



1
Definición y
fundamentos de antenas





- La radiocomunicación puede definirse como la *Telecomunicación realizada por medio de ondas radioeléctricas*.
- La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), define las ondas radioeléctricas como las *ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial y cuyo límite superior de frecuencia se fija, convencionalmente, en 3.000 GHz*.
- La radiocomunicación que hace uso de elementos situados en el espacio se denomina *radiocomunicación espacial*. Toda radiocomunicación distinta de la espacial y de la radioastronomía, se llama *radiocomunicación terrenal*.
- La técnica de la radiocomunicación consiste en superponer la información que se desea transmitir en una onda electromagnética soporte, llamada portadora, mediante un proceso de modulación.
- Como consecuencia de todo ello se genera una onda modulada cuyo espectro contiene un conjunto de frecuencias en torno a la portadora. Esta onda modulada se envía al medio de propagación a través de un dispositivo de acoplamiento llamado *antena*.





Definiciones fundamentales

- El conjunto de equipos para el tratamiento de la información: moduladores, filtros, antenas, etc., en un sistema de radiocomunicación, constituye **la estación transmisora**.
- En general se llama “**radiación**” al flujo saliente de energía de una fuente cualquiera, en forma de ondas electromagnéticas. Se entiende por emisión la producción de radiación o la radiación producida por una estación transmisora radioeléctrica. En consecuencia, *el proceso de radiación de una onda modulada es una emisión*.
- Esta onda modulada generada en la estación transmisora y emitida al medio, alcanza el punto de destino y accede al sistema receptor por medio de una *antena de recepción*, la cual recoge una fracción de la energía radioeléctrica transmitida.
- El conjunto de equipos para el tratamiento de la señal recibida: antena, amplificadores, demodulador, filtros, etc., constituye **la estación receptora** de un sistema de radiocomunicación.
- Los órganos de transmisión, recepción y antenas, contribuyen **positivamente** a la radiocomunicación. El **medio de transmisión** introduce, en cambio, pérdidas y diversos tipos de perturbaciones (distorsión, ruido, interferencias, ...)





- Debido a las características de propagación de las ondas radioeléctricas, es muy frecuente que, en el receptor, estén presentes no sólo la señal procedente del transmisor con el que efectúa la radiocomunicación (deseada), sino también diversas señales emitidas para otros destinos. A cada una de éstas últimas se denominan señales *interferentes* o no deseadas.
- Un caso particular de señal interferente, es la perturbación debida al *ruido*, que puede ser de origen natural (radiación cósmica, ruido atmosférico), o artificial (parásitos producidos por motores, picos de tensión en la red, etc.)
- La potencia extraída de la onda radioeléctrica por el receptor, debe competir con la potencia de ruido y demás interferencias. En consecuencia, es preciso establecer, en función de la clase de radiocomunicación y frecuencia de portadora, un valor umbral de la potencia de señal deseada por debajo del cual prácticamente no puede recuperarse la información.
- Alternativamente, se define como umbral de calidad, la relación mínima admisible entre la potencia de la señal útil y la potencia equivalente del ruido y la interferencia.





- Estas potencias dependen de numerosos factores que varían en función de la *frecuencia* y *anchura de banda* de la emisión, *localidad* y *características del entorno* donde se sitúa el receptor, *hora del día* y *época del año*, etc.
- El alcance útil o cobertura de una emisión radioeléctrica depende del tipo e intensidad de las perturbaciones. Cuando solamente interviene el ruido se habla de cobertura limitada por ruido y el umbral suele expresarse como la potencia mínima necesaria para una cierta calidad de recepción. Esta situación no suele ser la más habitual.
- Cuando prevalecen las interferencias sobre el ruido, se habla de cobertura limitada por interferencia. En estos casos se establece el alcance de cobertura en función de *la relación de potencias entre la señal deseada y la señal interferente total*, denominada relación de protección, también para una calidad de recepción especificada.
- En el estudio de las interferencias intervienen no sólo las frecuencias de las señales interferentes sino también sus características de emisión y anchura de banda. Existe otro tipo de perturbación asociada a la propagación que es la generada por los fenómenos de multitrayecto (recuperación mediante técnicas de recepción por diversidad y ecualización)





- Se denomina servicio de radiocomunicación al servicio que implica la emisión y/o recepción de ondas radioeléctricas con fines de transmisión/recepción de información, para la cobertura de necesidades de telecomunicación o de tipos científico o industrial.
- Los servicios se clasifican de diferentes formas según su
 - **Tipo:**
 - Fijo
 - Móvil
 - Radiodifusión
 - **Aplicación:**
 - Radiodeterminación
 - Explotación de la Tierra por satélite
 - Radioastronomía e investigación espacial
 - Frecuencias patrón y señales horarias
 - Aficionados
- Todos los servicios mencionados se pueden explotar en las modalidades terrenal y/o satelital según el tipo de radiocomunicación empleado





- Una **estación radioeléctrica** es el conjunto de uno o más transmisores o receptores o una combinación de los mismos, incluyendo las instalaciones accesorias que son necesarias para el establecimiento de un servicio de radiocomunicación en un lugar determinado.
- De forma similar a los servicios, las estaciones se clasifican según el tipo de radiocomunicación con el que funcionan. Se establecen así las siguientes clases de estaciones:
 - Estación **terrenal**: aquella que efectúa radiocomunicaciones terrenales
 - Estación **espacial**: la que se encuentra en el espacio
 - Estación **terrena**: la que situada en la superficie de la Tierra, o la atmósfera, establece comunicaciones con estaciones espaciales
 - Estación **fija**: la que establece servicios fijos
 - Estación **móvil**: la que está en movimiento
- Modos de explotación:
 - Símplex
 - Dúplex
 - Semidúplex





- La Ingeniería del espectro
- La Unión Internacional de las Comunicaciones (U.I.T. / I.T.U)
- Atribución, adjudicación y asignación de bandas de frecuencia
- Espectro radioeléctrico/ bandas / servicios
- I.T.U. / Planes de Adjudicaciones / Administraciones de Telecomunicaciones
- La banda de frecuencias asignada a una estación, es la banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; *la anchura de esa banda es igual a la anchura de banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia*
- Cuando se trata *de estaciones espaciales* (satélites) la banda de frecuencias asignada *incluye el doble del desplazamiento máximo debido al efecto Doppler* que puede producirse con relación a un punto cualquiera de la superficie de la Tierra. Este desplazamiento es igual a v/λ , siendo v la velocidad relativa radial del satélite respecto a la estación terrena y λ la longitud de onda de la emisión.





- Parámetros de emisión:

- **Clase de emisión.** (Tipo de modulación, naturaleza de la señal moduladora, tipo de información, etc.,).
- **Anchura de banda necesaria.** Es la anchura de banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad de transmisión y con la calidad requerida.
- **Anchura de banda ocupada.** Anchura de banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan potencias medias iguales cada una a un porcentaje especificado, $\beta/2$. (0.5%).
- **Tolerancia de frecuencia de una emisión.** Desviación máxima admisible entre la frecuencia asignada y la situada en el centro de la banda de frecuencias.
- **Potencia**
 - Potencia de cresta de la envolvente (AM)
 - Potencia media de la onda modulada (FM)
 - Potencia de portadora
- **Polarización de una onda**
 - Horizontal
 - Vertical





- Según la frecuencia, los modos de propagación se pueden clasificar en:
 - **Onda de superficie** (OS), para frecuencias inferiores a 30 MHz., con largos alcances y gran estabilidad en las señales. El tipo de terreno influye en la propagación.
 - **Onda ionosférica** (OI), para frecuencias comprendidas entre 3 y 30 MHz. La propagación tiene lugar por reflexión de las ondas en las capas ionizadas de la atmósfera que rodean la Tierra. Se consiguen grandes alcances pero hay cierto grado de inestabilidad en las señales.
 - **Onda espacial** (OE), para frecuencias superiores a 30 MHz. La propagación se realiza a través de las capas bajas de la atmósfera terrestre (troposfera). Es una onda estable limitada al alcance de visión óptica. El suelo puede tomar parte en la propagación y se distinguen tres submodos:
 - **Onda Directa** (OD), que enlaza transmisor con receptor
 - **Onda Reflejada** (OR), que conecta el transmisor y el receptor a través de una reflexión en el terreno subyacente.
 - **Ondas de Multitrayecto** (ORM), que son ondas que alcanzan el receptor tras sufrir reflexiones en capas frontera de estratos troposféricos.
 - **Onda de dispersión troposférica** (ODT). Se basa en reflexiones difusas ocasionadas por discontinuidades debidas a variaciones turbulentas de las constantes físicas de la troposfera. (Variaciones en el índice de refracción).





Parámetros y características de recepción

- El parámetros fundamental de la recepción es la intensidad de campo o potencia recibida, según la clase de servicio.
- **Intensidad de campo mínima utilizable** (campo mínimo necesario), valor mínimo del campo que permite obtener una determinada calidad de recepción. Depende de la sensibilidad del receptor, del rendimiento de la antena, y del ruido natural o artificial.
- **Intensidad de campo utilizable**, que tiene en cuenta, además del campo mínimo, los efectos de las interferencias de otros transmisores.
 - Para frecuencias inferiores a 1 GHz., se especifica la señal en recepción en función del campo eléctrico en $\mu\text{V/m}$ o dBu, donde $\mathbf{E(dBu)} = 20 \log (\mathbf{E})$ con $(\mathbf{E} = \mu\text{V/m})$
 - Por encima de 1 GHz., la especificación de la señal recibida se hace en términos de la potencia recibida (dBw o dBm), o densidad de flujo de potencia, dBw/m^2 o dBm/m^2 , ya que predominan las antenas superficiales de apertura.
- **Condiciones de recepción.** (Instalación de recepción, tipo de transmisión, banda de frecuencias, condiciones de explotación...)
- **Interferencia.** Efecto de una energía no deseada que influye en la degradación de la señal recibida. Gran importancia para la compartición de canales radioeléctricos.
- **Relación de protección en RF.** Valor mínimo, generalmente expresado en dB, de la relación e la señal deseada y no deseada.





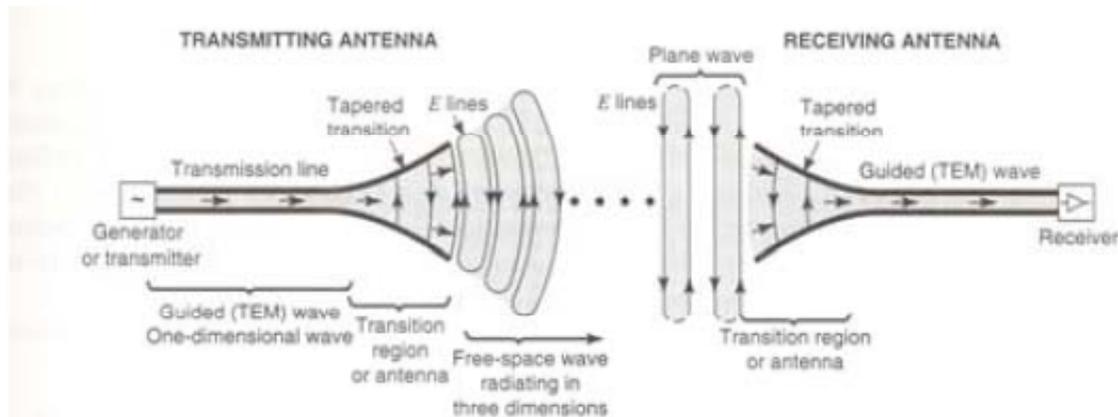
- Una antena es un “dispositivo generalmente metálico especialmente diseñado para radiar y recibir ondas de radio” que adapta la salida del transmisor o la entrada del receptor al medio.
- Las propiedades que debe reunir una buena antena son:

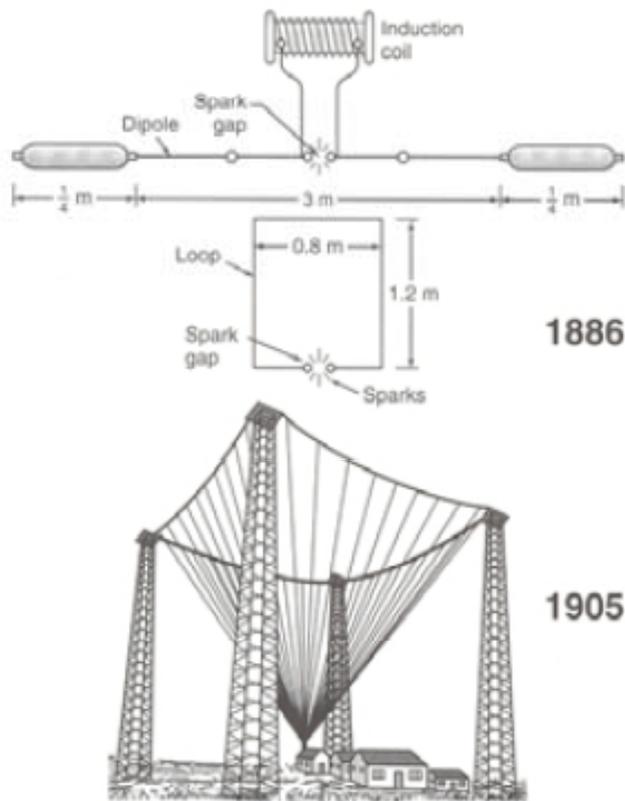
- Buen Rendimiento de radiación

$$\eta_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} \leq 1$$

$$P_{\text{entregada}} = P_{\text{radiada}} + P_{\text{disipada}}$$

- Diagrama de radiación adecuado a la aplicación
- Buena adaptación a la línea de transmisión





- 1844: Telegrafía por hilo
- 1864: Ecuaciones de Maxwell
- 1878: Telefonía por hilo
- 1886: Experimento radio de Hertz
- 1897: Patente de telegrafía sin hilos de Marconi
- 1901: Primeras comunicaciones transatlánticas de Marconi
- Hasta 1940 se utilizaron antenas de hilo hasta UHF
- 1940-1950: antenas de apertura de microondas asociadas a RADAR
- Década de 1960/1970: antenas embarcadas en satélite.





| Frequency band | Designation | Typical service |
|----------------|--------------------------------|--|
| 3–30 kHz | Very low frequency (VLF) | Navigation, sonar |
| 30–300 kHz | Low frequency (LF) | Radio beacons, navigational aids |
| 300–3000 kHz | Medium frequency (MF) | AM broadcasting, maritime radio, Coast Guard communication, direction finding |
| 3–30 MHz | High frequency (HF) | Telephone, telegraph, and facsimile; shortwave international broadcasting; amateur radio; citizen's band; ship-to-coast and ship-to-aircraft communication |
| 30–300 MHz | Very high frequency (VHF) | Television, FM broadcast, air traffic control, police, taxicab mobile radio, navigational aids |
| 300–3000 MHz | Ultrahigh frequency (UHF) | Television, satellite communication, radiosonde, surveillance radar, navigational aids |
| 3–30 GHz | Superhigh frequency (SHF) | Airborne radar, microwave links, common-carrier land mobile communication, satellite communication |
| 30–300 GHz | Extremely high frequency (EHF) | Radar, experimental |

$$\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow \lambda(cm) = \frac{30}{f(GHz)}$$

Bandas de Microondas:

L: 1-2 GHz

S: 2-4 GHz

C: 4-8 GHz

X: 8-12 GHz

Ku: 12-18 GHz

K: 18-26.5 GHz

Ka: 26.5-40 GHz

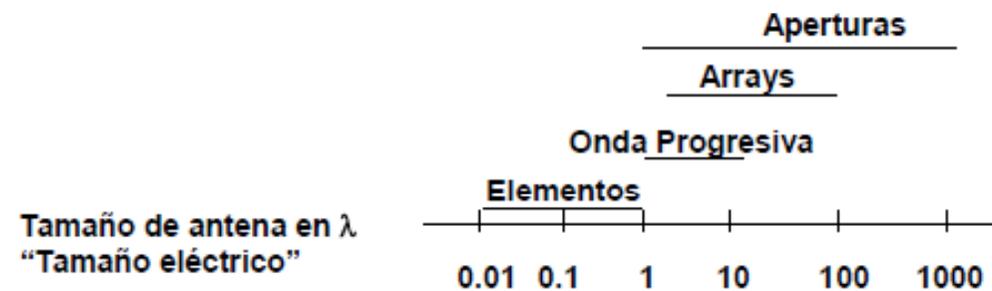
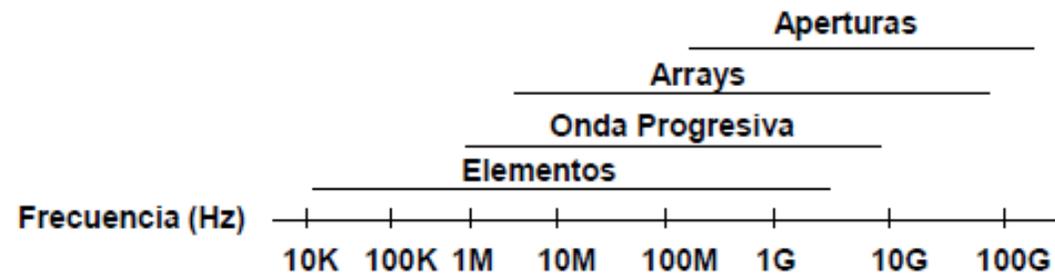
Analog and Digital Mobile Services

DVB-S: Direct Broadcasting Services





- Según el “modo de radiación” se definen cuatro grupos de antenas:
 - elementos de corriente
 - antenas de onda progresiva,
 - arrays y
 - aperturas.



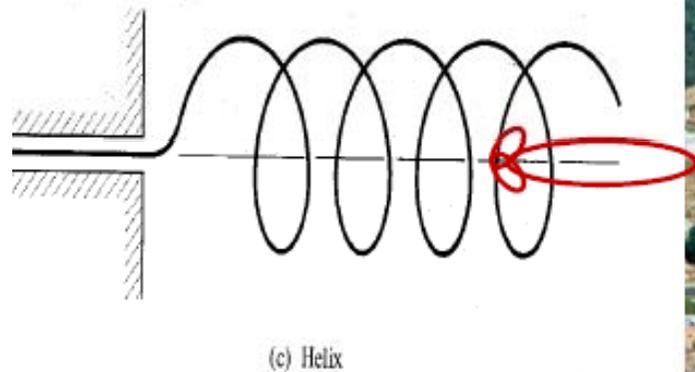
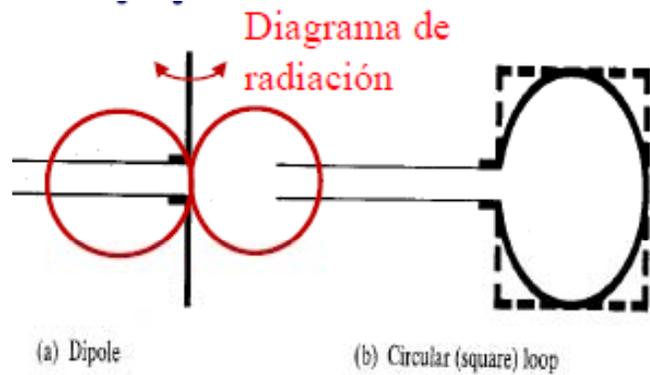
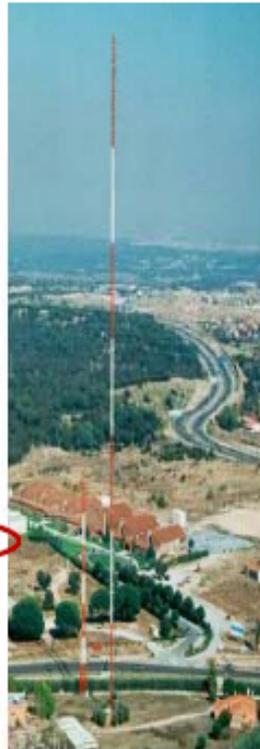
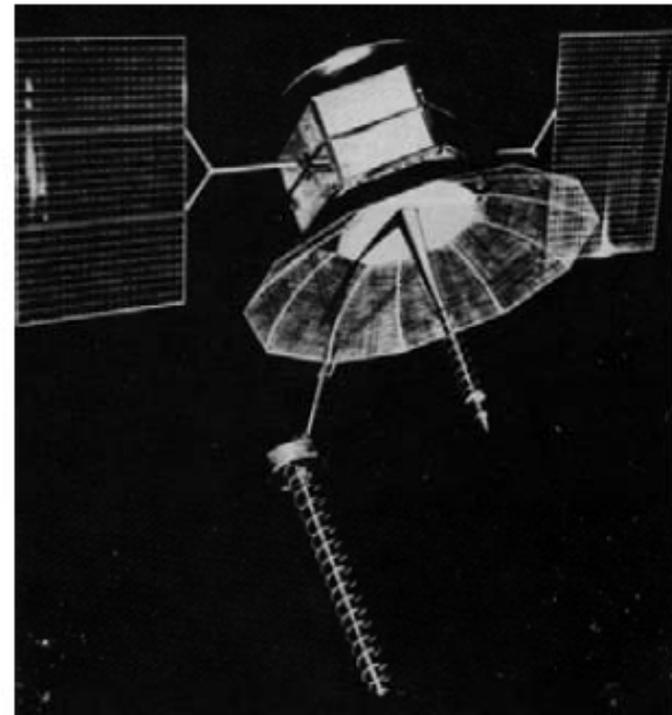


Figure 1.2 Wire antenna configurations.

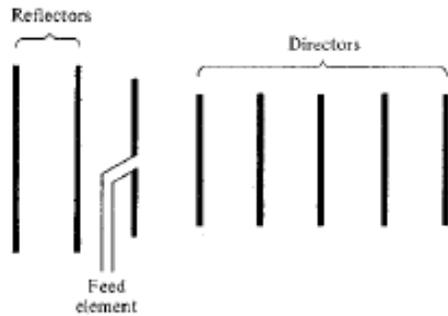


Monopolo de radiodifusión



Hélices



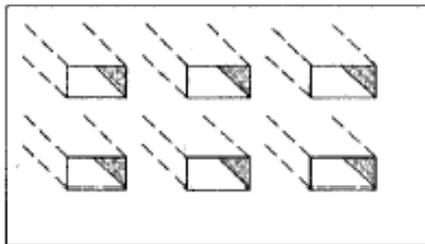


(a) Yagi-Uda array

Yagis

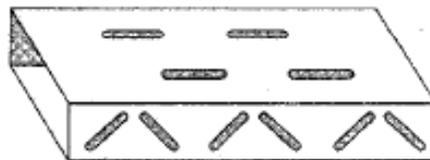


Array de parches impresos para estaciones base de telefonía (GR)



(b) Aperture array

Guías abiertas



(c) Slotted-waveguide array

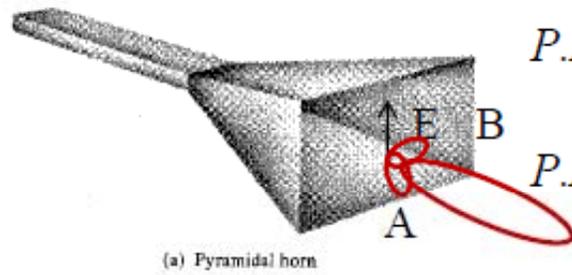
Ranuras



Array de ranuras en guía radial (GR)

Figure 1.4 Typical wire and aperture array configurations.





$$P.E.: BW_{-3dB}(\text{°}) \approx \frac{60\lambda}{B}$$
$$P.H.: BW_{-3dB}(\text{°}) \approx \frac{70\lambda}{A}$$

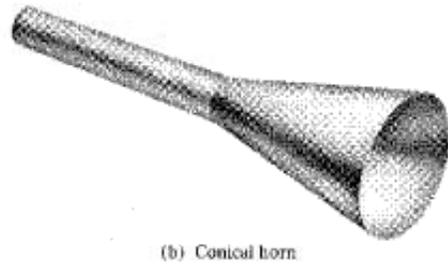
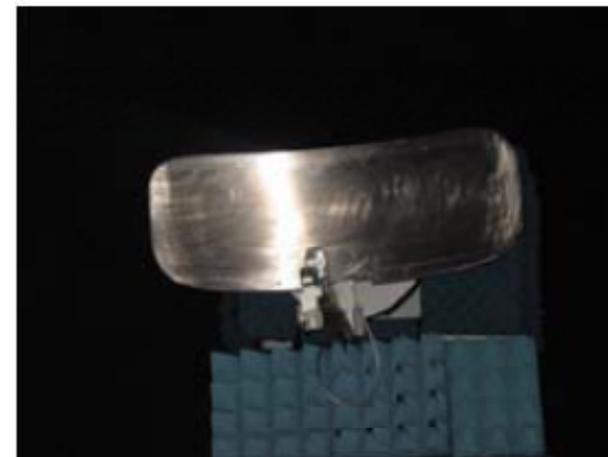
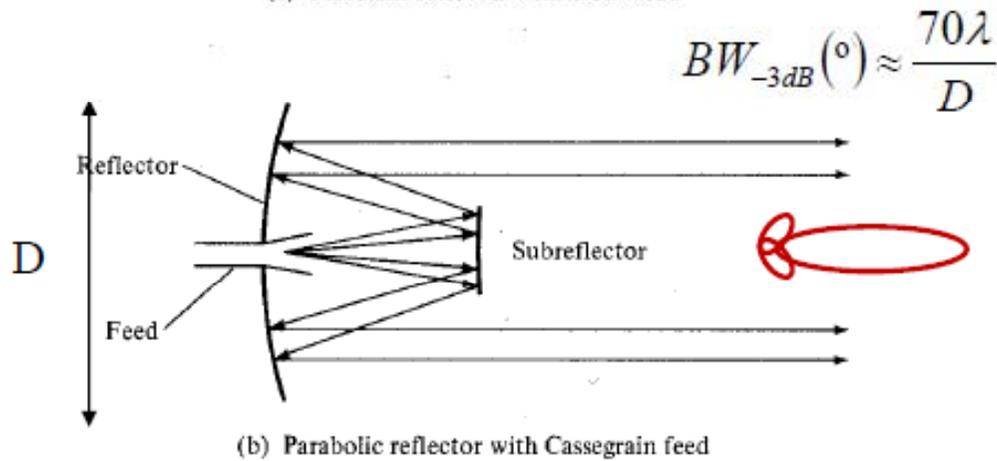
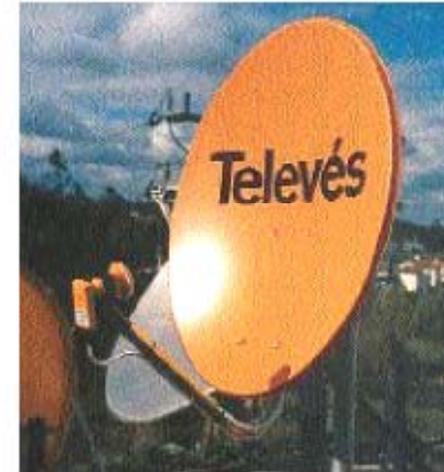
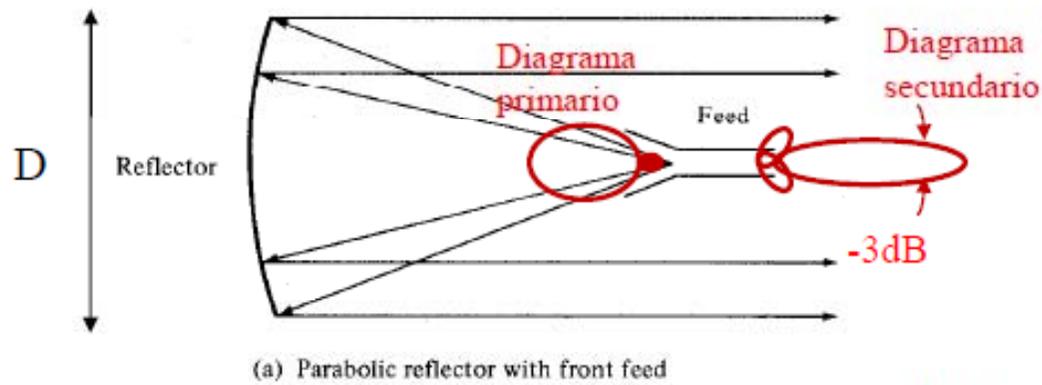
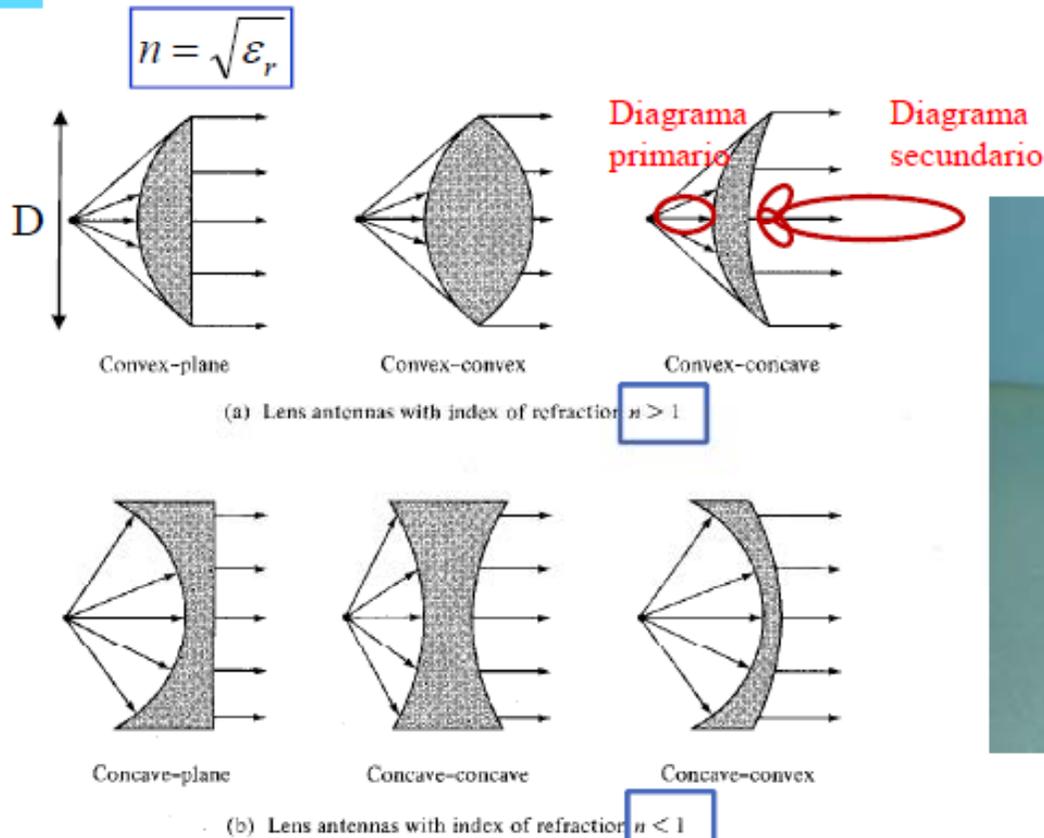


Figure 1.3 Aperture antenna configurations.







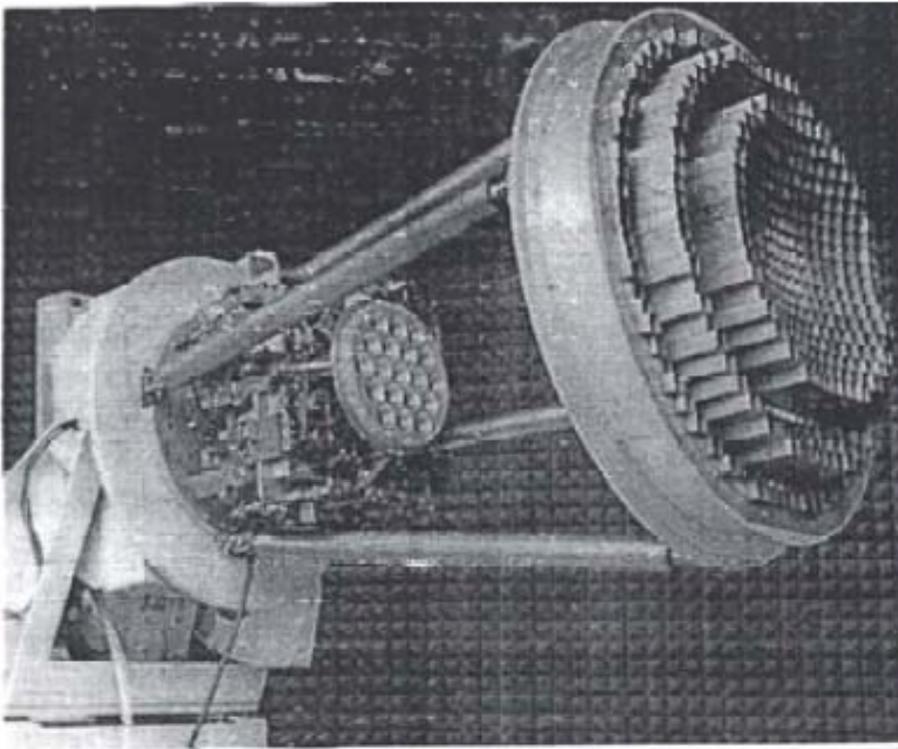
$$BW_{-3dB}(\circ) \approx \frac{70\lambda}{D}$$



Bocina cónica corrugada con lente corrugada (GR)

Figure 1.6 Typical lens antenna configurations. (SOURCE: L. V. Blake, *Antennas*, Wiley, New York, 1966).





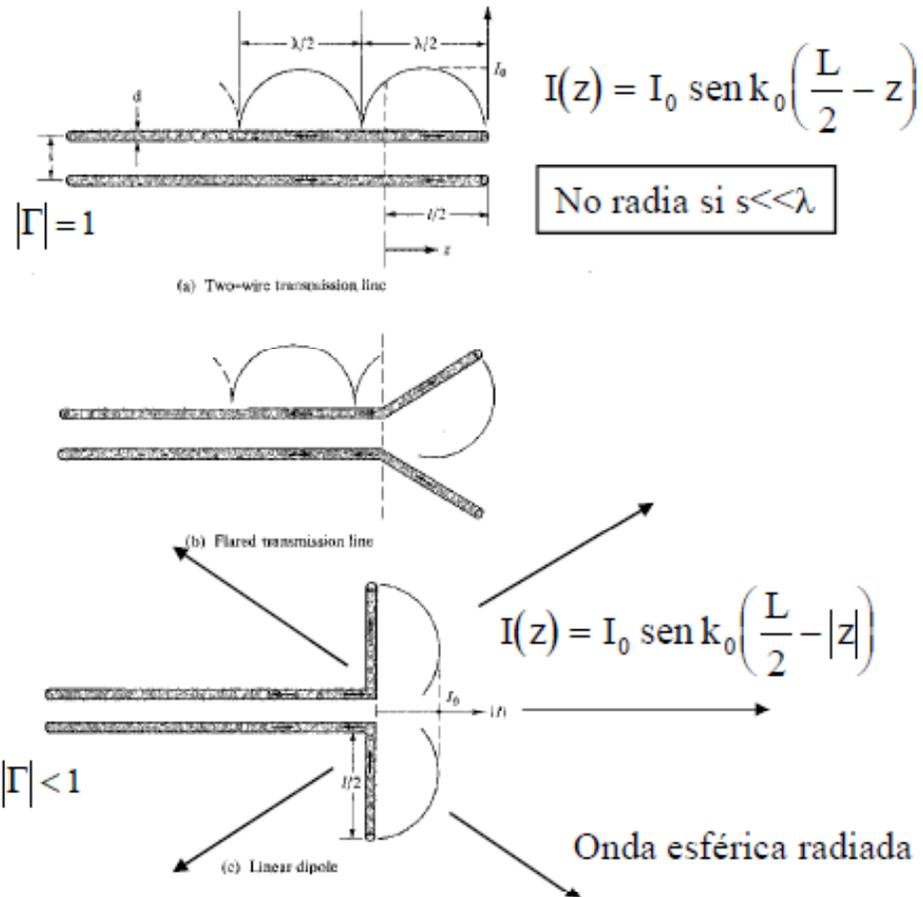
Ejemplo de lente multihaz con dieléctrico artificial $\epsilon_r < 1$ construida con guías de ondas rectangulares





- Es la función que define la forma que toma la corriente sobre la antena
- Está fijada por las condiciones de contorno de las E. Maxwell.
 - En régimen permanente sinusoidal basta con aplicar:

$$E_t \text{ (sobre conductores)} = 0$$
- En algunos casos la distribución se modela utilizando razonamientos muy simples: p.e., la figura justifica la distribución aproximada en onda estacionaria típica de un dipolo.



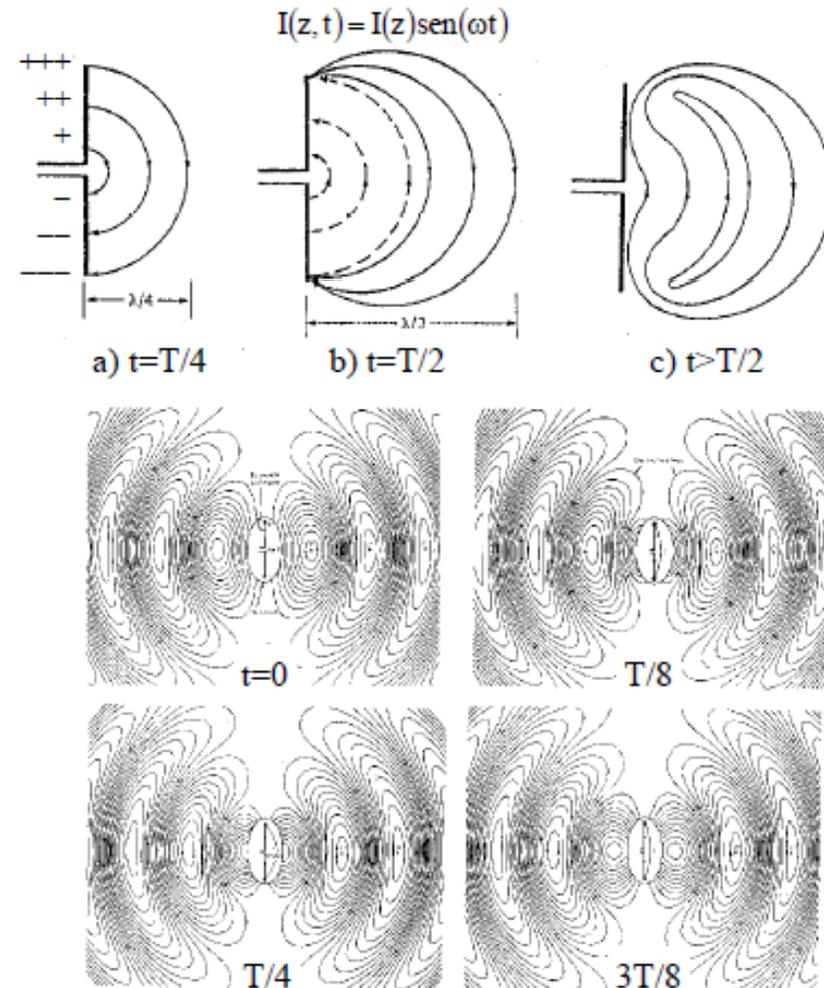


Generación de las líneas de campo para un dipolo

- (a) Durante el primer cuarto de periodo la corriente acumula carga positiva en el semibrazo superior y negativa en el inferior, cerrándose el circuito a través de las corrientes de desplazamiento que siguen las líneas de campo.
- (b) En el siguiente cuarto de periodo la corriente se invierte generando corrientes de desplazamiento (líneas de campo) de sentido contrario que empujan a las anteriores hacia fuera.
- (c) Finalizado el primer semiperiodo la carga es nula sobre todo el dipolo y las líneas de campo se cierran sobre si mismas.

Evolución de la onda radiada en régimen permanente sinusoidal.

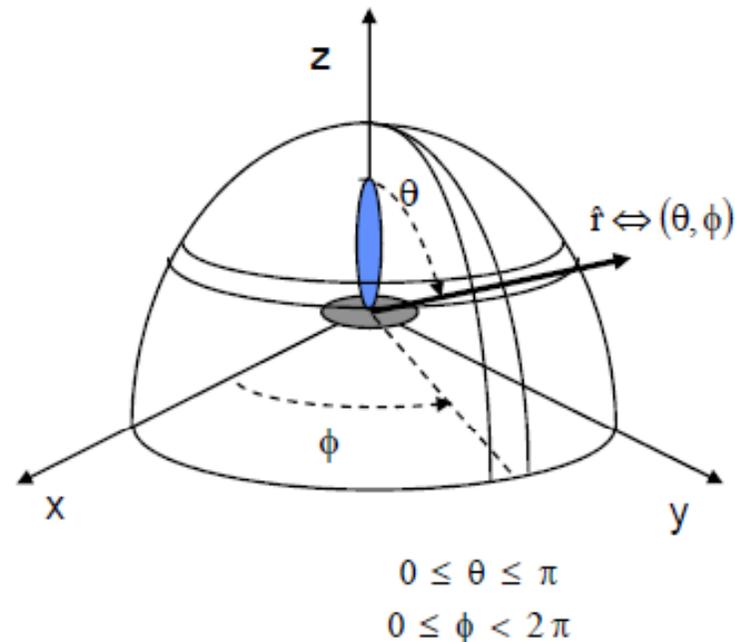
- Las ondas electromagnéticas radiadas se comportan de un modo parecido a las ondas de agua en un estanque.





Los campos lejanos de cualquier antena cumplen:

- La onda electromagnética radiada se expande (propaga) radialmente en todas las direcciones del espacio.
- La dependencia de \mathbf{E} y \mathbf{H} con r es siempre la de una onda esférica $e^{-jk_0 r}/r$. Los campos decrecen con la distancia como $1/r$
- Los campos \mathbf{E} y \mathbf{H} dependen de θ y ϕ puesto que la onda esférica es no homogénea. Para analizar su variación se utiliza el siguiente sistema esférico.





Los campos de radiación de cualquier antena cumplen:

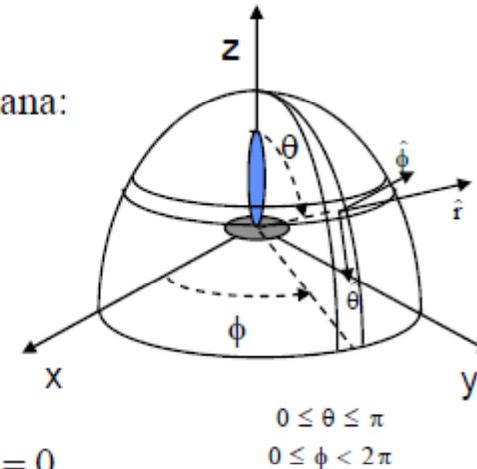
- La onda esférica radiada se comporta localmente como plana:

Fijada una dirección (θ, ϕ) :

$$\begin{aligned} \vec{E} &\perp \hat{r} & \vec{E} &\perp \vec{H} \\ \vec{H} &\perp \hat{r} & |E| &= \eta |H| \end{aligned}$$

- Los campos \vec{E} y \vec{H} no poseen componente radiales:

$$\left. \begin{aligned} \vec{A}(\vec{r}) &= A_r \hat{r} + A_\theta \hat{\theta} + A_\phi \hat{\phi} \\ \vec{E} &= -j\omega \left((\hat{r} \times \vec{A}) \times \hat{r} \right) \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{aligned} E_r &= 0 & H_r &= 0 \\ E_\theta &= -j\omega A_\phi & E_\theta / H_\phi &= \eta \\ E_\phi &= -j\omega A_\theta & -E_\phi / H_\theta &= \eta \end{aligned}$$



- La densidad de potencia que transporta la onda decrece como $1/r^2$. Si el medio no tiene pérdidas toma el valor:

$$\langle \vec{S} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*] = \frac{1}{2\eta} \left[|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2 \right] \hat{r}$$



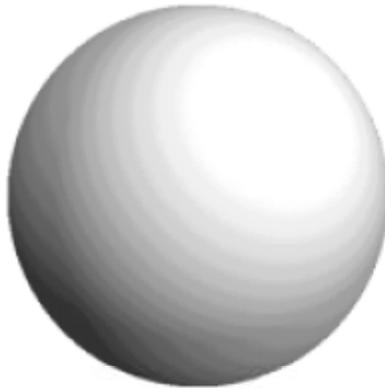


- Densidades de Corriente: $J = I/dS$ [A/m²], $J_s = I/dC$ [A/m]
- Campos: E [V/m], H [A/m]
- Densidad de Potencia transportada por la onda radiada= $\langle S \rangle$
 - $\langle S \rangle = \frac{1}{2} \text{Re}[\vec{E} \times \vec{H}^*]$ [wattios/m²]
 - \vec{E} y \vec{H} Amplitudes complejas de los campos en valores de pico.
- Permitividad del vacío: $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} 10^{-9}$ [Faradios / m]
- Permeabilidad del vacío: $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ [Henrios / m]
- Conductividad: σ [1 / $\Omega \cdot m$ = Siemens]
- Velocidad de propagación: $c = 1/\sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = 3 \cdot 10^8$ [m / s]
- Impedancia del vacío: $\eta_0 = Z_0 = |E|/|H| = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 120\pi = 377$ [Ω]

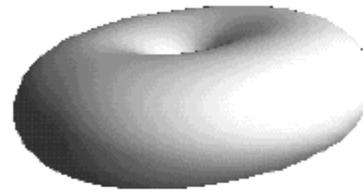




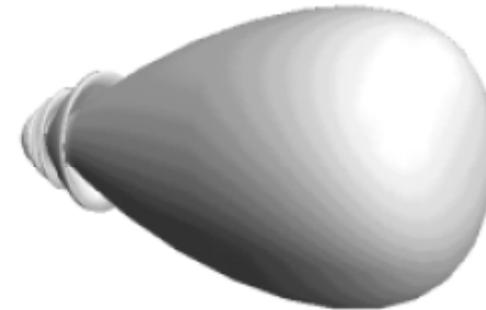
**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CARACTERÍSTICAS
DE RADIACIÓN DE LAS ANTENAS**



ISOTRÓPICO

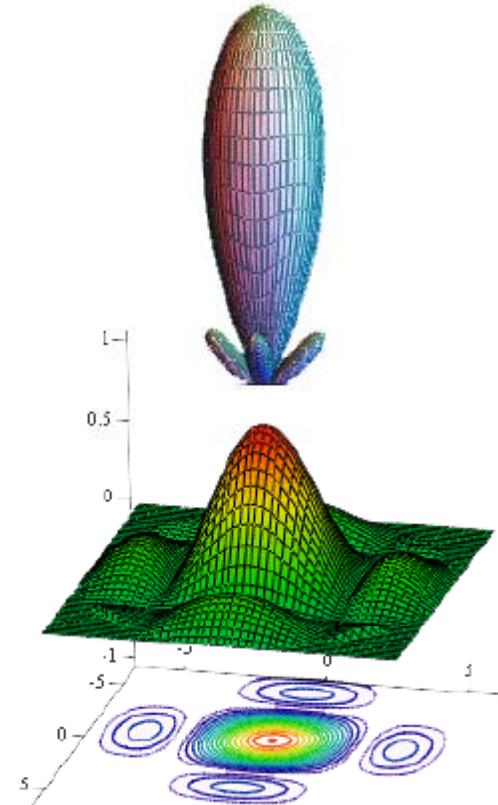
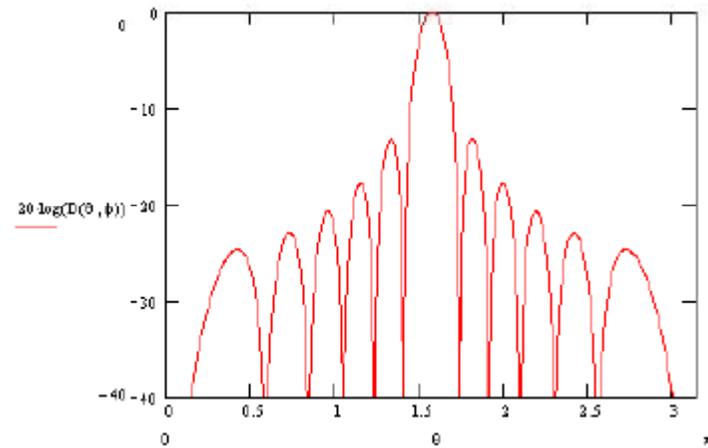
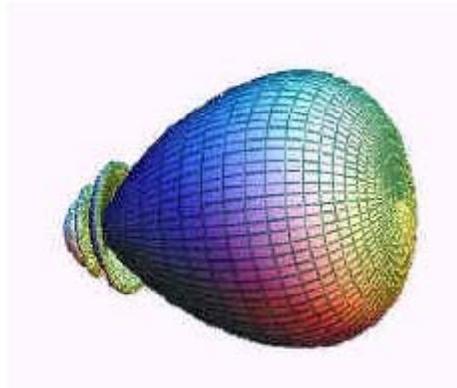


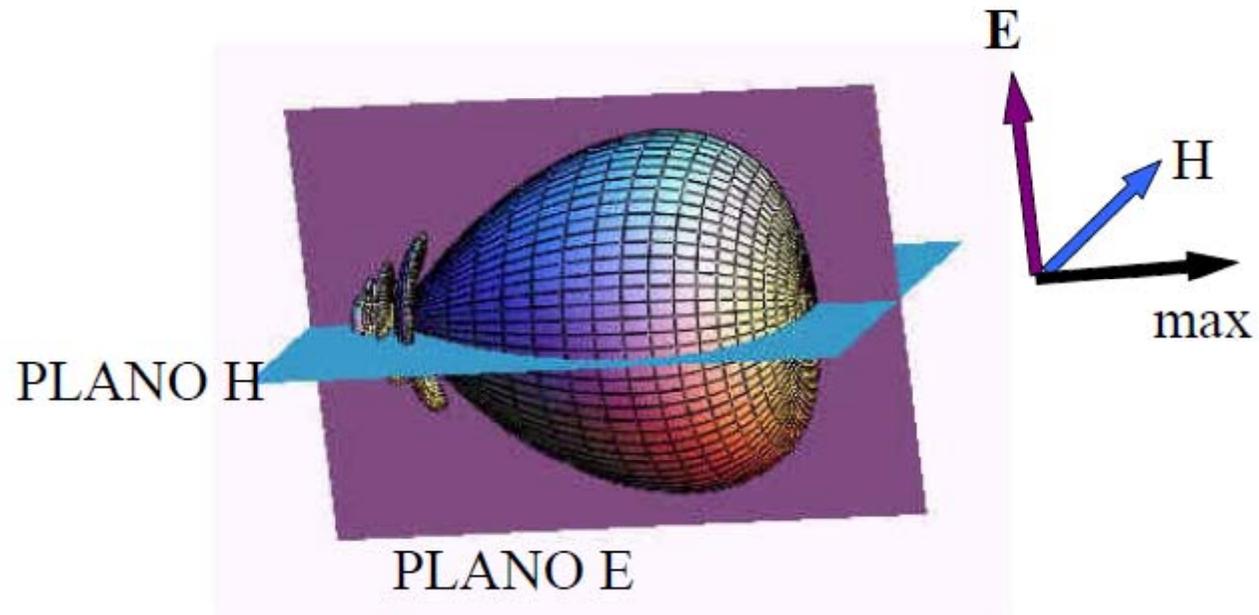
OMNIDIRECCIONAL

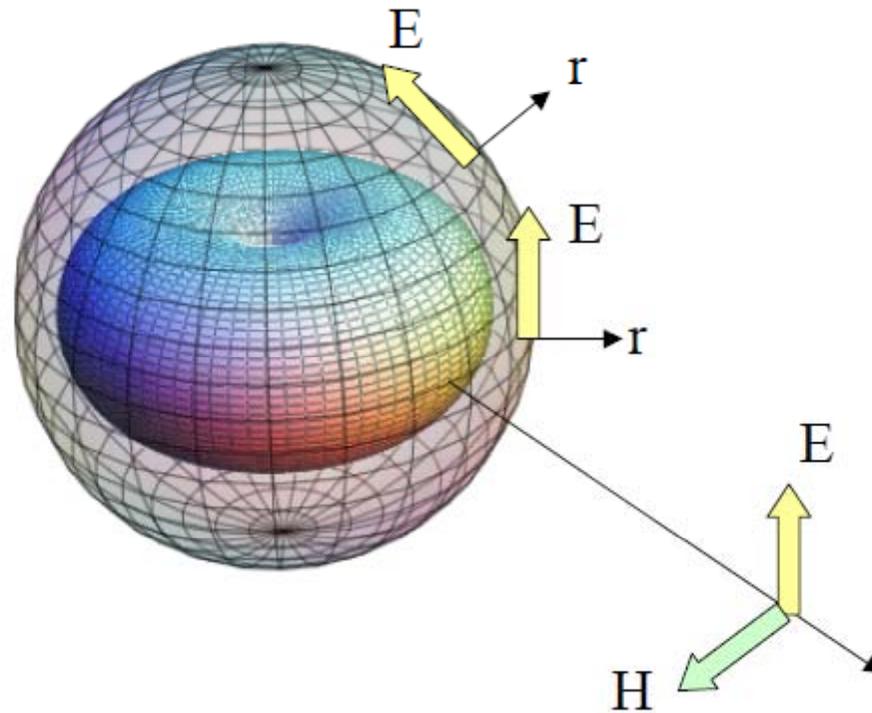


DIRECTIVO
Tipo pincel





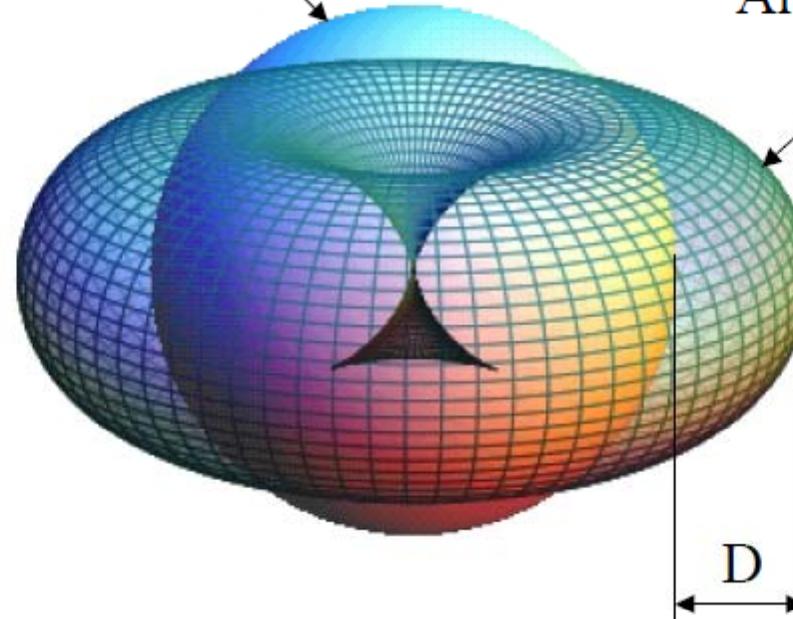






Antena isotrópica

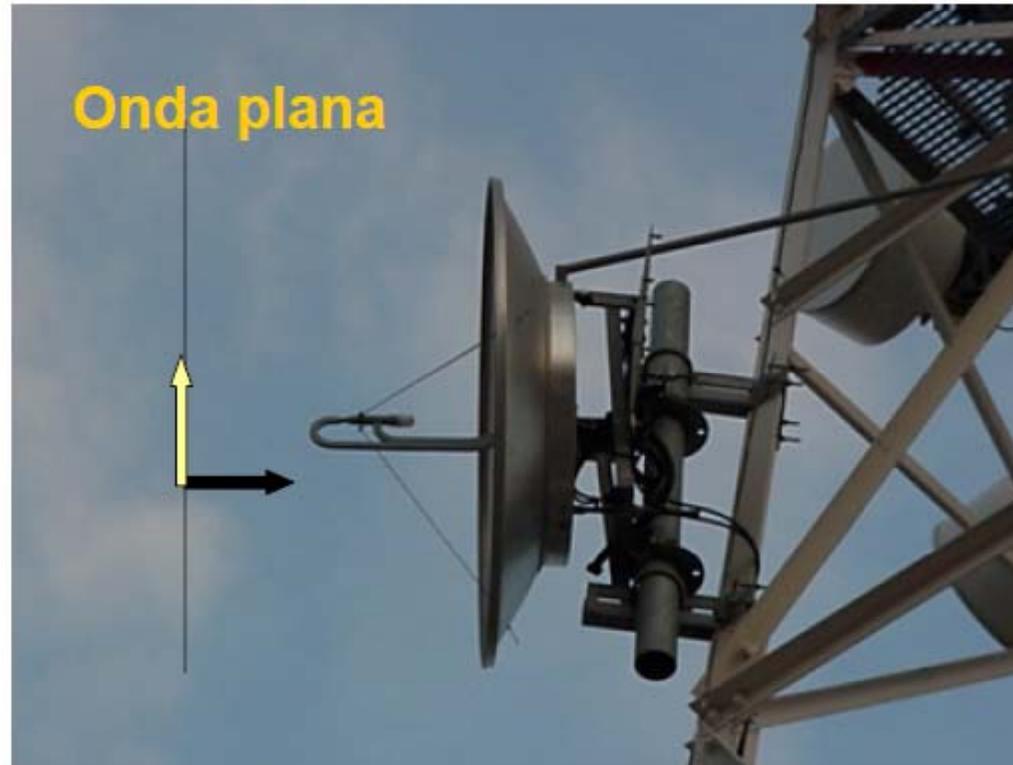
Antena Directiva

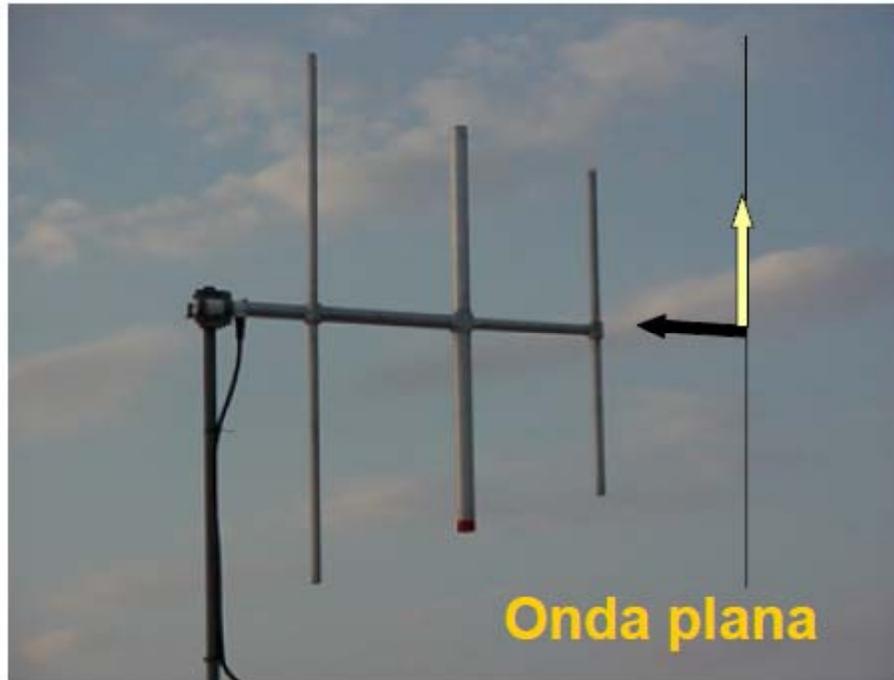




$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_{in}}$$

$$A_{ef} = D \frac{\lambda^2}{4\pi}$$





$$l_{ef} = \frac{V_{ca}}{E_{in}}$$



