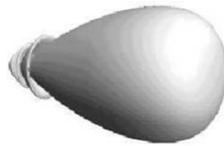




Tema 3

# Parámetros de antenas



Lorenzo Rubio Arjona (lrubio@dcom.upv.es)  
Departamento de Comunicaciones. ETSI de Telecomunicación

© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

## 3. Parámetros de antenas

3.1. Introducción y justificación del tema

3.2. Introducción a las antenas

3.3. Parámetros en transmisión

3.4. Parámetros en recepción

3.5. Ecuación de transmisión

3.6. Ecuación radar

## 3. Parámetros de antenas

### **3.1. Introducción y justificación del tema**

3.2. Introducción a las antenas

3.3. Parámetros en transmisión

3.4. Parámetros en recepción

3.5. Ecuación de transmisión

3.6. Ecuación radar

### 3.1. Introducción

#### Definición de ANTENA (IEEE Std. 145-1983)

Una antena es aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para **radiar** o **recibir ondas electromagnéticas**

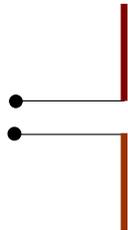


Una antena se comporta como un **transductor** entre el **medio guiado** y el **medio radiado**. Por tanto, puede ser considerada como una etapa de transición entre la onda guiada y la onda radiada al espacio libre, a la que además se le puede asignar **carácter direccional**

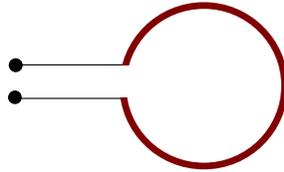
### 3.1. Introducción

#### Diferentes tipos de antenas físicas

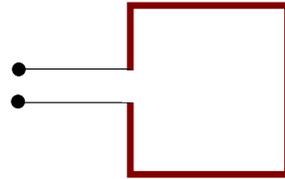
##### Antenas de hilo



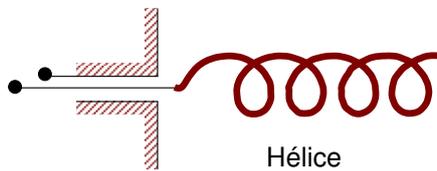
Dipolo



Espira circular



Espira cuadrada



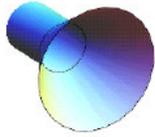
Hélice

© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

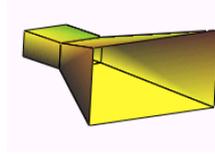
## 3.1. Introducción

### Diferentes tipos de antenas físicas

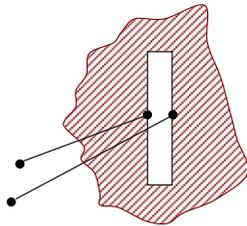
#### Antenas de apertura



Bocina cónica



Bocina rectangular

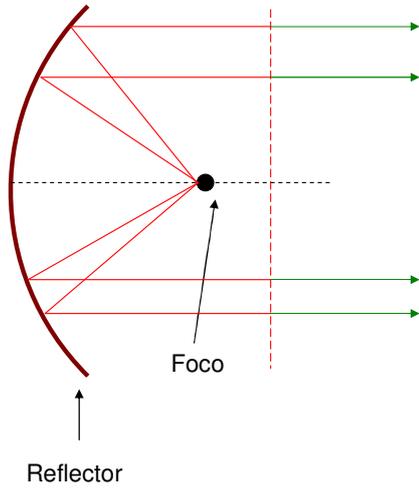


Ranuras

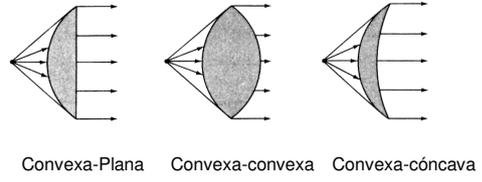
### 3.1. Introducción

#### Diferentes tipos de antenas físicas

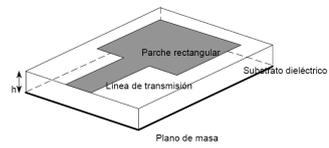
##### Reflectores



##### Lentes



##### Antenas impresas



© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

## 3. Parámetros de antenas

3.1. Introducción y justificación del tema

**3.2. Introducción a las antenas**

3.3. Parámetros en transmisión

3.4. Parámetros en recepción

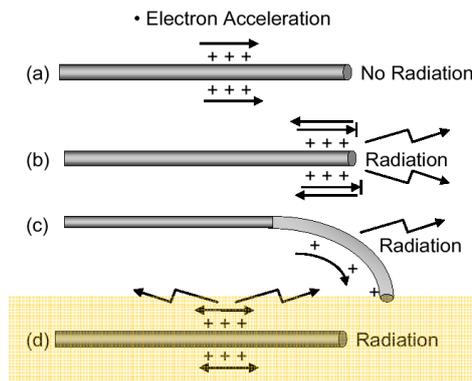
3.5. Ecuación de transmisión

3.6. Ecuación radar

## 3.2. Introducción a las antenas

### Efecto de radiación de una antena

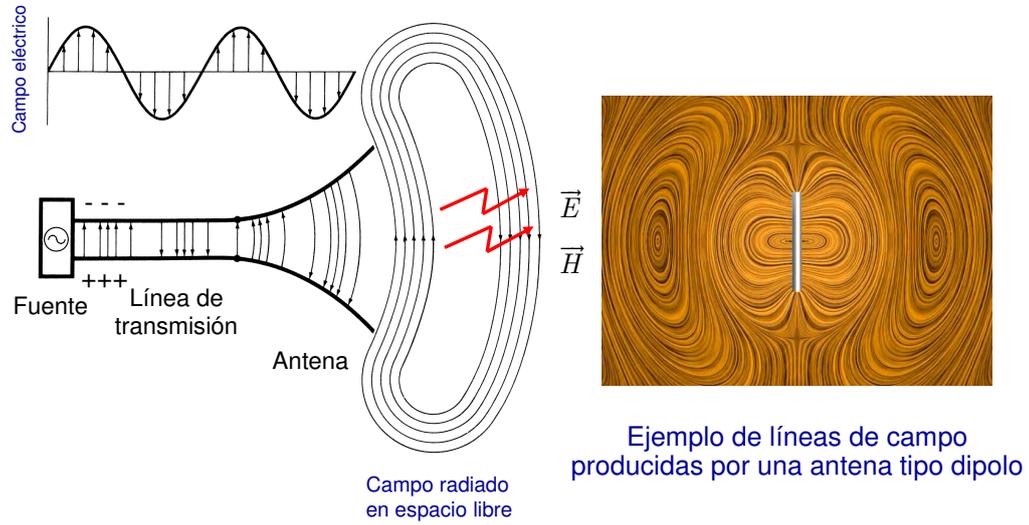
- Se debe al fenómeno de **variación temporal de las cargas** en un circuito
- La radiación es más importante a medida que las dimensiones del circuito son comparables a la longitud de onda ( $\lambda$ )
- Interesa que las antenas tengan un **tamaño comparable a  $\lambda$**



© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

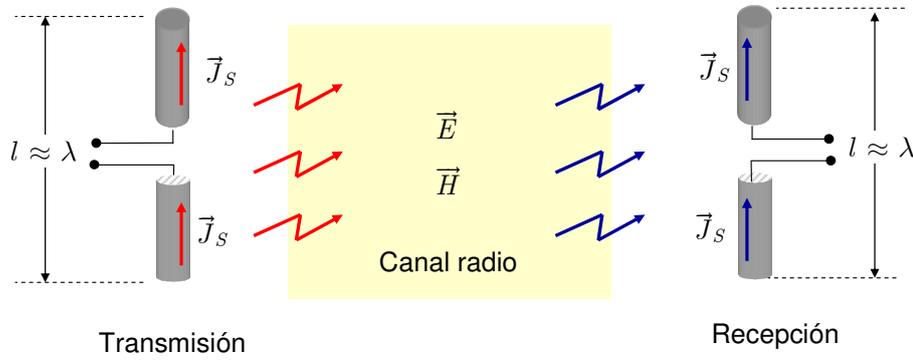
### 3.2. Introducción a las antenas

#### Mecanismo de radiación. Modelo LT



### 3.2. Introducción a las antenas

#### Mecanismo de radiación

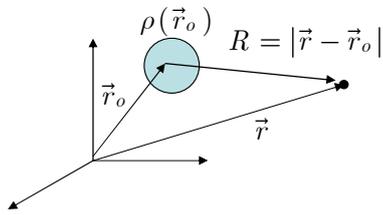


Ecuaciones de Maxwell para un medio lineal

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}_s + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} = \sigma \vec{E} + \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$$

### 3.2. Introducción a las antenas

#### Expresiones generales de los campos



$$\vec{E}(\vec{r}) = \underbrace{\frac{1}{4\pi\epsilon} \int_v \hat{R} \rho(\vec{r}_o) \frac{e^{-jkR}}{R^2} dv}_{E_i \equiv \text{Campos inducidos}} + \underbrace{\frac{jk}{4\pi\epsilon} \int_v \hat{R} \left[ \rho(\vec{r}_o) - \frac{\omega\epsilon}{k} \vec{J}_s(\vec{r}_o) \right] \frac{e^{-jkR}}{R} dv}_{E_r \equiv \text{Campos radiados}}$$

Ley de Coulomb

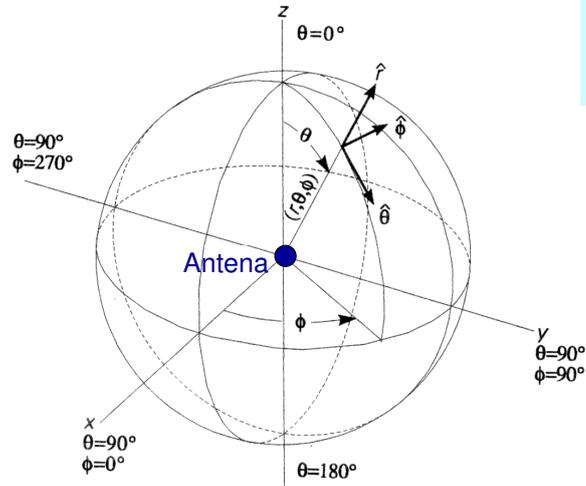
$$\vec{E}(\vec{r}) = \vec{E}_i(\vec{r}) + \vec{E}_r(\vec{r})$$

$$\vec{H}(\vec{r}) = \vec{H}_i(\vec{r}) + \vec{H}_r(\vec{r})$$

Ley de Biot y Savart

## 3.2. Introducción a las antenas

### Sistema de coordenadas esféricas



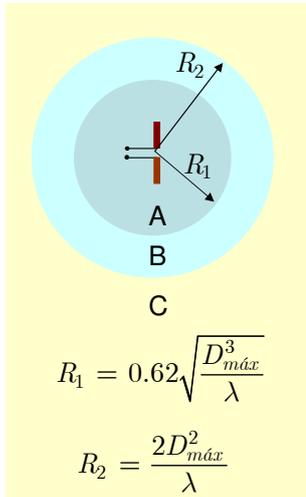
$$x = r \sin \theta \cos \phi$$

$$y = r \sin \theta \sin \phi$$

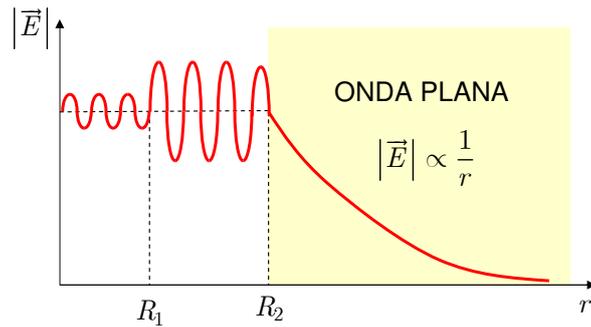
$$z = r \cos \theta$$

## 3.2. Introducción a las antenas

### Zonas de radiación



- (A) Zona de campo próximo reactivo: Zona de RAYLEIGH
- (B) Zona de campo próximo radiado: Zona de FRESNEL
- (C) Zona de campo lejano: Zona de FRAUNHOFER



Ejemplo:  $D = 5\lambda \Rightarrow R_1 \approx 7\lambda$  y  $R_2 \approx 50\lambda$

© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

## 3.2. Introducción a las antenas

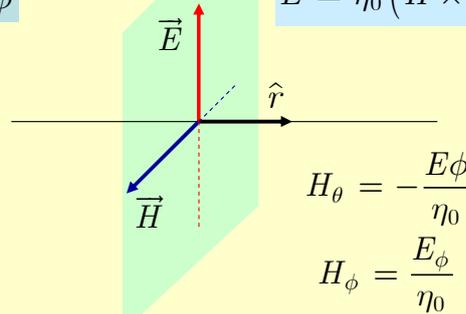
### ONDA PLANA

- Un frente de ondas se considera plano cuando el campo presenta la misma amplitud y prácticamente la misma fase
- La onda plana se tiene en la zona de CAMPO LEJANO, donde la distribución angular de los campos no depende de la distancia a la antena

$$\vec{E} = \vec{E}_\theta \hat{\theta} + \vec{E}_\phi \hat{\phi}$$

$$\vec{H} = \vec{H}_\theta \hat{\theta} + \vec{H}_\phi \hat{\phi}$$

$$\vec{E} = \eta_0 (\vec{H} \times \hat{r})$$



© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

## 3. Parámetros de antenas

3.1. Introducción y justificación del tema

3.2. Introducción a las antenas

**3.3. Parámetros en transmisión**

3.4. Parámetros en recepción

3.5. Ecuación de transmisión

3.6. Ecuación radar

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Densidad de potencia radiada ( $\vec{\varphi}(r, \theta, \phi)$ )

**Definición:** Potencia radiada por unidad de superficie en una determinada dirección

$$\vec{\varphi} \equiv \vec{\varphi}(r, \theta, \phi) \triangleq \underbrace{\operatorname{Re}\{\vec{E} \times \vec{H}^*\}}_{\text{Vector de POYNTING}}, \quad [W/m^2]$$

En campo lejano (Onda plana):

$$|\vec{\varphi}| = \frac{|\vec{E}|^2}{\eta_0} = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{\eta_0}$$

□ Potencia radiada por la antena (Wrad)

$$W_{rad} = \iint_S \vec{\varphi} \cdot \vec{dS} = \oint_S \vec{\varphi} \cdot \vec{dS}, \quad [W]$$

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Ejemplo 1:

$$\vec{\varphi}(r, \theta, \phi) = \frac{A_0}{r^2} \sin \theta \hat{r} \quad [W / m^2]$$

$$\begin{aligned} W_{rad} [W] &= \iint_S \vec{\varphi} \cdot \vec{dS} = \oiint_S \vec{\varphi} \cdot \vec{dS} = \{ \vec{dS} = r^2 \sin \theta d\theta d\phi \hat{r} \} \\ &= \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} \frac{A_0}{r^2} \sin \theta r^2 \sin \theta d\phi d\theta = A_0 \pi^2 = cte \end{aligned}$$

Un radiador, o antena, es **omnidireccional** cuando radia por igual en todas las direcciones de un plano

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Ejemplo 2:

$$\vec{\phi}(r, \theta, \phi) = P_o(r) \hat{r} \quad [W/m^2]$$

$$W_{rad} [W] = \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} \int_{\theta=0}^{\theta=\pi} P_o(r) \sin \theta r^2 \sin \theta d\phi d\theta = 4\pi r^2 P_o(r) = cte$$

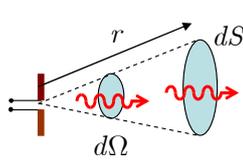
$$P_o(r) = \frac{W_{rad}}{4\pi r^2}$$

Un radiador, o antena, es **isotrópico** cuando radia por igual en todas las direcciones del espacio

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Intensidad de radiación ( $K(\theta, \phi)$ )

**Definición:** Potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección. Es independiente de la distancia a la antena



$$\varphi(\theta, \phi) dS = K(\theta, \phi) d\Omega$$



$$K(\theta, \phi) \triangleq \varphi(\theta, \phi) \frac{dS}{d\Omega} = \varphi(\theta, \phi) r^2$$

Para un radiador isotrópico se tendrá:  $K_o = \frac{W_{rad}}{4\pi}$

□ Potencia radiada por la antena (Wrad)

$$W_{rad} = \iint_{\Omega} K(\theta, \phi) d\Omega, \quad [W]$$

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Diagrama de radiación ( $t(\theta, \phi)$ )

**Definición:** En campo lejano, indica la distribución en el espacio de las características de radiación de una antena (direcciones privilegiadas de radiación)

Magnitud a representar:

$$t(\theta, \phi) \triangleq \frac{\varphi(\theta, \phi)}{\varphi_{m\acute{a}x}} = \frac{|\vec{E}(\theta, \phi)|^2}{|\vec{E}_{m\acute{a}x}|^2} = \frac{K(\theta, \phi)}{K_{m\acute{a}x}}, \quad 0 \leq t(\theta, \phi) \leq 1$$

$$t(\theta, \phi)(dB) \triangleq 10 \log \frac{\varphi(\theta, \phi)}{\varphi_{m\acute{a}x}} = 20 \log \frac{|\vec{E}(\theta, \phi)|}{|\vec{E}_{m\acute{a}x}|}, \quad -\infty \leq t(\theta, \phi) \leq 0$$



Puede verse como el diagrama de potencia o de campo normalizado

### 3.3. Parámetros en transmisión

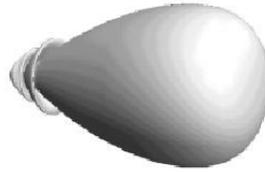
El diagrama de radiación es una función 3D.



ISOTRÓPICO



OMNIDIRECCIONAL



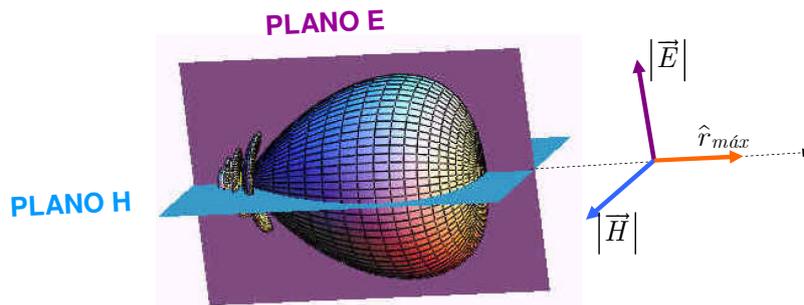
DIRECTIVO (TIPO PINCEL)

### 3.3. Parámetros en transmisión

En la práctica suele hacerse una representación bidimensional (2D), consistente en diferentes cortes de la función 3D mediante planos de interés:

**PLANO E:** Plano que contiene el campo eléctrico y la dirección de máxima radiación

**PLANO H:** Plano que contiene el campo magnético y la dirección de máxima radiación



© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

### 3.3. Parámetros en transmisión

ISOTRÓPICO

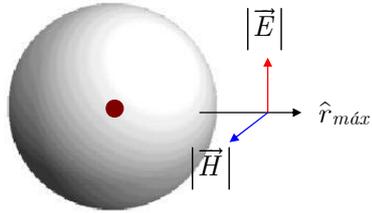


Diagrama Plano E

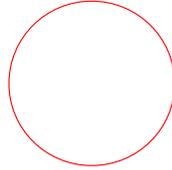
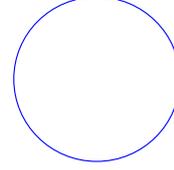


Diagrama Plano H



OMNIDIRECCIONAL

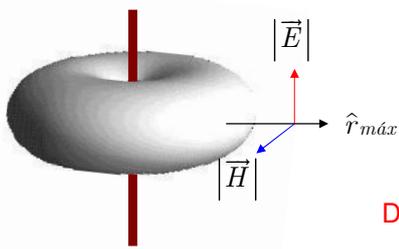


Diagrama Plano E

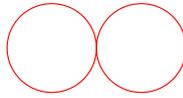
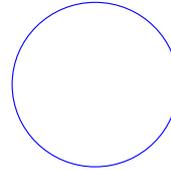
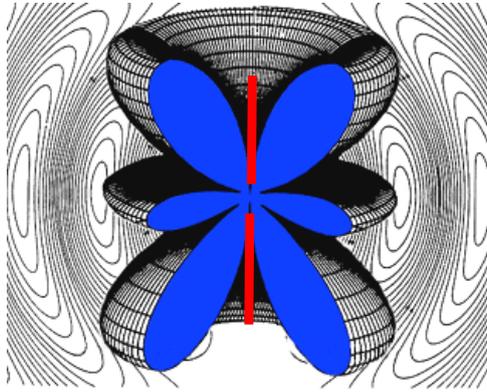


Diagrama Plano H



### 3.3. Parámetros en transmisión

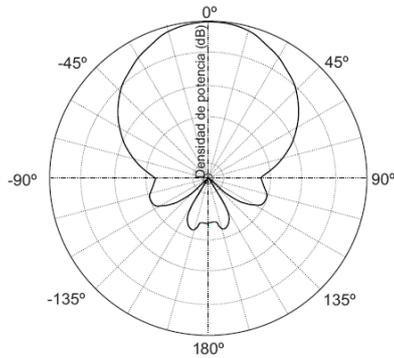
#### Ejemplo diagrama de radiación 3D



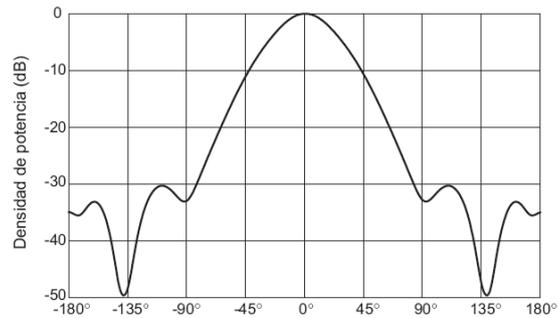
© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Diferentes representaciones del diagrama de radiación



Coordenadas polares

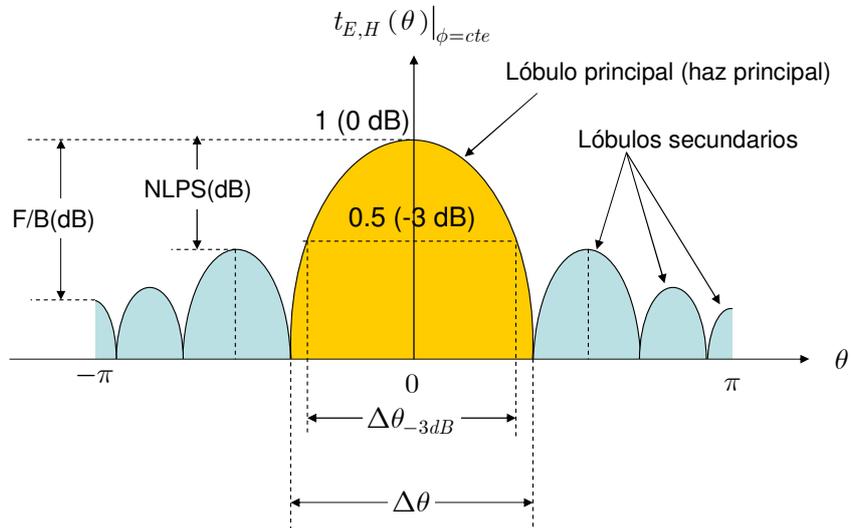


Coordenadas cartesianas

La representación en coordenadas cartesianas permite observar los detalles en antenas muy directivas, mientras que el diagrama polar suministra información más clara de la distribución de potencia en las diferentes direcciones del espacio

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Parámetros del diagrama de radiación



© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

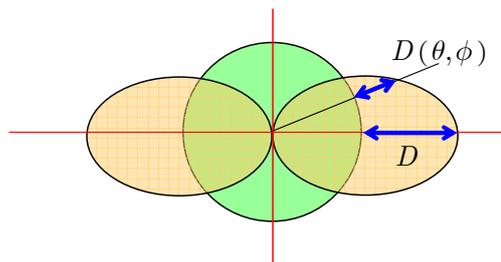
### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Directividad ( $D(\theta, \phi)$ )

**Definición:** Es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica con la misma potencia radiada

$$D(\theta, \phi) \triangleq \frac{\varphi(\theta, \phi)}{\varphi_{isotrópica}(\theta, \phi)} = \frac{\varphi(\theta, \phi)}{\frac{W_{rad}}{4\pi r^2}}$$

$$D \equiv D_{máx}(\theta, \phi) = \frac{\varphi_{máx}}{\frac{W_{rad}}{4\pi r^2}}$$



© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Relación con el diagrama de radiación

$$D \equiv \frac{\varphi_{m\acute{a}x}}{W_{rad}} = \frac{\varphi_{m\acute{a}x} \varphi(\theta, \phi)}{W_{rad} \varphi(\theta, \phi)} = \frac{D(\theta, \phi)}{t(\theta, \phi)}$$

$$D(\theta, \phi) = Dt(\theta, \phi) \quad D=1 \text{ para un radiador isotr3pico}$$

**Ejemplo:** Dipolo elemental ( $l \ll \lambda$ )  $\vec{\varphi}(\theta, \phi, r) = \frac{A_o}{r^2} \sin^2 \theta \hat{r}$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{m\acute{a}x} &= \frac{A_o}{r^2} \\ W_{rad} &= \oint_S \vec{\varphi} \cdot d\vec{S} = \frac{8}{3} A_o \pi \end{aligned} \right\} D \equiv \frac{\varphi_{m\acute{a}x}}{W_{rad}} = \frac{A_o / r^2}{\frac{8}{3} A_o \pi} = \underline{1.5} \approx 1.8 \text{ dB}$$

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Ángulo sólido equivalente de una antena ( $\Omega_{eq}$ )

$$D \triangleq \frac{\varrho_{m\acute{a}x}}{\frac{W_{rad}}{4\pi r^2}} = \frac{\varrho_{m\acute{a}x}}{\iint_S \varrho(\theta, \phi) dS} 4\pi r^2 = \frac{4\pi r^2}{\iint_S \frac{\varrho(\theta, \phi)}{\varrho_{m\acute{a}x}} dS}$$
$$= \frac{4\pi r^2}{\iint_S \frac{\varrho(\theta, \phi)}{\varrho_{m\acute{a}x}} r^2 \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{4\pi}{\iint_{4\pi} t(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{4\pi}{\Omega_{eq}}$$

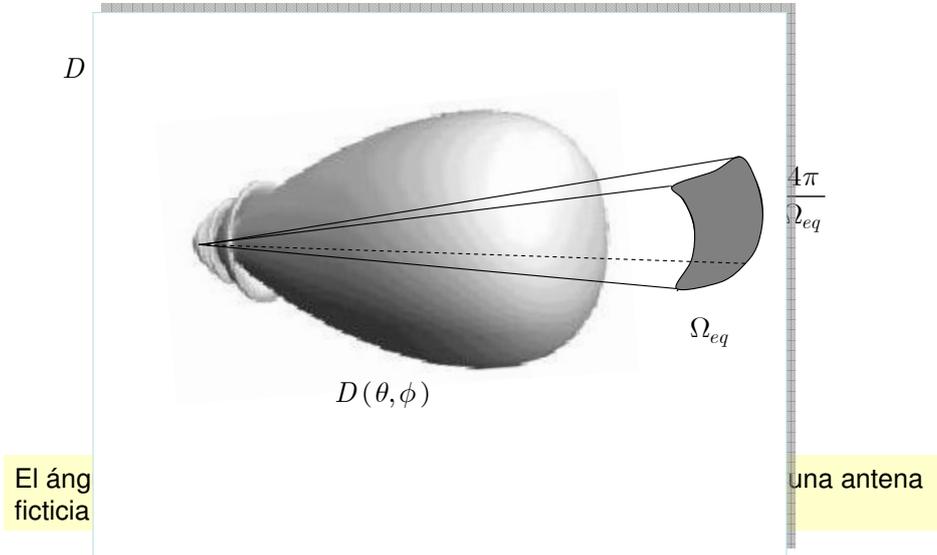
$$D = \frac{4\pi}{\Omega_{eq}}$$

$$\Omega_{eq} \triangleq \iint_{4\pi} t(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi = \int_{\Omega} t(\theta, \phi) d\Omega$$

El ángulo sólido equivalente de una antena es aquel ángulo sólido en el que una antena ficticia radiase la misma potencia de forma uniforme

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Ángulo sólido equivalente de una antena ( $\Omega_{eq}$ )

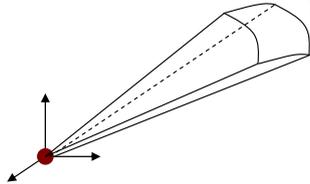


© Lorenzo Rubio Arjona. Departamento de Comunicaciones. UPV

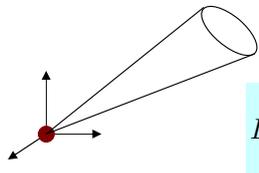
### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Aproximaciones para el cálculo de la directividad ( $D \gg 1$ )

##### □ Aproximación PIRAMIDAL

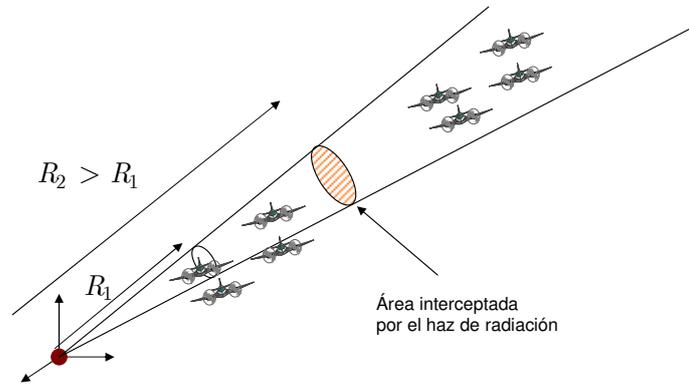

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \approx \frac{(\Delta\theta_{-3dB}R)(\Delta\phi_{-3dB}R)}{R^2} = \Delta\theta_{-3dB}\Delta\phi_{-3dB}$$
$$D = \frac{4\pi}{\Omega_{eq}} = \{\Omega_{eq} \approx \Omega\} \approx \frac{4\pi}{\Delta\theta_{-3dB}\Delta\phi_{-3dB}}$$

##### □ Aproximación TIPO PINCEL


$$D = \frac{4\pi}{\Omega_{eq}} = \left\{ \begin{array}{l} \Omega_{eq} \approx \Omega \\ \Delta\theta_{-3dB} \approx \Delta\phi_{-3dB} \end{array} \right\} \approx \frac{4\pi}{\Delta\theta_{-3dB}^2} \approx \frac{4\pi}{\Delta\phi_{-3dB}^2}$$

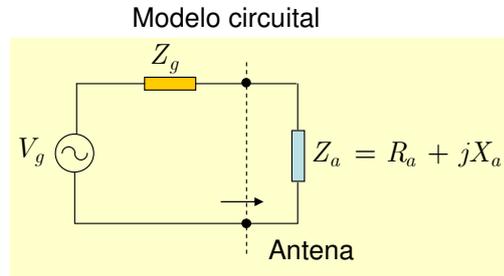
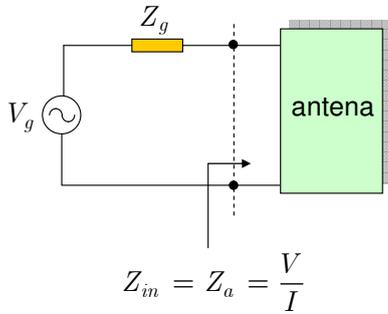
### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Resolución de una antena radar tipo pincel



### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Impedancia de una antena



$R_a(f) \equiv$  Resistencia de antena

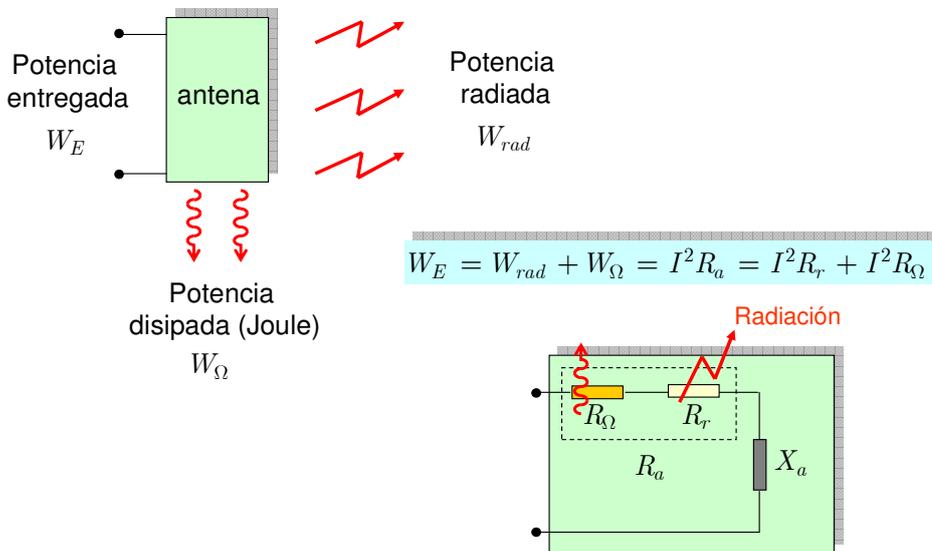
$X_a(f) \equiv$  Reactancia de antena

- Una antena es **resonante** a una frecuencia  $f_0$  cuando su reactancia es nula

$$Z_a(f_0) = R_a(f_0)$$

Presenta la ventaja de una fácil adaptación para máxima transferencia de potencia ( $50 \Omega$  y  $75 \Omega$  en LT)

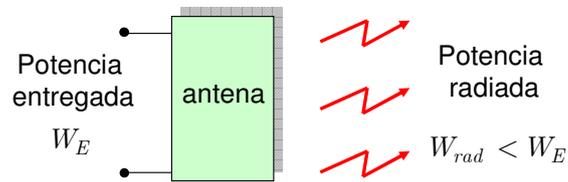
### 3.3. Parámetros en transmisión



La resistencia de radiación NO ES UN PARÁMETRO FÍSICO

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Eficiencia óhmica de una antena ( $\eta_t$ )

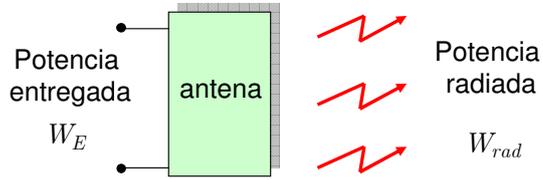


$$\eta_t \triangleq \frac{W_{rad}}{W_E}, \quad (0 \leq \eta_t \leq 1)$$

$$\eta_t \triangleq \frac{W_{rad}}{W_E} = \frac{I^2 R_r}{I^2 R_r + I^2 R_{\Omega}} = \frac{R_r}{R_r + R_{\Omega}} = \frac{R_r}{R_a} \Rightarrow \begin{cases} \text{Si } R_r \gg R_{\Omega} \Rightarrow \eta_t \simeq 1 \\ \text{Si } R_{\Omega} \gg R_r \Rightarrow \eta_t \simeq 0 \end{cases}$$

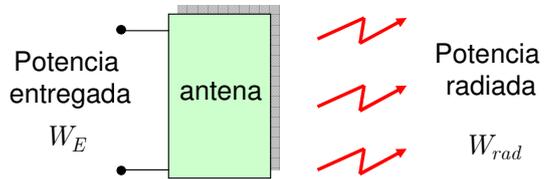
### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Ganancia de una antena ( $G(\theta, \phi)$ )



$$\left. \begin{aligned} D(\theta, \phi) &\triangleq \frac{\varphi(\theta, \phi)}{W_{rad}/4\pi r^2} \\ G(\theta, \phi) &\triangleq \frac{\varphi(\theta, \phi)}{W_E/4\pi r^2} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} G(\theta, \phi) &= \eta_t D(\theta, \phi) \\ G &= \eta_t D \end{aligned}$$

### 3.3. Parámetros en transmisión



□ PIRE = Potencia Isotrópica Radiada Efectiva

$$PIRE(W) = G \cdot W_E(W) = D \cdot W_{rad}(W)$$

$$PIRE(dBm) = G(dB) + W_E(dBm) = D(dB) + W_{rad}(dBm)$$

### 3.3. Parámetros en transmisión

#### Ancho de banda de una antena

**Definición:** Las dimensiones finitas de la antena, hacen que ésta sea efectiva sólo en un margen de frecuencias. Se denomina ancho de banda al margen de frecuencias en el que los parámetros de la antena no varían en exceso.

Puede ser definido sobre cualquier parámetro de los estudiados, aunque generalmente cuando se habla de ancho de banda suele hacerse referencia a la ganancia



Canales del 5 al 12 (Banda III)



Canales del 21 al 69 (TDT 66-69)