterior viene asociada al fenómeno de difracción producido por el borde del reflector

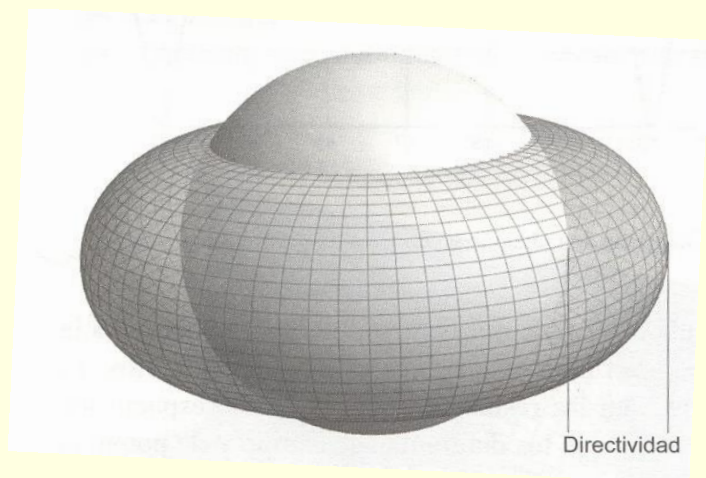





## Tema 2.- Parámetros de Antenas

 **Ganancia directiva.** Se define la ganancia directiva de una antena como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y distancia dada y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isótropa que radiase la misma potencia que la antena.

$$D_g(\theta, \phi) = D(\theta, \phi) = \frac{\wp(\theta, \phi)}{P_r / (4\pi r^2)}$$



 **Directividad.** Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en la dirección de máxima radiación por la antena, a una distancia dada, y la densidad de potencia que se le entregaría a esa misma distancia a una antena isotrópica que radiase la misma potencia. Con esta definición se tiene en cuenta las pérdidas en la propia antena debido a las pérdidas óhmicas.

$$D = \frac{\wp_{m\acute{a}x}}{P_r / (4\pi r^2)} = \frac{\wp_{m\acute{a}x}}{\frac{\iint \wp(\theta, \phi) r^2 \sin(\theta) d\theta d\phi}{4\pi r^2}}$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

La directividad se puede obtener, en general, a partir del conocimiento del diagrama de radiación de la antena. Se define **diagrama de radiación normalizado**

$$t_n(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{P_{\text{máx}}} = \frac{K(\theta, \phi)}{K_{\text{máx}}} = \frac{\sqrt{|N_\theta(\theta, \phi)|^2 + |N_\phi(\theta, \phi)|^2}}{|N_{\text{máx}}|}$$

la expresión de la directividad puede escribirse en la forma  $D = 4\pi / \iint_{4\pi} t(\theta, \phi) d\Omega$

Conocida la directividad y el diagrama de radiación normalizado, la ganancia directiva se obtiene mediante el producto  $D(\theta, \phi) = D \cdot t(\theta, \phi)$ . La directividad se suele expresar en dBi (dB sobre el nivel de la antena isotrópica) como  $10 \log D$ .

Para antenas con un lóbulo principal estrecho y lóbulos secundarios muy pequeños, el ángulo sólido de haz es aproximadamente el producto de los HPBW en los dos planos ortogonales, esto es,  $D = \frac{4\pi}{\Omega_A} \simeq \frac{4\pi}{\theta_{HP} \phi_{HP}}$  (ángulos en radianes)  $D \simeq \frac{41253}{\theta_{HP} \phi_{HP}}$  (ángulos en grados)

Esta fórmula aproximada es conocida como fórmula de Kraus. Otra aproximación es la fórmula de Tai y Pereira.

$$D \simeq \frac{32 \ln 2}{(\theta_{HP})^2 + (\phi_{HP})^2} \quad (\text{ángulos en radianes})$$





## Tema 2.- Parámetros de Antenas


Otro parámetro directamente relacionado con la directividad es la **Ganancia de la antena (G)**. La definición es semejante, pero la comparación no se establece con la potencia radiada sino con la potencia entregada, permitiéndose así tener en cuenta la disipación por la propia antena. Por tanto la ganancia y la directividad están relacionadas con la eficiencia de la antena.

$$G(\theta, \phi) = \frac{\frac{\rho(\theta, \phi)}{4\pi r^2}}{\frac{P_{entregada}}{4\pi r^2}} = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} \frac{\rho(\theta, \phi)}{4\pi r^2} = e_f D_g(\theta, \phi)$$

$$e_f = e_d e_\Omega \quad e_\Omega = \frac{R_r}{R_r + R_\Omega}$$

$$e_d = 1 - |\Gamma|^2 = 1 - \left| \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \right|^2$$

La eficiencia de la antena ( $e_f$ ) presentará una parte disipativa y una eficiencia por desadaptación. Si la antena no posee pérdidas de ningún tipo, ambas ganancias coinciden.


 **Ancho de Banda en Frecuencia (FBW).** El ancho de banda se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central, expresado en tanto por ciento (ver figura siguiente).

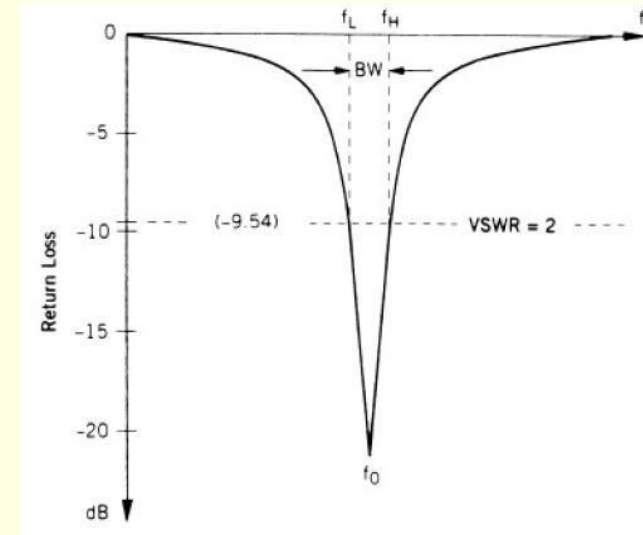
$$FBW = \frac{f_H - f_L}{f_0}$$

$$\text{Usualmente, } f_0 = \frac{f_H + f_L}{2} \quad \text{ó} \quad f_0 = \sqrt{f_H f_L}$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

 **Polarización.** La polarización de una antena en una dirección es la de la onda radiada por ella en esa dirección, esto es, la figura geométrica que describe, al pasar el tiempo, el extremo del vector campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación. Si la figura es un segmento, se dice que la onda está linealmente polarizada y si es un círculo, la onda está circularmente polarizada.




Fijada una dirección  $(\theta, \Phi)$  de incidencia de una onda sobre una antena, la potencia que se entrega procedente de una antena transmisora a una antena receptora va a depender, entre otros factores, de la polarización relativa de una antena respecto a la otra.

El tema de la polarización se trató de forma extensa en el tema 1



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

 **Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE o EIRP).** Otro parámetro que se suele usar es el PIRE que se define como el producto de la ganancia de antena por la potencia entregada a la antena

$$PIRE(\theta, \phi) = G(\theta, \phi)P_{entregada} = D_g(\theta, \phi)P_{radiada}$$

Se suele expresar en dBW, esto es el nivel absoluto de potencia referidos a un 1 W, medidos en dB.

La densidad de potencia radiada está relacionada con el PIRE mediante la expresión

$$\wp(\theta, \phi) = \frac{PIRE(\theta, \phi)}{4\pi r^2}$$

En la industria también se suele definir la Potencia Radiada Equivalente (ERP) la cual se evalúa como la potencia radiada usando una antena dipolo de media longitud de onda. La relación con la antena isotrópica es


$$ERP(dBW) = PIRE(dBW) - 2.15 \text{ dBi}$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

### 3.- Parámetros de antenas en recepción

Cuando una antena capta de una onda que incide sobre ella parte de la potencia que transporta y la transfiere al receptor, se dice que la antena funciona en recepción. En este caso podemos asociar una serie de parámetros específicos con la recepción, esto es,

 **Adaptación.** Para conseguir la máxima transferencia de potencia, la impedancia de la antena ha de estar adaptada al sistema de recepción, esto es, han de ser complejas conjugadas.

$$Z_a = (R_a + jX_a) = Z_L^* = (R_L + jX_L)^* = (R_L - jX_L)$$

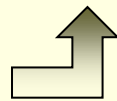
Para este caso se tiene  $W_{L_{máx}} = \frac{|V|^2}{4R_a}$

En general si no hay adaptación tendremos que

$$W_L = W_{L_{máx}} C_a = W_{L_{máx}} (1 - |\Gamma|^2)$$


$$C_a = \frac{4R_a R_L}{(R_a + R_L)^2 + (X_a + X_L)^2}$$

donde  $C_a$  es el coeficiente de desadaptación o eficiencia de desadaptación





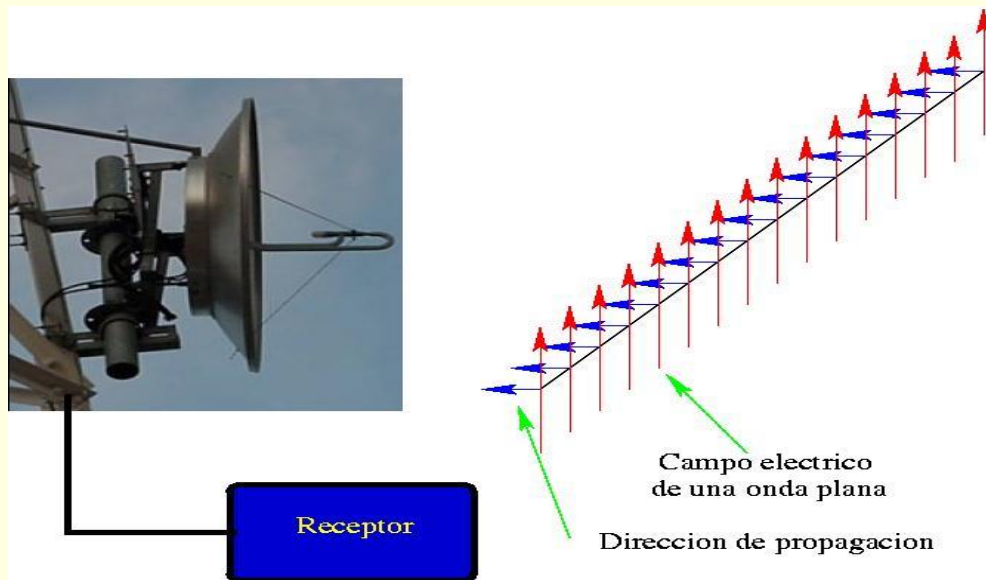
## Tema 2.- Parámetros de Antenas

 **Área efectiva.** Definimos el área efectiva como la relación entre la potencia que entrega la antenna a su carga (supuesto ésta adaptada) y la densidad de potencia de la onda incidente

$$A_{ef} = \frac{P_{recibida}}{\mathcal{P}_{incidente}} = \frac{|V_{CA}|^2}{4R_a \mathcal{P}_{incidente}} = \frac{|V_{CA}|^2 \eta}{4R_a |E_{inc}|^2} \Rightarrow A_{ef_{m\acute{a}x}} = D \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

La razón entre el área efectiva y el área física viene dada por la denominada eficiencia de apertura. Para bocinas y aperturas, la eficiencia de apertura está entre el 50% y el 80% aunque con agrupaciones de antenas se pueden conseguir eficiencias de apertura próximas al 100%

$$e_{ap} = \frac{A_{ef}}{A} \text{ (sin dimensiones)}$$





## Tema 2.- Parámetros de Antenas

### Longitud efectiva.

La altura o longitud efectiva ( $l_{ef}$  medida en metros) de una antena es un parámetro asociado a la apertura efectiva de antena y se define como el cociente entre la tensión en bornes en abierto de la antena ( $V_{CA}$ ) y la amplitud de campo eléctrico incidente

$$l_{ef} = \frac{|V_{CA}|}{|E_{inc}|} \text{ o bien } \vec{l}_{ef} = \frac{1}{I_0} \left( \hat{r} \times (\hat{r} \times \vec{N}) \right) = \frac{1}{I_0} \left( \vec{N} - (\vec{N} \cdot \hat{r}) \hat{r} \right)$$


De manera similar, la longitud efectiva se definida como el valor del campo que radiaría una corriente uniforme de valor  $I_0$  y que estuviese orientada perpendicularmente a la dirección de propagación.

La relación con la apertura efectiva viene dada por

$$A_{ef} = \frac{l_{ef}^2 \eta}{4R_a}$$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

 **Temperatura de ruido de antena.** Tal y como hemos definido una antena, esta es un dispositivo capaz de captar energía electromagnética procedente de una onda incidente. De igual forma, la antena capta la radiación incoherente (ruido) de todos los cuerpos o zonas del espacio que la rodean.

La potencia de ruido ( $N_{DR}$ ) disponible en bornes de la antena (potencia procedente del ruido y que es transformada en tensiones e intensidades) medida en una banda de frecuencias  $B$  viene expresada por

$$N_{DR} = \frac{V_{DR}^2}{4R} = kT_A B \quad [\text{W}]$$

donde:

- $V_{DR}$  es la tensión (en rms) en circuito abierto inducida por la señal de ruido
- $R_a$  la resistencia
- $k$  es la constante de Boltzmann (  $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J / K}$  )
- $T_A$  es la temperatura de antena medida en grados Kelvin
- $B$  es el ancho de banda medido en Hz



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

La temperatura de antena es una medida de la potencia de ruido captada por la antena y puede interpretarse como la temperatura a la que habría que poner una resistencia igual a la resistencia de radiación de la antena para que suministrase la misma potencia de ruido al receptor.

Si la antena no presenta pérdidas óhmicas, toda la potencia proviene de ruido externo (fuentes externas) en todas las direcciones espaciales. Si por ejemplo, la fuente de ruido es la del cuerpo negro uniforme de temperatura  $T$ , la potencia de ruido entregada viene dada por la fórmula de Rayleigh-Jeans o equivalentemente por la fórmula de Nyquist ( $N_{DR} = kTB$ ).

Se define temperatura de brillo ( $T$ ) como el ruido incidente en una dirección dada. La potencia total de ruido captada por la antena será la suma de las intensidades de ruido incidente ponderada por la respuesta de la antena en esa dirección (área efectiva de la misma a la misma dirección). En este caso la temperatura de antena se puede definir como

$$T_A = \frac{\iint T(\theta, \phi) A_{ef}(\theta, \phi) d\Omega}{\iint_{4\pi} A_{ef}(\theta, \phi) d\Omega}$$





## Tema 2.- Parámetros de Antenas

La relación señal-ruido ( $S/N_{DR}$ ) de una antena receptora es el cociente entre las potencias de señal y de ruido recibidas, expresadas en decibelios.

En el caso ideal de antenas y medios sin pérdidas y sin desadaptaciones, esta relación viene dada por

$$\frac{S}{N_{DR}} = \frac{P_L}{P_{NDR}} = \frac{P_{rad} G_T A_{efR}}{4\pi r^2 k T_A B} = \frac{P_{rad} G_T \lambda^2}{(4\pi r)^2 k B} \left( \frac{G_R}{T_A} \right)$$

donde  $G_T$  es la directividad de la antena transmisora y  $A_{efR}$  es el área efectiva de la antena receptora.

Al cociente entre la ganancia de la antena receptora y la temperatura de antena se le denomina parámetro  $G/T$  el cual determina la calidad de los sistemas receptores.

$$\frac{S}{N_{DR}} = \frac{P_{rad} G_T \lambda^2}{(4\pi r)^2 k B} \left( \frac{G_R}{T_A} \right) = \frac{\wp(\theta, \phi)}{k B} \frac{\lambda^2}{4\pi} \left( \frac{G}{T} \right)$$

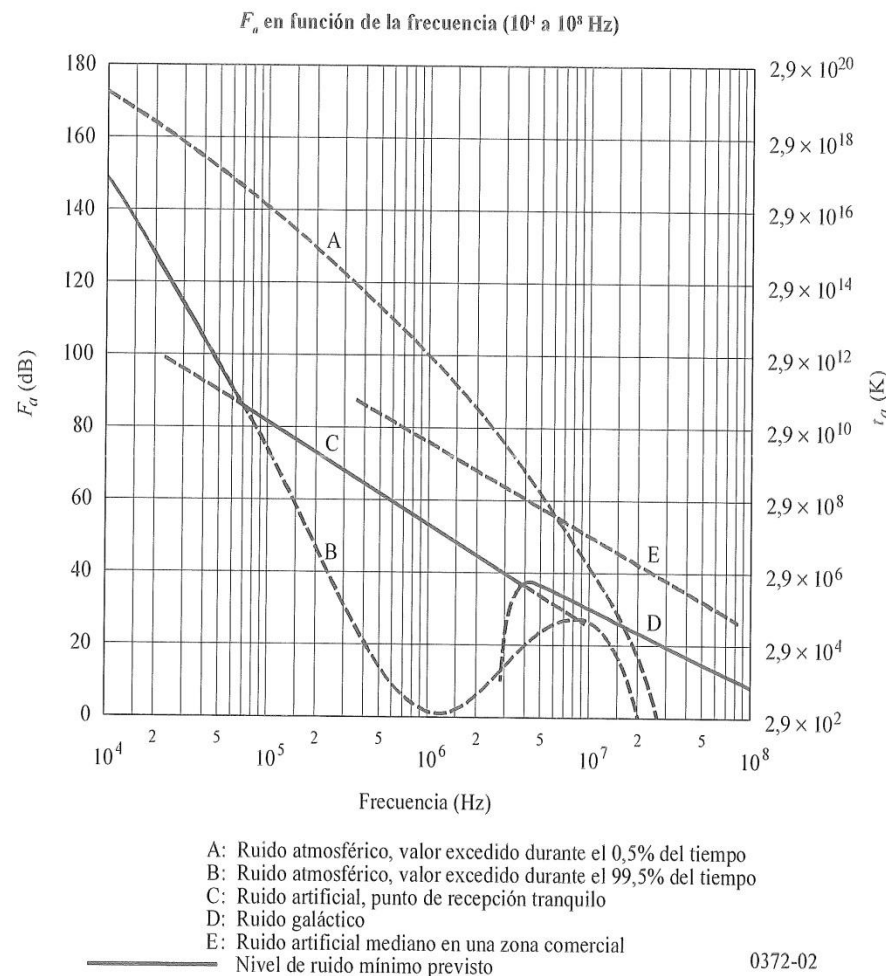
Esta expresión pone de manifiesto que, para una densidad de potencia incidente dada la relación señal a ruido es directamente proporcional al parámetro de calidad  $G/T$



## Tema 2.- Parámetros de Antenas

En servicios de telecomunicación por satélite es corriente que los operadores (Intelsat, Hispasat ...) fijen un requisito de G/T para los sistemas receptores de las estaciones terrenas. Se puede conseguir la misma calidad de señal con una antena de más ganancia, pero más ruido o viceversa. Este parámetro se suele especificar en  $\text{dB}(1/\text{K}) = 10 \log (G/T)$

Valores típicos de temperatura de antena en función de la frecuencia puede verse en la gráfica adjunta





# Tema 2.- Parámetros de Antenas

## 4.- Bibliografía

1. IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas” (IEEE Std 145-1933)
2. Constantine A. Balanis, “Antenna Theory”, 3ª Ed, Wiley Interscience (Tema 2)
3. John D. Kraus and Ronald J. Marhefka, “Antennas for all applications” 3ª Ed. McGraw-Hill (tema 2)
4. Ángel Cardama, et al, “Antenas” Ediciones UPC (Tema 1)
5. RECOMENDACIÓN UIT-R P.372-8 sobre Ruido Radioeléctrico.