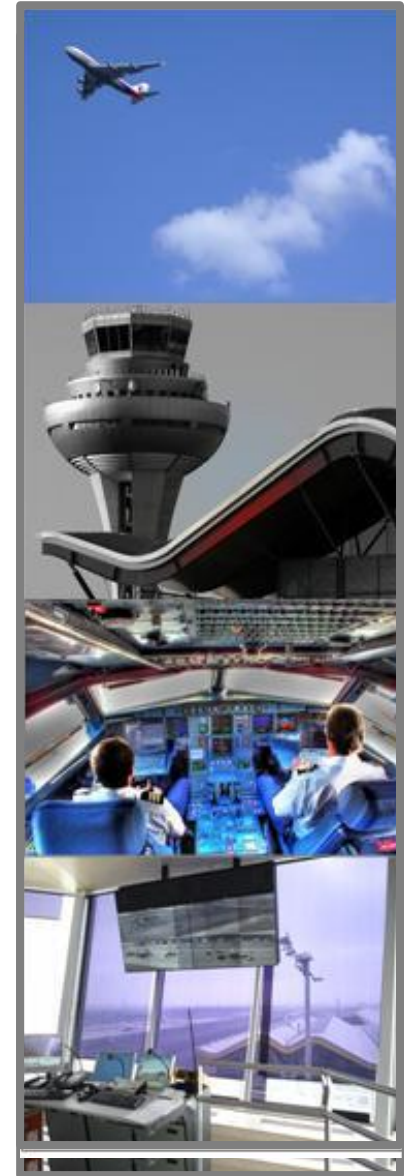


Introducción

COMUNICACIONES Y VIGILANCIA AERONÁUTICAS



Objetivo de la asignatura

Describir las características técnicas y arquitectura funcional de los sistemas, subsistemas y equipos que componen los habilitadores tecnológicos que se emplean en la Gestión del Tráfico Aéreo para llevar a cabo las:

- **Comunicaciones Tierra-Aire y Tierra-Tierra, y**
 - **La Vigilancia Aérea**
- * El uso operativo por pilotos y controladores de estos habilitadores tecnológicos se describirá en otras asignaturas de cursos superiores.

TEMA1:

TEORÍA Y PRINCIPIOS DE LA RADIO

Características de las ondas electromagnéticas

Repaso general:

Concepto de onda (periodo, frecuencia y longitud de onda y fase inicial)

Onda monocromática (frecuencia y número de onda)

Expresión matemática de una onda armónica como función de las variables t y d

Expresión matemática simbólica o fasorial de una onda armónica.

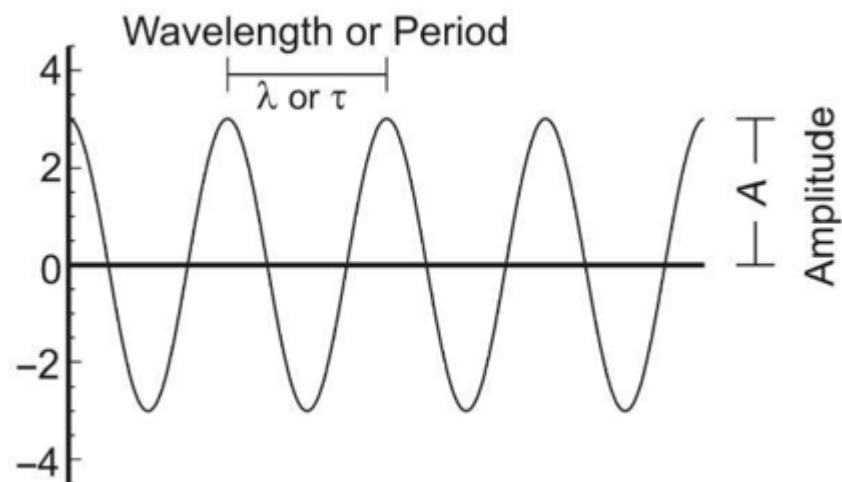
Concepto de adelanto o retraso de una onda.

Ondas transversales y longitudinales.

Ondas no armónicas

Ondas electromagnéticas. Zonal de Fresnel y Fraunhofer

Características de una onda periódica.



Características de las ondas electromagnéticas

Las tres características principales de las ondas que constituyen el espectro electromagnético son:

Frecuencia (f)

Longitud (λ)

Amplitud (A)

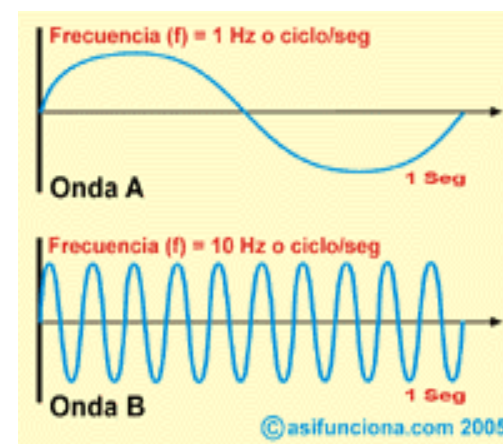
FRECUENCIA

La frecuencia de una onda responde a un fenómeno físico que se repite cíclicamente un número determinado de veces durante un segundo de tiempo, tal como se puede observar en la siguiente figura:

La frecuencia de esas ondas del espectro electromagnético se representan con la letra (f) y su unidad de medida es el ciclo o hertz (Hz) por segundo.

A.- Onda senoidal de un ciclo o hertz (Hz) por segundo.

B.- Onda senoidal de 10 ciclos o hertz por. segundo.



Características de las ondas electromagnéticas

Las ondas del espectro electromagnético se propagan por el espacio de forma similar a como lo hace el agua cuando tiramos una piedra a un estanque, es decir, generando ondas a partir del punto donde cae la piedra y extendiéndose hasta la orilla.

Cuando tiramos una piedra en un estanque de agua, se generan ondas similares a las radiaciones, propias del espectro electromagnético.

Tanto las ondas que se producen por el desplazamiento del agua, como las ondas del espectro electromagnético poseen picos o crestas, así como valles o vientres.

La distancia horizontal existente entre dos picos consecutivos, dos valles consecutivos, o también el doble de la distancia existente entre un nodo y otro de la onda electromagnética, medida en múltiplos o submúltiplos del metro, constituye lo que se denomina "longitud de onda".

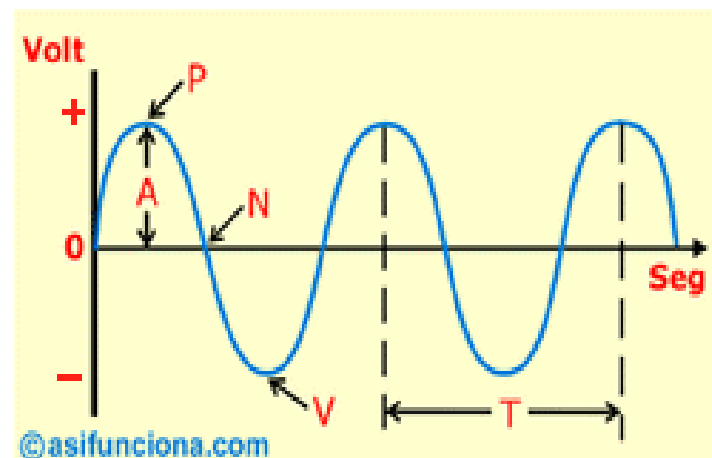
Características de las ondas electromagnéticas

P.- Pico o cresta: valor máximo, de signo positivo (+), que toma la onda sinusoidal del espectro. electromagnético, cada medio ciclo, a partir del punto "0". Ese valor aumenta o disminuye a medida que. la **amplitud "A"** de la propia onda crece o decrece positivamente por encima del valor "0".

V.- Valle o vientre: valor máximo de signo negativo (-) que toma la onda senoidal del espectro. electromagnético, cada medio ciclo, cuando desciende y atraviesa el punto "0". El valor de los valles. aumenta o disminuye a medida que la amplitud "A" de la propia onda crece o decrece negativamente por. debajo del valor "0".

T.- Período: tiempo en segundos que transcurre entre el paso de dos picos o dos valles por un mismo. punto.

N.- Nodo: Valor "0" de la onda senoidal.



Características de las ondas electromagnéticas

La longitud de una onda del espectro electromagnético se representa por medio de la letra griega lambda (λ) y su valor se puede hallar empleando la siguiente fórmula matemática:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde:

λ = Longitud de onda en metros.

c = Velocidad de la luz en el vacío (300 000 km/seg).

f = Frecuencia de la onda en hertz (Hz).

$$\lambda(\text{metros}) \cdot f(\text{MHz}) = 300$$

Características de las ondas electromagnéticas

AMPLITUD DE ONDA:

La amplitud constituye el valor máximo que puede alcanzar la cresta o pico de una onda. El punto de menor valor recibe el nombre de valle o vientre, mientras que el punto donde el valor se anula al pasar, se conoce como "nodo" o "cero".

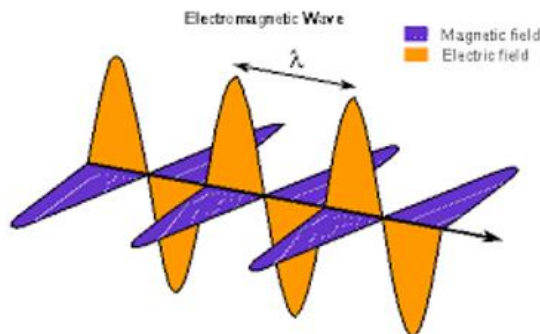
Características de las ondas electromagnéticas

ONDA ELECTROMAGNETICA: son aquellas ondas que no necesitan un medio material para propagarse.

Las cargas eléctricas al ser aceleradas originan ondas electromagnéticas.

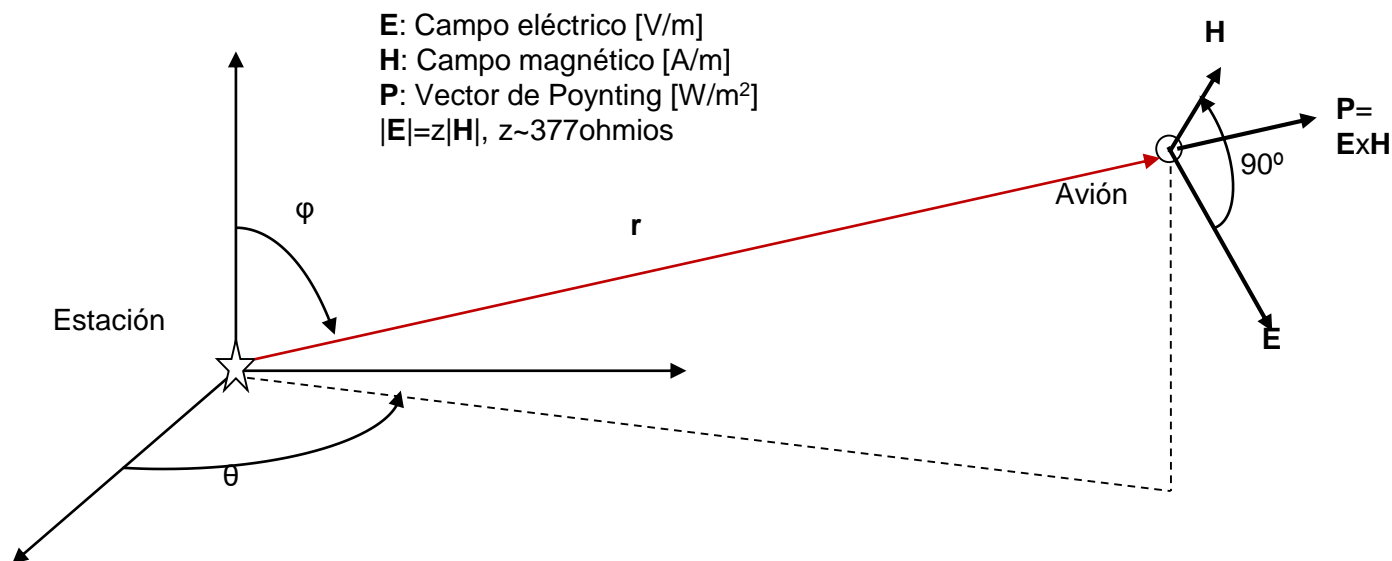
Las O.E.M., son la perturbación simultánea de los campos eléctricos y magnéticos en una misma región.

Una onda es una perturbación que avanza o que se propaga en un medio material o incluso en el vacío.



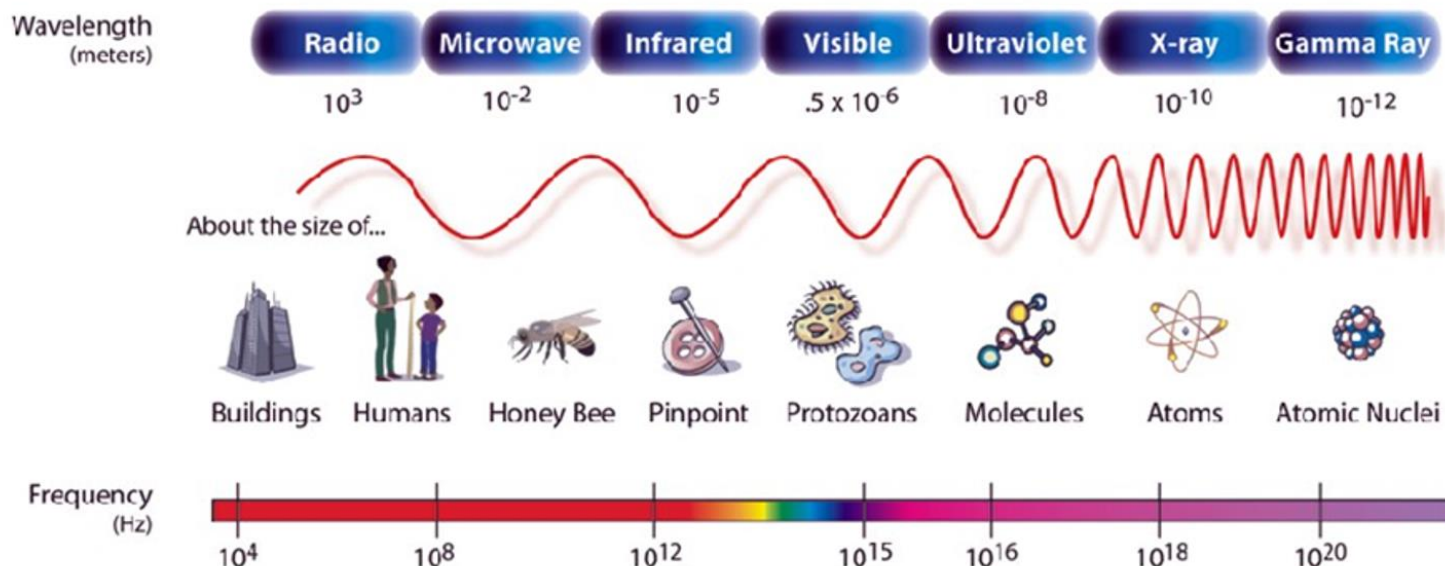
Características de las ondas electromagnéticas

$$\vec{E}(\theta, \varphi, r, t) = \frac{f(\theta, \varphi)}{4\pi \cdot r} \cdot \vec{E}\left(t - \frac{r}{c}\right)$$



Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se agrupan bajo distintas denominaciones según su frecuencia, aunque no existe un límite muy preciso para cada grupo. Además, una misma fuente de ondas electromagnéticas puede generar al mismo tiempo ondas de varios tipos.



Espectro electromagnético

Ondas de radio: son las utilizadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión. Su frecuencia oscila desde unos pocos hercios hasta mil millones de hercios. Se originan en la oscilación de la carga eléctrica en las antenas emisoras (dipolo radiantes).

Microondas: Se utilizan en las comunicaciones del radar o la banda UHF (Ultra High Frequency) y en los hornos de las cocinas. Se producen en oscilaciones dentro de un componente denominado magnetrón. El magnetrón es una cavidad resonante formada por dos imanes de disco en los extremos, donde los electrones emitidos por un cátodo son acelerados originando los campos electromagnéticos oscilantes de la frecuencia de microondas.

Infrarrojos: Son emitidos por los cuerpos calientes. Los tránsitos energéticos implicados en rotaciones y vibraciones de las moléculas caen dentro de este rango de frecuencias. Los visores nocturnos detectan la radiación emitida por los cuerpos a una temperatura de 37° . Sus frecuencias van desde 10^{11}Hz a $4 \cdot 10^{14}\text{Hz}$. Nuestra piel también detecta el calor y por lo tanto las radiaciones infrarrojas.

Espectro electromagnético

Luz visible: Incluye una franja estrecha de frecuencias, los humanos tenemos unos sensores para detectarla (los ojos, retina, conos y bastones). Se originan en la aceleración de los electrones en los tránsitos energéticos entre órbitas permitidas. Entre $4 \cdot 10^{14}$ Hz y $8 \cdot 10^{14}$ Hz.

Ultravioleta: Comprende de $8 \cdot 10^{14}$ Hz a $1 \cdot 10^{17}$ Hz. Son producidas por saltos de electrones en átomos y moléculas excitados. Tiene el rango de energía que interviene en las reacciones químicas. El sol es una fuente poderosa de UVA (rayos ultravioleta) los cuales al interactuar con la atmósfera exterior la ionizan creando la ionosfera. Los ultravioleta pueden destruir la vida y se emplean para esterilizar. Nuestra piel detecta la radiación ultravioleta y nuestro organismo se pone a fabricar melanina para protegernos de la radiación. La capa de ozono nos protege de los UVA.

Rayos X: Son producidos por electrones que saltan de órbitas internas en átomos pesados. Sus frecuencias van de $1 \cdot 10^{17}$ Hz a $1,1 \cdot 10^{19}$ Hz. Son peligrosos para la vida: una exposición prolongada produce cáncer.

Rayos gamma: comprenden frecuencias mayores de $1 \cdot 10^{19}$ Hz. Se origina en los procesos de estabilización en el núcleo del átomo después de emisiones radiactivas. Sus radiación es muy peligrosa para los seres vivos.

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

Frecuencia de la corriente eléctrica alterna para uso industrial y doméstico. Lo que conocemos como corriente alterna (CA) corresponde a la frecuencia que normalmente son generadas por los alternadores o generadores de las centrales termoeléctricas, hidroeléctricas y atómicas que suministran la corriente para uso industrial, general y doméstico. Generalmente la frecuencia de esa corriente es de 50 Hz o ciclos por segundo en Europa y de 60 en América.

Área del espectro de frecuencias y longitudes de ondas correspondientes, a la corriente alterna que se emplea en la industria y en nuestros hogares pertenece al grupo **ELF** (Extremely Low Frequency, Frecuencia extremadamente baja), como las de 50 ó 60 ciclos por segundo o hertz (Hz), según el país de que se trate.

También aparecen las frecuencias audibles por el oído humano (entre 20 ciclos y 20 mil ciclos por segundo o hertz), incluyendo también las audibles por algunos animales, que superan los 20 mil ciclos por segundo, y que se encuentran comprendidas dentro del grupo **VLF** (Very Low Frequency - Frecuencia muy baja).



Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

Frecuencias audibles por el oído humano:

Son frecuencias inherentes a los sonidos que pueden detectar nuestro sentido auditivo.

Su espectro abarca desde los 20 Hz para los sonidos más graves, hasta los 20 kHz de frecuencia para los sonidos más agudos.

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

Band	Frequency	Wavelength	Range	Propagation	Radio aid
LF	30KHz-300KHz	1-10km	1500nm	Ground wave	Weather systems
MF	300KHz-3MHz	100m-1km	500nm	Ground and sky waves (sky waves only at night)	NDB, AM radio
HF	3MHz-30MHz	10m-100m	Worldwide	Sky and direct waves	Long distance communications
VHF	30MHz-300MHz	1m-10m	200nm	Direct waves	VDF, VOR, VDF, TV, FM radio
UHF	300MHz-3GHz	10cm-1m	200nm	Direct waves	GPS, ILS, DME, mobile phones
SHF	3GHz-30GHz	1cm-10cm	200nm	Direct waves	Radar, radio altimeter
EHF	30GHz-300GHz	1mm-1cm	200nm	Direct waves	Radar, satellite broadcasting

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

El espectro radioeléctrico abarca una amplia gama de frecuencias de radio que cubren desde: $1,53 \cdot 10^3 \text{ Hz}$ (153 kHz) a los $3,0 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$ (300 GHz) aproximadamente.

En este espectro se incluyen las ondas que permiten la transmisión de señales de radio de modulación en amplitud (AM) y modulación en frecuencia (FM), incluyen también la TV, telefonía inalámbrica, telefonía móvil o celular, GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamiento Global), controles de equipos remotos del gobierno, hornos microondas, radares y otros.

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

- VLF (Very Low Frequency).
 - Wavelength between 10 km and 100 km.
 - Propagated using surface wave.
- LF (Low Frequency).
 - Propagated using surface wave.
 - Used for radio navigation and broadcasting.
 - Important loss during the day.
 - High power transmitter needed due to atmospheric noise.
- MF (Medium Frequency).
 - Propagation using surface and ionospheric wave. Ionospheric wave more important than surface wave.
 - Used for broadcasting.
 - High power transmitter due to atmospheric noise.

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

- HF (High Frequency). Band used by ATCo.
 - Propagation using ionospheric waves.
 - Used for long-range broadcasting.
 - Loss due to ionospheric irregularities.
 - Interferences due to low power waves.
- VHF (Very High Frequency). Band used by ATCo.
 - Propagation using space waves.
 - Used to TV, mobile and point-to-point communication.
 - Interferences due to radiation outside frequency bands.
- UHF (Ultra High Frequency). Band used by ATCo.
 - Propagation using space waves with direct and diffraction component. Diffraction less important than direct.
 - Used for TV, microwave links, RADAR and radio navigation.
 - Low receiver sensibility.

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

- SHF (Super High Frequency)
 - Propagation using space waves but only direct wave or line of sight.
 - Used for microwave links, RADAR and satellite communication.
- EHF (Extremely High Frequency)
 - Propagation using space waves but only direct wave or line of sight.
 - Used in experimental applications with RADAR and radio astronomy.

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

Espectro electromagnético	Frecuencia en hertz (Hz)	Longitud de onda en metros (m)	Energía en Jules (J)
Sonidos audibles	$2,0 \cdot 10^2 - 2,0 \cdot 10^3$	$1,0 \cdot 10^7 - 1,0 \cdot 10^5$	---
Ondas de radio de amplitud modulada (AM):			
Frecuencia Muy Baja	$1,5 \cdot 10^3 - 3,0 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^5 - 1,0 \cdot 10^4$	$< 1,9 \cdot 10^{-29}$
Onda Larga (OL o LW*)	$3,0 \cdot 10^4 - 6,5 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4 - 6,5 \cdot 10^2$	$> 1,9 \cdot 10^{-29}$
Onda Media (OM o MW*)	$6,5 \cdot 10^5 - 1,7 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^2 - 1,8 \cdot 10^2$	$> 4,3 \cdot 10^{-28}$
Onda Corta (OC o SW*)	$1,7 \cdot 10^6 - 3,0 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^2 - 1,0 \cdot 10^1$	$> 1,1 \cdot 10^{-27}$
Ondas de radio de frecuencia modulada (FM) y de televisión:			
VHF* Frecuencia Muy Alta	$3,0 \cdot 10^7 - 3,0 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^1 - 1,0 \cdot 10^0$	$> 2,0 \cdot 10^{-26}$
UHF* Frecuencia Ultra Alta	$3,0 \cdot 10^8 - 3,0 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^0 - 3,0 \cdot 10^{-2}$	$> 1,9 \cdot 10^{-25}$
Microondas (microwaves)	$3,0 \cdot 10^9 - 3,0 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{-2} - 1,0 \cdot 10^{-3}$	$> 1,9 \cdot 10^{-24}$
Rayos infrarrojos (IR):			
Lejanos	$3,0 \cdot 10^{11} - 6,0 \cdot 10^{12}$	$1,0 \cdot 10^{-3} - 5,0 \cdot 10^{-6}$	$> 2,0 \cdot 10^{-22}$
Medios	$6,0 \cdot 10^{12} - 1,2 \cdot 10^{14}$	$5,0 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$	$> 3,9 \cdot 10^{-21}$
Cercanos	$1,2 \cdot 10^{14} - 3,8 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{-6} - 7,8 \cdot 10^{-9}$	$> 7,9 \cdot 10^{-20}$
Luz visible	$3,8 \cdot 10^{14} - 7,8 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{-9} - 3,8 \cdot 10^{-9}$	$> 2,5 \cdot 10^{-19}$
Rayos ultravioleta (UV):			
Cercanos	$7,8 \cdot 10^{14} - 1,5 \cdot 10^{15}$	$3,8 \cdot 10^{-9} - 2,0 \cdot 10^{-9}$	$> 5,0 \cdot 10^{-19}$
Extremos	$1,5 \cdot 10^{15} - 3,0 \cdot 10^{16}$	$2,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-9}$	$> 9,9 \cdot 10^{-19}$
Rayos X	$3,0 \cdot 10^{16} - 3,0 \cdot 10^{20}$	$1,0 \cdot 10^{-9} - 1,0 \cdot 10^{-12}$	$> 1,9 \cdot 10^{-17}$
Rayos Gamma	$3,0 \cdot 10^{20} - 3,0 \cdot 10^{22}$	$1,0 \cdot 10^{-12} - 1,0 \cdot 10^{-14}$	$> 1,9 \cdot 10^{-14}$
Rayos Cósmicos	$> 3,0 \cdot 10^{22}$	$< 1,0 \cdot 10^{-14}$	---

Espectro electromagnético (bandas de frecuencia)

Por ejemplo, si deseamos conocer en qué banda en metros de la onda corta (OC) transmite una emisora de radio que se capta en los 7.1 MHz de frecuencia en el dial, procedemos de la siguiente forma:

1.- La velocidad de la luz (300.000 km/seg) la convertimos en m/seg, para poder obtener el resultado final en metros. Esa operación la realizamos de la siguiente forma, teniendo en cuenta que 1 km es igual a 1 000 metros:

$$\mathbf{300.000 \text{ km/seg.} \times 1.000 \text{ m} = 300.000.000 \text{ metros/seg.}}$$

2.- A continuación los 7.1 megahertz los convertimos en hertz (Hz), que es la unidad de medida correspondiente a la frecuencia, teniendo en cuenta que 1 MHz es igual a 10^6 Hz, o sea, 1.000.000 Hz:

$$\mathbf{7,1 \text{ MHz} \times 10^6 = 7,1 \times 1.000.000 = 7.100.000 \text{ Hz (ó 7.100.000 ciclos por segundo)}}$$

3.- Con el resultado de esas dos conversiones sustituimos sus correspondientes valores en la fórmula anteriormente expuesta y tendremos:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300000000 \text{ m/seg}}{7100000 \text{ ciclos/seg}} = 42,2 \text{ m / ciclo}$$

Por tanto, la longitud de onda de la señal de 7.1 MHz será de 42.2 metros por ciclo o hertz de frecuencia. Esa longitud se corresponde con la gama de ondas cortas de radio (OC) o (MW) que responden al rango correspondiente de la banda de más de 41 metros en el dial de un radioreceptor.

Modos de Transmisión de la Información

Se define un sistema de comunicaciones como el conjunto de técnicas, procedimientos y equipos que permiten transferir información entre una fuente y un destino.

Para las Comunicaciones Aeronáuticas, las distancia que la información recorre son muy grandes, por ello se utilizan señales eléctricas como soporte físico.

El electromagnetismo y la electrónica son el medio utilizado para la transmisión de la información en tiempos muy cortos.

Modos de Transmisión de la Información

Los Sistemas de Comunicaciones de voz se divide en:

Sistema de Comunicaciones de voz Tierra / Tierra (Servicio Fijo Aeronáutico)

Servicio de Comunicaciones de voz Tierra / Aire (Servicio Móvil Aeronáutico)

En ambos casos la información es codificada en señales eléctricas analógicas.

Señales Analógicas

Las señales analógicas son aquellas que representan la información analógica cuantitativa, según una relación de proporcionalidad, pueden tomar cualquier valor (dentro de unos límites) y están definidas para cualquier instante del tiempo.

Los valores de la señal eléctrica son semejantes en cantidad a los de la magnitud física que emite la fuente.

Señales Digitales

Son la discretización de las señales continuas. Pueden ser multinivel o estar representadas por dos símbolos: 0 y 1. También llamados bits.

Normalmente los 1s son un nivel alto y los 0s son un nivel bajo de tensión en ambos casos.

En este tipo de señales la información se mantiene durante un tiempo determinado. Las señales digitales hay veces que no están definidas para todo instante de tiempo.

Unidades básicas

Unidades de tensión/corriente:

Voltio $\rightarrow 1\text{ V} = 10^3\text{ mV} = 10^6\text{ }\mu\text{V}$; Amperio $\rightarrow 1\text{ A} = 10^3\text{ mA} = 10^6\text{ }\mu\text{A}$

Unidades de Potencia:

$P = V \cdot I = V^2/R$; Vatio $\rightarrow 1\text{ W} = 10^3\text{ mW} = 10^6\text{ }\mu\text{W} = 10^9\text{ pW}$

Ganancias/Atenuaciones (se pueden medir en Tensión o en Potencia):

$G_p = P_{out}/P_{in} = 100$ (adimensional); $G_v = V_{out}/V_{in} = 10$

$G > 1 \rightarrow$ ganancia $G < 1 \rightarrow$ atenuación

$At > 1 \rightarrow$ atenuación $At < 1 \rightarrow$ ganancia

Si la impedancia a la entrada y salida es la misma:

$$G_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out}^2 / R}{V_{in}^2 / R} = \left(\frac{V_{out}}{V_{in}} \right)^2 = G_v^2$$

Ganancia y Atenuación

Para operar de forma más simple se utiliza la notación logarítmica (todos los valores con este tipo de notación son relativos a uno dado).

Ganancias/Atenuaciones:

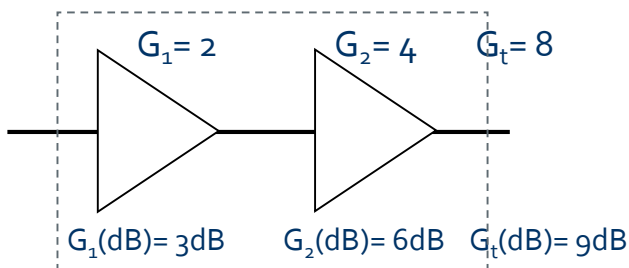
En potencia: $G_p(\text{dB}) = 10 \log_{10} (G_p) = 10 \log_{10} (P_{\text{out}}/P_{\text{in}})$

En tensión: $G_v(\text{dB}) = 20 \log_{10} (G_v) = 20 \log_{10} (V_{\text{out}}/V_{\text{in}})$

$G(\text{dB}) > 0 \rightarrow$ ganancia $G(\text{dB}) < 0 \rightarrow$ atenuación

$At(\text{dB}) > 0 \rightarrow$ atenuación $At(\text{dB}) < 0 \rightarrow$ ganancia

Como: $G_p = (G_v)^2 \rightarrow G_p(\text{dB}) = 10 \log ((G_v)^2) = 2 \cdot 10 \log (G_v) = G_v(\text{dB})$



$$G_t = G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots$$

$$G_t(\text{dB}) = \log(G_1 \cdot G_2 \cdot G_3) = \log(G_1) + \log(G_2) + \dots$$

Unidades logarítmicas habituales

- Las unidades logarítmicas con que se trabaja habitualmente son:
 - dBu unidad de campo eléctrico referida a 1mV/m.
 - dBW unidad de potencia referida a 1W.
 - dBm unidad de potencia referida a 1mW: $P(\text{dBm})=P(\text{dBW})+30\text{dB}$
 - dBi ganancia de la antena referida a la antena isótropa.
 - dBd ganancia de la antena referida a antena dipolo $\lambda/2$.
 - dBc nivel en dB respecto a una portadora.

Potencias

Potencias:

El valor se refiere una potencia dada p.e. a 1 W o a 1 mW.

$$P = 20 \text{ W} \rightarrow P(\text{dBW}) = 10 \log (20\text{W}/1\text{W}) = 13 \text{ dBW}$$

$$P = 20 \text{ W} \rightarrow P(\text{dBm}) = 10 \log (20 \cdot 10^3 \text{mW}/1\text{mW}) = 43 \text{ dBm}$$

$$0 \text{ dBW} = 30 \text{ dBm}$$

Tensiones:

El valor se refiere a una tensión dada p.e. a 1 V o a 1 μV .

$$V = 4 \text{ V} \rightarrow V(\text{dBV}) = 20 \log (4\text{V}/1\text{V}) = 12 \text{ dBV.}$$

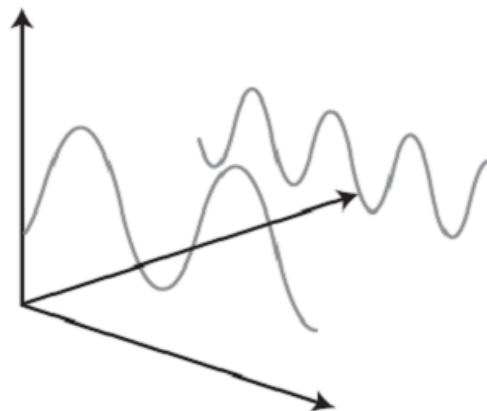
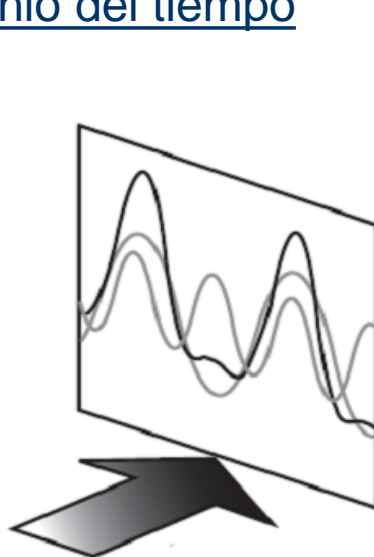
$$V = 50 \mu\text{V} \rightarrow V(\text{dB}\mu\text{V}) = 20 \log (50 \mu\text{V}/1 \mu\text{V}) = 34 \text{ dB}\mu\text{V.}$$

$$0 \text{ dBV} = 120 \text{ dB}\mu\text{V}$$

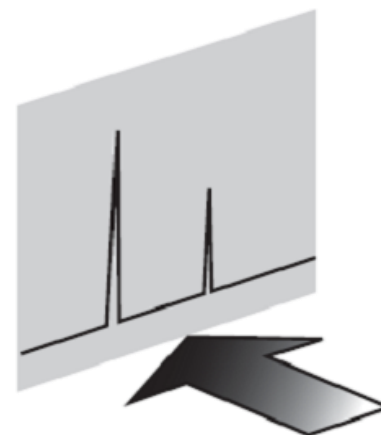
dBu: Tensión referida a $V_0 = 0.7746 \text{ V} = 0 \text{ dBu}$

Espectro

Dominio del tiempo



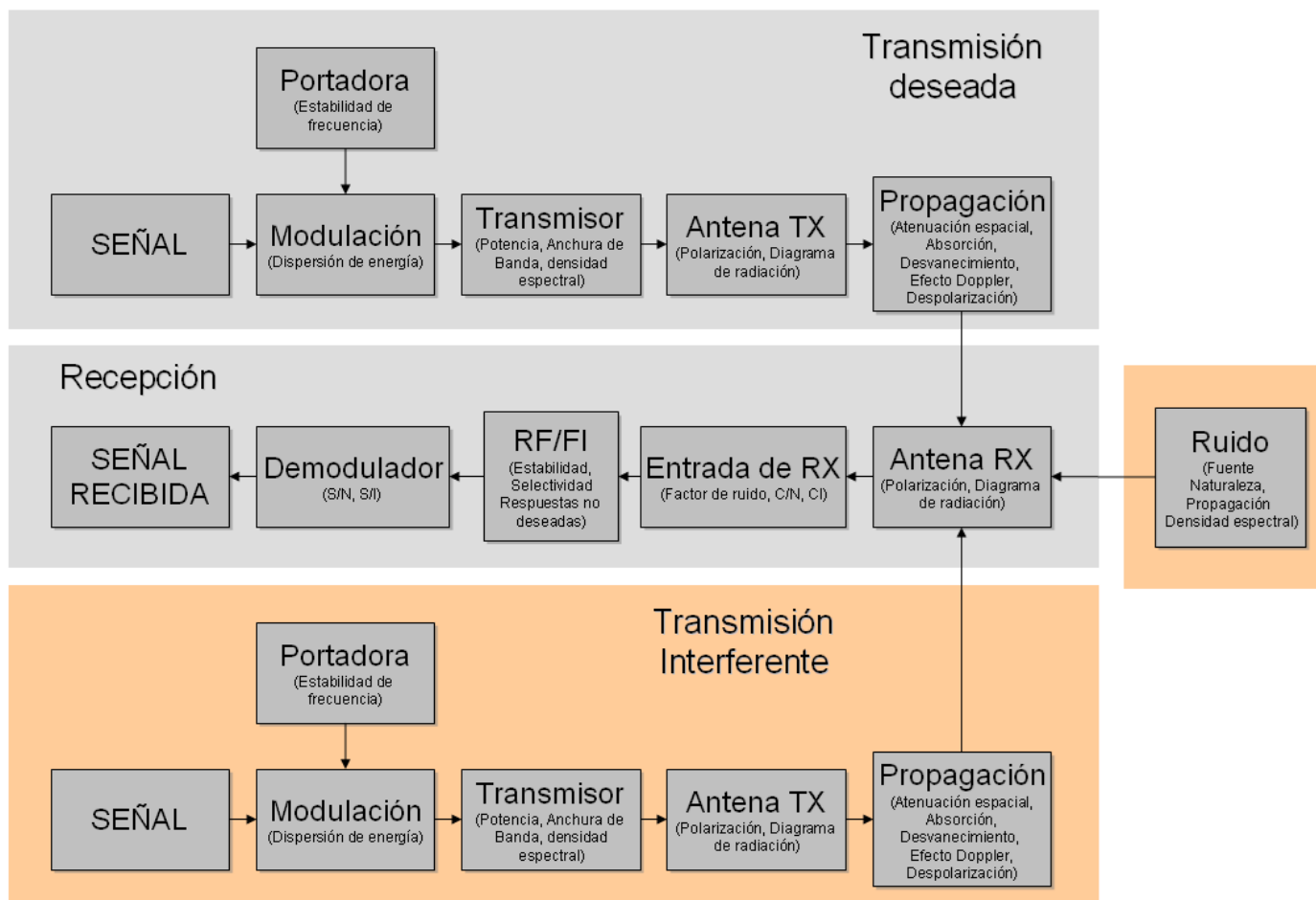
Dominio de la frecuencia



$$f(t) \square \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos \frac{n\pi}{T} t + b_n \sin \frac{n\pi}{T} t \right] \quad a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) dt$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) \cos \left(\frac{n\pi}{T} t \right) dt \quad b_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) \sin \left(\frac{n\pi}{T} t \right) dt$$

Sistema de radiocomunicación



Características Fundamentales de las Señales

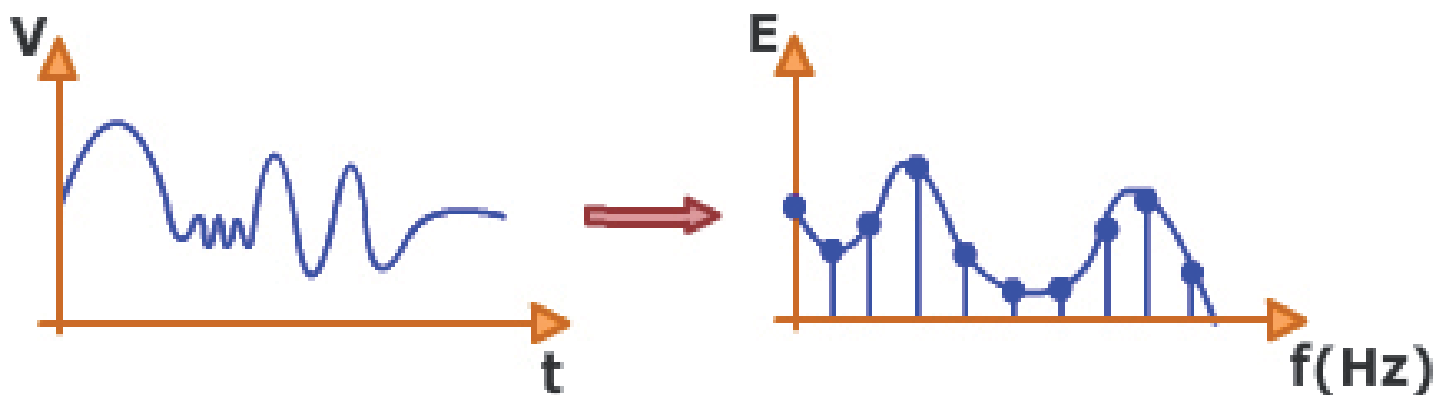
Potencia:

La potencia de la señal es el nivel de energía instantánea o en promedio temporal con el que se manifiesta.

El alcance de la señal está relacionado directamente con la potencia que tenga la señal a la salida del emisor.

Espectro de una Señal

Tiene esta denominación el conjunto de frecuencias que componen una señal que se pueden representar como se muestra en la figura, se muestra la distribución de la energía de la señal entre la distintas frecuencias que la componen.



Ancho de Banda de una Señal

Se llama así al intervalo de frecuencia en el que posee la mayor parte de la energía de la señal.

En conexiones a Internet el ancho de banda es la cantidad de información o de datos que se puede enviar a través de una conexión de red en un período de tiempo dado.

El ancho de banda (en comunicaciones digitales) se indica generalmente en bytes por segundo (bps), kilobytes por segundo (kbps), o megabytes por segundo (Mps).

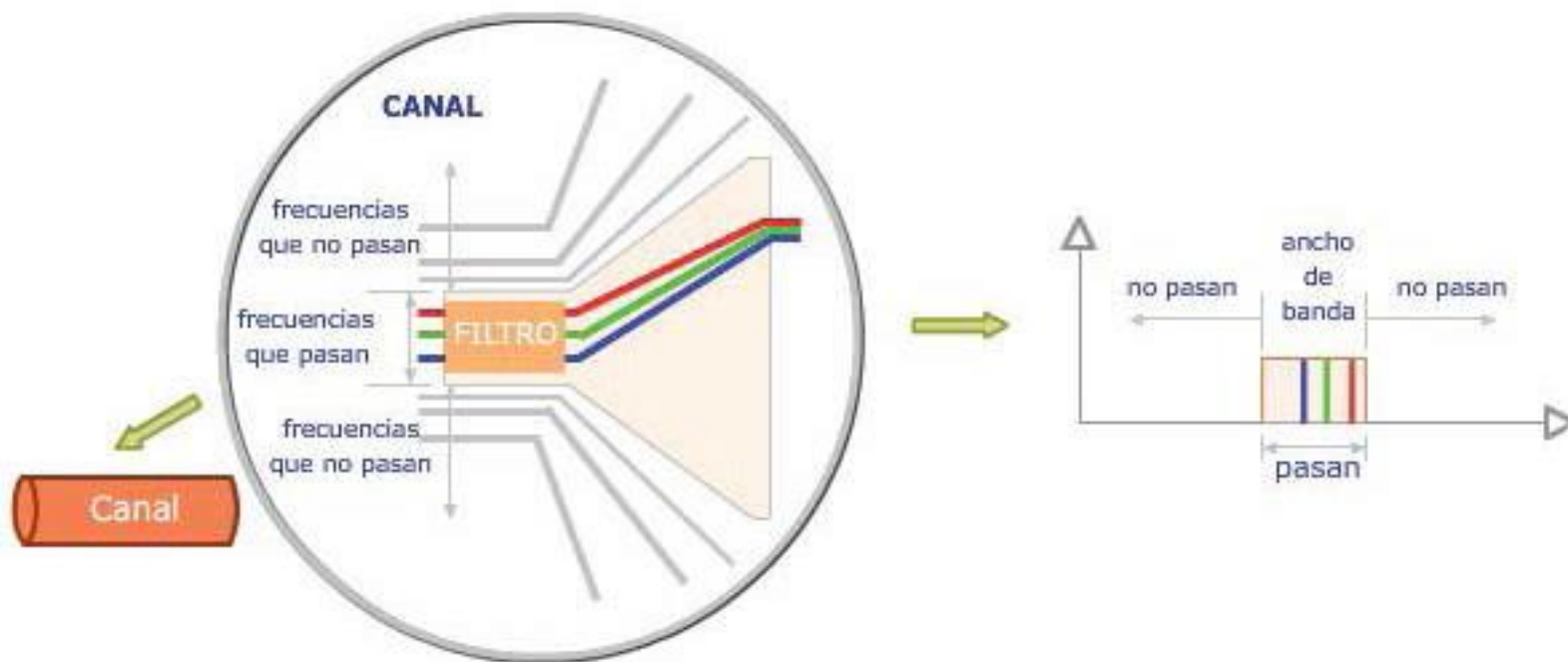
Ancho de Banda de una Señal

En sistemas digitales, el ancho de banda digital es la cantidad de datos que pueden ser transportados por algún medio en un determinado período de tiempo (seg.).

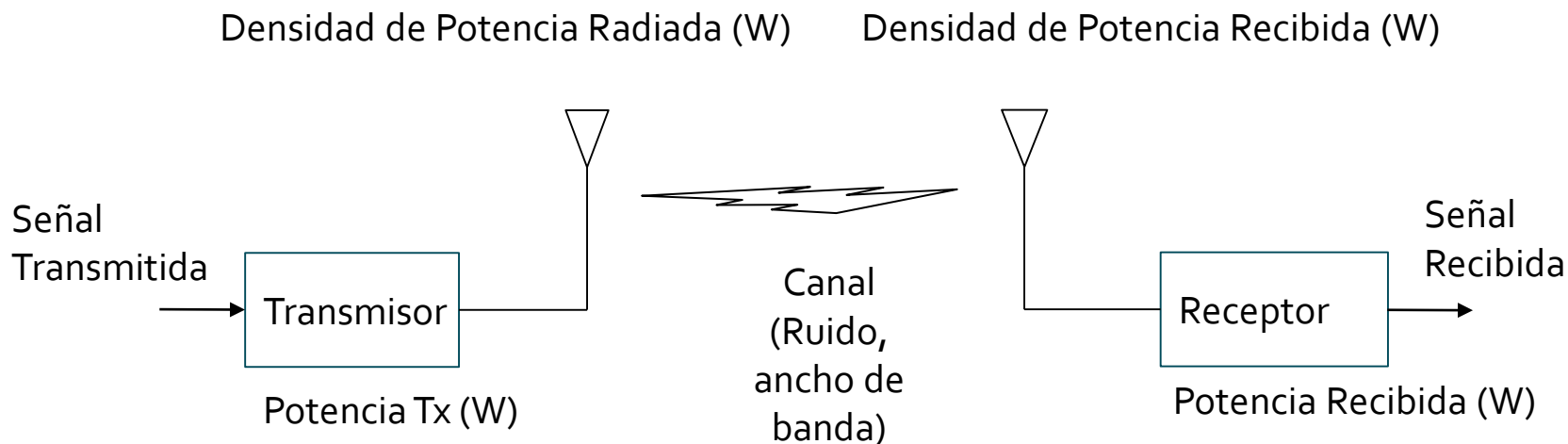
Por lo tanto a mayor ancho de banda, mayor transferencia de datos por unidad de tiempo (mayor velocidad).

Ancho de Banda del Canal

Se define como el intervalo de frecuencias para las cuales la atenuación se mantiene por debajo de unos límites aceptables.



Transmisión por ondas electromagnéticas



Concepto de Antena

- Parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas.
- Se trata de elementos de transición entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre.
- Tienen carácter direccional.
- Cada aplicación impone condiciones sobre:
 - Direccionalidad de la antena.
 - Niveles de potencia a soportar.
 - Frecuencia de trabajo, etc.

Antenas

Las antenas son los transductores que convierten las señales eléctricas en ondas electromagnéticas, y viceversa. Del mismo modo que en el audio de alta fidelidad la calidad de los altavoces es uno de los aspectos más importantes, la calidad de las antenas es fundamental para asegurar una buen enlace de vídeo inalámbrico o transmisión.

La calidad de un enlace depende de diversos factores:

Potencia de emisión: Cuanto mayor sea la potencia del emisor, mayor nivel de señal recibiremos para una distancia dada, o mayor distancia podremos alcanzar en el enlace. Para poder duplicar la distancia, necesitamos multiplicar por 4 la potencia del emisor.

Sensibilidad del receptor: Nos indica el nivel mínimo de señal que debe llegar al receptor para una correcta recepción.

Distancia entre emisor y receptor: A mayor distancia, menor nivel de señal recibida. Duplicar la distancia implica dividir por 4 el nivel de señal recibida.

Antenas

Una antena es un dispositivo, (conductor metálico), diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre.

Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida.

Si las dimensiones de la antena, son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas, se denominan elementales, si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda, se llaman resonantes, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas.

Parámetros de las antenas

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

Impedancia

- 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.

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

Relación de Onda Estacionaria

- La impedancia de entrada a la antena, depende de factores de diseño y de su posición respecto del suelo. Debe ser igual a la impedancia de la línea para transferir la máxima potencia. Un valor típico es 50Ω .
- Pérdidas de retorno: Es una relación en dB entre la tensión reflejada por la antena y la tensión enviada a la antena.

$$PR(dB) = 10\log \frac{P_{\text{incidente}}}{P_{\text{reflejada}}} = -20\log|\Gamma| = -20\log \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right|$$

- Relación de ondas estacionarias SWR: Es la relación entre las tensiones máximas y mínimas que producen las sumas de las tensiones incidentes y reflejadas.

$$SWR = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{min}}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

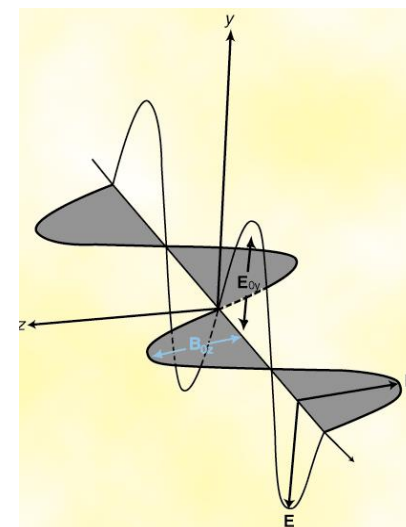
Intensidad de Radiación

- Una característica fundamental de las antenas es que pueden radiar con una cierta direccionalidad, pudiendo concentrar la energía en ciertas direcciones del espacio.
- La onda EM se compone de un campo eléctrico E (V/m) y de un campo magnético H (A/m), ambos ligados según las Ecuaciones de Maxwell.
- Obtendremos la densidad de flujo por unidad de superficie:

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

- Y la densidad de potencia radiada:

$$\rho(\theta, \phi) = \frac{|E_\theta|^2 + |E_\phi|^2}{\eta}$$



Intensidad de Radiación (Cont.)

- La potencia total radiada se obtiene:

$$P_r = \iint_S \vec{\wp}(\theta, \phi) \cdot d\vec{s}$$

- La intensidad de radiación es la potencia radiada por unidad de ángulo sólido en una determinada dirección. Sus unidades son vatios por estereorradián (esfera $\rightarrow 4\pi$ estereoradianes).
- Intensidad de radiación y densidad de potencia relacionadas por:

$$U(\theta, \phi) = \frac{d\wp}{d\Omega} = \wp(\theta, \phi) \cdot r^2$$

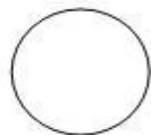
- La potencia radiada total se puede calcular:

$$P_r = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} U(\theta, \phi) d\Omega \quad d\Omega = ds / r^2 = \sin \theta d\theta d\phi$$

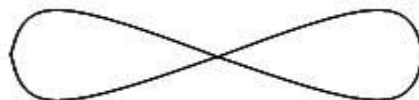
Diagrama de Radiación

- 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



Antena omnidireccional



Antena bidireccional



Antena direccional

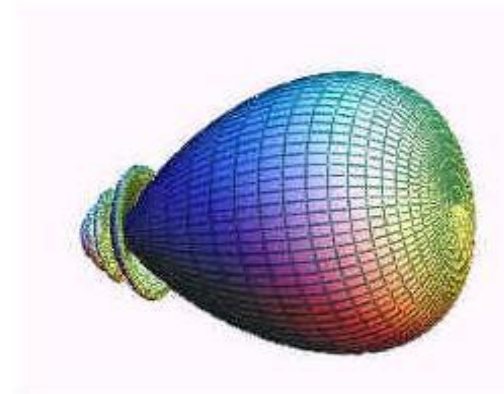
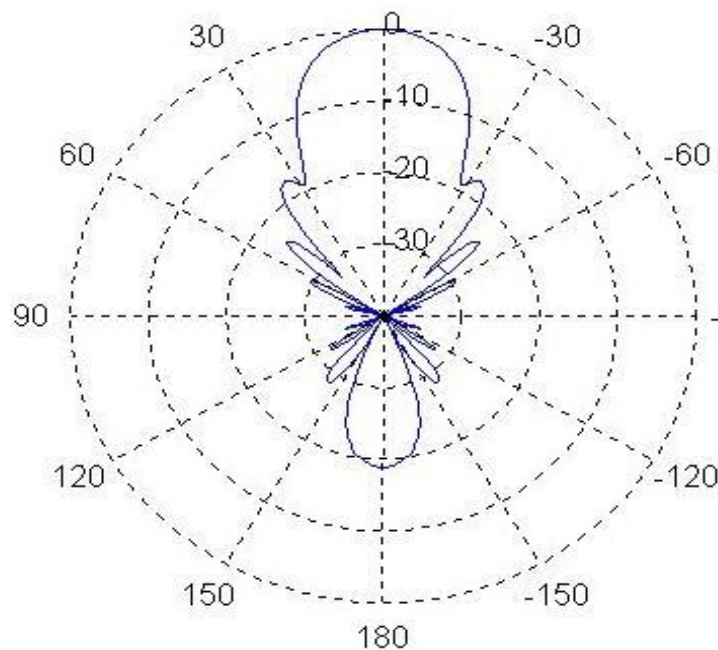


Diagrama de radiación

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección (coordenadas en azimut y elevación).

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son:

- ❑ Dirección de apuntamiento: Es la de máxima radiación. Directividad y Ganancia.
- ❑ Lóbulo principal: Es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.
- ❑ Lóbulos secundarios: Son el resto de máximos relativos, de valor inferior al principal.
- ❑ Ancho de haz: Es el margen angular de direcciones en las que el diagrama de radiación de un haz toma un valor de 3dB por debajo del máximo. Es decir, la dirección en la que la potencia radiada se reduce a la mitad.
- ❑ Relación de lóbulo principal a secundario (SLL): Es el cociente en dB entre el valor máximo del lóbulo principal y el valor máximo del lóbulo secundario.
- ❑ Relación delante-atrás (FBR): Es el cociente en dB entre el valor de máxima radiación y el de la misma dirección y sentido opuesto.

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.

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

$$D_{\max} = \frac{\wp_{\max}}{\frac{P_r}{4 \cdot \pi \cdot r^2}}$$

Directividad (Cont.)

- La directividad (D) puede obtenerse si se conoce el diagrama de radiación de la antena. Definimos el diagrama normalizado como:

$$t(\theta, \phi) = \frac{\wp(\theta, \phi)}{\wp_{\max}} = \frac{U(\theta, \phi)}{U_{\max}}$$

- Pudiendo expresarse la directividad como:

$$D = \frac{4 \cdot \pi}{\iint_{4\pi} t(\theta, \phi) d\Omega} = \frac{4 \cdot \pi}{\Omega_e}$$

- Siendo Ω_e el ángulo sólido equivalente.

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.

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

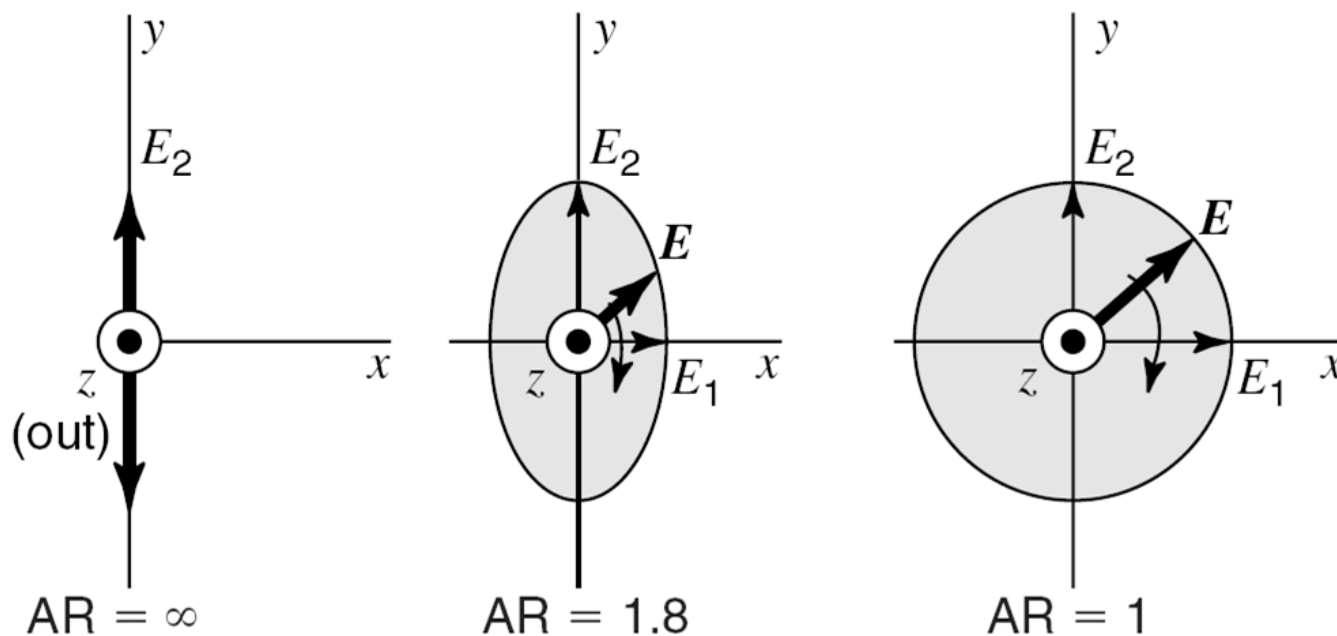
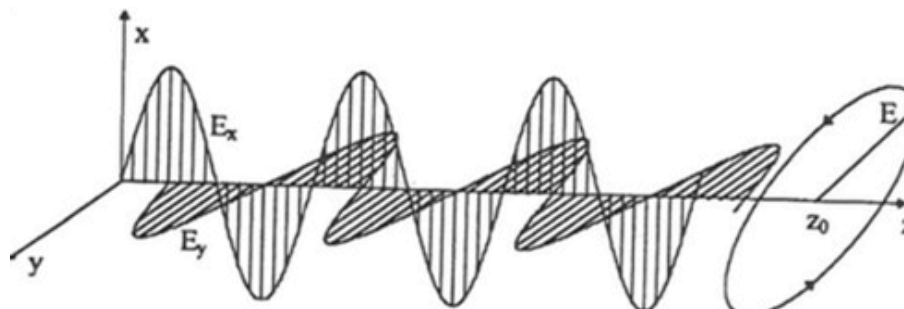
- Ganancia normalizada:

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

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.
- Algunos autores lo definen cuando la potencia cae 10dB respecto del máximo.
- El haz principal corresponderá a un determinado ángulo sólido.

Área Efectiva

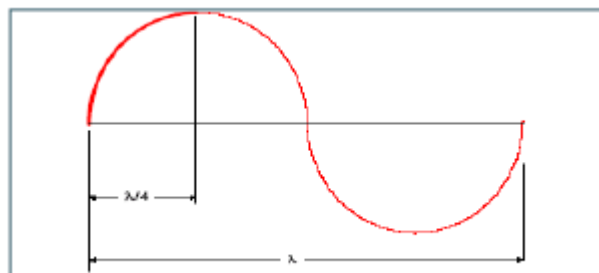
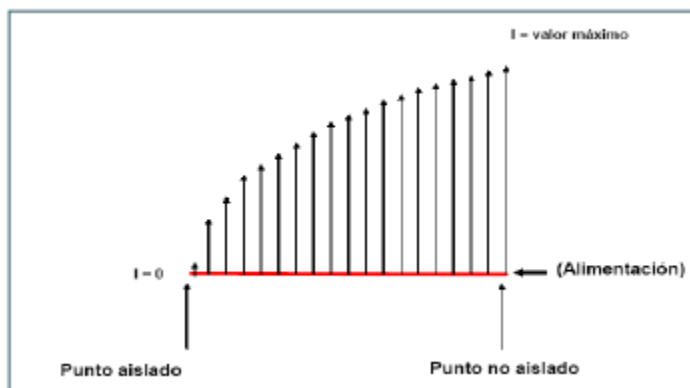
- Cuando una antena funciona en recepción “extrae” una cierta cantidad de energía de la onda incidente.
- El área efectiva o apertura efectiva de la antena (A) es aquella que relaciona la potencia recibida P_R entre sus terminales, cuando sobre ella incide una densidad de potencia P_{inc} .

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

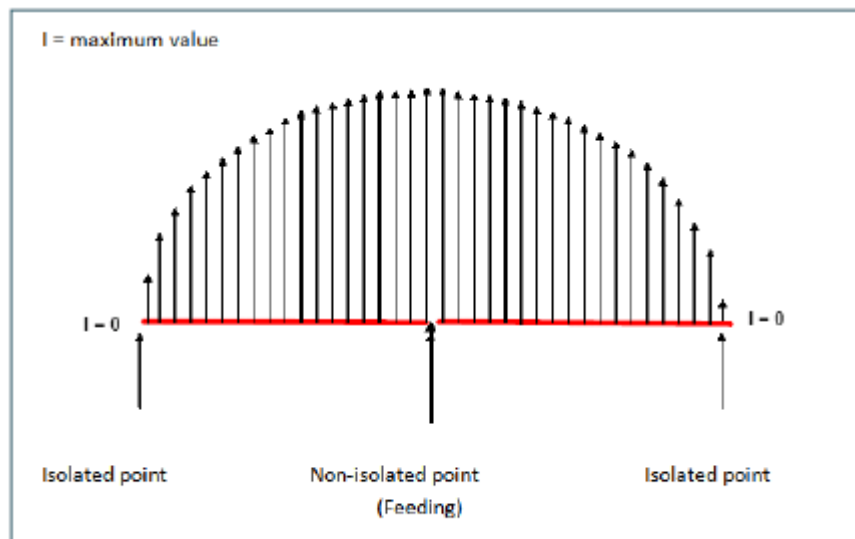
- El área efectiva depende de la dirección de llegada de la onda incidente y está relacionada con la ganancia según:

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

Antenas (monopolo, dipolo)



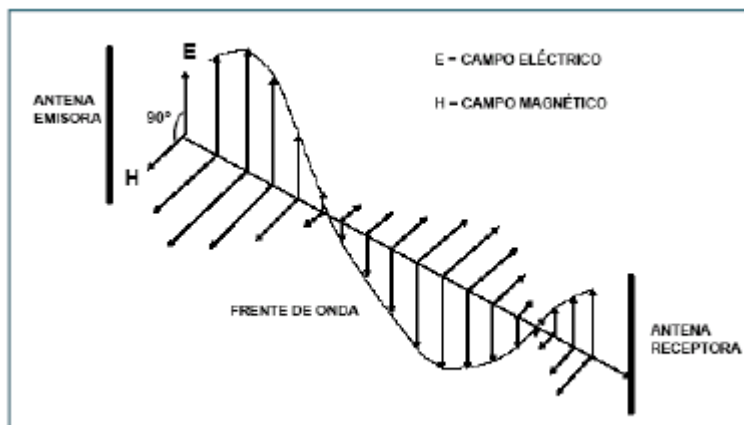
Wavelength and $\lambda/4$.



Wavelength antenna (flow diagram)

Antenas de cuarto y media longitud de onda.

Antenas VHF



Vertical polarization

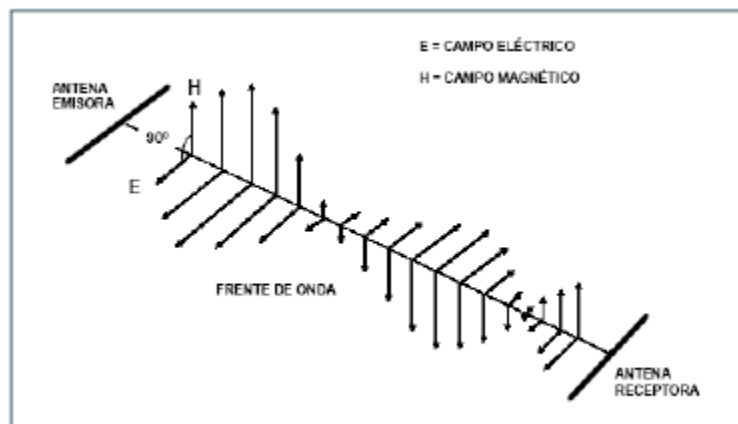
TACO multidipole antenna



RYMSA AT23-392



Antenas yagui



Horizontal polarization



Antennas with horizontal polarization

Cobertura

El término cobertura hace referencia al volumen de espacio aéreo dentro del cual el nivel de la señal recibida es suficiente para que los receptores correspondientes trabajen de forma adecuada.

Umbral de sensibilidad del receptor :

- Si la señal recibida tiene un nivel superior al de sensibilidad, el receptor podrá utilizar tal señal para las funciones para las que se haya especificado.
- Si la señal recibida es débil, es decir por debajo del umbral de sensibilidad del receptor, éste no podrá utilizarla y el receptor no ofrecerá la información que corresponda.

Cobertura como el lugar geométrico de los puntos en los que el nivel de la señal recibida es superior al valor especificado para cada sistema.

El nivel de señal se expresa en voltios/metro.

Cobertura

Intensidad de campo E(V/m)

$$E=40\mu\text{V/m}$$

Densidad de potencia radiada S(W/m²)

$$S=?\text{dBw/m}^2=?\text{dBm/m}^2$$

$$S(W/m^2) = \frac{E^2}{Z_0} = \frac{E^2}{120\pi}$$

Potencia disponible P(W) P=?dBw=?dBm

$$P(W) = SA_{ISO} = S \frac{\lambda^2}{4\pi} = \frac{E^2 \lambda^2}{480\pi^2}$$

Cobertura: P(W) > Pmin(sensibilidad)

$$P(W) = SA_{noISO} = S \frac{G_r \lambda^2}{4\pi} = \frac{G_r E^2 \lambda^2}{480\pi^2}$$

Enlace transmisor-receptor:

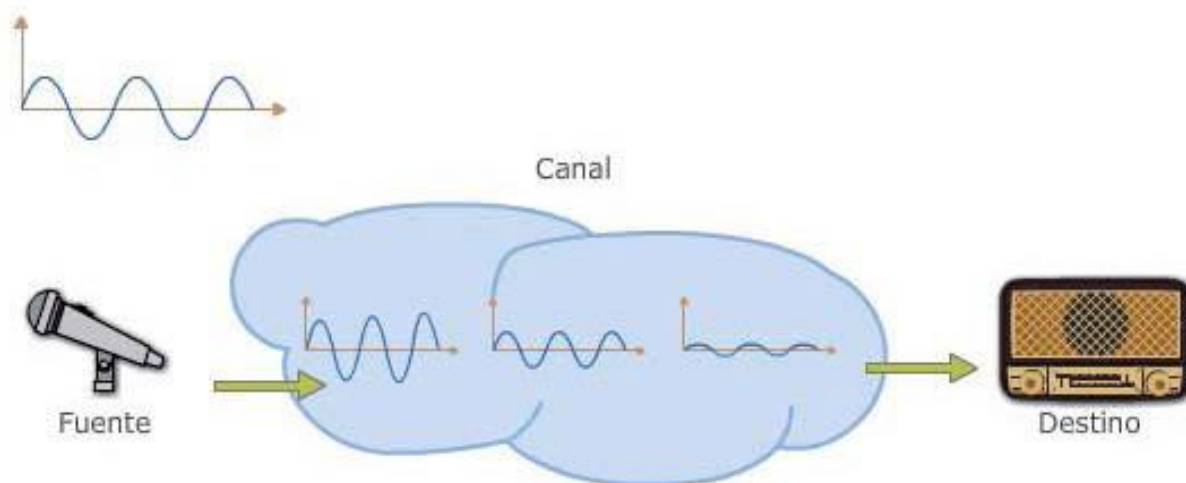
$$S(\theta, \varphi) = \frac{P_t}{4\pi d^2} G_t(\theta, \varphi) \quad G_t(\theta, \varphi) = D_t(\theta, \varphi) \eta$$

$$P_r = S(\theta, \varphi) A_{ef}(\theta, \varphi) \quad P_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} G_t(\theta, \varphi) A_{ef}(\theta, \varphi)$$

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi d^2} G_t A_{ef} \quad A_{ef} = G_r \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad P_r = \frac{P_t \lambda^2}{(4\pi d)^2} G_t G_r$$

Características de los Sistemas de Comunicaciones

Atenuación del Canal: Las señales eléctricas a medida que van avanzando por el medio de transmisión van perdiendo energía, haciéndose cada vez más débiles, y su alcance está limitado a la distancia a la cual el receptor ya no puede percibir la señal con un nivel de calidad suficiente.



Ruido

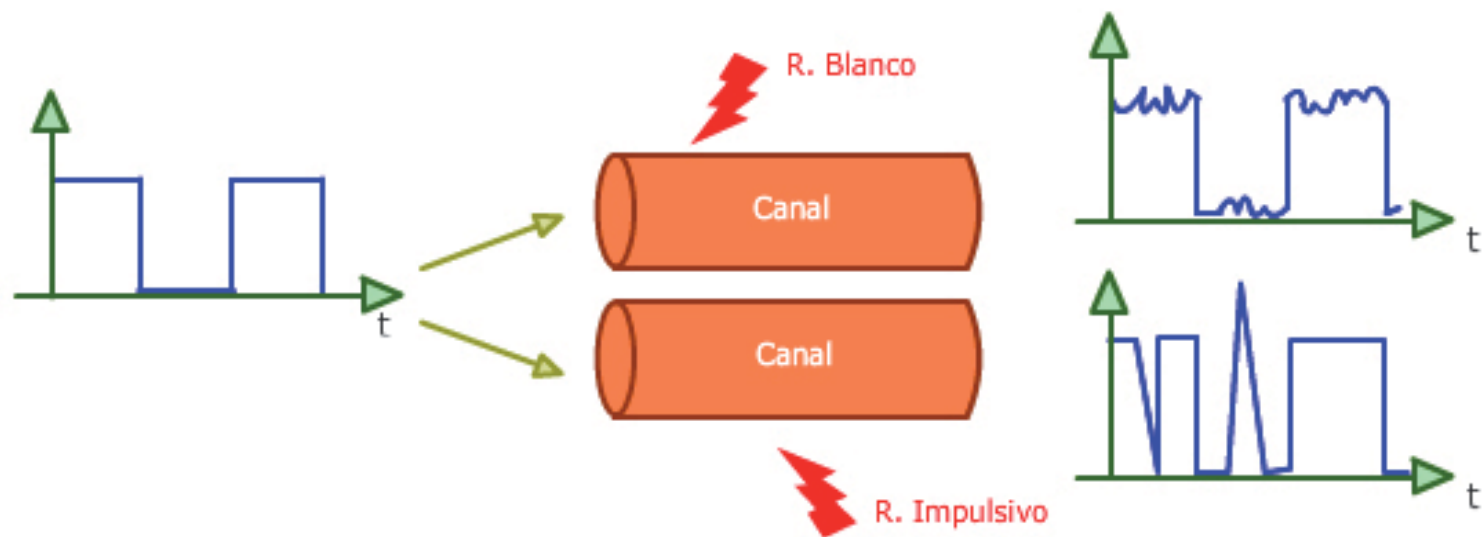
Se denomina ruido a toda señal aleatoria e impredecible que se inserta en el canal y se suma a la señal transmitida distorsionándola. Entre los diferentes de ruidos podemos considerar:

Ruido impulsivo: intervalos regulares de pulsos de tensión de gran amplitud.

Ruido blanco: señales de pequeña amplitud cuya energía se distribuye por igual sobre la señal de información.

Interferencia: señal de características similares a la señal de información. Las señales de radio que funcionan en bandas de frecuencia próximas suelen sufrir este problema.

Efecto del ruido en una señal digital



Distorsión

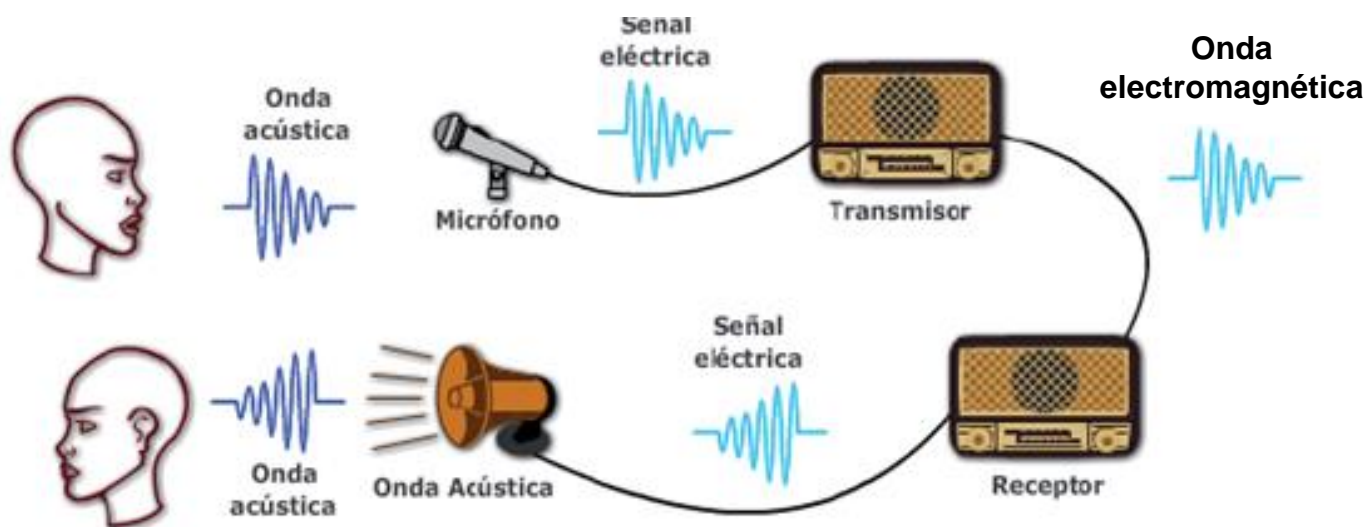
Está relacionada con el ancho de banda del canal.

Como la atenuación no es igual para todas las frecuencias, algunas componentes se atenúan más que otras, la señal recibida se deformará respecto de la transmitida.

El fenómeno de distorsión dificulta la reconstrucción de la señal original en el receptor y aumenta la probabilidad de errores en la transmisión.

Existen además de la distorsión por limitación del ancho de banda, también está la distorsión por: fase, distorsión no lineal que se debe a que no todas las señales se propagan a la misma velocidad y que los medios de propagación se comportan de la misma manera.

Transporte de señales

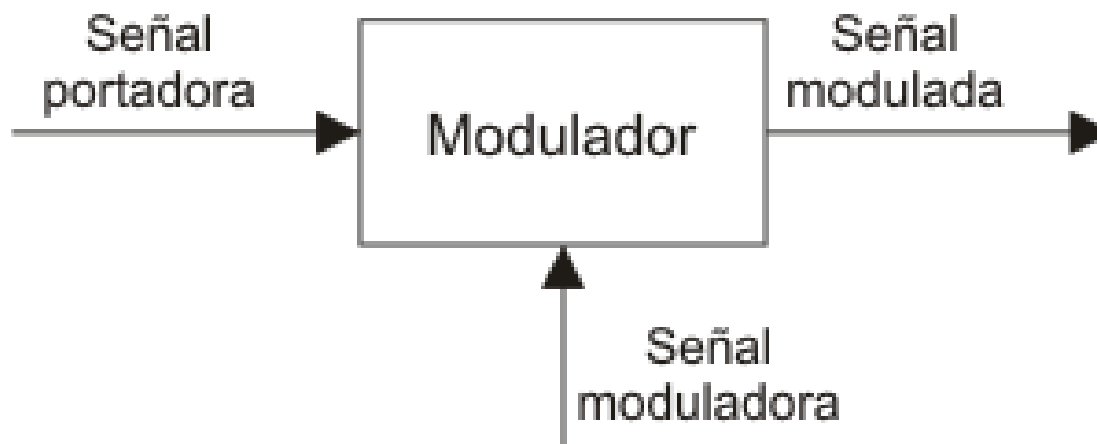


Modulación

Se denomina modulación al proceso de colocar la información contenida en una señal, generalmente de baja frecuencia, sobre una señal de alta frecuencia.

Debido a este proceso la señal de alta frecuencia denominada portadora, sufrirá la modificación de alguna de sus parámetros, siendo dicha modificación proporcional a la amplitud de la señal de baja frecuencia denominada moduladora.

A la señal resultante de este proceso se la denomina señal modulada y la misma es la señal que se transmite.



Tipos de modulación en función de las señales

Existen básicamente dos tipos de modulación:

La modulación ANALÓGICA, que se realiza a partir de señales analógicas de información, por ejemplo la voz humana, audio y video en su forma eléctrica.

La modulación DIGITAL, que se lleva a cabo a partir de señales generadas por fuentes digitales, por ejemplo una computadora.

Modulación Analógica: AM, FM, PM.

Modulación Digital: ASK, FSK, PSK, QAM.

Razones de la modulación

Existen varias razones para modular, entre ellas:

- ❑ Facilita la PROPAGACIÓN de la señal de información por cable o por el aire.
- ❑ Ordena el RADIOESPECTRO, distribuyendo canales a cada información distinta.
- ❑ Disminuye DIMENSIONES de antenas.
- ❑ Optimiza el ancho de banda de cada canal.
- ❑ Evita INTERFERENCIA entre canales.
- ❑ Protege a la Información de las degradaciones por RUIDO.
- ❑ Define la CALIDAD de la información transmitida.

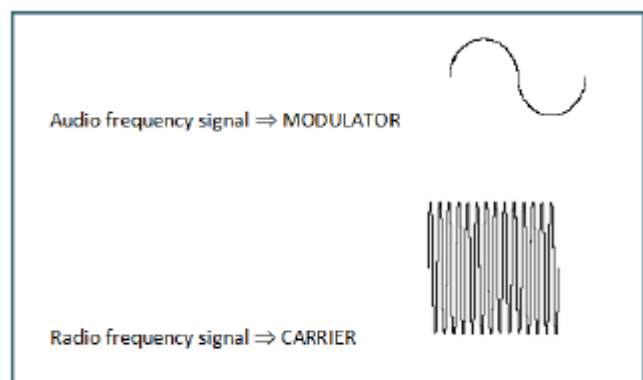
Tipos de modulación

Existen varios tipos de modulación:

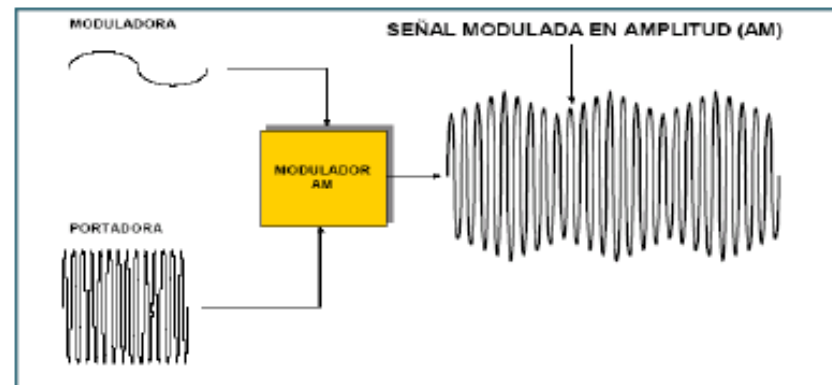
Modulación lineal o de onda continua, en las que se modifica la amplitud de la portadora.

Modulaciones no lineales, en las que se modifica la frecuencia o fase de la portadora.

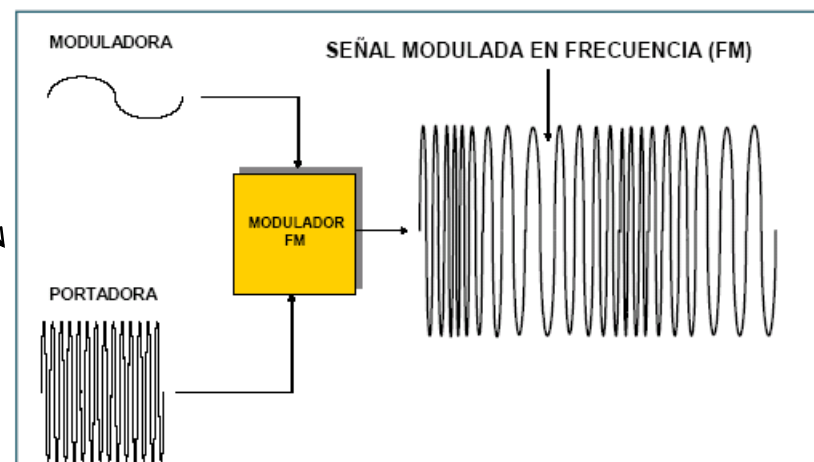
Modulación en amplitud y frecuencia



Modulation components



Amplitude modulation



Frequency modulation

Modulación en amplitud y frecuencia

❑ **Modulación en amplitud.**

La técnica de modulación en amplitud utiliza variaciones de la amplitud de la onda portadora para que haciéndolo según la cadencia de la señal digital, posibilite la transmisión de información.

La modulación en amplitud no suele emplearse aisladamente, presenta serios problemas de distorsión y de potencia.

Se usa en conjunto con la modulación de fase, aumentando así la eficacia del proceso.

❑ **Modulación en frecuencia.**

La técnica de modulación en frecuencia modifica la frecuencia instantánea de la señal portadora, según la señal que se transmite.

❑ **Modulación en fase.**

La técnica de modulación en fase utiliza las variaciones de fase de la onda portadora, según la señal moduladora.

Demodulación

Es el proceso mediante el cuál es posible recuperar la señal de datos de una señal modulada.

Dependiendo del tipo de modulación el circuito demodulador es más o menos complejo.

