

TEMA 9: PROPAGACIÓN ATMOSFÉRICA – ANTENAS

Comunicaciones Inalámbricas

Marina Zapater

Primavera 2015

Departamento de Física Aplicada III, Universidad Complutense de Madrid



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Este tema se compone de dos bloques:

- **Antenas:** tipos, parámetros, diagrama de radiación
- **Propagación:** espacio libre y campo terrestre, efecto de la tierra plana, troposfera, ionosfera, etc.

Bibliografía:

Libro: Antenas, Angel Cardama. Tema 1 (para la parte de antenas)
y Tema 2 (para la parte de propagación)

Introducción

Tipos de antenas

Parámetros en transmisión

Parámetros en recepción

Ecuación de transmisión

INTRODUCCIÓN

- Una antena es la parte del sistema receptor o transmisor con capacidad de radiar la potencia suministrada con una direccionalidad adecuada (definición de IEEE)
- Las características de impedancia y radiación de la antena están regidas por las ecuaciones de Maxwell.
- La antena es capaz de transportar una corriente variable con el tiempo:

$$\Delta \times H = j\omega \epsilon_0 E + J$$

$$\Delta \times E = -j\omega \mu_0 H$$

- Una vez radiado, el campo se propaga sin necesidad de la fuente, por el acoplo entre campo eléctrico y magnético, y gracias a las características del espacio libre.

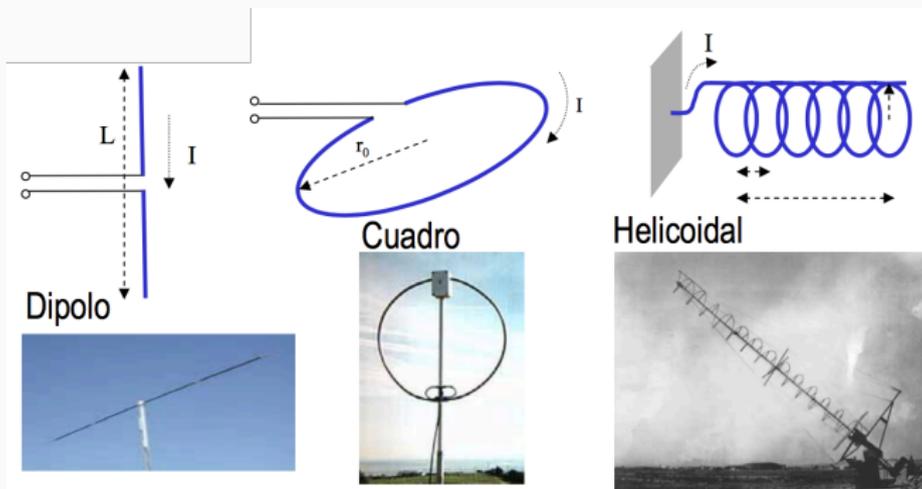
- El espacio libre es homogéneo → tiene características constantes de permitividad, permeabilidad, conductividad, etc.
- Es eléctrica y magnéticamente isótropo
- Tiene conductividad nula y su permeabilidad es la del vacío
- Por tanto se adapta a la definición de un dieléctrico perfecto

TIPOS DE ANTENAS

- Distinguimos tres tipos de antenas diferentes:
 - Alámbricas (o lineales)
 - Antenas de apertura o reflectores
 - Agrupaciones o arrays de antenas

TIPOS DE ANTENAS: ALÁMBRICAS

- Construidas con hilos conductores que soportan la corriente que da lugar a los campos radiados
- Son los dipolos, espiras, hélices, etc.
- Corriente y carga varían de forma armónica con el tiempo
- Uso en radiodifusión, HF, LF



TIPOS DE ANTENAS: DIPOLO

- En general la intensidad en un dipolo es:
 $I(z) = I_0 \text{sen}[k_0 \frac{L}{2} - |z|]$ con $|z| < \frac{L}{2}$
- En función de L , tendremos dipolos de $\lambda/2$, o dipolos cortos (si $L \ll \lambda$)
- Forma de onda de la corriente sobre el dipolo:

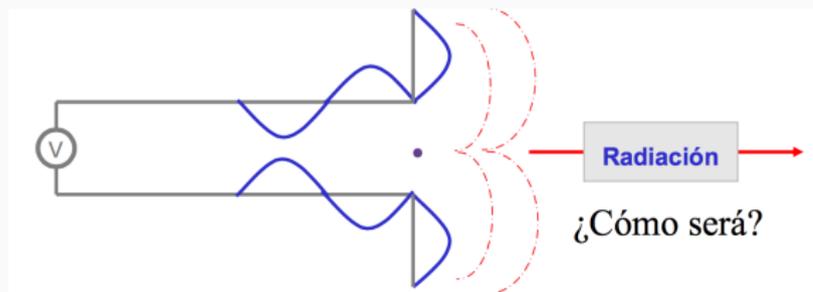
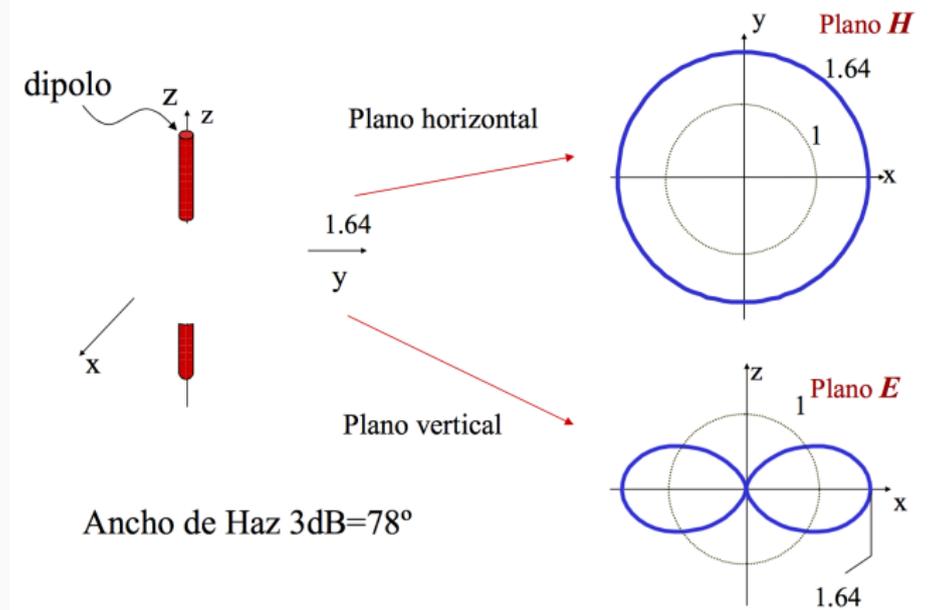
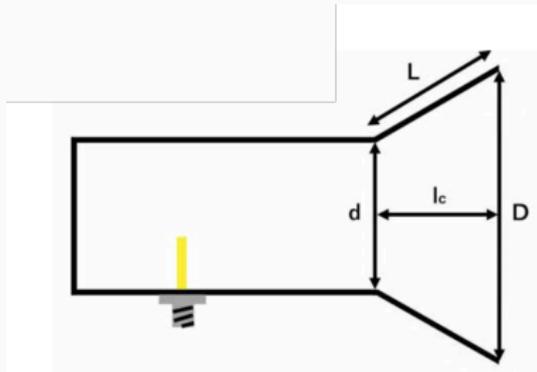


Diagrama de radiación del dipolo



- La onda radiada se genera a partir de una distribución de campos soportados por la antena y generados con una guía de onda.
- Es el caso de las bocinas o ranuras



TIPOS DE ANTENAS: APERTURAS Y REFLECTORES

- El reflector permite disponer de comunicaciones a grandes distancias. El más común es el reflector parabólico.
- Uso en radioenlaces de servicio fijo
- Comunicaciones por satélite
- Radiodifusión



- Cuando queremos características de radiación que no podemos encontrar con una s ola antena, recurrimos a agrupaciones o arrays de antenas.



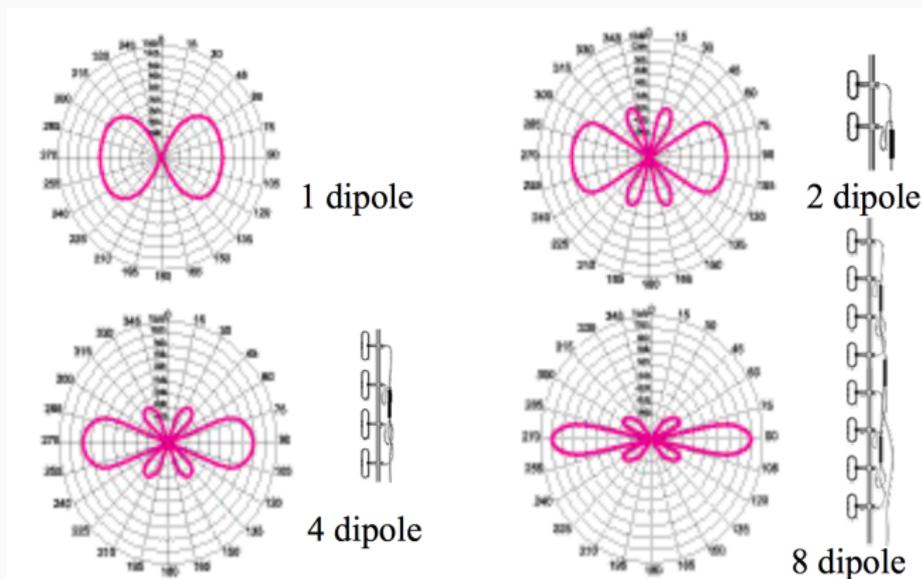
DWA-552 > Xtreme N Desktop Adapter



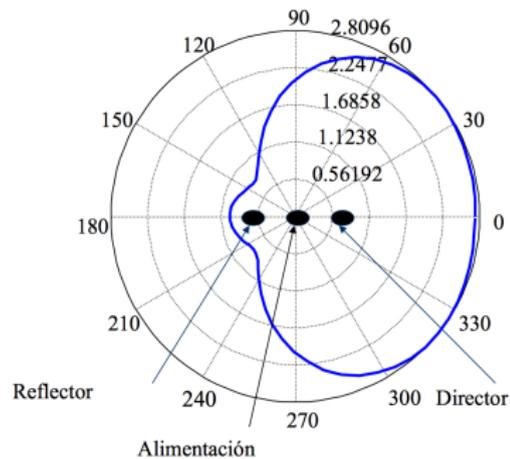
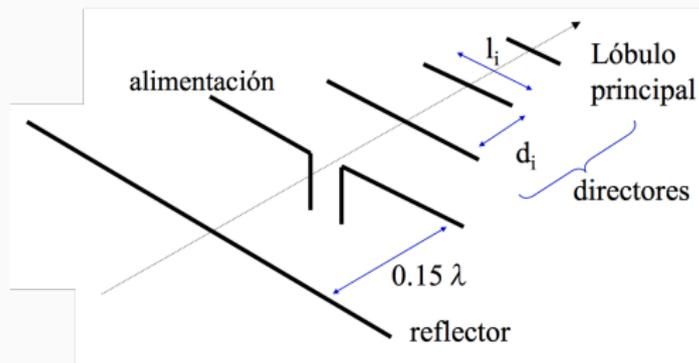
Linksys WAP51AB Access Point

TIPOS DE ANTENAS: ARRAYS O AGRUPACIONES

- Ejemplo de diagrama de radiación de las agrupaciones de antenas



- Está formada por la alimentación, reflectores y directores



- En función de la aplicación, se combina un número diferente (entre 1 y 20) de elementos directores

VHF	FM-Radio	88MHz-108MHz	3 elementos
	TV (Baja)	54MHz-88MHz	3 elementos
	TV (High)	174MHz-216MHz	5-6 elementos
UHF	TV	470MHz-890MHz	10-12 elementos
Elementos de la antena Yagi-Uda en bandas de frecuencia VHF y UHF			

- Parámetros de antenas en transmisión
 - Impedancia
 - Intensidad de radiación
 - Diagrama de radiación
 - Directividad
 - Ancho de banda
- Parámetros de antenas en recepción
 - Adaptación
 - Área y longitud efectiva

PARÁMETROS EN TRANSMISIÓN

- La antena se conecta a un transmisor y tiene que radiar la máxima potencia con las mínimas pérdidas → adaptar para máxima transferencia de potencia.
- Podemos entender la potencia radiada como la potencia que caería sobre una resistencia equivalente R_r , que representa la potencia enviada al espectro:

$$P_{radiada} = I^2 R_r$$

- La resistencia de radiación se suele expresar en función de las dimensiones de la antena en relación a la longitud de onda
- En general, R_r es pequeña y para radiar la corriente tiene que ser alta.
- Por ejemplo, en un dipolo: $R_r = 20\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$

PARÁMETROS DE ANTENAS EN TRANSMISIÓN: IMPEDANCIA

- Las pérdidas ohmicas de la antena pueden englobarse en una resistencia de pérdidas P_{Ω}

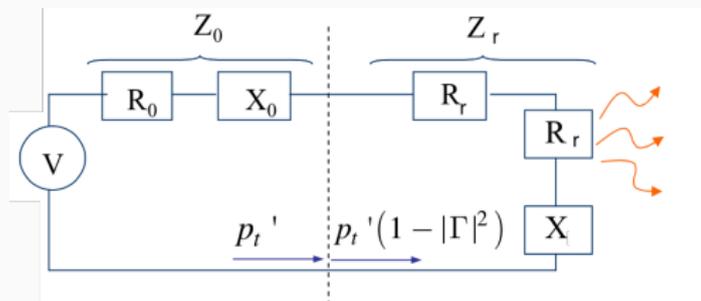
$$P_{entregada} = P_{radiada} + P_{perdidas} = I^2 R_r + I^2 R_{\Omega}$$

- Y por tanto podemos definir la eficiencia de la antena como:

$$\eta_p = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_r}{R_r + R_{\Omega}}$$

- A la expresión anterior también le podemos incluir las pérdidas por desadaptación: $\eta_d = 1 - |\Gamma|^2$, donde $\Gamma = \frac{Z_r - Z_0}{Z_r + Z_0}$
- Obteniendo un rendimiento total: $\eta_l = \eta_p \cdot \eta_d$, donde

$$P_r = \eta_l \cdot P_e$$



- Una característica fundamental de las antenas es radiar en cierta dirección → concentrar energía en una dirección del espacio.
- En general, para definir la densidad de potencia de radiada, utilizamos coordenadas esféricas.
- Definimos la densidad de potencia radiada:

$$\mathcal{P}(\theta, \phi) = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{\eta} \text{ con unidad } [W/m^2],$$

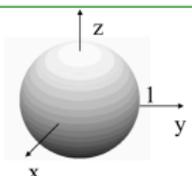
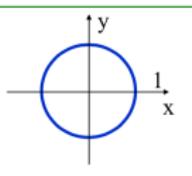
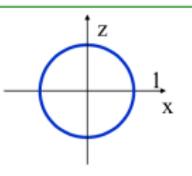
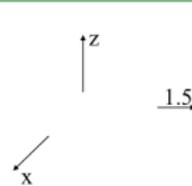
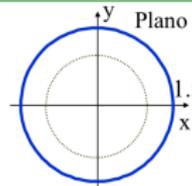
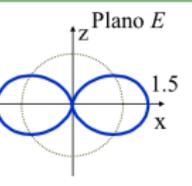
donde η es la impedancia característica del medio, y es 120π en el vacío.

- De la expresión anterior, podemos obtener la potencia radiada haciendo la integral en la superficie esférica:

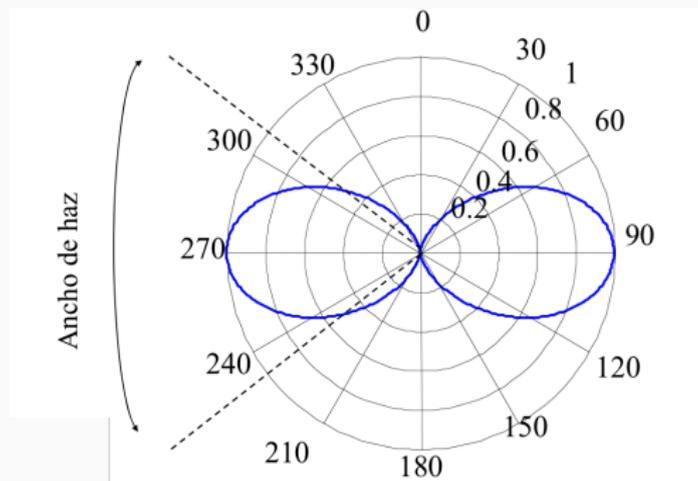
$$P_r = \int \int_S \mathcal{P}(\theta, \phi) ds$$

PARÁMETROS DE ANTENAS EN TX: DIAGRAMA DE RADIACIÓN

- Representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena en función de las direcciones del espacio.

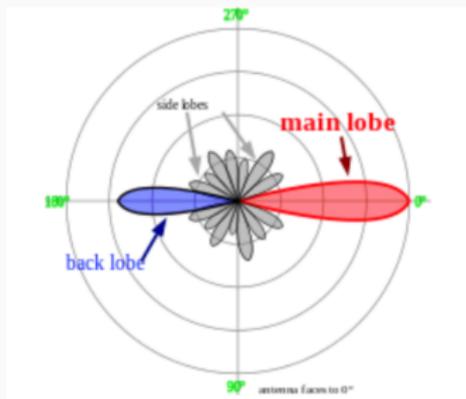
	Patrón 3D	Corte Horizontal	Corte Vertical
Antena Isótropa			
Elemento de Corriente			

- La más común es la representación del **diagrama polar**, representado en decibelios o en escala lineal.
- El máximo cuando se expresa en dB es 0, y el resto de valores negativos.



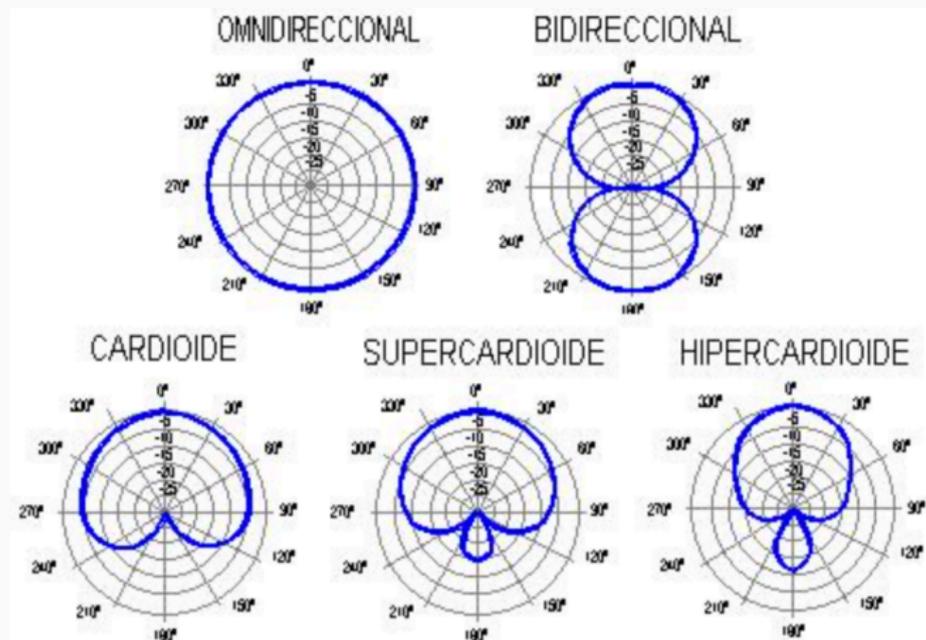
PARÁMETROS DE ANTENAS EN TX: DIAGRAMA DE RADIACIÓN

- Se define el lóbulo principal (mayor potencia), laterales y secundarios.
- Se define el ancho de haz a -3dB ($\Delta\theta_{-3dB}$) como la separación angular de las direcciones en que el campo alcanza la mitad de la potencia.
- Se define el NLPS: Relación lóbulo principal a secundario (en dB)



PARÁMETROS DE ANTENAS EN TX: DIAGRAMA DE RADIACIÓN

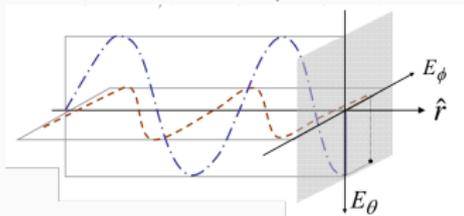
Algunos diagramas de radiación comunes son:



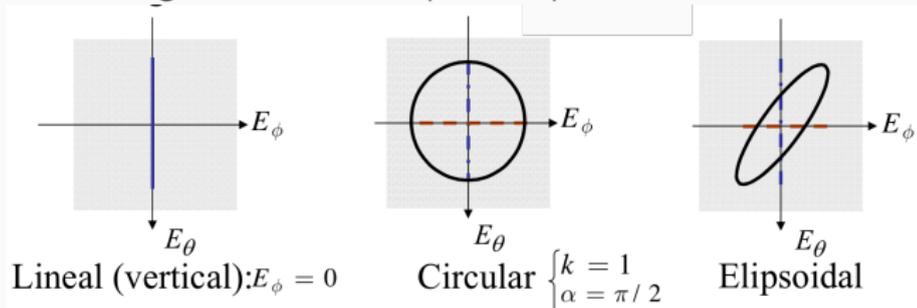
PARÁMETROS DE ANTENAS EN TX: POLARIZACIÓN

- El campo (lejano) eléctrico para cualquier antena se puede escribir como:

$$\vec{E} = E_{\theta}\vec{\theta} + E_{\phi}\vec{\phi} = E_{\theta}\vec{\theta} + kE_{\theta}e^{j\alpha}\vec{\phi}$$



- Dando lugar a diversos tipos de polarización:



- La directividad es la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección dada y la que radiaría una antena isótropa a esa misma distancia:

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

- Si no se especifica un ángulo, se entiende que hablamos de la directividad en la dirección de la potencia máxima:

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

- La directividad se puede conocer a través del diagrama de radiación

- Si tenemos un único lóbulo principal y varios lóbulos secundarios muy reducidos, podemos expresar la directividad en función del ancho de haz del lóbulo principal en los planos principales del diagrama de radiación:

$$D = \frac{4\pi}{\Delta\theta_1 \cdot \Delta\theta_2}$$

- La ganancia de una antena está directamente asociada a la directividad. Ambas son iguales para una antena sin pérdidas:

$$G(\theta, \phi) = \eta_l D(\theta, \phi)$$

- Todas las antenas, debido a su geometría, operan dentro de un ancho de banda determinado, en el que se cumplen determinadas características.

- Definiremos el ancho de banda como:

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_0} \text{ (generalmente en porcentaje)}$$

- ... o bien para antenas de banda ancha como: $BW = \frac{f_{max}}{f_{min}} : 1$
- El ancho de banda estará afectado por el coeficiente de reflexión de la antena y la Relación de Onda Estacionaria (ROE)

PARÁMETROS EN RECEPCIÓN

- La antena actúa como un sensor: capta una onda incidente sobre ella y la transmite al receptor.
- Para que haya una máxima transferencia de potencia, tiene que haber adaptación
- La impedancia de la antena receptora es la misma que la de la emisora:

$$P_{L,max} = \frac{|V_{ca}|^2}{4R_a} \text{ y es máxima si } Z_L = Z_a^*$$

- En general, podemos tener pérdidas por desadaptación, que se expresan mediante el coeficiente de desadaptación C_a

$$P_L = P_{L,max}C_a = P_{L,max}(1 - |\Gamma|^2), \quad \text{donde } C_a = \frac{4R_aR_L}{(R_a+R_L)^2+(X_a+X_L)^2}$$

- La antena tiene una cierta área de captación, definida como la relación entre la potencia que la potencia entrega a su carga y la densidad de potencia de la onda incidente:

$$A_{ef} = \frac{P_L}{P}$$

- Este concepto lleva implícita la relación con impedancia de carga y adaptación:

$$\text{si } P = \frac{|E|^2}{\eta} \rightarrow A_{ef} = \frac{l_{ef}^2 \eta}{4R_a}$$

$$\text{donde } l_{ef} = \frac{|V_{ca}|}{|E|}$$

ECUACIÓN DE TRANSMISIÓN

- En una antena isótropa, se cumple que: $P = \frac{P_r}{4\pi r^2}$
 - Al doblar la distancia, la densidad de potencia se reduce 1/4 (6dB).
 - Los campos de las antenas se reducen inversamente con la distancia.
- Podemos definir el PIRE (Potencia Radiada Isótropa Equivalente) (dBW) como: $PIRE = P_r D = P_e G$

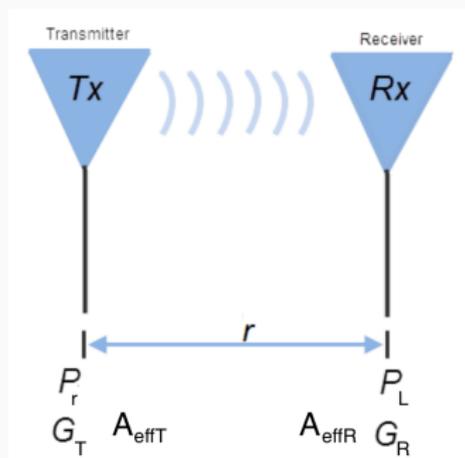
ECUACIÓN DE TRANSMISIÓN: FRIIS

- Para dos antenas separadas una distancia 'r' y conectadas a transmisor y receptor, la ecuación de Friis establece la relación entre potencia recibida y radiada.

- La potencia que la antena receptora entrega a la carga es:

$$P_L = \frac{P_r}{4\pi r^2} D_T A_{effR}$$

- Definimos las pérdidas de transmisión como: P_L/P_r



- Si tuviéramos desadaptación habría que incluir C_a
- También podríamos incluir un coeficiente C_m por desacoplo de polarización.
- La ecuación se puede reescribir en términos de la directividad de la antena receptora:

$$\frac{A_{effR}}{D_R} = \frac{\lambda^2}{4\pi}, \text{ y por tanto } \frac{P_L}{P_r} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 D_T D_R$$

- En el término anterior, podemos aislar las pérdidas de transmisión en espacio libre $L_0 = \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2$
- Y expresar las pérdidas en transmisión (en dB) como:

$$P_L/P_r = -L_0 + D_T + D_R - L$$

donde L engloba desadaptaciones de antena y pérdidas

PREGUNTAS?