

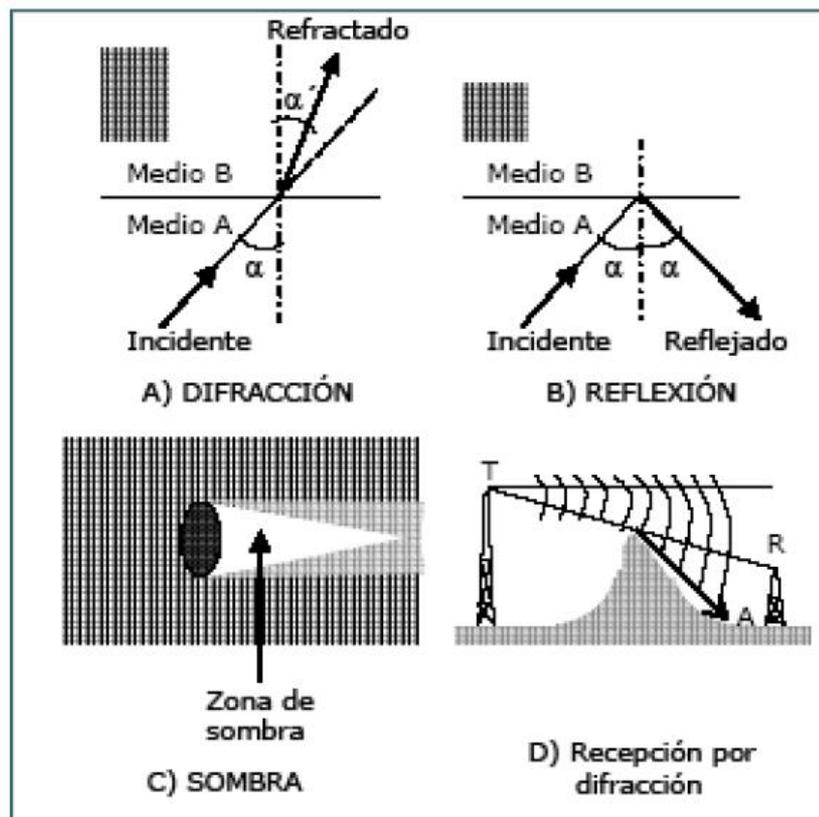
TEMA 3: TRANSMISIÓN Y TRANSPORTE DE ONDAS

Transmisión en el espacio libre
Transmisión confinada de señales
Antenas y tipos
Polarización
Apantallamiento de ondas
Ondas de tierra y espacio, desvanecimiento
Factores que afectan a la propagación.

Transmisión en el espacio:

- Efecto de los obstáculos en la propagación
- Tipos de ondas
- Horizonte radio
- Efecto de la Ionosfera
- Ondas de superficie

Transmisión en el espacio (cambio de medio)



Effects of propagation

TRANSMISIÓN

En los sistemas de comunicación de radio, las ondas se pueden propagar de varias formas, dependiendo del tipo de sistema y el ambiente.

Se sabe que las ondas electromagnéticas viajan en línea recta, excepto cuando la tierra y/o su atmósfera alteran su trayectoria.

Las ondas electromagnéticas se pueden propagar dentro y fuera de la atmósfera, cuando las ondas se propagan dentro de la atmósfera se les puede llamar ondas terrestres u ondas espaciales

Cada banda de frecuencias tiene designada aplicaciones para la que pueden llegar a ser utilizada.

Otro tipo de ondas son las llamadas ondas celestes, éstas se transmiten sobre el nivel del horizonte, con ángulos normalmente grandes con respecto a la tierra, se transmiten hacia el cielo donde son refractadas o reflejadas hacia la superficie terrestre por la ionósfera.

Cuando una onda de radio, emitida por la antena se propaga a través del espacio, las diferentes porciones de ella siguen trayectorias distintas y pueden ser afectadas por los obstáculos que se encuentren en su curso.

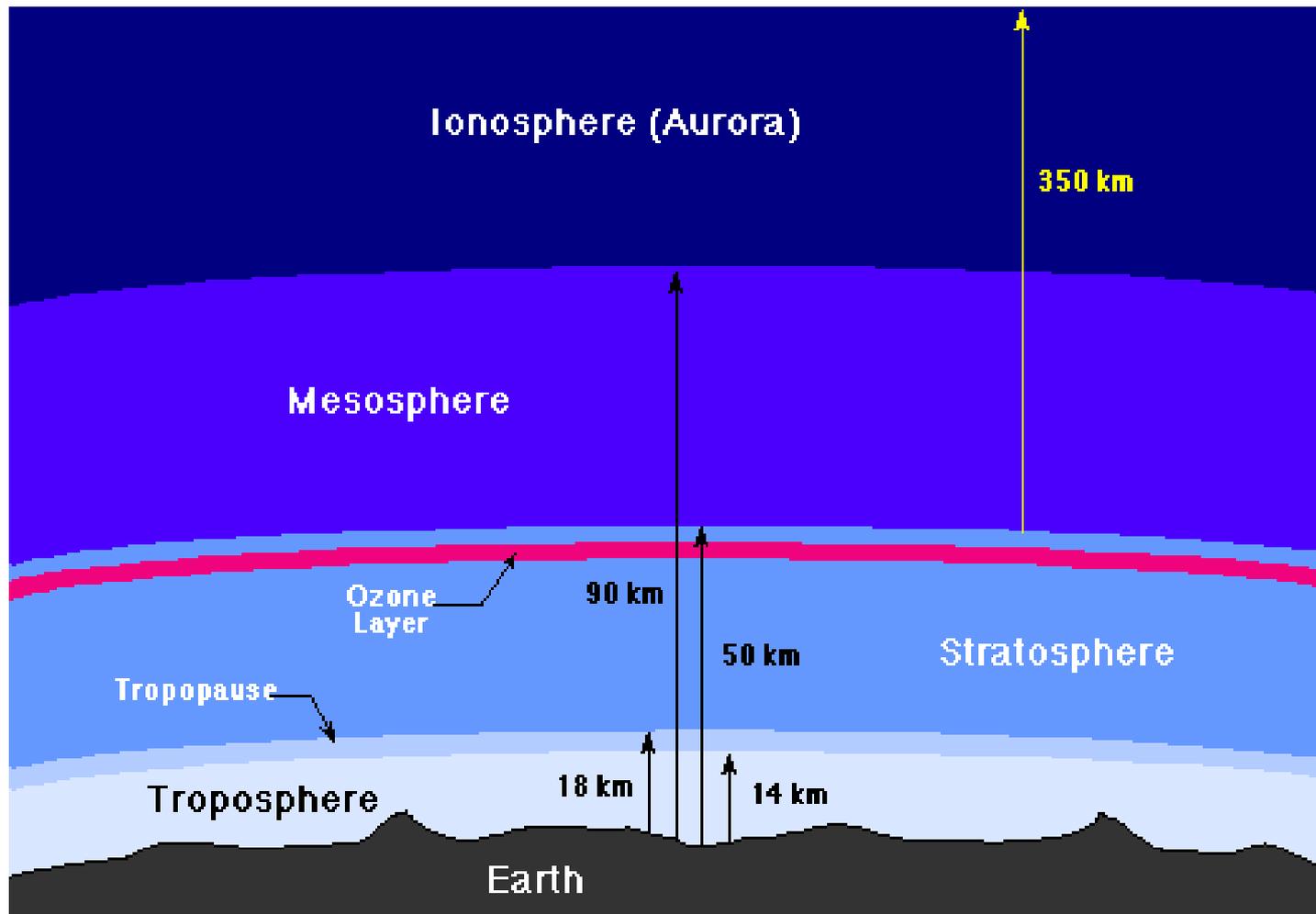
Una parte de la onda se desplaza cerca de la superficie de la tierra, por lo que se llama ONDA DE TIERRA.

El resto se propaga hacia arriba alejándose de la antena y constituye lo que se llama ONDA ESPACIAL.

En ciertas condiciones la onda de tierra proporciona el mejor medio de transmisión, mientras que en otras es preferible utilizar la onda espacial.

Es importante tener presente que las ondas de tierra y la espacial, en realidad, son de la misma onda, emitida por la antena.

LA ATMÓSFERA DE LA TIERRA



- 1.- **Tropósfera:** La parte más baja de la atmósfera es la tropósfera que es la capa que está en contacto con la superficie terrestre. Su grosor varía entre 8 km en los polos y 16 km en el ecuador y su temperatura disminuye al aumentar la altura. Contiene el 75 % del peso total de la atmósfera y en ella se producen la mayoría de los fenómenos meteorológicos. La tropósfera no tiene gran influencia en la propagación de HF.
- 2.- **Estratósfera:** Capa que se eleva hasta los 50 km. La temperatura en ella va aumentando a medida que se asciende. En la parte superior de la estratósfera se encuentra la capa de ozono, que filtra la radiación ultravioleta (el ozono provoca que la temperatura suba ya que absorbe la radiación peligrosa del sol y la convierte en calor). Esta parte de la atmósfera no influirá en la propagación en HF.
- 3.- **Mesófera:** Tiene un grosor de 40 km aproximadamente. La temperatura va descendiendo a medida que se gana en altitud (hasta los $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ en su límite superior), hay nubes de hielo y polvo. En esta capa los meteoritos que caen a la tierra se transforman en estrellas fugaces.

4.- **Termósfera o Ionósfera:** A partir de los 85 km, y hasta los 500 km, se extiende la termósfera (también llamada ionósfera) en la que de nuevo aumenta el nivel térmico con la altura. El incremento de la temperatura es notable entre los 120 y 150 km (300º C), y de los 150 km hacia arriba el aumento es más suave (no obstante, se alcanzan temperaturas del orden de 1.500º C o más). En la ionósfera se producen las Auroras, que se deben a la excitación producida en las partículas de esta capa atmosférica por el Viento solar.

A partir de los 80 km, la radiación ultravioleta, los rayos X y la lluvia de electrones procedente del Sol ionizan varias capas de la atmósfera, con lo que se convierten en conductoras de electricidad. Estas capas reflejan de vuelta a la Tierra ciertas frecuencias de ondas de radio: una parte de la energía radiada por un transmisor hacia la ionósfera es absorbida por el aire ionizado y otra es refractada, o desviada, de nuevo hacia la superficie de la Tierra. Este último efecto permite la recepción de señales de radio a distancias mucho mayores de lo que sería posible con ondas que viajan por la superficie terrestre.

La ionósfera contiene algunas capas, indicadas con las letras D, E, F1 Y F2.

5.- **Exósfera:** Es la parte exterior de la atmósfera terrestre, a partir de los 500 km de altura.

Esta contiene una concentración gaseosa extraordinariamente enrarecida, y no tiene un límite superior definido ya que, simplemente, la densidad disminuye de forma gradual hasta la desaparición total de la atmósfera. Algunos científicos, sin embargo, han intentado definir el límite superior de la exósfera situándolo a unos 9.000 km de altura.

Transmisión en el espacio (tipos de ondas)

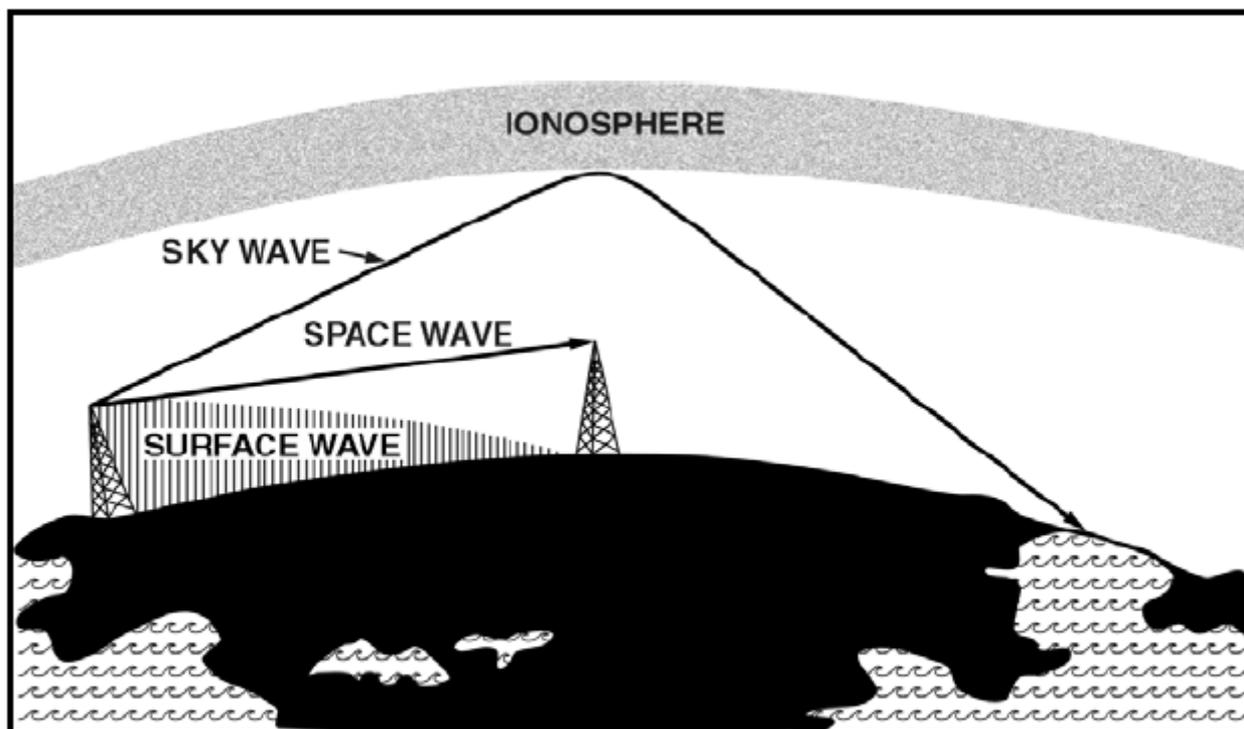
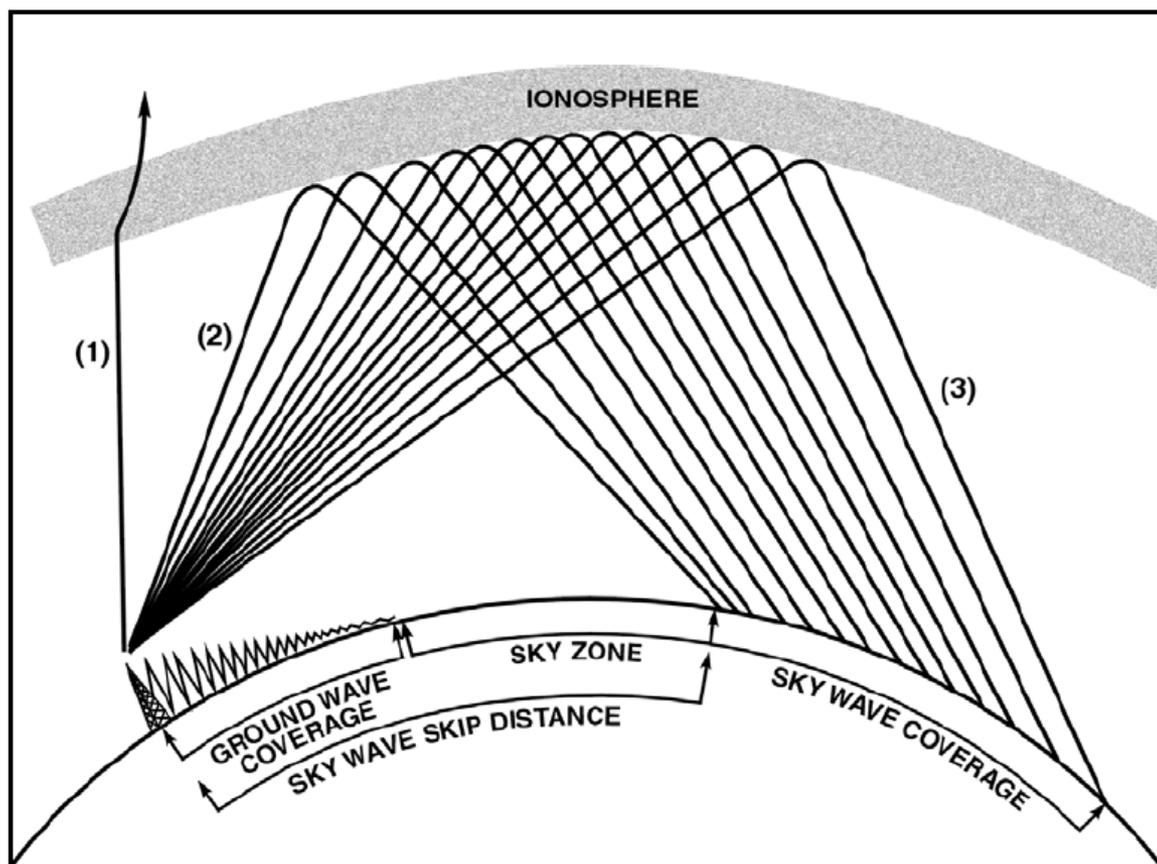


Figure 2-11. Ground Waves and Sky Waves

Transmisión en el espacio (tipos de ondas)



Propagación en espacio libre

- Relación entre la potencia recibida y la transmitida (pérdida de transmisión) por dos antenas separadas una distancia r :

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{1}{4\pi r^2} D_T A_{efR} = \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2 D_T D_R = \left(\frac{1}{\lambda r} \right) A_{efR} A_{efT}$$

- Responde a un modelo ideal análogo a las condiciones de propagación en el vacío.
- Pocas situaciones se ajustan a este modelo.
- La presencia de la tierra, la atmósfera y la ionosfera alteran en la mayoría de los casos reales las condiciones de propagación.

Efectos que modifican la propagación en el vacío

- Orografía
 - Reflexión
 - Difracción
 - Onda de superficie

- Concentración de gases
 - Variación en el índice de refracción
 - Atenuación

- Incidencias meteorológicas

- En la práctica los problemas de propagación se tratan **estudiando por separado cada uno de los fenómenos y cuantificando su efecto respecto a la propagación en el espacio libre**

Efecto de la tierra

- La tierra perturba la propagación de las ondas electromagnéticas
 - Onda de superficie
 - Difracción
 - Formación de onda de espacio

- Cada uno de estos factores depende de:
 - Banda de frecuencias
 - Tipo de terreno
 - Ubicación de las antenas

- En general:
 - Onda de superficie → Frecuencias bajas (MF e inferiores)
 - Difracción → UHF y superiores
 - Predominancia de efectos en función de la frecuencia

Nomenclatura de bandas de frecuencias

Número	Símbolo	Frecuencias	Modelo de propagación
4	VLF	3 a 30 kHz	Guía-ondas tierra ionosfera
5	LF	30 a 300 kHz	Onda de superficie
6	MF	300 a 3000 kHz	Onda de superficie Onda ionosférica
7	HF	3 a 30 MHz	Onda ionosférica Onda de superficie
8	VHF	30 a 300 MHz	Onda espacial Dispersión ionosférica($f < 50$ MHz)
9	UHF	300 a 3000 MHz	Onda espacial Dispersión ionosférica($f < 500$ MHz)
10	SHF	3 a 30 GHz	Onda espacial
11	EHF	30 a 300 GHz	

Ondas largas (LW: 148,5 a 283 kHz)

- Banda de LF (30-300 kHz)
- Longitud de onda es superior al kilómetro
- Grandes distancias de cobertura
 - Onda de superficie para distancias inferiores a 1.000 km
 - Reflexión ionosférica (modo guiado) para distancias superiores.
- La onda no se propaga por el interior de la ionosfera
 - La recepción es relativamente estable
 - La interferencia entre la onda de superficie y la reflejada en la ionosfera puede dar lugar a desvanecimientos.
- Las antenas son pequeñas en términos de λ
 - Para conseguir una relación señal-ruido aceptable en el receptor, es necesario transmitir grandes potencias.

Ondas medias (MW: 526,5 a 1.605,5 kHz)

- Radiodifusión en onda media (OM)
- Banda de MF
- Propagación
 - Durante el día la propagación por onda de superficie
 - coberturas del orden del centenar de kilómetros.
 - Fuerte absorción de capa D en esta banda
 - no es posible la reflexión ionosférica.
 - Por la noche
 - La capa D desaparece
 - Propagación por reflexión ionosférica en la capa E
 - Alcances del orden de los 1.000 km
 - La propagación ionosférica presenta desvanecimientos rápidos por modificaciones locales de las condiciones ionosféricas.
 - Alcances sujetos a interferencias por estaciones próximas
- Parásitos atmosféricos - fuente importante de ruido.

Ondas cortas (SW : 3,2 a 26,1 MHz)

- Banda de HF.
- Propagación por onda de espacio para distancias cortas (inferiores a 150 km).
 - Extensión de alcance por difracción o refracción mas allá de visibilidad directa
- Reflexión ionosférica en las capas E y F posibilita grandes alcances (varios miles de km).
- La propagación ionosférica presenta desvanecimientos y variaciones horarias y estacionales.
- Zona de silencio que no puede ser cubierta ni por onda de espacio ni por reflexión ionosférica.

Ondas ultracortas

- Bandas de VHF y UHF.
- Servicios de radiodifusión en FM y televisión terrena.
- Propagación por trayectos rectilíneos que se modifican por la refracción atmosférica.
- Difracción posibilita recepción sin visibilidad directa.
- Cobertura limitada a algunas decenas de kilómetros
 - Ciertas aplicaciones → centenas de km
 - Difusión troposférica
 - Grandes potencias de transmisión.

Microondas (10,95 a 12,5 GHz)

- Dentro de la banda de SHF
- Difusión de programas de TV por satélite.
- Antenas directivas y se encuentran apuntando hacia el cielo
 - Los efectos de la tierra son despreciables.
- La atenuación atmosférica es del orden de unos 2 dB
 - puede incrementarse en caso de lluvia.
- Los efectos ionosféricas despreciables

Nomenclatura de bandas de frecuencias.

Microondas

Banda	Frecuencias (GHz)
L	1-2
S	2-4
C	4-8
X	8-12
Ku	12-18
K	18-27
Ks	27-40
mm	40-300

Bandas de frecuencias. Modo de Propagación

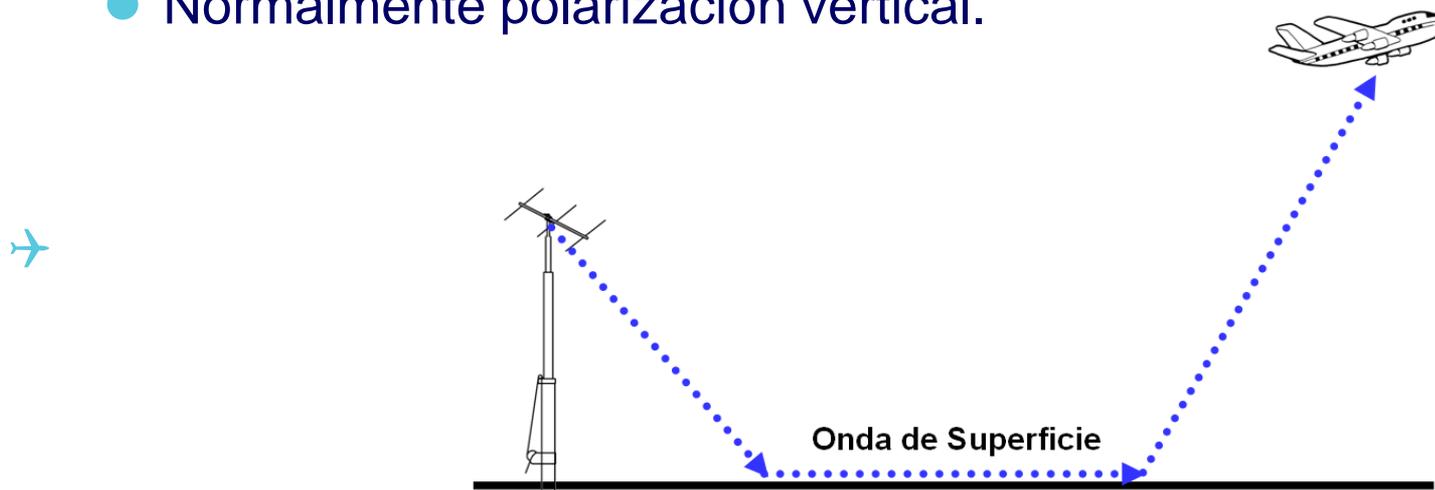
Banda de Frecuencia		Modo de Propagación	Sensores
Denominación	Margen de Frecuencias		
VLF	3 – 30 KHz	Guía de Ondas formada por la superficie de la Tierra y la Ionosfera	Omega VLF
LF	30 – 300 KHz	Onda de Superficie	Loran C, Omega
MF	300 – 3000 KHz	Onda de Superficie y Onda Ionosférica	NDB
HF	3 – 30 MHz	Onda Espacial y Dispersión Ionosférica	Comunicaciones
VHF	30 – 300 MHz	Onda Espacial y Dispersión Troposférica	Localizador y Radiobalizas (ILS), VOR, Comunicaciones.
UHF	300 – 3000 MHz	Onda Espacial y Dispersión Troposférica	Senda (ILS), DME, GNSS, Comunicaciones.
SHF	3 – 30 GHz	Onda Espacial	MLS, Comunicaciones SAT.

Formas de propagación de la onda electromagnética

- Hay tres formas de propagación de onda electromagnética dentro de la atmosfera terrestre:
 - Onda de superficie o terrestre.
 - Onda Ionosférica.
 - Onda espacial.

Onda de superficie

- Onda de superficie (**OS**)
 - Frecuencias inferiores a 30MHz.
 - Largos alcances.
 - Gran estabilidad de señales.
 - El tipo de terreno influye en gran medida.
 - Normalmente polarización vertical.



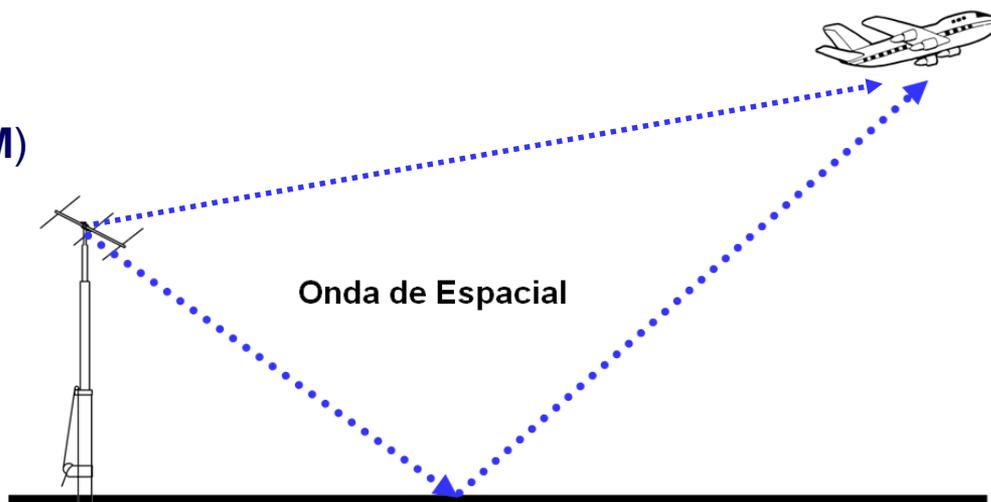
Onda espacial (I)

- Esta clase de propagación corresponde a la energía irradiada que viaja en los kilómetros inferiores de la atmosfera terrestre.
- Las ondas directas viajan esencialmente en línea recta de la antena transmisora a la receptora.
- Esta transmisión se le llama transmisión de línea de vista y se encuentra limitada principalmente por la curvatura de la tierra. La curvatura de la tierra presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales, que se suele llamar el horizonte de radio. Este horizonte se encuentra más lejano que el horizonte óptico para la atmosfera común.

Onda espacial (II)

→ Onda espacial (OE)

- Frecuencias superiores a 30MHz
- A través de capas bajas de la atmósfera
- Estable
- Limitada a alcance visual TX-RX
- Puede ser perturbada por OR y ORM
- Tres submodos
 - Onda directa (OD)
 - Onda reflejada (OR)
 - Ondas de Multitrayecto (ORM)



Onda Ionosférica (I)

- Cuando un 12 de diciembre de 1901 Marconi logró cubrir una distancia de 3378 km entre Inglaterra) y Saint John's en Terranova (Canadá), los científicos quedaron estupefactos, porque si las ondas se propagan en líneas rectas ¿cómo podían haber salvado la curvatura de la tierra para alcanzar Terranova?.
- Oliver Heaviside, físico inglés y Arthur Kennelly, ingeniero electrónico estadounidense propusieron en 1902 la posibilidad de que esas señales fueran reflejadas por una capa de partículas cargadas que se encontrara a gran altura en la atmosfera. Esta capa fue hallada en 1920 por otro físico inglés, Edward V. Appleton quien consiguió calcular su altura mientras estudiaba el fenómeno del desvanecimiento de las señales. Se la nombró "capa de Kennelly-Heaviside" en honor de los mencionados. Se halla a unos 100 km de altura y también se la conoce como capa "E". Poco después se descubrieron otras situadas a partir de los 225 km de altura (las capas F) conocidas como "capas Appleton".

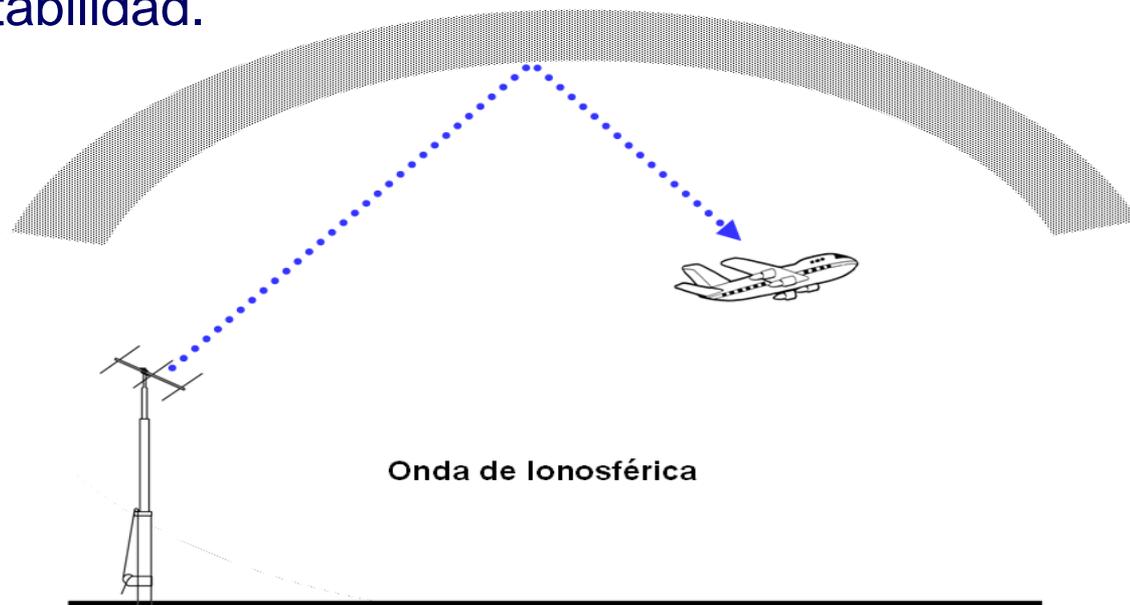
Onda Ionosférica (II)

- En las regiones superiores de la atmósfera se producen los fenómenos más importantes relacionados con la propagación de señales a largas distancias por medios naturales, allí se establecen nubes de electrones libres bastante estratificadas producidas principalmente por la radiación ultravioleta del Sol. Esas zonas tienen la capacidad de "reflejar" de nuevo hacia la tierra las ondas de radio que inciden sobre ellas haciendo posible comunicaciones alrededor del globo a pesar de su esfericidad.
- Son las que se dirigen hacia la Atmósfera y se reflejan en la zona ionizada de la misma (capa Heaviside) volviendo nuevamente a la Tierra; son ondas hectométricas (OC) de 300 KHz. a 30 MHz. y que constituyen las llamadas ondas de media/alta frecuencia; propagándose por la superficie llegan a unos 644 kilómetros, pero reflejadas a unos 12874,7 kilómetros.

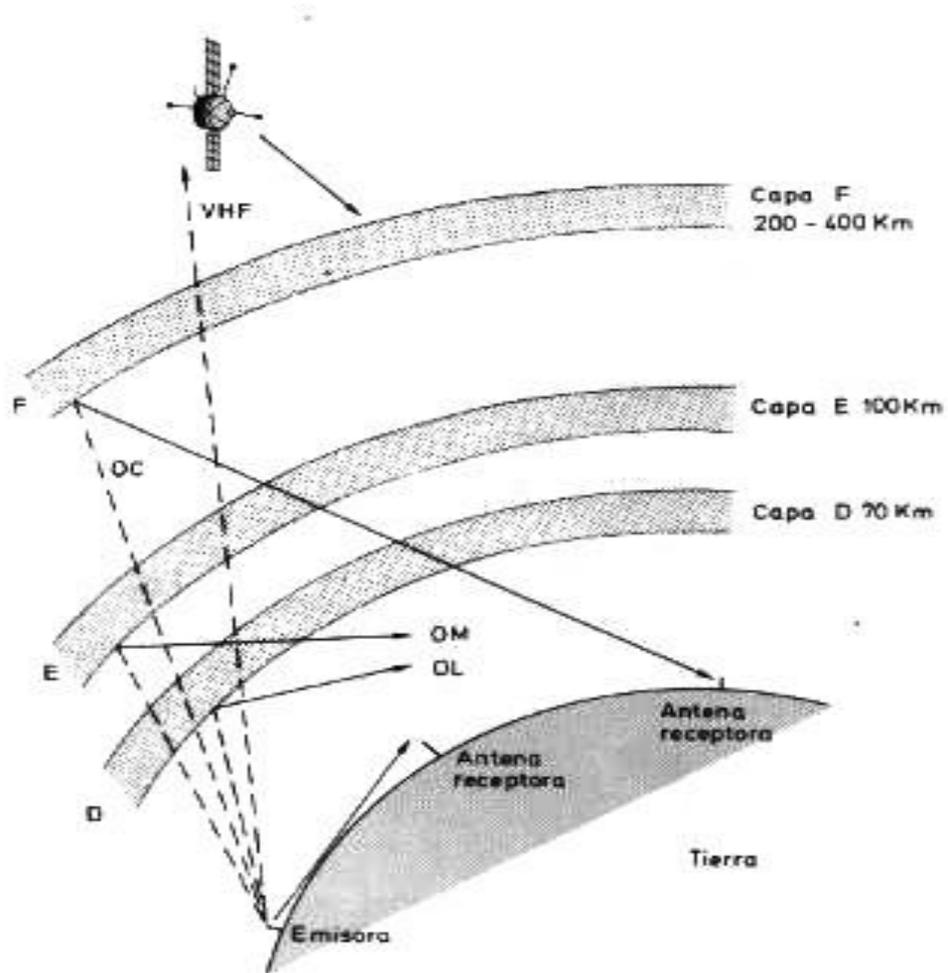
Onda Ionosférica (II)

→ Onda ionosférica (OI)

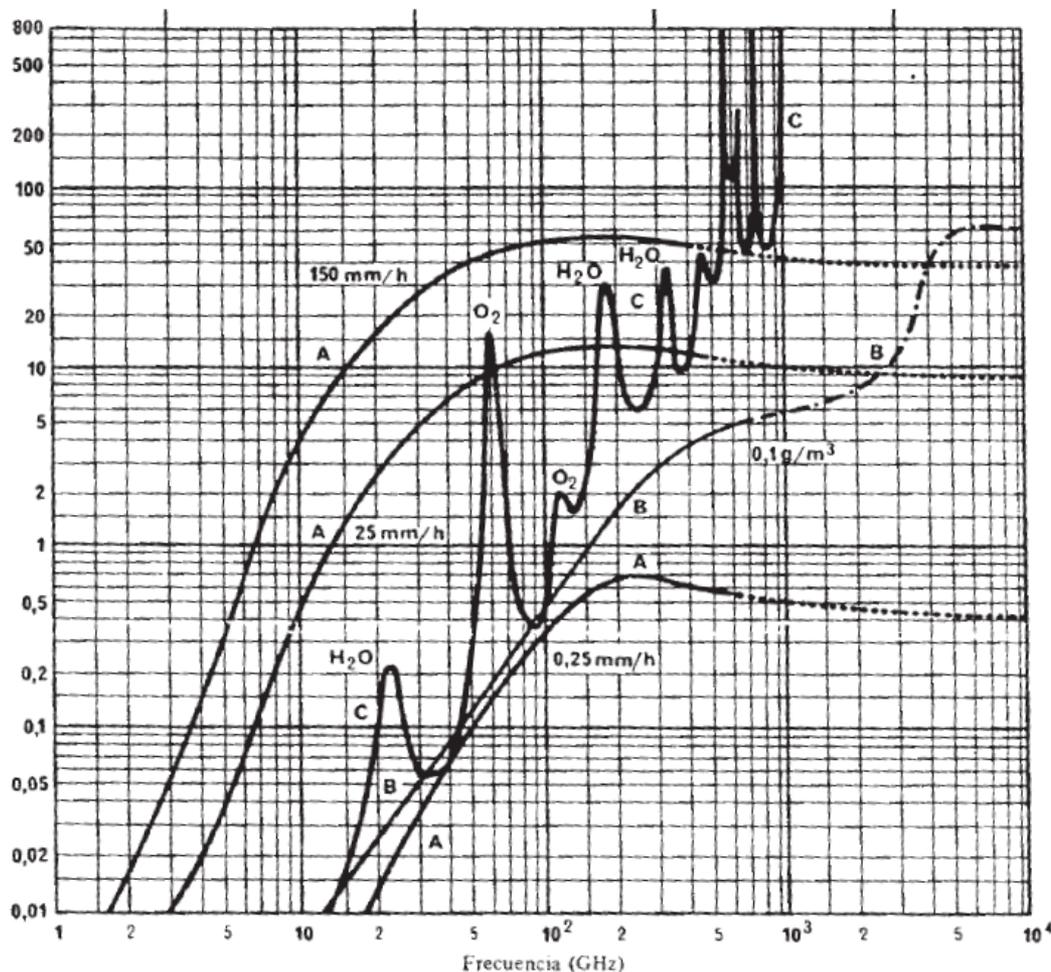
- 3 a 30 MHz.
- Propagación por reflexión en capas ionizadas (ionosfera).
- Gran alcance.
- Cierta grado de inestabilidad.



Capas Ionosfera

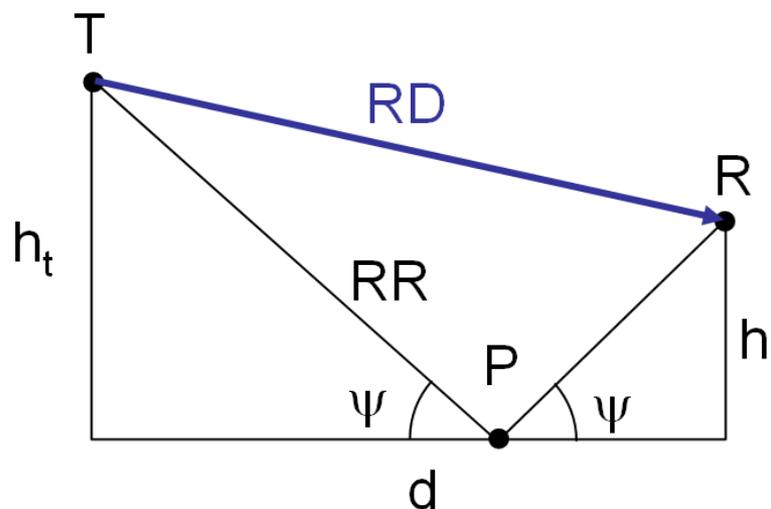


Atenuación por gases y vapores atmosféricos



Modelo de propagación de tierra plana

- Aplicable a distancias cortas para las que puede despreciarse la curvatura terrestre
 - Terreno liso
- Considerar onda de superficie
 - $F < 150\text{MHz}$, alturas de antenas reducidas, Polarización vertical
 - Efecto dominante $F < 10\text{MHz}$



Alcance línea de vista

Suponiendo trayectoria rectilínea:

$$H = \frac{1}{2R} D^2 + \alpha D + h_0$$

Trayectoria curva (R4/3):

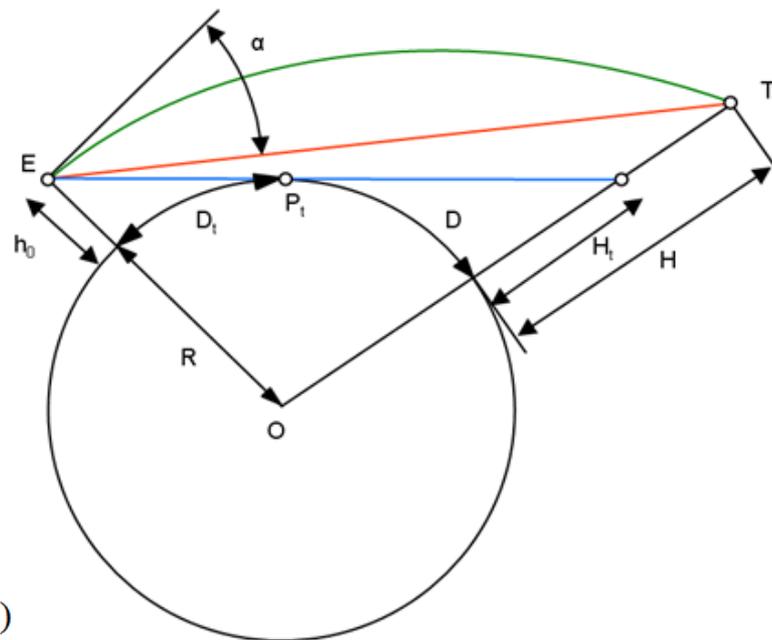
$$H = \frac{3}{8R} D^2 + \alpha D + h_0$$

Cambiando unidades, distancias D y R a millas náuticas (NM), altitudes h_0 y H en pies y α en miliradianes:

$$H - h_0 = 6000 \left[\frac{3}{8 \cdot 3440} D^2 + \frac{\alpha D}{1000} \right] \cong \frac{2}{3} D^2 + 6\alpha D = \frac{2}{3} D \cdot (D + 9\alpha)$$

Para $H=0$, $D=D_t$:

$$H - h_0 = \frac{2}{3} D \cdot (D + 9\alpha)$$



Tipos propagación

Las comunicaciones usuales de la mayoría de los aficionados se realizan en frecuencias llamadas elevadas y muy elevadas (HF y VHF).

La propagación en VHF terrestre es casi directa.

Hay otros mecanismos por los que una señal puede llegar a un destino, por ejemplo, reflejándose en objetos existentes en el entorno tales como edificios, montañas, etc., también fenómenos atmosféricos ó cuasi ópticos especiales.

En VHF y UHF, suele ser importante que las antenas se encuentren elevadas sobre el terreno para lograr alguna distancia pues estas ondas se atenúan rápidamente más allá del horizonte.

En las frecuencias elevadas (HF) pueden reflejarse en regiones que se encuentran a gran altura en la atmósfera, permitiendo con ello alcanzar grandes distancias.

Usualmente las ondas arribarán al receptor por varios caminos simultáneamente dando lugar a señales cuya intensidad se refuerza o desvanece más o menos rápidamente con el tiempo (desde fracciones de segundo hasta varios minutos), esto, que sucede permanentemente, se conoce como *desvanecimiento o fading*.

El mismo fenómeno no solo hace que la señal varíe en intensidad sino que puede producir una distorsión capaz de hacer ininteligible la comunicación.

FRECUENCIA CRÍTICA

Se define la frecuencia crítica o frecuencia de corte (f_o) de una capa de la ionósfera como aquella a partir de cuyo valor las ondas electromagnéticas emitidas de forma completamente perpendicular a la superficie terrestre ya no se reflejan en dicha capa.

Las ondas de frecuencia igual o superior a la crítica atraviesan la ionósfera y progresan hacia el espacio exterior.

Las de frecuencia inferior se reflejan y vuelven hacia la superficie terrestre.

La frecuencias críticas de las capas E, F1 y F2 se denotan, respectivamente, como f_oE , f_oF1 y f_oF2 .

En el caso de la capa F2, por ser la más alta y por tanto la más expuesta a las radiaciones del Sol, la f_oF2 es muy variable y se estudia a través de ionosondas para realizar la predicción de su valor, que se refleja en mapas mundiales.

SALTO

Llamamos salto al recorrido que sigue la onda desde que parte de la tierra, se refleja una vez en la ionósfera y vuelve a la superficie terrestre.

La radiocomunicación por propagación ionosférica se realizará por tanto a través de una sucesión de saltos.

Hay que tener en cuenta que entre cada salto de la onda existirá una zona de sombra en la que el radio enlace no podrá establecerse, salvo en distancias cortas alcanzadas por la onda de tierra.

La distancia de cada salto depende de la altura virtual de la capa ionizada y del ángulo de incidencia de la onda en la ionósfera.

Así, una reflexión en la región F (más alta) hará que el salto sea mucho mayor que una reflexión en la región E (más baja).

No obstante, las reflexiones en la región E son poco comunes debido a su baja densidad de ionización.

Tras reflejarse en la capa ionizada, la onda retorna hacia la superficie terrestre y vuelve a reflejarse, siguiendo una trayectoria consistente en varios saltos.

En cada salto se producen pérdidas que dependen en gran medida de la constante dieléctrica ϵ del lugar en el que se produce la reflexión: a menor constante dieléctrica, mayor atenuación.

ZONA DE SILENCIO (skip zone)

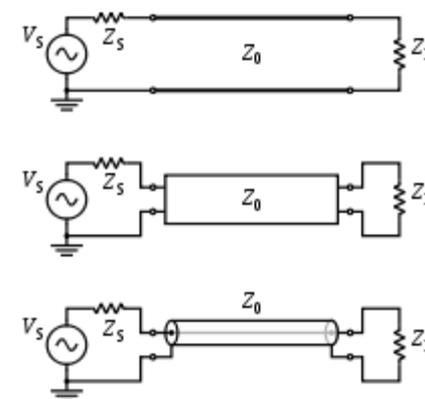
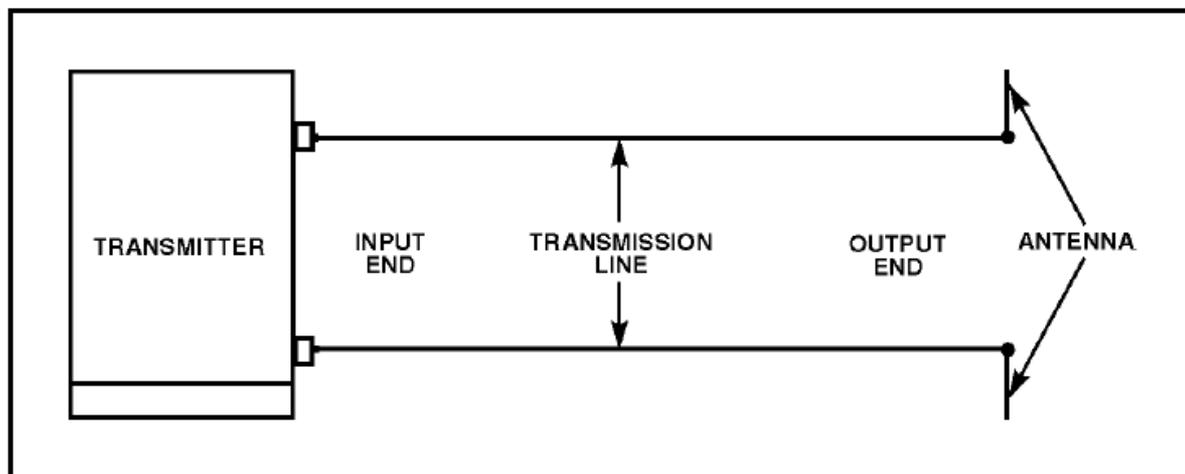
La zona de silencio o "zona de skip" es un área alrededor del transmisor que no es alcanzada por la onda ionosférica, la espacial o la terrestre, por lo tanto en ella no se reciben las señales del transmisor.

A partir de cierta frecuencia, cuando la señal incide sobre la ionósfera con ángulos próximos a la vertical, la atraviesa sin reflejarse, las señales no son devueltas a la tierra y no puede establecerse contacto entre estaciones que precisen de una reflexión en tal ángulo; a medida que ese ángulo se hace más rasante, llega un punto en que la ionósfera si puede reflejar la señal hacia tierra y pueden comunicar entre si estaciones situadas entre los dos puntos que ese ángulo determina.

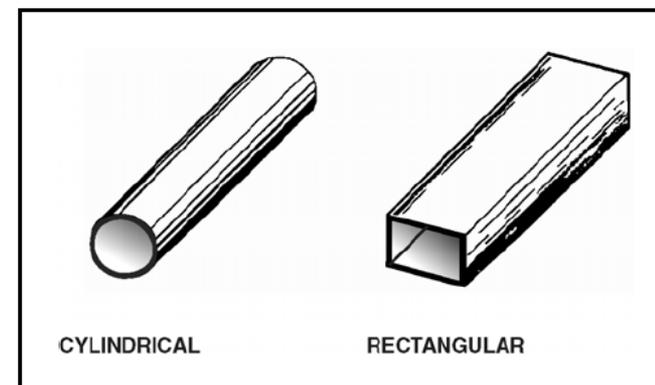
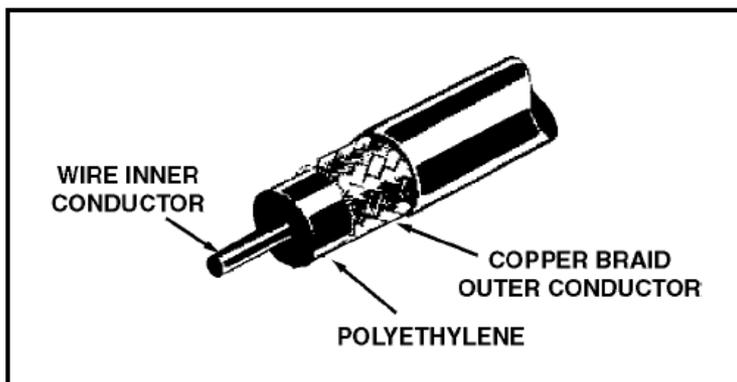
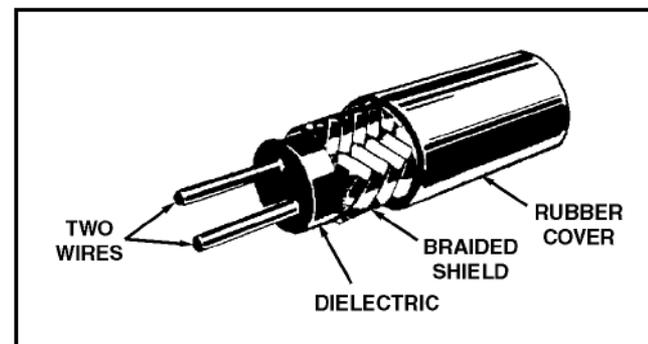
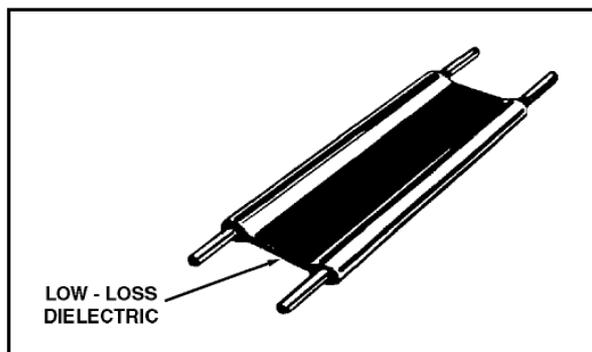
Esta zona suele ser más amplia durante la noche, en invierno y durante los períodos de menor actividad solar debido a que en estas situaciones la densidad de la capa ionizada es menor, haciendo imposibles las comunicaciones a corta distancia sobre la banda considerada.

En este caso la solución para comunicar con estaciones más cercanas es emplear frecuencias más bajas.

Transmisión confinada de señales (concepto de línea de transmisión)



Transmisión confinada de señales (Tipos de línea de transmisión)



ATENUACIÓN

Se especifica en tanto por ciento '%' o en 'dB'.

Son las pérdidas que tiene un conductor a causa del valor óhmico, propiedades del dieléctrico, etc.

Se refiere a un trozo de conductor de 100 m de longitud, por lo general.

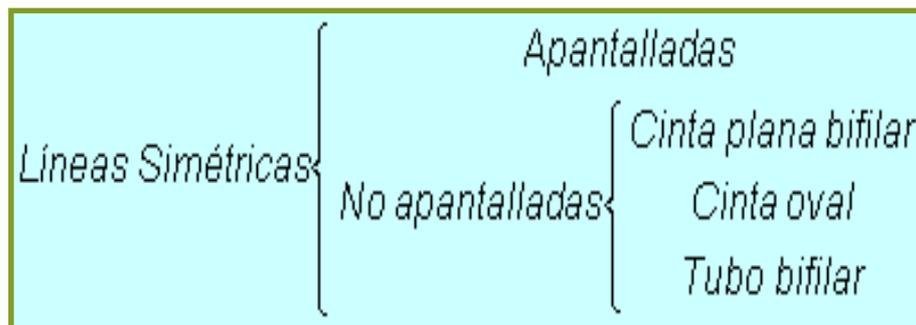
SIMETRÍA - ASIMETRÍA

Esta característica es muy importante para efectuar adaptaciones.

Una línea de bajada bifilar es simétrica, ya que sus conductores son iguales.

Una línea de bajada coaxial es asimétrica, porque en realidad, sólo hay un conductor, ya que el concéntrico (coaxial) actúa como pantalla.

Las líneas simétricas son adecuadas para impedancias altas 75 a 300 Ω .



CINTA PLANA BIFILAR

Se fabrica para 75, 150, 240 y 300 Ω .

Este tipo de cable es el que se utilizaba con los televisores en blanco y negro que tenían una Z de entrada de 300 Ω . Este tipo de cable está en desuso pues el rendimiento en altas frecuencias como UHF, es muy bajo y además, al no estar apantallado, recoge todo tipo de interferencias. El cable se deteriora con facilidad.

LÍNEAS ASIMÉTRICAS CON CABLE COAXIAL

Están constituidas por una malla concéntrica y un conductor central, separados ambos por polietileno celular. La malla está recubierta con polietileno denso.

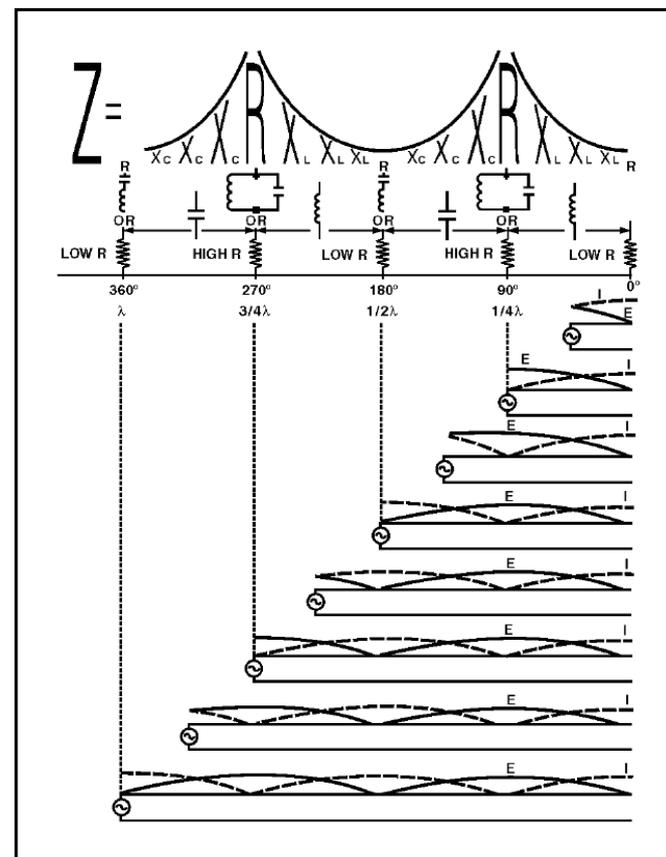
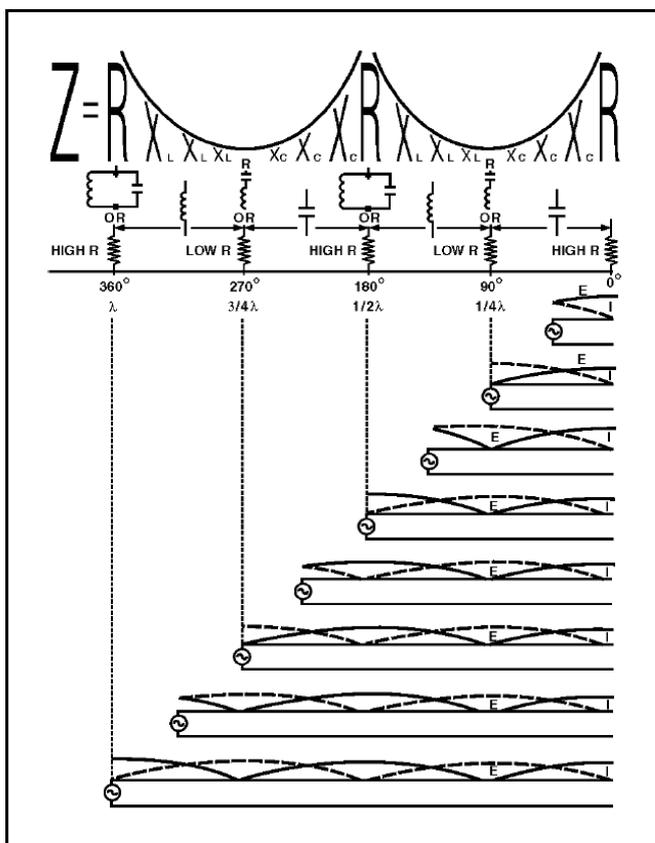
Son asimétricas porque uno de los conductores actúa también como pantalla y está a potencial respecto al otro, es decir, sus características eléctricas no son simétricas con respecto a tierra.

La ventaja es que no está influida por señales parásitas, interferencias, etc. Aunque su atenuación es algo mayor que la bifilar, aquélla permanece constante a lo largo del tiempo.

Se fabrican para baja impedancia de 50 a 150 Ω . La más utilizada es de 75 Ω .

Al hacer la instalación, se debe tener la precaución de no doblar demasiado el cable para que no se aplaste la espuma de polietileno.

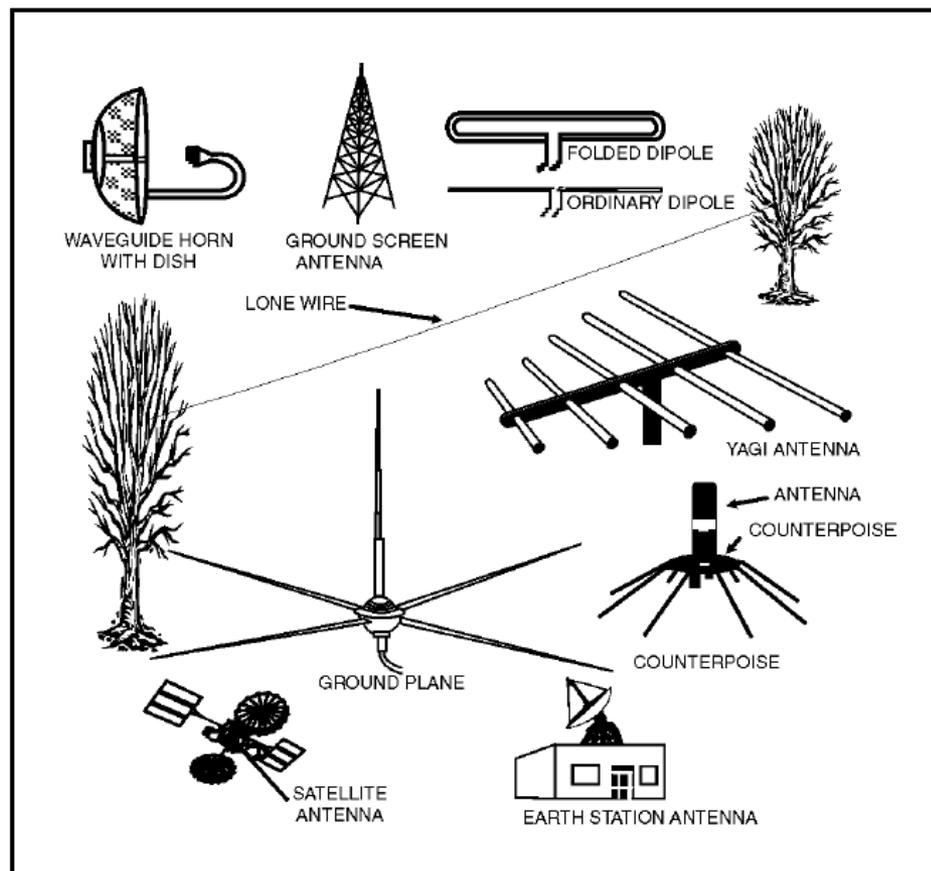
Transmisión confinada de señales (terminación abierta y corto circuito)



Antenas (Parámetros)

- Impedancia
- Intensidad de radiación
- Diagrama de radiación
- Directividad
- Polarización
- Ancho de banda
- Adaptación
- Área y longitud efectiva
- Temperatura de ruido de la antena

Tipos de antenas



Impedancia de una antena

- Objetivo de la antena:
 - Radiar el máximo de potencia con un mínimo de pérdidas en ella (idealmente, radiar la misma potencia que se entrega)

- Transmisor y antena deberán adaptarse para máxima transmisión de potencia.

- El transmisor y la antena se conectan mediante una línea de transmisión.
 - Z_0 , α , longitud

Impedancia

- Como la antena radia, hay una **pérdida de potencia neta hacia el espacio debida a la radiación**, que se puede representar mediante una resistencia de radiación

$$P_{\text{radiada}} = I^2 \cdot R_r$$

Siendo R_r la resistencia de radiación

- Además de las pérdidas por radiación, pueden producirse pérdidas óhmicas.

$$P_{\text{entregada}} = P_{\text{radiada}} + P_{\text{perdidas}} = I^2 \cdot R_r + I^2 \cdot R_p$$

Diagrama de Radiación

- Representación de las **propiedades de radiación** de la antena en función de las distintas direcciones del espacio, a una distancia fija.
- Se representa en general, el campo eléctrico en función de θ y ϕ
- La densidad de potencia es proporcional al cuadrado del módulo del campo eléctrico.
- Los niveles se expresan en decibelios respecto al máximo de radiación.
- **Plano E**: el que forman la dirección de máxima radiación y el campo eléctrico en dicha dirección (antenas linealmente polarizadas)
- **Centro de fases**: centro de curvatura de superficies de fase constante

Diagrama de Radiación (Cont.)

→ Se representan diagramas de:

- Campo: $|E|$, E_θ , E_ϕ , etc
- Potencia: $\langle S \rangle$, Ganancia, Directividad

→ Formatos de diagramas

- Absolutos
- Relativos (dB)

$$10 \log \frac{\rho}{\rho_{\max}} = 20 \log \frac{|E|}{|E|_{\max}}$$

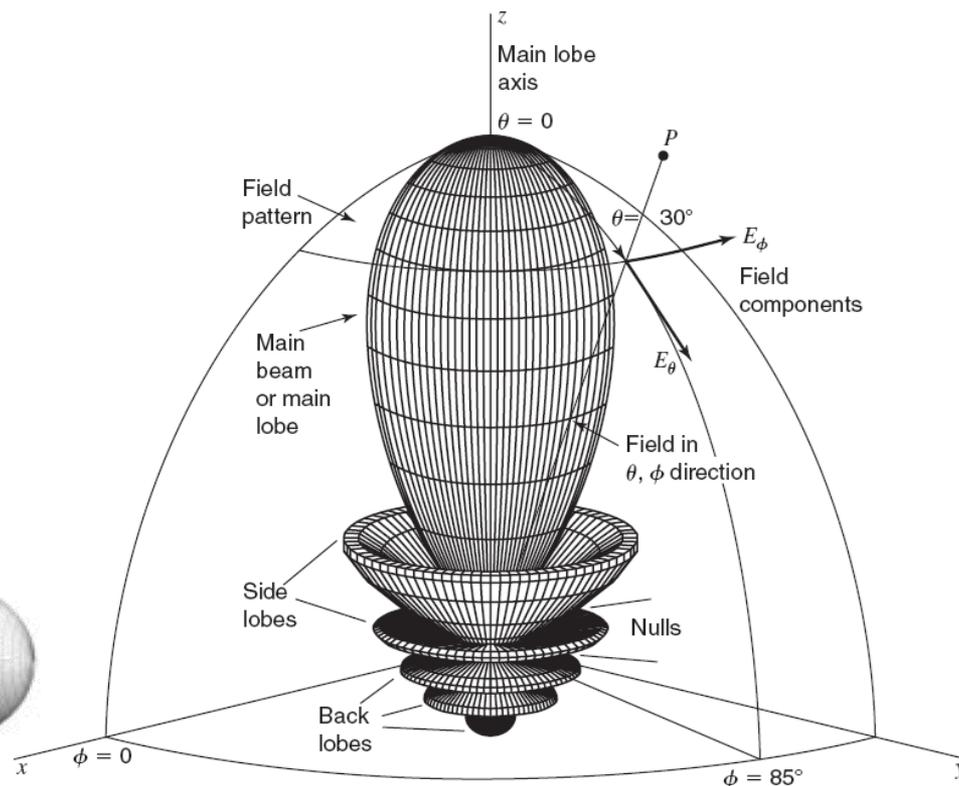
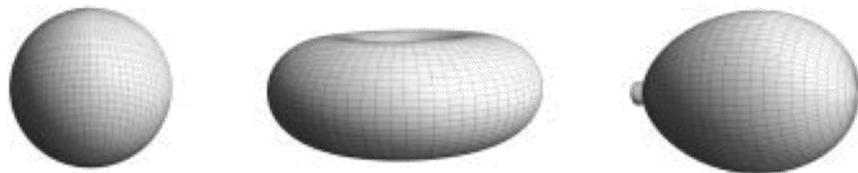
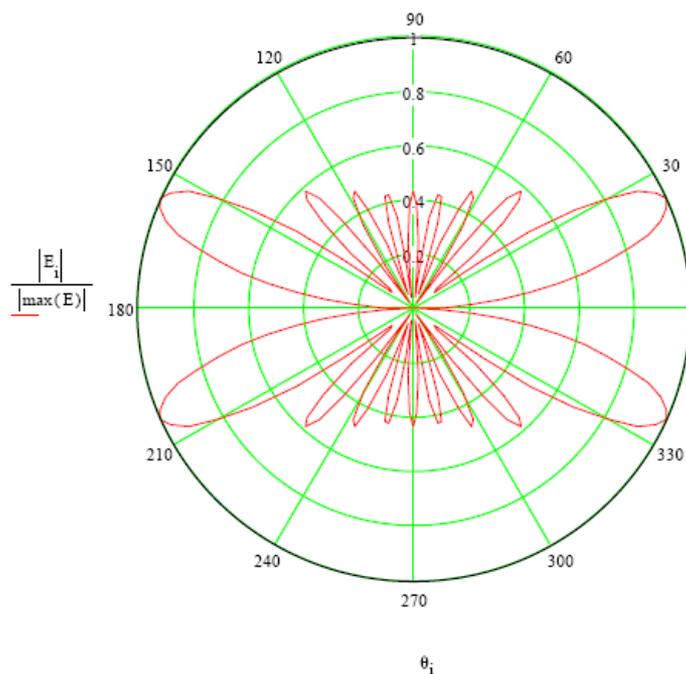
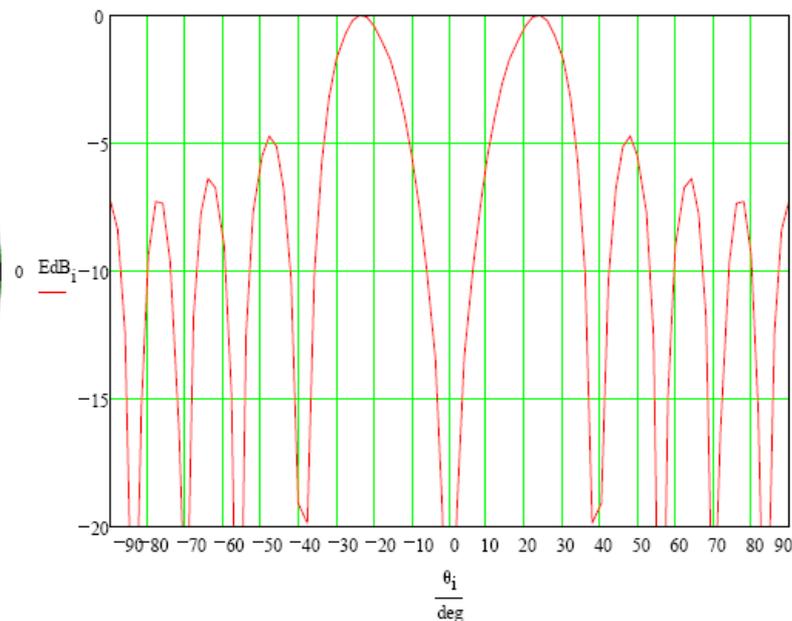


Diagrama de Radiación (Cont.)



Polar (Lineal)



Cartesiano (dB)

Directividad

- La **directividad (D)** de una antena 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.

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_I} = \frac{U(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4 \cdot \pi}} = \frac{\wp(\theta, \phi)}{\frac{P_r}{4 \cdot \pi \cdot r^2}} \quad D_{\max} = \frac{\wp_{\max}}{\frac{P_r}{4 \cdot \pi \cdot r^2}}$$

Ganancia

- La definición es semejante a la de la directividad pero, la comparación no se establece con la potencia radiada sino con la **entregada a la antena**.
- De esta manera se pueden contemplar las posibles **pérdidas de la antena**.
- Ganancia y directividad están relacionadas mediante la **eficiencia de la antena**.

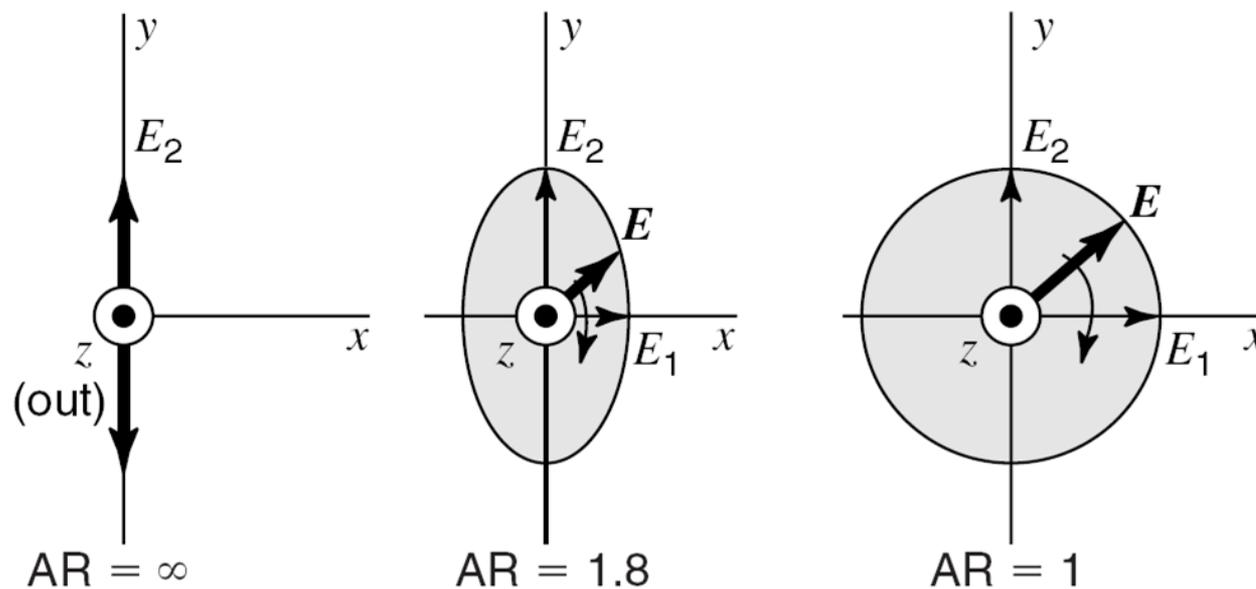
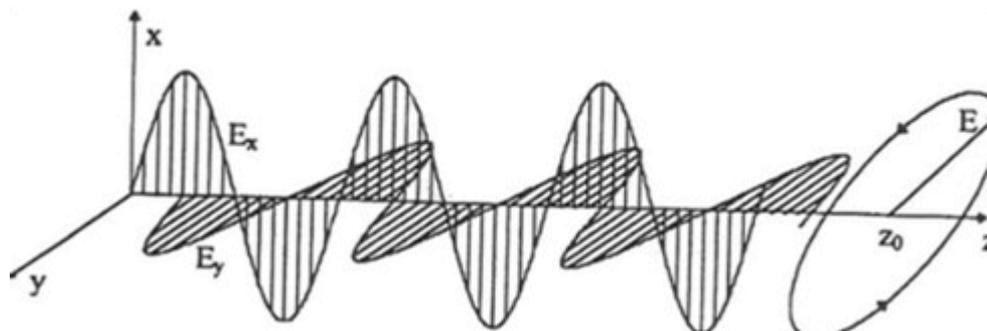
$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{\text{entregada}}} = \frac{\wp(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{entregada}}}{4\pi \cdot r^2}} = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} \frac{\wp(\theta, \phi)}{\frac{P_{\text{radiada}}}{4\pi \cdot r^2}} = e \cdot D(\theta, \phi)$$

→ **Ganancia normalizada** $g(\theta, \phi) = \frac{G(\theta, \phi)}{G_{\text{max}}}$

Polarización

- ***Figura que traza en función del tiempo, para una dirección determinada, el extremo del vector de campo radiado y su sentido de giro, visto por un observador situado sobre la antena***
- Suele asignarse la polarización del lóbulo principal
- Tipos:
 - **Horizontal** : el campo E es perpendicular al plano vertical de propagación
 - **Vertical** : el campo E es paralelo al plano vertical de propagación.
 - **Elíptica**: El campo E gira alrededor de la dirección de propagación, a razón de una revolución por longitud de onda

Polarización



Ancho de Banda

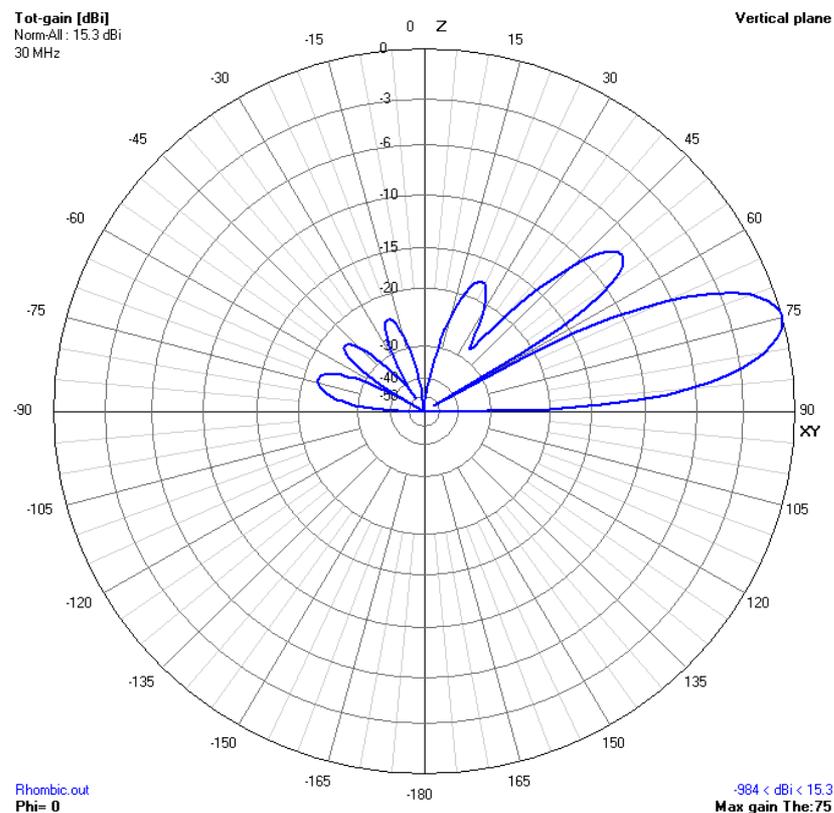
- Las antenas, debido a su geometría finita, están limitadas a funcionar satisfactoriamente en una banda de frecuencias.
- El **ancho de banda** se puede especificar como:

$$BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0}$$

- Siendo f_0 la frecuencia central

Ancho del haz

- Sólo se refiere al lóbulo principal de la antena.
- Generalmente es inversamente proporcional al tamaño físico de la antena.
- Se define como la anchura en grados en los puntos a ambos lados del haz principal **donde la potencia radiada es la mitad (-3dB).**
- El haz principal corresponderá a un determinado ángulo sólido.



Área Efectiva

- Cuando una antena funciona en recepción “extrae” una cierta cantidad de energía de la onda incidente
- El **área efectiva o apertura efectiva de la antena** (A) es aquella que relaciona la potencia recibida P_R entre sus terminales, cuando sobre ella incide una densidad de potencia P_{inc}

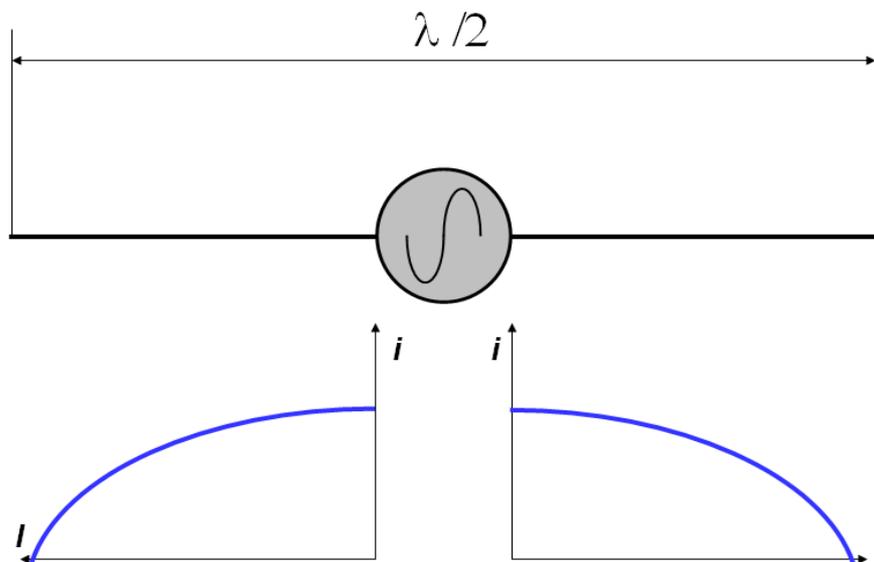
$$P_R = A \cdot P_{inc}$$

- El área efectiva depende de la dirección de llegada de la onda incidente y está relacionada con la ganancia según:

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi A(\theta, \phi)}{\lambda^2}$$

Dipolo $\lambda/2$

- Antena sintonizada cuya longitud es $\lambda/2$.
- Formada por dos elementos con excitación central simétrica.



Cobertura

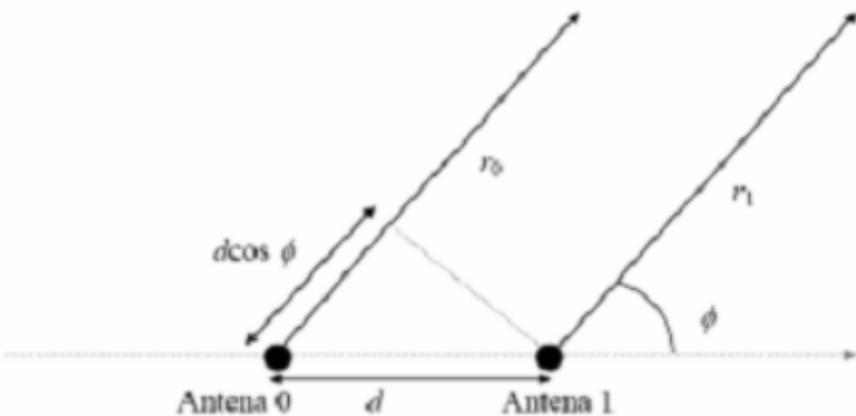
- Lugar geométrico de los puntos en los cuales el nivel de señal es superior al límite establecido.
- Normalmente este valor es superior a la sensibilidad del receptor.
- La cobertura depende de la potencia de emisión, las características de propagación y de la orografía del terreno.

Arrays de antenas (I)

■ Array de dos elementos

Dos radiadores iguales, alimentados con misma amplitud y fase

Ambos radiadores producen ondas esféricas que se sumarán de forma constructiva en determinadas direcciones y cancelación en otras



La diferencia de caminos recorrida por las dos ondas:

$$R_1 - R_2 = d \cos \theta$$

Arrays de antenas (II)

d	$\alpha=0$	$\alpha=\pi/2$	$\alpha=\pi$
$\lambda/4$			
$\lambda/2$			
λ			

Arrays de antenas (III)

- Alimentación en fase
- Alimentación en oposición de fase



Diagrama Localizador 14 elementos

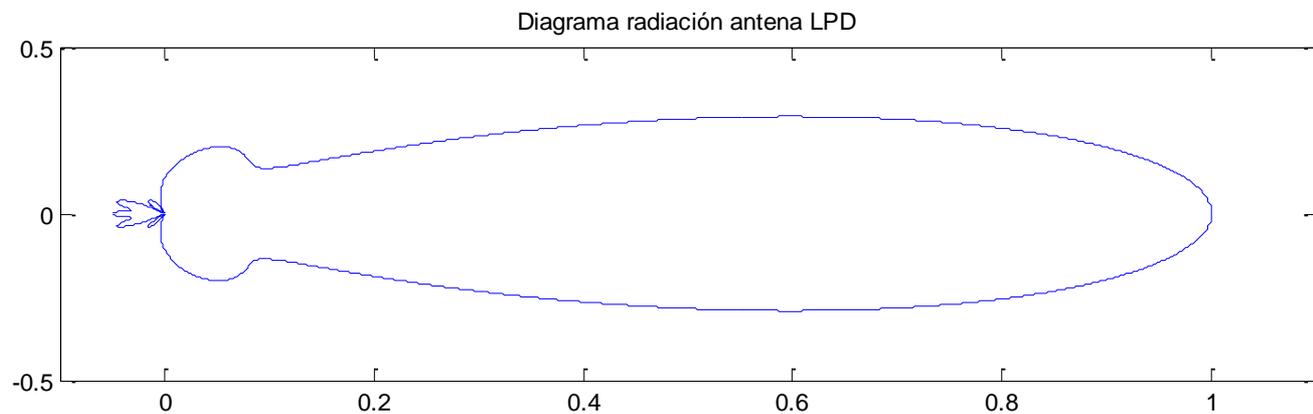
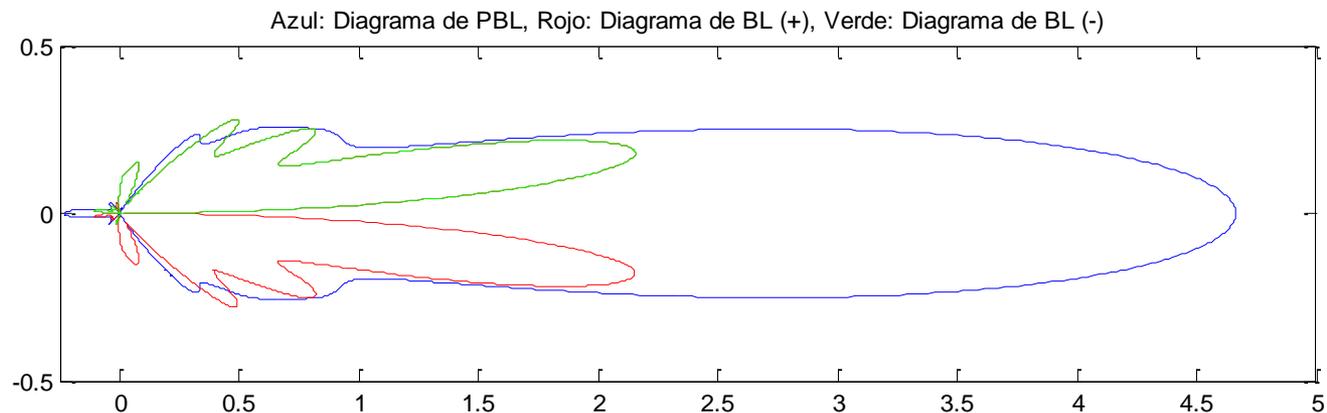


Diagrama GP

