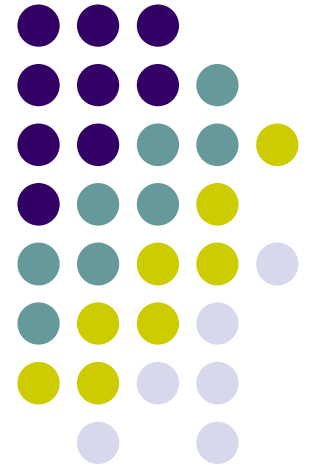




PRINCIPIOS BASICOS EN TELECOMUNICACIONES

PROPAGACION DE SEÑALES





EL DECIBEL dB

- Se denomina dB a la unidad empleada en Acústica y Telecomunicación para expresar la relación entre dos potencias.
- Es una unidad logarítmica y es la décima parte del belio, pero que no se utiliza por ser demasiado grande en la práctica.



- El belio recibió este nombre en honor de Alexander Graham Bell, considerado como inventor del teléfono
- Es una unidad de medida adimensional y relativa (no absoluta), que es utilizada para facilitar el cálculo y poder realizar gráficas en escalas reducidas



- El dB relaciona la potencia de entrada y la potencia de salida en un circuito, a través de la fórmula:

$$N(dB) = 10 * \log \left(\frac{P2}{P1} \right)$$

- **Donde:**

N = nivel de potencia de la señal

P1 = Potencia de la señal en el punto 1

P2 = Potencia de la señal en el punto 2



- Se puede usar para medir ganancia o atenuación (una ganancia negativa significa atenuación)
- Una ganancia de 3dB significa que la potencia de salida será el doble de la de entrada.
- Una atenuación de 3 dB (ganancia de -3dB) significa que la potencia de salida será la mitad de la de entrada.



- **(dbm)** El dBm es una unidad de medida utilizada en telecomunicaciones para expresar la potencia absoluta mediante una relación logarítmica.
- El dBm se define como el nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1 mW.



- El valor en dBm en un punto, donde tenemos una potencia P , viene dado por la fórmula siguiente:

$$N(dBm) = 10 * \log \left(\frac{P}{1mW} \right)$$



- Para convertir una potencia en dBm a mW se utiliza la siguiente fórmula:

$$P(mW) = 10^{\frac{P(dBm)}{10}}$$

- Que no es otra cosa que buscar al antilogaritmo de la expresión de la diapositiva anterior.

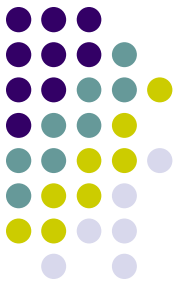
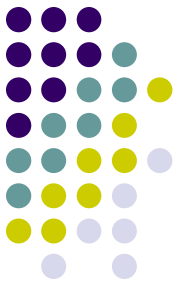


Tabla para cálculo de ganancia o atenuación

dB	Factor
3	* 2
2	* 1.6
1	* 1.25



Potencia de la señal

- Atenuación: Una señal, al ser propagada por un medio, sufre de pérdida o atenuación de su potencia.
- Es necesario el uso de amplificadores.



Potencia de la señal

- El decibel hace referencia a magnitudes relativas o cambios en la magnitud y no a un nivel absoluto.
- Es importante poder hacer referencia a valores absolutos de potencia y voltaje en decibeles y así facilitar los cálculos de pérdidas y ganancias.



Potencia de la señal

- El dBW (decibel-watt) es usado para referirse al nivel absoluto de potencia en decibeles, y se define como:

$$\text{Potencia(dBW)} = 10 \log (P(W)/ 1W)$$

- El valor de 1 W es escogido como referencia y definido como 0 dBW.



Potencia de la señal

- Ejemplo:
- Una potencia de 1000 W es equivalente a +30 dBW.
- Una potencia de 1 mW es equivalente a -30 dBW.



Potencia de la señal

- El dBmV (decibel-milivolt) es usado para referirse al nivel absoluto de voltaje en decibeleles, y se define como:

$$\text{Potencia(dBmV)} = 20 \log (\text{Voltage(mV)} / 1\text{mV})$$

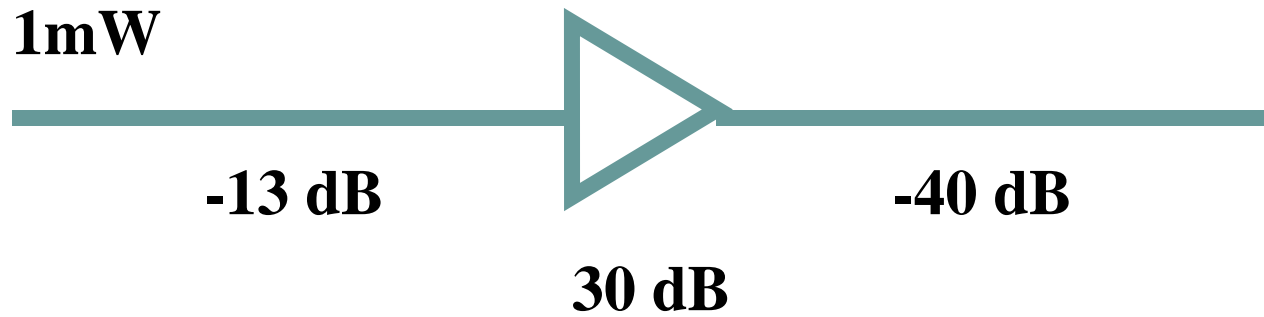
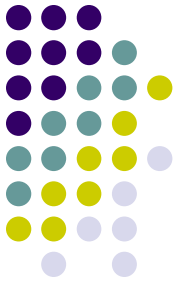
- El valor de 1 mV es escogido como referencia y definido como 0 dBmV.



Ejemplo 1

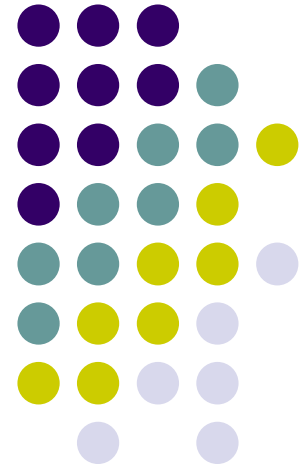
- Considere un enlace punto a punto que consiste de una línea de transmisión y un amplificador en medio.
- Si la pérdida en la primera parte de la línea es de 13 dB, la ganancia del amplificador es de 30 dB, y la pérdida en la segunda parte de la línea es de 40 dB, calcule la pérdida (o ganancia) total en dB.

Ejemplo 1





PRESUPUESTO DE POTENCIA (BALANCE DEL ENLACE)



CONSIDERACIONES



- Independientemente del equipamiento de una red inalámbrica y del despeje de la línea de vista, necesita calcular el presupuesto de potencia de enlace.
- Sobrecargar un radioenlace no hará que las cosas mejoren para su implementación y causará problemas a otros usuarios del espectro.



PRESUPUESTO DE POTENCIA

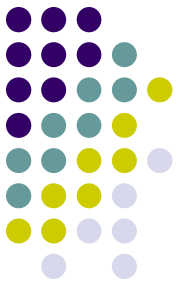
- Es el cálculo de ganancias y pérdidas desde el radio transmisor hacia el receptor.
- La estimación del valor de potencia en diferentes partes del radioenlace es necesaria para realizar el diseño y elegir el equipamiento adecuado.



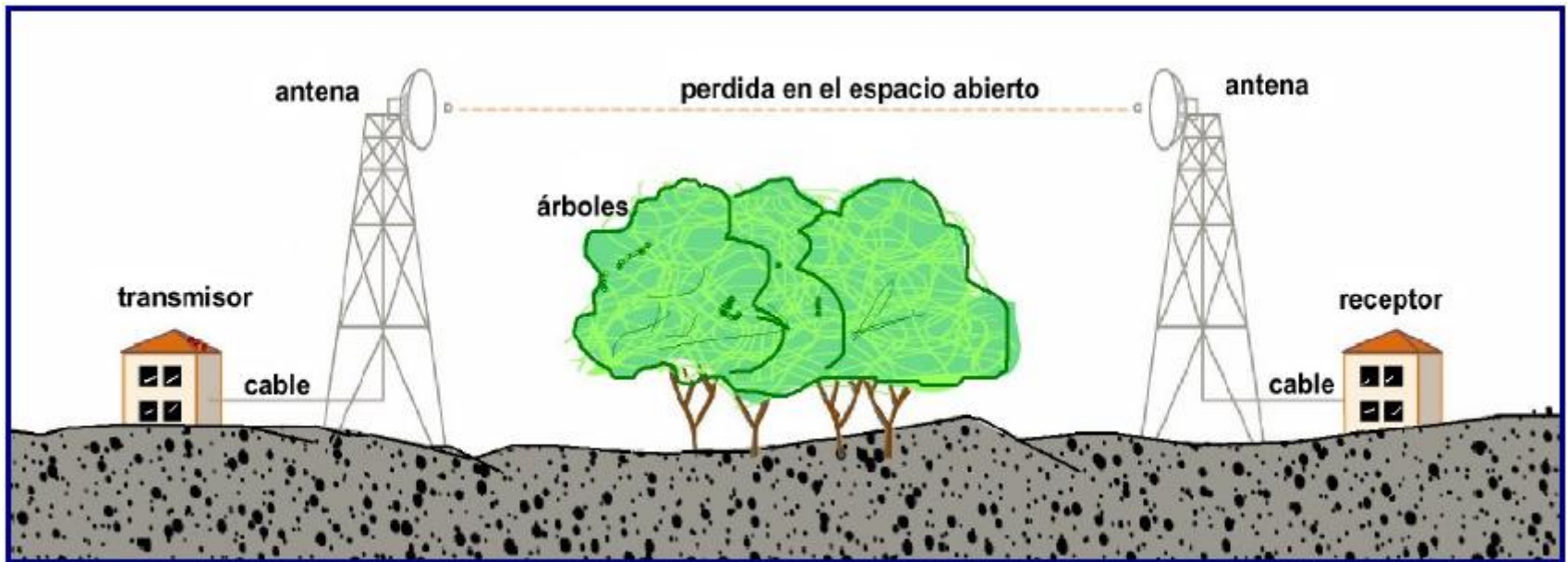
LOS ELEMENTOS DEL ENLACE

- Equipo de Tx con potencia efectiva de transmisión.
- Pérdidas en la propagación en el trayecto.
- Equipo Rx con efectiva sensibilidad receptiva (*effective receiving sensibility*).

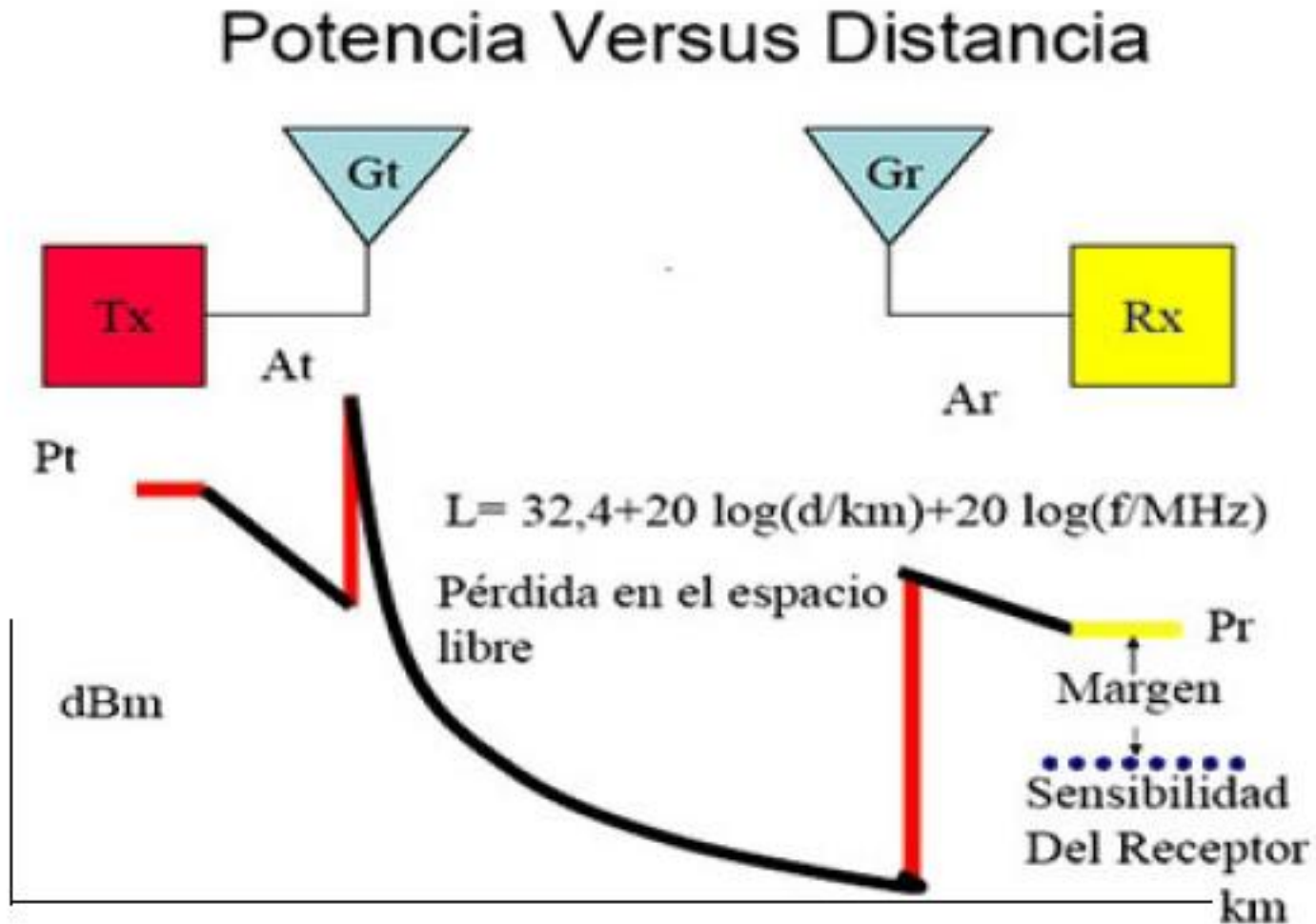
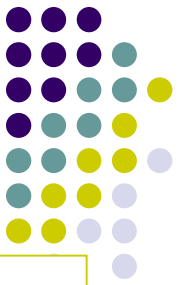
Definición



- Un presupuesto de potencia de un enlace es la suma de todos los aportes (en dB) en el trayecto del Tx al Rx.



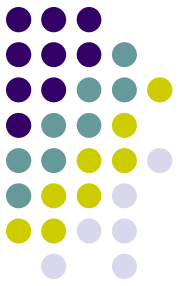
Potencia en dBm en función de la distancia y la frecuencia





Elementos de un balance de potencia

- Potencia de Transmisión (P_t)
- Atenuación del cable o guía de onda del Tx (A_t)
- Ganancia de la Antena de Transmisión (G_t)
- Pérdidas en el espacio libre, Friis (L)
- Atenuación del cable o guía de onda del Rx (A_r)
- Ganancia de la Antena de Recepción (G_r)
- Sensibilidad del Rx (-dBm)



Fórmula de Friis

- $L_{bf} = 92,45 + 20 \log f(\text{GHz}) + 20 \log d(\text{Km})$
- $L_{bf} = 32,45 + 20 \log f(\text{MHz}) + 20 \log d(\text{Km})$
- Sirve para calcular las pérdidas básicas en un trayecto, es función de la frecuencia y la distancia, su unidad son los dB.

Balance de Potencia



$$Pr = Pt - At + Gt - L + Gr - Ar$$

- Unidades:

$$Pr \text{ [dBm]} = Pt \text{ [dBm]} - At \text{ [dB]} + Gt \text{ [dBi]} - L \text{ [dB]} + Gr \text{ [dBi]} - Ar \text{ [dB]}$$

- La Pr se compara con la sensibilidad del Rx y se verifica si el enlace es viable o no

Valores típicos de Atenuación en los cables



<i>Tipo de cable</i>	<i>Pérdida [db/100m]</i>
LMR-200	50
LMR-400	22
Aircom plus	22
LMR-600	14
Flexline de 1/2"	12
Flexline de 7/8"	6,6
C2FCP	21
Heliax de 1/2 "	12
Heliax de 7/8"	7

Pérdidas en los conectores

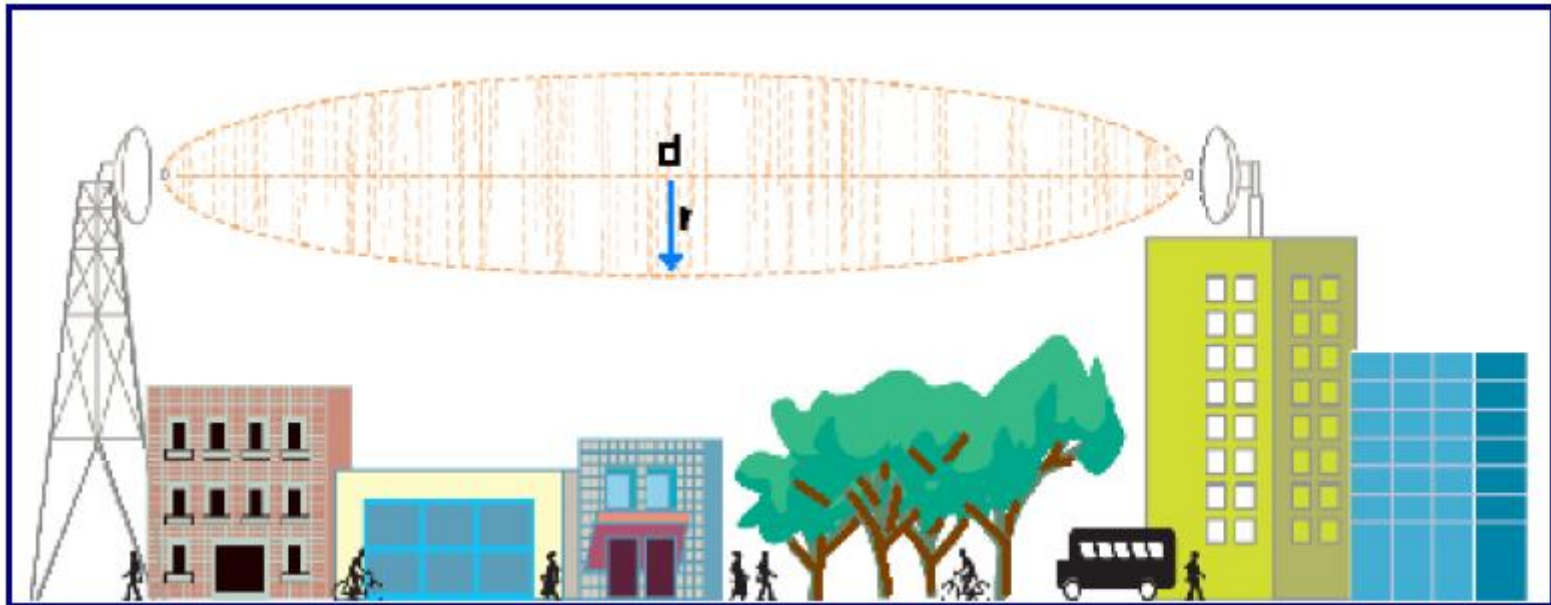


- Estos valores son para conectores hechos en fábrica, los conectores “caseros” implican pérdidas mayores.
- Se considera pérdidas de 0,3 a 0,5 dB por conector como regla general.
- Además, los protectores contra descargas eléctricas de buena calidad introducen 0,2 dB cada uno.

LA 1ª ZONA DE FRESNEL



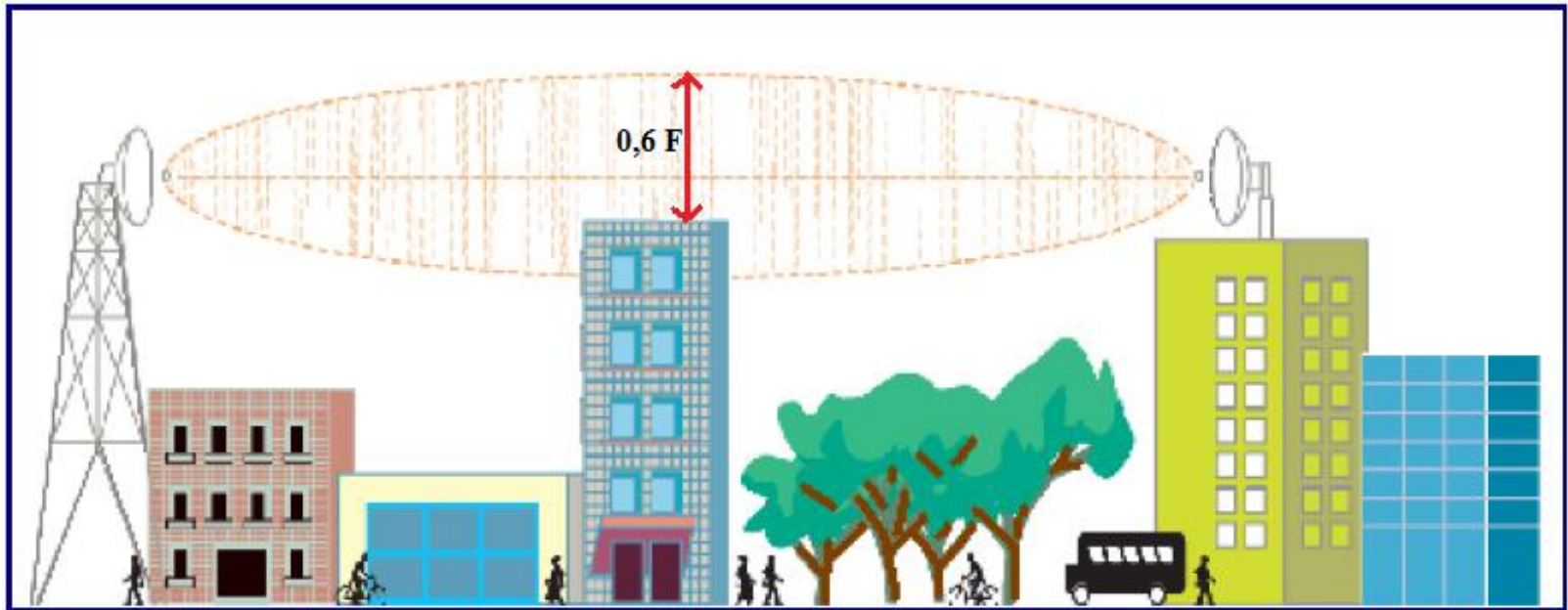
- Teniendo como punto de partida el principio de Huygens, se puede calcular la primera zona de Fresnel, el espacio alrededor del eje que contribuye a la transferencia de potencia desde el Tx hacia el Rx.





DESPEJE DE LA 1ª ZONA DE FRESNEL

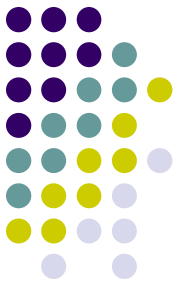
- Lo ideal es que la 1ª zona de Fresnel no esté obstruida, pero normalmente es suficiente despejar el 60% del radio de la primera zona de Fresnel para tener un enlace satisfactorio.





- En aplicaciones críticas, se debe calcular para condiciones anómalas de propagación, en las cuales las ondas de radio se curvan hacia arriba y por lo tanto se requiere altura adicional en las torres.
- Para grandes distancias hay que tomar en cuenta también la curvatura terrestre que introduce una altura adicional que deberán despejar las antenas.

SENSIBILIDAD DEL RECEPTOR



- Parámetro que merece especial atención, identifica el valor mínimo de potencia que necesita para poder decodificar/extraer “bits lógicos” y alcanzar una cierta tasa de bits.
- Cuanto mas baja sea la sensibilidad, mejor será la recepción del radio.
- Valores típicos:
 - -82 dBm en un enlace de 11 Mbps
 - -94 dBm para uno de 1 Mbps
 - Varía según el fabricante



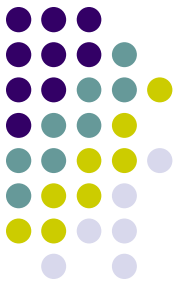
Valores de la sensibilidad del Rx en las tarjetas de Red inalámbricas

<i>Tarjeta</i>	<i>11 Mbps</i>	<i>5,5 Mbps</i>	<i>2 Mbps</i>	<i>1 Mbps</i>
Orinoco cards PCMCIA Silver/Gold	-82 dBm	-87 dBm	-91 dBm	-94 dBm
Senao 802.11b card	-89	-91	-93	-95

RELACIÓN SNR



- No es suficiente que la señal que llega al receptor sea mayor que la sensibilidad del mismo, sino que además se requiere que haya cierto margen para garantizar el funcionamiento adecuado.
- La relación entre el ruido y la señal se mide por la tasa de señal a ruido (SNR).
- Un requerimiento típico de la SNR es 16 dB para una conexión de 11 Mbps y 4 dB para la velocidad más baja de 1 Mbps.



- En situaciones donde hay muy poco ruido el enlace está limitado por la sensibilidad del receptor.
- En áreas urbanas donde hay muchos radioenlaces operando, es común encontrar altos niveles de ruido (como -92 dBm).
- En esos escenarios, se requiere un margen mayor de SNR.
- En condiciones normales sin ninguna otra fuente en la banda de 2.4 GHz, el nivel de ruido es alrededor de los -100 dBm.



OTROS CONCEPTOS

- **Presupuesto de enlace / Presupuesto de Potencia / Ganancia del Sistema**
- Estos conceptos significan básicamente lo mismo: un cálculo de potencia de la señal a lo largo de la trayectoria de la misma.



OTROS CONCEPTOS

- **Margen del sistema**
- Corresponde a la diferencia entre el valor de la señal recibida y la sensibilidad del receptor.

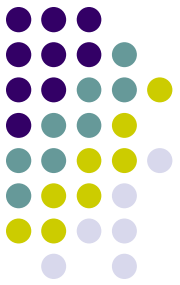


OTROS CONCEPTOS

- **EIRP ó PIRE (Potencia Irradiada Isotrópica Efectiva)**
- La PIRE está regulada por ARCOTEL
- La misma especifica la potencia máxima legalmente permitida para ser enviada al espacio abierto en un área/país específico.

PIRE

- El límite legal en Europa es 100 mW, en algunos escenarios muy particulares (enlaces punto a punto) y en otros países este máximo es de 4 W (Bandas).
- La PIRE es una medida de la potencia que se está enfocando en una determinada región de espacio, determinada por las características de la antena transmisora.
- La PIRE es el resultado de restar pérdidas de potencia en el cable y conectores y sumar la ganancia relativa de antena a la potencia del transmisor.

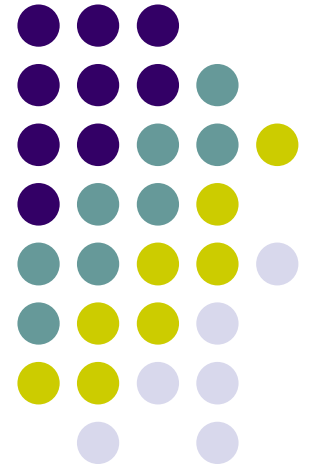




- $\text{PIRE (dBm)} = \text{Pt (dBm)} - \text{At} - \text{Ac (dB)} + \text{Gt (dBi)}$
 - Pt: potencia de Tx
 - At: atenuación en el cable de Tx
 - Ac: atenuación en los conectores
 - Gt: Ganancia de la antena de Tx



ANTENAS





- Una antena es un dispositivo que radia y/o recibe ondas electromagnéticas



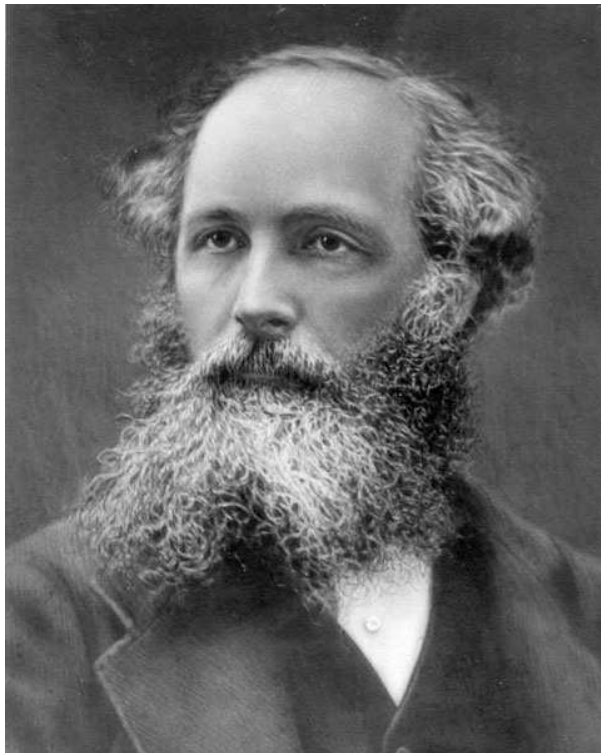


- Es la transición entre un dispositivo de guiado y el espacio libre.
- Convierte eficientemente la energía guiada que le llega en energía radiada al espacio libre
- La potencia radiada tiene un cierto patrón de distribución en el espacio
- Envía la energía y la información que ella contiene a unas determinadas direcciones del espacio

HITOS HISTÓRICOS

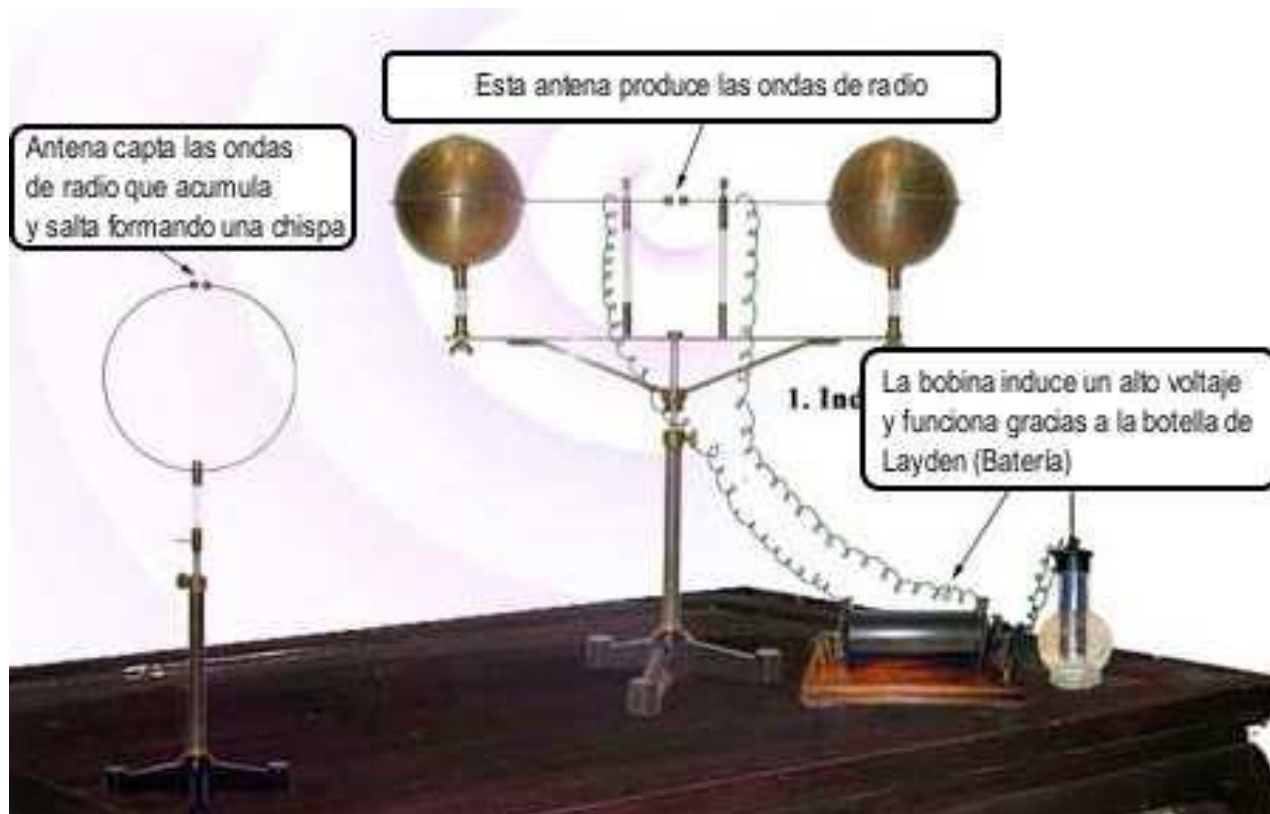


- 1873. James Clerk MAXWELL formula el modelo matemático de electromagnetismo (Ecuaciones de Maxwell)
- La luz es una onda electromagnética y todas las ondas EM se propagan por el espacio con
- la misma velocidad, la velocidad de la luz.



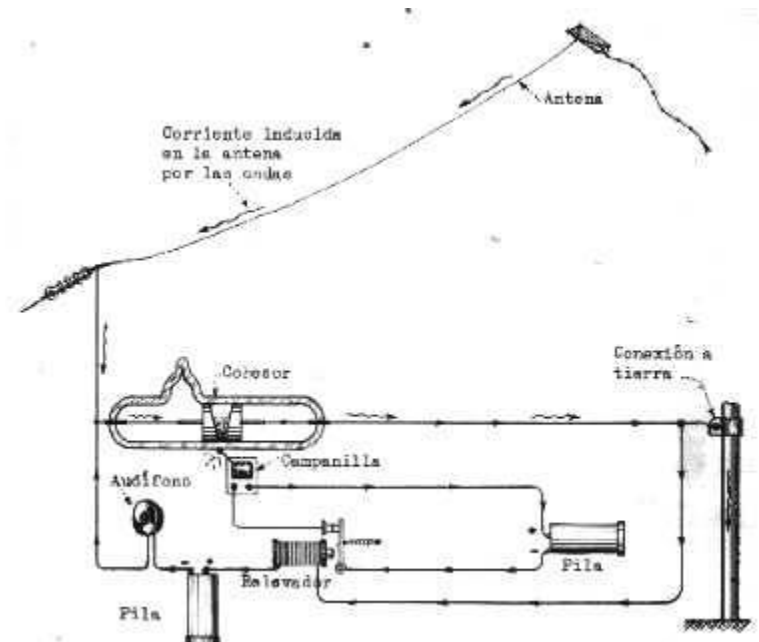
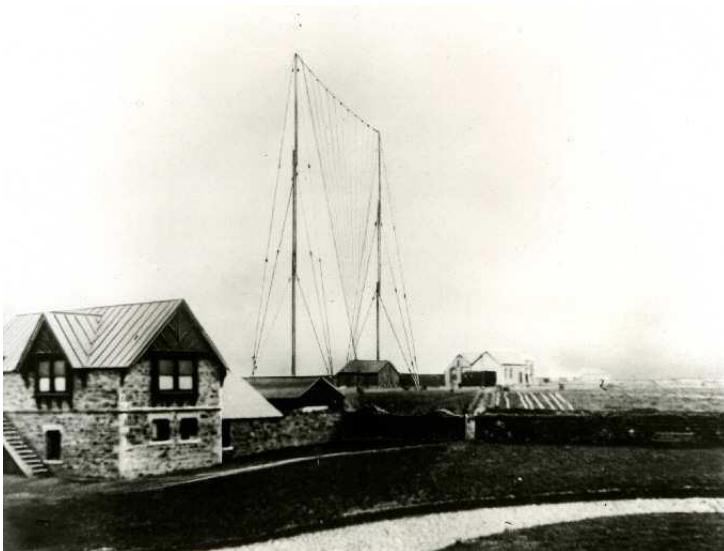
En el vacío	Caso general
$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho$
$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$	$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$
$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$
$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$	$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

- 1886 Rudolph Heinrich HERTZ prueba la teoría electromagnética de Maxwell
- Crea el primer sistema inalámbrico de transmisión de ondas

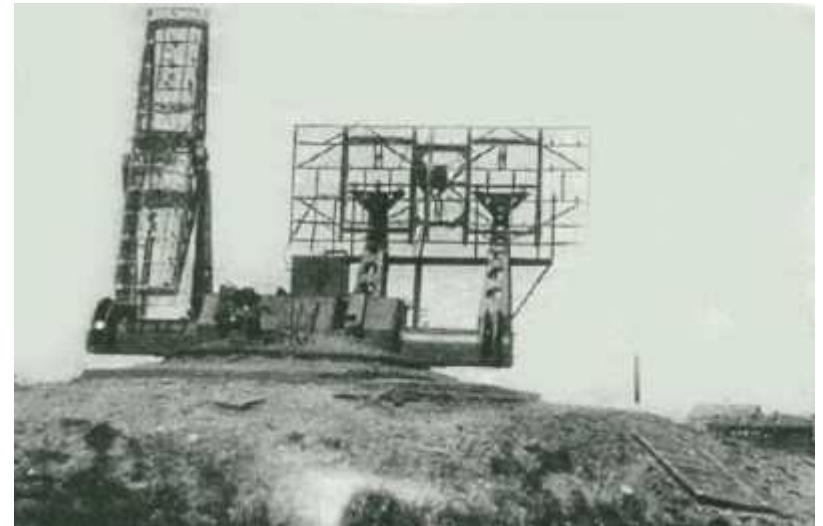
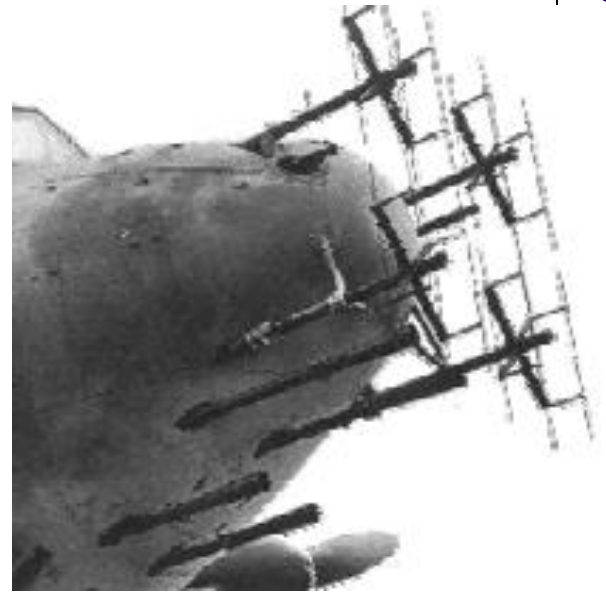




- En 1901 Guillermo MARCONI realiza la primera comunicación transoceánica entre Gran Bretaña y Terranova
- Antena emisora: monopolo en abanico 820 KHz ($\lambda \approx 366\text{m}$)
- Antena receptora: hilo metálico suspendido de una cometa



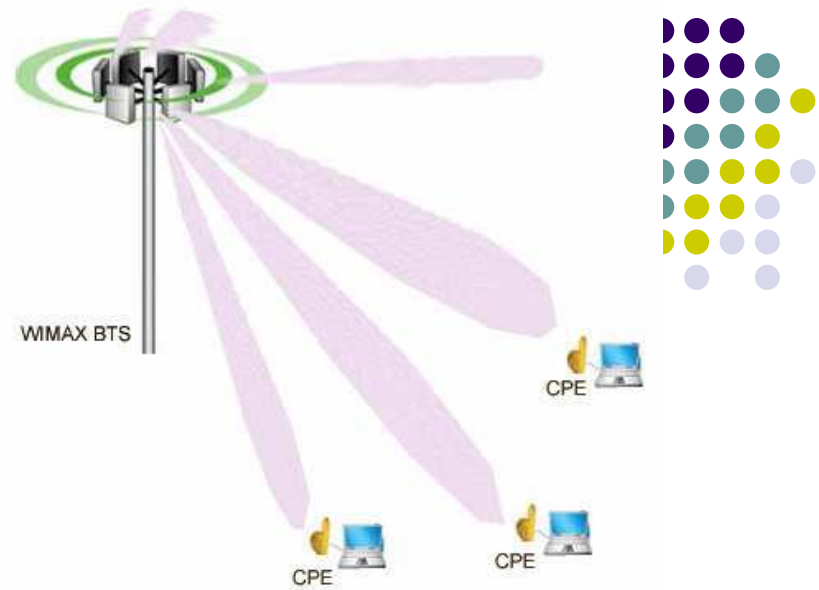
- II Guerra mundial:
 - Radar y
 - telecomunicaciones:
 - Aperturas
 - Reflectores
 - Arrays
 - Radar....



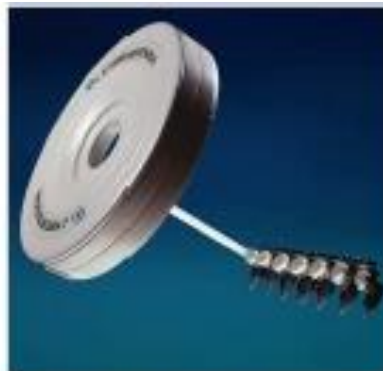


- 2ª mitad S.XX
- Desarrollo tecnología de microondas:
- Radioastronomía y comunicaciones vía satélite:
 - Reflectores y arrays
- Comunicaciones móviles y personales:
 - Tecnologías impresas





- Tendencias actuales
- Antenas reconfigurables para comunicaciones via satélite.
- Miniaturización e integración de elementos radiantes. Tecnología impresa. Antena activa.
- Arrays adaptativos: procesamiento de las señales individuales de los elementos sensores.

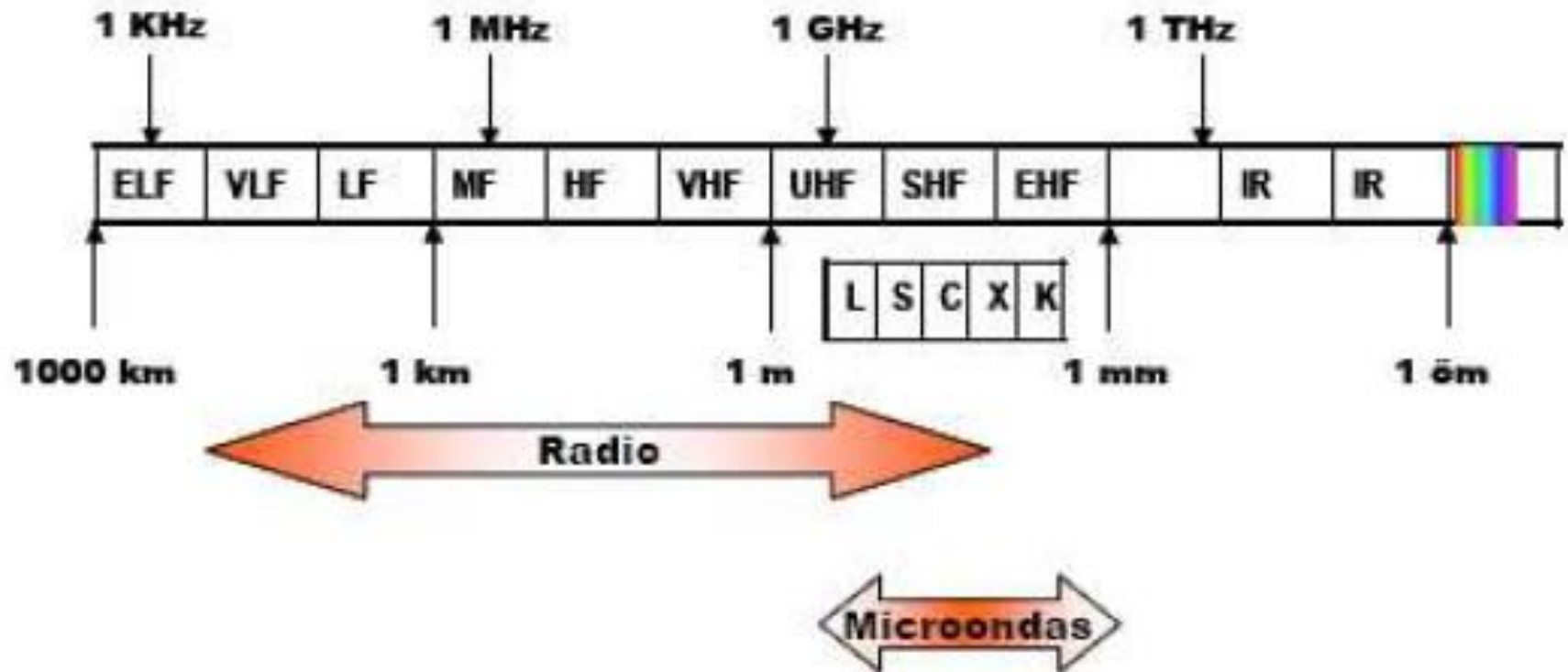


Waveguide lens antenna



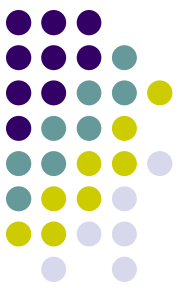
Patch antenna

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO





Frequency Band	EM wavelength	Designation	Services
3 - 30 KHz	100 - 10 km	Very Low Frequency (VLF)	Navigation, sonar, submarine
30 - 300 KHz	10 - 1 Km	Low Frequency (LF)	Radio beacons, navigation
300 - 3000 KHz	1000 - 100 m	Medium Frequency (MF)	AM broadcast, maritime coastguard radio
3 - 30 MHz	100 - 10 m	High Frequency (HF)	telephone, telegraph, fax, amateur radio, ship-to-coast and ship-to-aircraft communications
30 - 300 MHz	10 - 1 m	Very High Frequency (VHF)	TV, FM broadcast, air traffic control, police
300 - 3000 MHz	100 - 10 cm	Ultra High Frequency (UHF)	TV, Satellite, radiosonde, radar
3 - 30 GHz	10 - 1 cm	Super High Frequency (SHF)	airborne radar, microwave links (WIMAX...), satellite, land mobile communications
30 - 300 GHz	10 - 1 mm	Extremely High Frequency (EHF)	radar, experimental



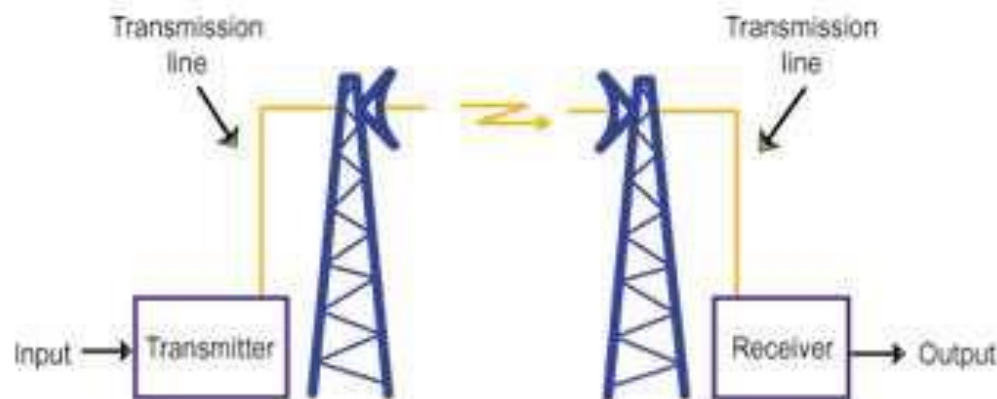
Microwave Band Designation

Frequency Band	Designation (Old)	Designation (New)
500 - 1000 MHz	VHF	C
1 - 2 GHz	L	D
2 - 3 GHz	S	E
3 - 4 GHz	S	F
4 - 6 GHz	C	G
6 - 8 GHz	C	H
8 - 10 GHz	X	I
10 - 12.4 GHz	X	J
12.4 - 18 GHz	Ku	J
18 - 20 GHz	K	J
20 - 26.5 GHz	K	K
26.5 - 40 GHz	Ka	K

PARÁMETROS FUNDAMENTALES



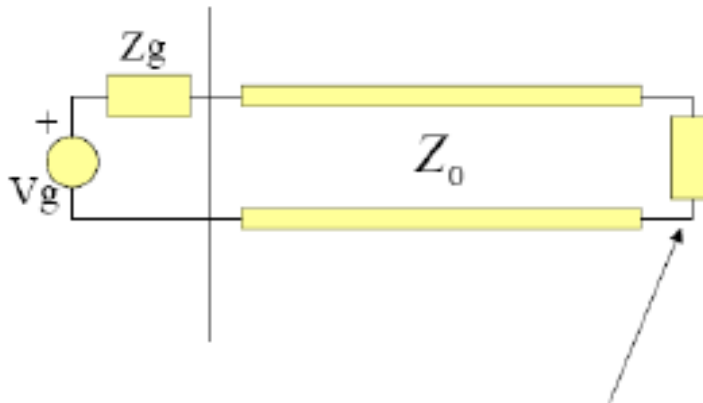
- La antena forma parte de un sistema (radiocomunicación, radar, ...etc), influirá decisivamente en la calidad del enlace.
- Como las expresiones de los campos son excesivamente complejas, se recurre a la caracterización de las antenas a través de parámetros medibles de más fácil interpretación





PARÁMETROS EN TRANSMISIÓN

- IMPEDANCIA DE ENTRADA
- Este parámetro es importante para que la antena sea capaz de radiar toda la potencia que le llega
- Es la que se mide en las terminales del puerto de entrada de la antena y usualmente es compleja.

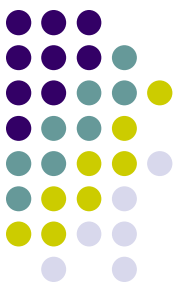


$$Z_{ant} = R_{ant} + jX_{ant}$$

$$R_{ant}(w) = R_{radiación} + R_{pérdidas}$$

$$X_{ant}(w); \text{ si } X_{ant} = 0 \Rightarrow \text{antena resonante}$$

PARÁMETROS EN TRANSMISIÓN



- COEFICIENTE DE REFLEXIÓN
- Medida del grado de acoplamiento entre la impedancia de antena Z_{ant} y la impedancia característica de la línea de transmisión Z_0



$$\Gamma = \frac{V_{\text{Reflejada}}}{V_{\text{incidente}}} = \frac{Z_{ant} - Z_0}{Z_{ant} + Z_0}$$

si $\Gamma = 0 \Rightarrow Z_{ant} = Z_0 \Rightarrow \text{antena adaptada}$



PARÁMETROS EN TRANSMISIÓN



- EFICIENCIA DE LA ANTENA
- La existencia de pérdidas en la antena hace que no toda la potencia transmitida sea radiada

$$e = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} = \frac{R_{\text{rad}}}{R_{\text{rad}} + R_{\Omega}} = (1 - |\Gamma|^2)$$

Las eficiencias se suelen dar en dB no en %

$$(e)_{\text{dB}} = 10 \log(e) \quad e_{\text{ant}} = 90 \% \Rightarrow -0.5 \text{ dB}$$

$$e_{\text{ant}} = 80 \% \Rightarrow -1.0 \text{ dB}$$

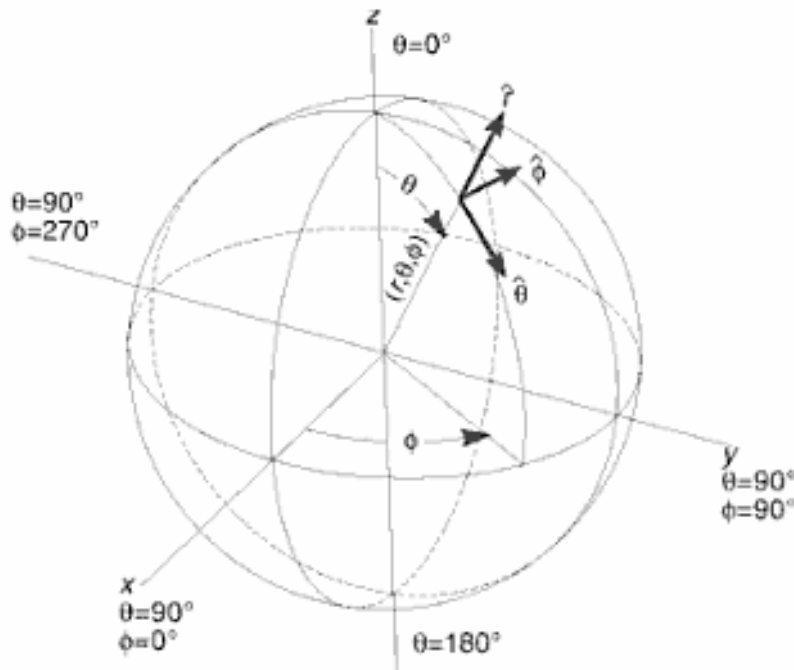
$$e_{\text{ant}} = 64 \% \Rightarrow -2.0 \text{ dB}$$

Una muy buena antena: $e = -0.1 \text{ dB}$

INTENSIDAD DE RADIACIÓN



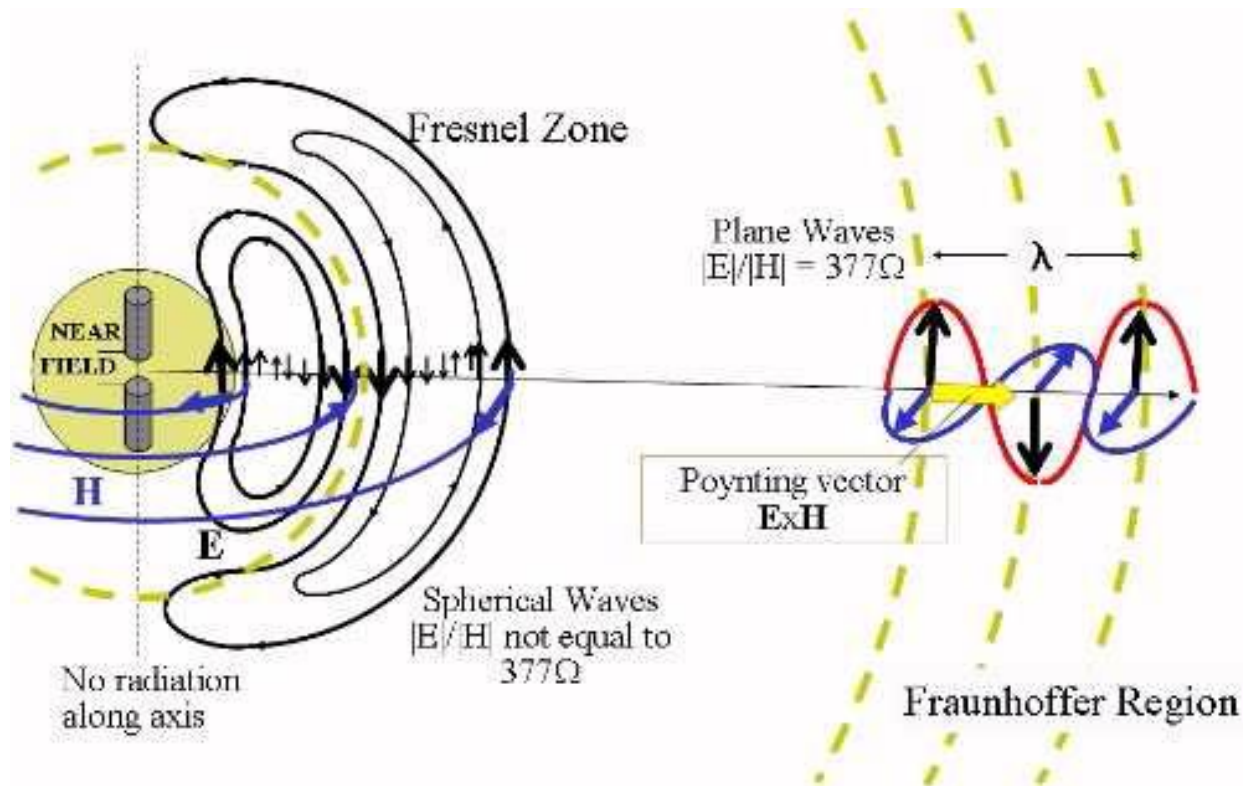
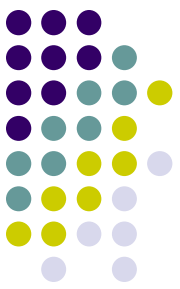
- La onda electromagnética radiada se compone de un campo eléctrico y uno magnético, relacionados por las ecuaciones de Maxwell



$$\vec{E}(V/m)$$

$$\vec{H}(A/m)$$

- En la zona de campo lejano las ondas EM son ondas planas. Los módulos del CE y del CM están relacionados por la impedancia característica del medio (120π en el vacío)



Densidad de potencia

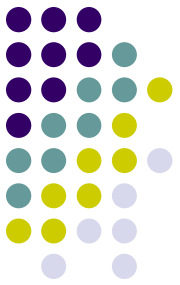
$$\mathcal{P}(\theta, \phi) = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{Z_{\text{aire}}} \quad \left(W/m^2 \right)$$

La **potencia total radiada** se puede obtener como la integral de la densidad de potencia en una superficie esférica que encierre a la antena:

$$P_r = \iint_s \vec{\mathcal{P}}(\theta, \phi) \cdot d\vec{s}$$

$$\vec{\mathcal{P}}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \quad (W/m^2)$$

$$\mathcal{P}(\theta, \phi) = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{Z_{\text{aire}}}$$





La potencia total radiada se puede obtener como la integral de la densidad de potencia en una superficie esférica que encierre a la antena:

$$P_r = \iint_s \vec{\mathcal{P}}(\theta, \phi) \cdot d\vec{s}$$

La intensidad de radiación es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección (unidades: vatios por estereorradián) , a grandes distancias es independiente de la distancia a la que se encuentre la antena

$$K(\theta, \phi) = \mathcal{P}(\theta, \phi) \cdot r^2$$

DIAGRAMA DE RADIACIÓN



- Es uno de los parámetros fundamentales y da la distribución espacial de la energía que realiza la antena.
- Es una representación grafica de las propiedades de radiación de la antena en función de las coordenadas espaciales (angulares).
- Dado que los campos son magnitudes vectoriales se pueden representar el módulo o la fase de sus componentes.
- Las formas de representación pueden ser tridimensionales, bidimensionales, en escalas lineal o logarítmica

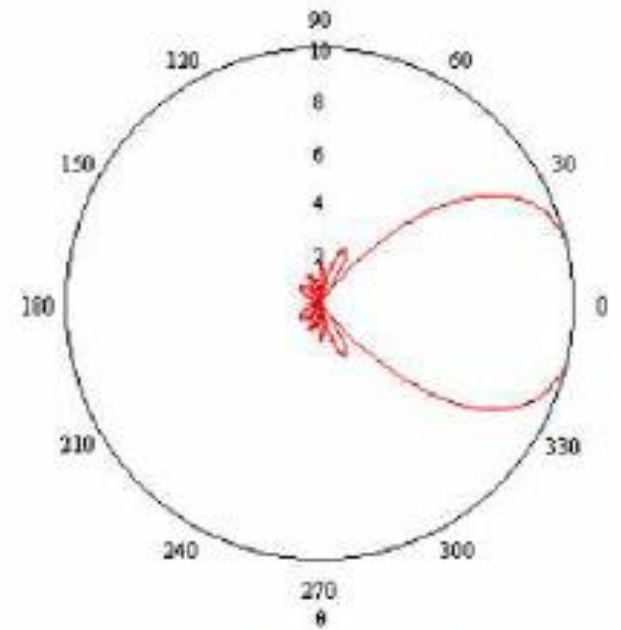
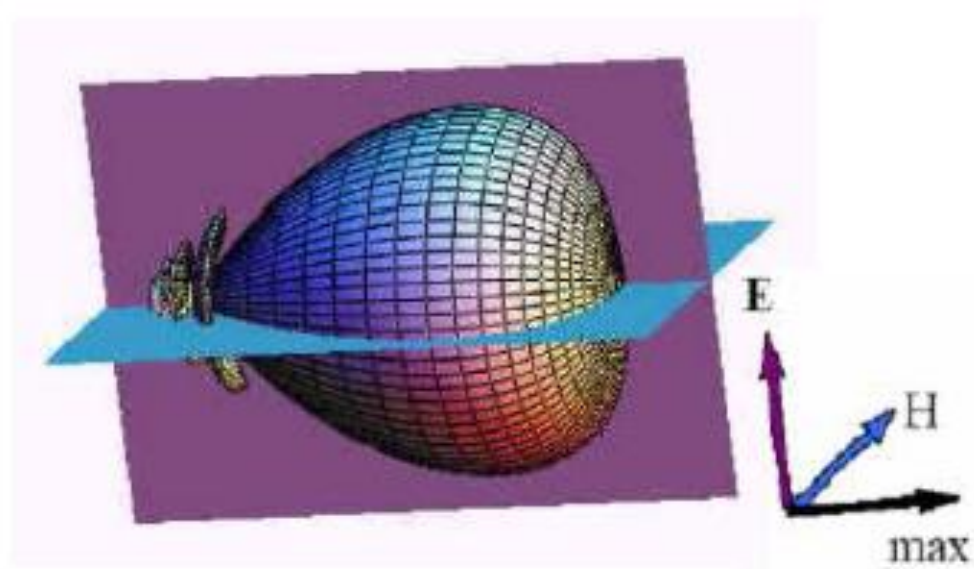


Diagrama bidimensional en coordenadas polares

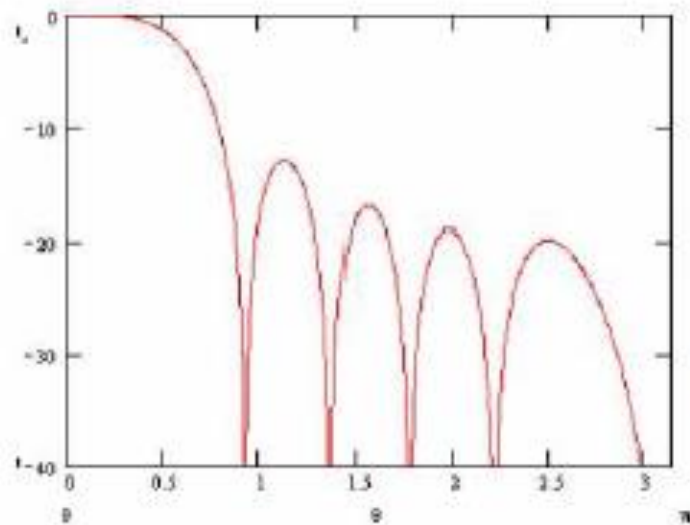
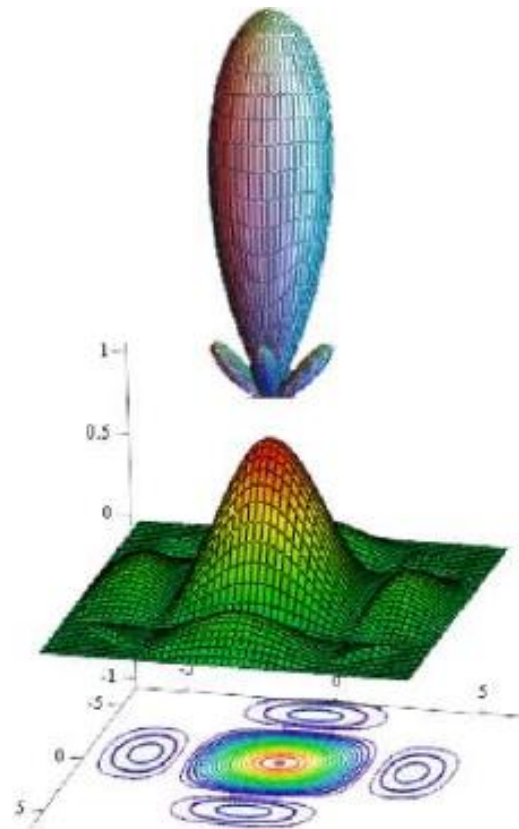
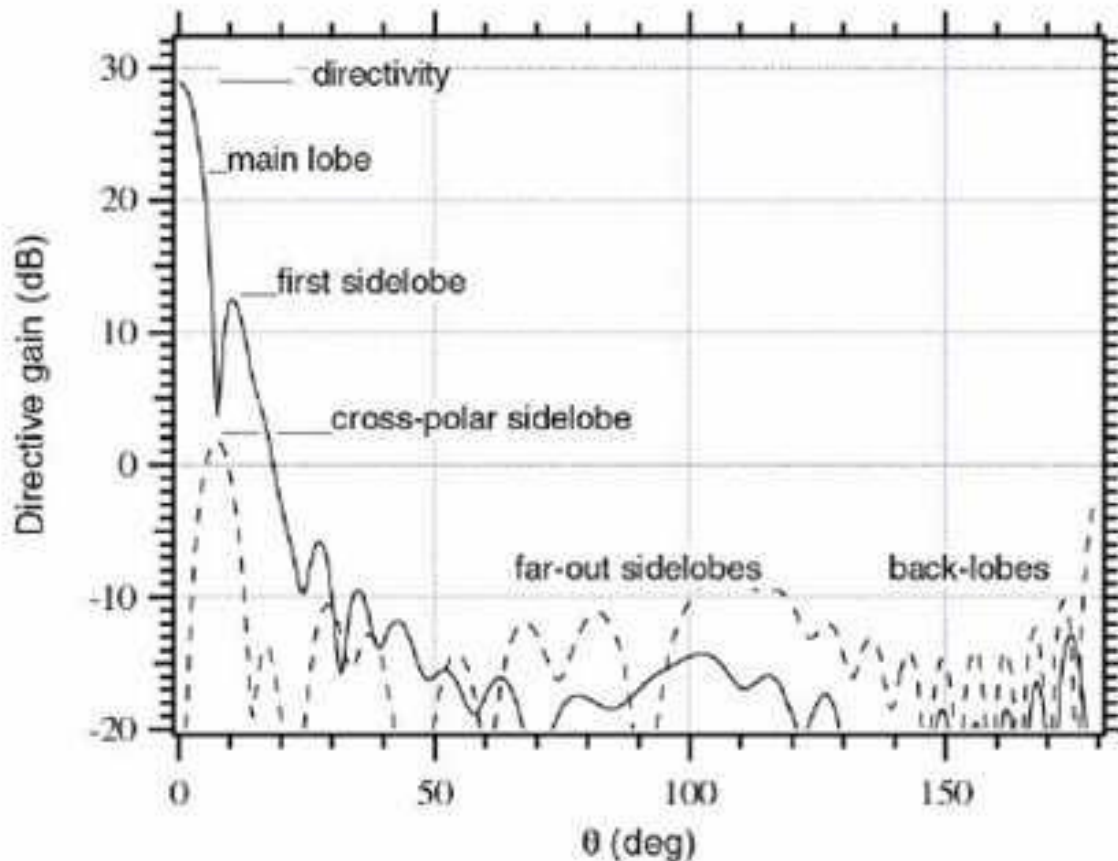
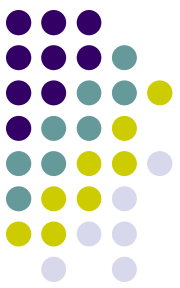


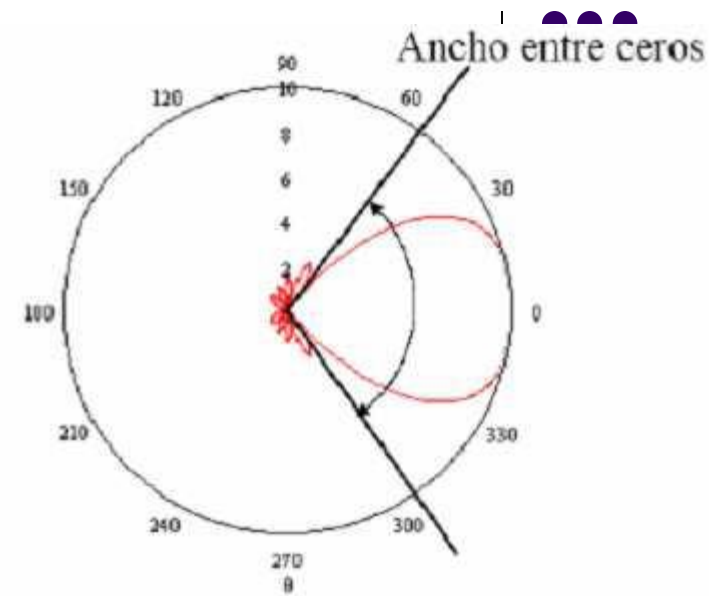
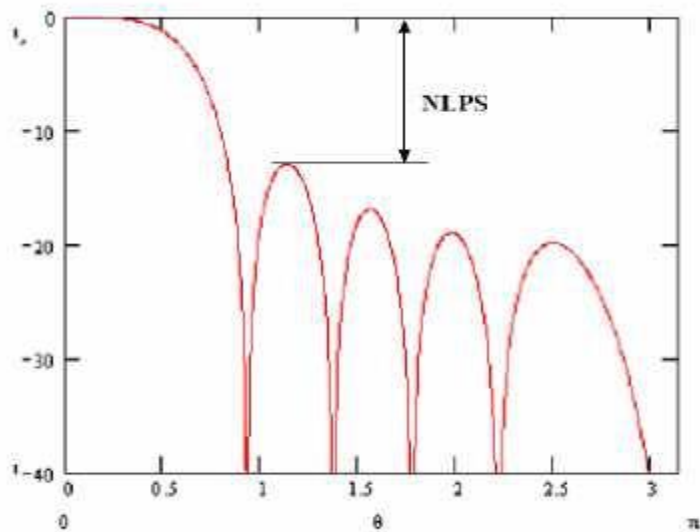
Diagrama bidimensional en cartesianas y escala logarítmica

Cuando la antena es muy directiva, y especialmente en el caso de antenas bidimensionales, se suelen utilizar métodos de representación en forma de curvas de nivel o en forma de funciones tridimensionales



- Haz principal o lóbulo principal: zona de radiación máxima
- Lóbulos laterales: zonas que rodean a los máximos de menor amplitud
- Lóbulo secundario: lóbulo lateral de mayor amplitud
- Ancho de haz a -3dB : es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo





Ancho de haz entre ceros :
separación angular de las direcciones del espacio
en las que el lóbulo principal toma un valor
mínimo.



- Relación de lóbulo principal a secundario (NPLS) es 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
- Relación delante-atrás: cociente, en dB, entre el valor del diagrama en la dirección del máximo y el valor en la dirección diametralmente opuesta

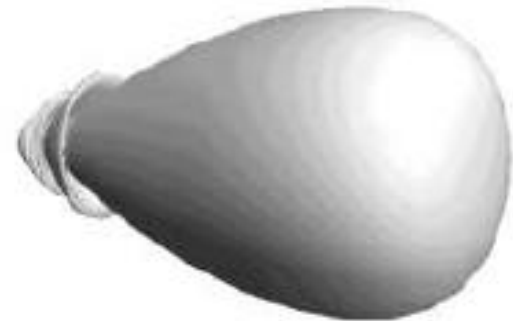
- Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución en torno a un eje se dice que la antena es omnidireccional.
- Se denomina antena isótropa a una antena ideal que radie la misma intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio.



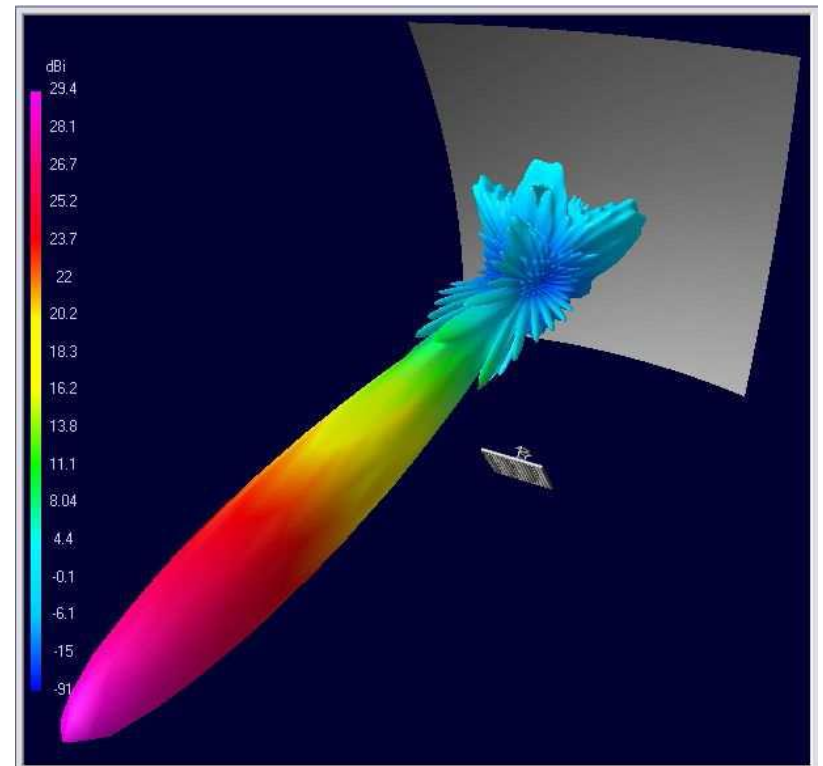
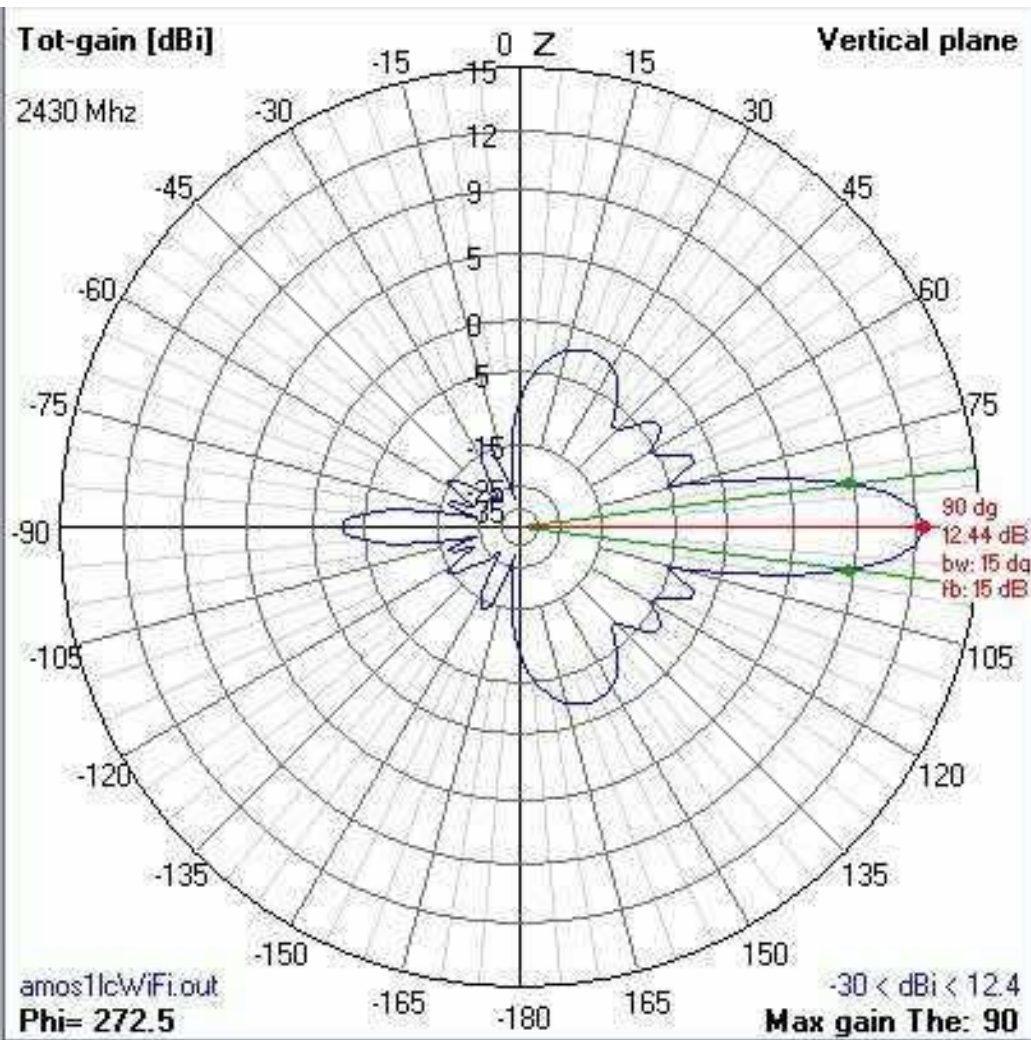
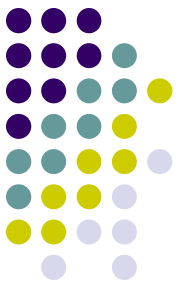
ISOTRÓPICO



OMNIDIRECCIONAL

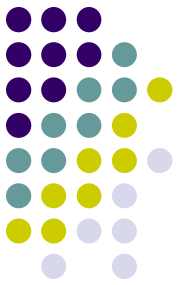
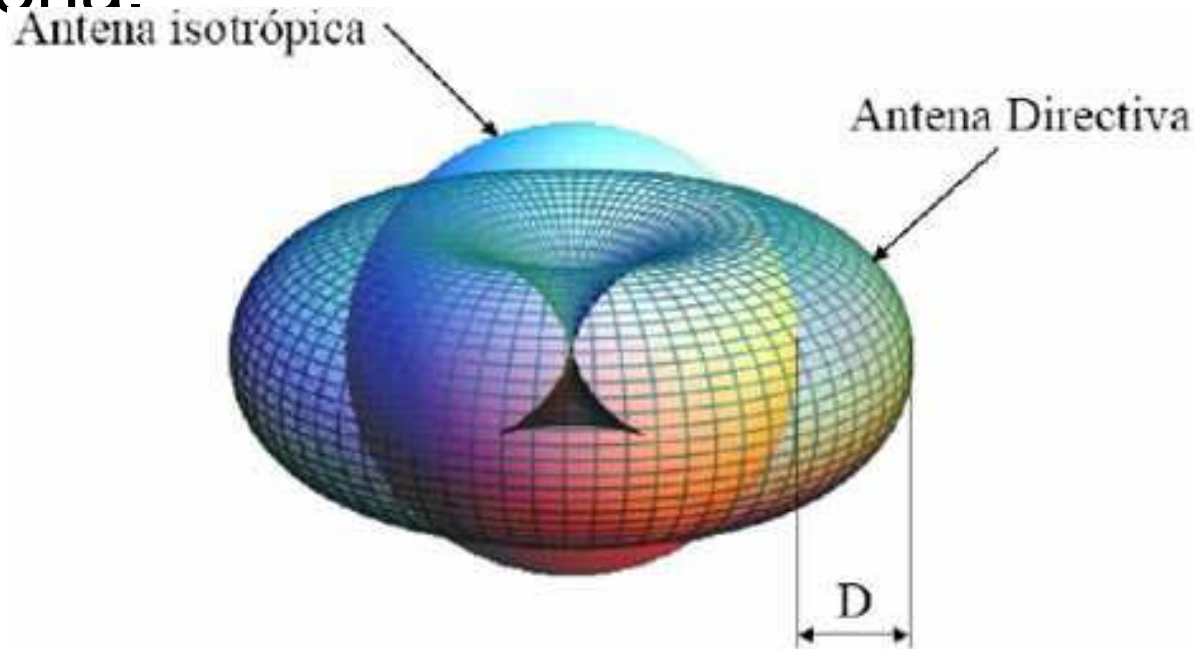


DIRECTIVO
Tipo pincel



DIRECTIVIDAD

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



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



Si no especifica dirección, se refiere a la dirección de máxima radiación

$$D = \frac{\mathcal{P}_{\max}}{P_r / (4\pi r^2)}$$

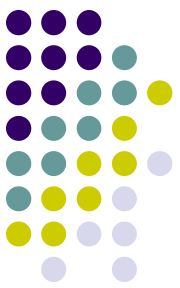
GANANCIA



- La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isotrópica, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena

$$G(\theta, \phi) = \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{P_{entregada} / (4\pi r^2)}$$

Si no especifica dirección, se refiere a la dirección de máxima radiación



$$G = \frac{\mathcal{P}_{\max}}{P_{\text{entregada}} / (4\pi r^2)}$$

$$G(\theta, \phi) = \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{entregada}}}{4\pi r^2}} = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} \frac{\mathcal{P}(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{entregada}}}{4\pi r^2}} = e \cdot D(\theta, \phi)$$

POLARIZACIÓN



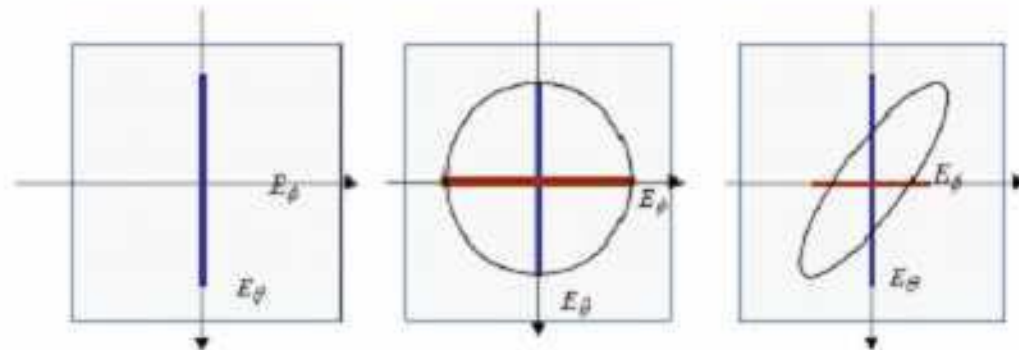
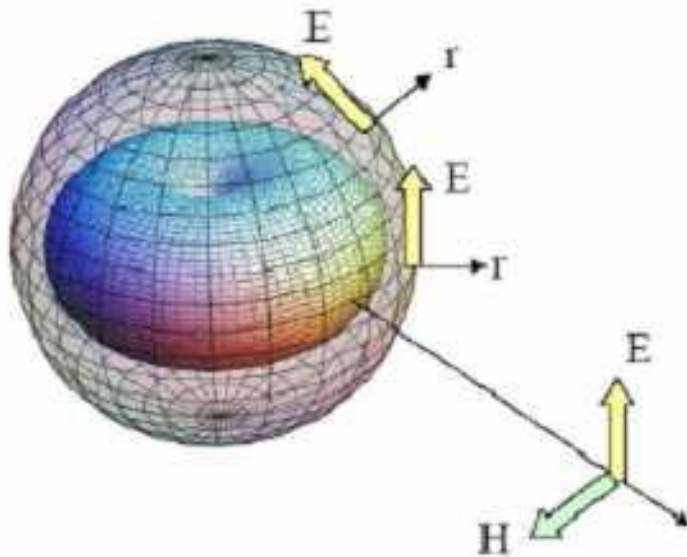
- Cualquier onda se puede descomponer en dos polarizaciones lineales ortogonales, sin más que proyectar el campo eléctrico sobre vectores unitarios orientados según dichas direcciones.
- Aplicando el mismo principio, cualquier onda se puede descomponer en dos ondas polarizadas circularmente a derechas o izquierdas.



Es la polarización del campo que radia la antena en cada dirección

Puede variar según la dirección

En general se refiere a la polarización en la dirección de máxima radiación de la





ANCHO DE BANDA

- Debido a la geometría finita de las antenas, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias.
- Se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central. Se suele expresar en %

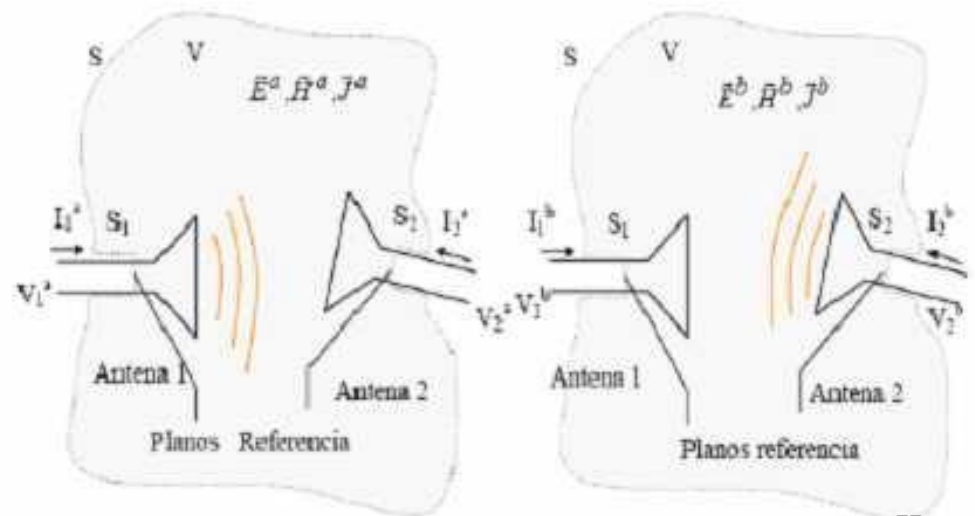
$$BW = \frac{f_{MAX} - f_{MIN}}{f_0}$$

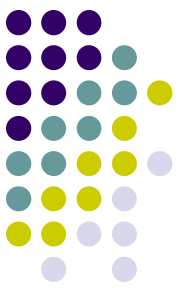
PARÁMETROS EN RECEPCIÓN



● PRINCIPIO DE RECIPROCIDAD

- Hemos definido todos los parámetros en TRANSMISIÓN pero...
- La antena se comporta igual en transmisión y en recepción.
 - Sus parámetros:
 - Diagrama de radiación
 - Directividad
 - Ganancia
 - **SON LOS MISMOS**





ÁREA EQUIVALENTE O ÁREA EFECTIVA

- Parámetro que se define en **RECEPCIÓN**
- Cuando la antena actúa como receptora, se encuentra en una zona donde hay una densidad de potencia (creada por una antena transmisora) y la antena “recoge” parte de esa densidad de potencia y entrega una Potencia al receptor.
- La relación entre la densidad de potencia y la potencia entregada es un parámetro de la antena, que tiene unidades de superficie o área.
- Además, está relacionada con la superficie física de la antena y con la directividad
- Se define como

$$A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} D_{\max}$$



- Es siempre menor o igual que el área física de la antena

$$A_e \leq S_{\text{antena}}$$

- Con el área física podemos conocer la máxima directividad posible de una antena a una frecuencia

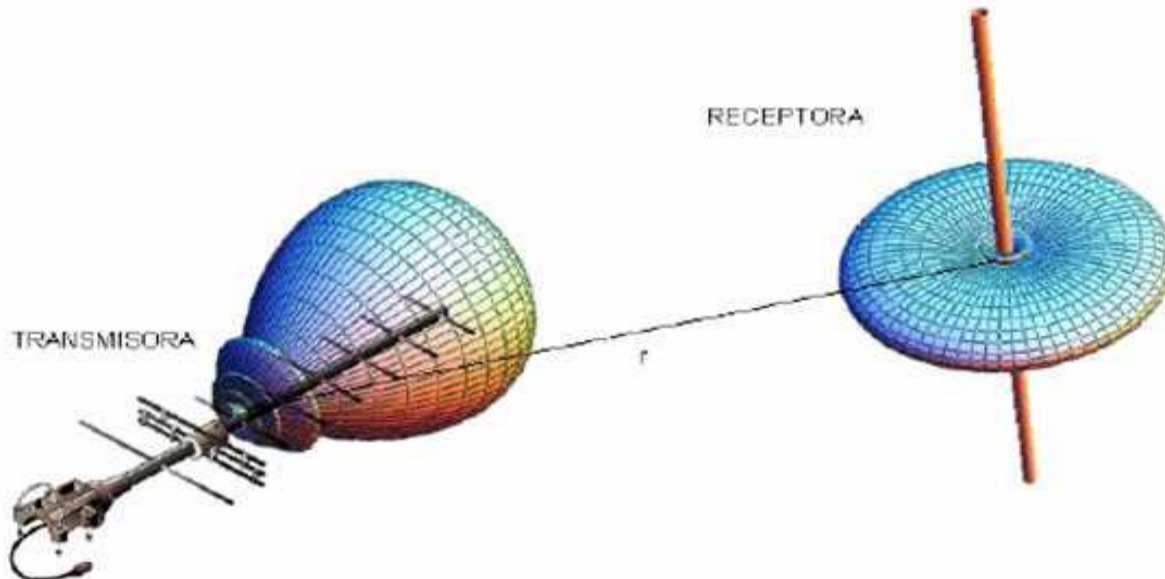
$$D_{\text{max}} \leq \frac{S_{\text{antena}} 4\pi}{\lambda^2}$$

- Se puede definir para antenas de hilos (que no tienen una clara ‘superficie’)

ECUACIÓN DE TRANSMISIÓN



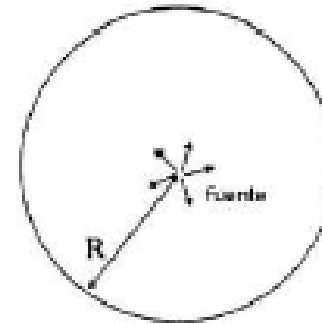
- En un sistema de comunicaciones ha de establecerse el balance de potencia entre el transmisor y el receptor, ya que el mínimo nivel de señal detectable en este último fija la potencia mínima que ha de suministrar el primero.



Si la antena emisora radiara isótroicamente una potencia P_r , estaríamos enviando potencia por igual en todas las direcciones del espacio



$$\mathcal{P} = \frac{P_r}{4\pi r^2}$$



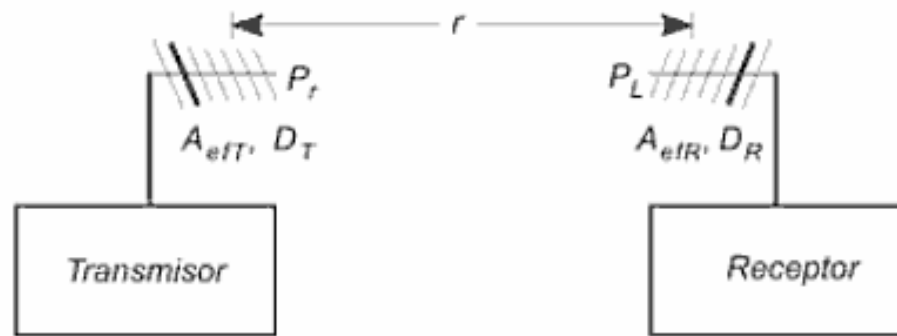
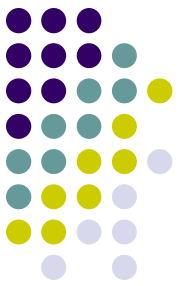
Al doblar la distancia la densidad de potencia se reduce a la cuarta parte o en 6 dB.

Las antenas no son isótroicas, concentran energía en determinadas direcciones.

La densidad de potencia se obtendrá multiplicando la que habría producido una antena isótroica por la directividad

$$\mathcal{P}(\theta, \phi) = \frac{P_r}{4\pi r^2} \cdot D(\theta, \phi) = \frac{P_{entregada}}{4\pi r^2} \cdot G(\theta, \phi)$$

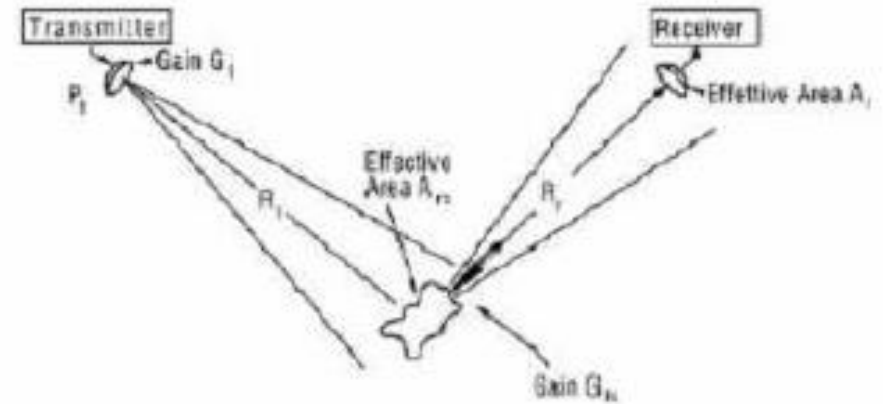
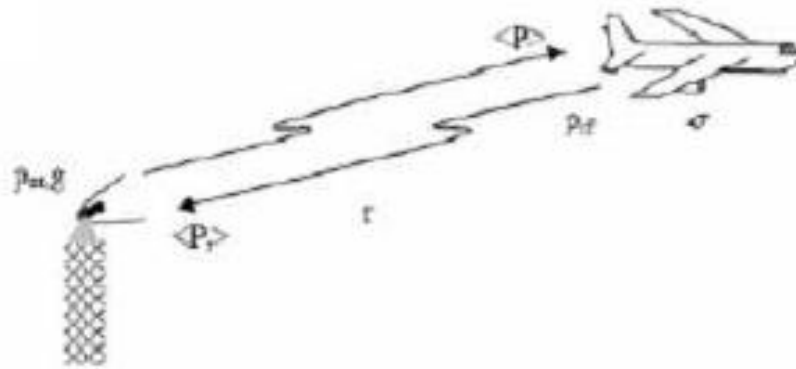
- Para dos antenas separadas una distancia r , la ecuación de transmisión de Friis establece la relación entre la potencia recibida y la radiada.



$$\frac{P_L}{P_r} = \underbrace{\left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2}_{\text{Pérdidas de transmisión en el espacio libre: } L_o \text{ (en dB)}} \cdot D_T \cdot D_R \quad \Rightarrow \quad \frac{P_L}{P_T} = -L_O + D_I + D_R - L \text{ (dB)}$$

Pérdidas de transmisión en el espacio libre: L_o (en dB)

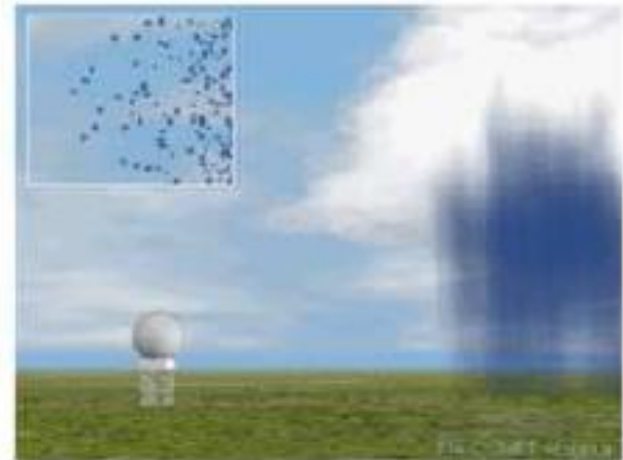
L engloba todos los factores de desadaptación entre las antenas y pérdidas



$$W_0 = \frac{P_t}{4\pi R_t^2} G_t$$

$$P_{rx} = W_0 \sigma \quad W_{rx} = \frac{P_{rx}}{4\pi R_r^2}$$

$$P_{rec} = W_{rx} A_e = \left(\frac{\lambda}{4\pi R_t R_r} \right)^2 P_t G_t G_r \sigma$$



Temperatura de ruido de la Antena



T es una medida de la potencia de ruido P en bornes de la antena

$$P_{\text{noise}} = k T \Delta f \quad \text{BW}$$

Cte de Boltzmann.

Fórmula para la temperatura efectiva de ruido de la antena (cielo & tierra):

Lossless antenna

T_a

$T_g = |\gamma|^2 T_b + (1 - |\gamma|^2) T_0$

$T_0 = \text{ambient temperature}$

Ground

Temperatura de brillo del cielo T_b

$T_b(\alpha)$

θ

α

α_0

γ

\hat{z}

$$T_a = \frac{\iint_{4\pi} (T_b + T_g) |G(\theta)|^2 \sin \theta d\theta d\phi}{\iint_{4\pi} |G(\theta)|^2 \sin \theta d\theta d\phi}$$



FIN

