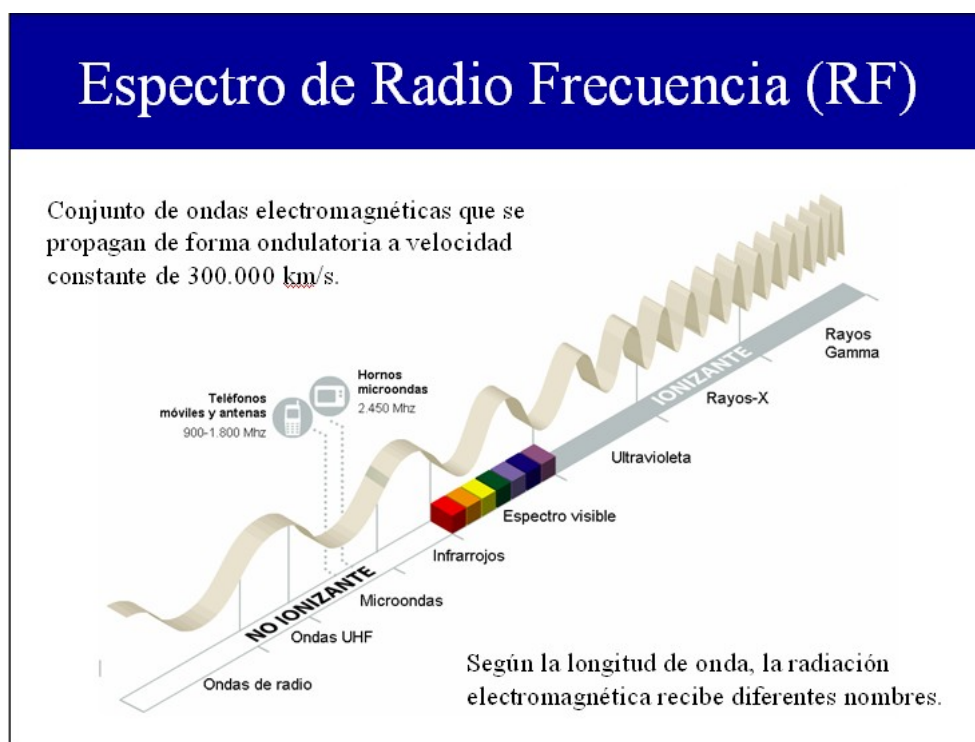


EL ESPECTRO RADIOELECTRICO

Todos sabemos que nuestras radios sintonizan distintas bandas de frecuencias que generalmente denominamos: Onda Media, Onda Corta, FM (VHF), etc. Estas bandas son divisiones del espectro radioeléctrico que por convención se han hecho para distribuir los distintos servicios de telecomunicaciones. Cada una de estas gamas de frecuencias poseen características particulares que permiten diferentes posibilidades de recepción; por esto es de interés que conozca las características principales de cada una de ellas.

Antes de empezar con las características de cada Banda de Frecuencias; conviene aclarar que se denomina Espectro Radioeléctrico a la porción del Espectro Electromagnético ocupado por las ondas de radio, o sea las que se usan para telecomunicaciones.



El Espectro Electromagnético está compuesto por las ondas de radio, las infrarrojas, la luz visible, la luz ultravioleta, los rayos X y los rayos gamas: todas estas son formas de energía similares, pero se diferencian en la **FRECUENCIA** y la **LONGITUD** de su onda. Las Frecuencias se miden en Hertzios (o ciclos por segundo): en telecomunicaciones se usan los siguientes múltiplos de esta medida para las frecuencias de radio:

Múltiplo	Abreb.	Hertz	también denominado:
Kilo-Hertz	KHz	1.000Hz	Kilociclos (Kc/s)
Mega-Hertz	MHz	1.000KHz	Megaciclos (Mc/s)
Giga-Hertz	GHz	1.000MHz	Gigaciclos (Gc/s)

La longitud de onda se mide en metros (en ondas de radio se usan: metros, centímetros y milímetros); la relación entre frecuencia y longitud de onda es inversa y la relación entre ambas se expresa en las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\text{Velocidad de Propagación}}{\text{longitud de onda en metros}} = \frac{300.000.000 \text{ m /Seg}}{\lambda \text{ en metros}} = \text{Frecuencia en Hz}$$

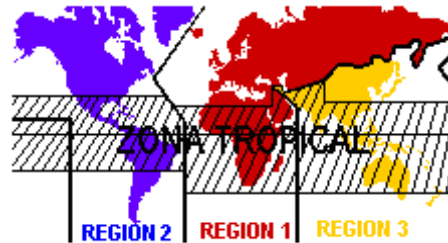
$$\frac{300.000}{\lambda} = f \text{ en KHz} \quad ; \quad \frac{300}{\lambda} = f \text{ en MHz}$$

División del espectro radioeléctrico:

DISTRIBUCIÓN CONVENCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELECTRICO					
SIGLA	DENOMINACION	LONGITUD DE ONDA	GAMA DE FRECUENC.	CARACTERISTICAS	USO TIPICO
VLf	VERY LOW FRECUENCIAS Frecuencias Muy Bajas	30.000 m a 10.000 m	10 KHz a 30 KHz	Propagación por onda de tierra, atenuación débil. Características estables.	Enlaces de radio a gran distancia
LF	LOW FRECUENCIAS Frecuencias Bajas	10.000 m. a 1.000 m.	30 KHz a 300 KHz	Similar a la anterior, pero de características menos estables.	Enlaces de radio a gran distancia, ayuda a la navegación aérea y marítima.
MF	MEDIUM FRECUENCIAS Frecuencias Medias	1.000 m. a 100 m.	300 KHz a 3 MHz	Similar a la precedente pero con una absorción elevada durante el día. Prevalece propagación ionosférica durante la noche.	Radiodifusión AM y onda corta
HF	HIGH FRECUENCIAS Frecuencias Altas	100 m. a 10 m.	3 MHz a 30 MHz	Prevalece propagación Ionosférica con fuertes variaciones estacionales y en las diferentes horas del día y de la noche.	Comunicaciones de todo tipo a media y larga distancia
VHF	VERY HIGH FRECUENCIAS Frecuencias Muy Altas	10 m. a 1 m.	30 MHz a 300 MHz	Prevalece propagación directa, ocasionalmente propagación Ionosférica o Troposférica.	Enlaces de radio a corta distancia, Televisión, Frecuencia Modulada
UHF	ULTRA HIGH FRECUENCIAS Frecuencias Ultra Altas	1 m. a 10 cm.	300 MHz a 3 GHz	Solamente propagación directa, posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Enlaces de radio, Ayuda a la navegación aérea, Televisión, WI-FI
SHF	SUPER HIGH FRECUENCIAS Frecuencias Superaltas	10 cm. a 1 cm.	3 GHz a 30 GHz	Como la Precedente	Radar, enlaces de radio WI-FI, Satélites
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIAS Frecuencias Extra-Altas	1 cm. a 1 mm.	30 GHz a 300 GHz	Como la Precedente	Radar, enlaces de radio, Satélites
EHF	EXTRA HIGH FRECUENCIAS Frecuencias Extra-Altas	1 mm. a 0,1 mm.	300 GHz a 3.000 GHz	Como la Precedente	Como la Precedente

Esta división del **ESPECTRO DE FRECUENCIAS** fue establecida por el **CONSEJO CONSULTIVO INTERNACIONAL DE LAS COMUNICACIONES DE RADIO (CCIR)** en el año 1953. Debido a que la radiodifusión nació en los Estados Unidos de América, las denominaciones de las divisiones se encuentran en idioma inglés y de allí las abreviaturas tal cual las conocemos adoptadas en la Convención de Radio celebrada en Atlantic City en 1947. A su vez la **UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (UIT-ITU)** dividió al planeta en tres regiones, en las cuales la distribución de las frecuencias para los distintos usos y servicios son similares para los países que integran una región determinada. La **REGIÓN 1** es Europa, Africa, El Medio Oriente, Mongolia y las Repúblicas de la ex-Unión

Soviética. La **REGIÓN 2** son los países de las Américas. La **REGIÓN 3** es el resto del Mundo, principalmente Asia y Oceanía.



LOS SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIONES EN ARGENTINA (REGION 2)

A continuación se describen todos aquellos servicios que hacen uso del espectro electromagnético, y que son reconocidos por la CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones).

A cada uno de ellos la CNC les asigna una porción del espectro electromagnético, donde operar. Los nombres utilizados en este documento para los servicios no se corresponden exactamente con los utilizados por la CNC, sino que responden al nombre más comúnmente usado en la industria de comunicaciones en Argentina. No obstante en muchos casos se hará referencia también al nombre oficial.

Para una sistemática comprensión de los sistemas técnicos que emplea cada uno de los servicios es importante reflexionar acerca de si los mismos son:

- unidireccionales o bidireccionales
- de difusión o no (broadcast)
- punto a punto o punto a multipunto
- fijo-fijo, fijo-móvil, móvil-móvil

SERVICIOS

Alarma

El nombre del servicio es Alarma por vínculo radioeléctrico. Se trata de sistemas de monitoreo a distancia donde se conectan los puntos a vigilar - que pueden ser hogares, oficinas, locales o depósitos - mediante sensores o activadores que se conectan a una central que los controla. Por lo general este sistema comprende objetivos de vigilancia fijos. Los canales por donde circulan las ondas de vigilancia pueden ser compartidos. El servicio es brindado por empresas privadas de vigilancia. (VHF y UHF)

Bandas aeronáuticas

El servicio móvil aeronáutico se utiliza para las comunicaciones de voz entre aeronave y aeropuerto. Las bandas de radionavegación aeronáutica están reservadas para el instrumental de posicionamiento del avión y se utilizan para descensos guiados por instrumental. (LF, VHF, UHF, SHF)

Bandas marítimas

Se utilizan para las comunicaciones entre tierra y embarcaciones. Las hay del tipo simplex, semiduplex y dúplex. (LF, VHF, UHF)

Banda ciudadana

Es un servicio de radio para comunicaciones de corto alcance y compartido. Su nombre es histórico dado que se utilizaba para comunicaciones en el centro de la ciudad. Lo usaban principalmente los taxis. (HF 27 MHz)

Datos e Internet

Durante los últimos años hubo una explosión de adjudicaciones del espectro para la conformación de redes inalámbricas celulares fijas para brindar servicios de datos en general y en particular de acceso a Internet. La vinculación radioeléctrica lograda es entre el domicilio de los clientes y un sitio central o nodo de los proveedores de estos servicios. De esta manera han quedado sistemas similares que se diferencian entre sí por la frecuencia de trabajo. A más alta frecuencia se pueden transmitir datos a mayor velocidad pero el alcance es menor y por lo tanto, mayores los costos.

Las distintas zonas del espectro que agrupan bandas para el servicio de datos e Internet punto a multipunto serían:

Zona I, entre 500 y 1000 MHz:

Bandas para datos I (405,5 – 501 / 505,5 – 511 MHz), asignadas originalmente al servicio de transmisión de datos (actualmente en uso para TV entre 470 y 512 MHz, canales de TV 14 al 20 de UHF).

Bandas para datos II (902 – 930 MHz) incluyen espectro ensanchado.

Zona II, entre 2 y 11 GHz:

Bandas para MMDS (2304 – 2690 MHz) también habilitadas para datos e Internet. (wi-fi 2,4 - 2,5 GHz)

Bandas para datos fijos y valor agregado I (3,4 – 3,7 GHz)

Bandas para datos e Internet (5,15 – 5,25 GHz y 5,35 - 5,65GHz)

Bandas para datos fijos y valor agregado II (10,15 – 10,65 GHz)

Zona III, entre 25 y 42,5 GHz:

Bandas para alta densidad I (25 – 31 GHz) preparadas para sistemas de LMDS (**L**ocal **M**ultipoint **D**istribution **S**ystem)

Bandas para alta densidad II (37 – 40 GHz) preparadas para sistemas de LMDS

Banda experimental para LMDS (40,5 – 42,5 GHz)

Frecuencia Patrón y señales horarias

Se observa que están ubicadas en frecuencias con números redondos:

20 kHz, 2500 kHz, 5000 kHz, 10000 kHz, 20000 kHz, 25000 kHz

Se fijan a través de un sistema mundial y se utilizan entre otras cosas para calibrar instrumentos de medición.

Lo mismo ocurre con las señales horarias.

Multicanales

Bajo este nombre se engloban todos los servicios que consisten en la comunicación punto a punto entre dos sitios, de datos o voz, generalmente más conocidos como radioenlaces. De acuerdo a su uso pueden ser simplex, semiduplex o duplex. El nombre de multicanales se debe a que son capaces de transportar información de varios canales independientes simultáneamente, utilizando una única portadora, que es modulada con una señal que consiste en los distintos canales a transmitir, multiplexados entre sí. En el pasado eran analógicos, y hoy son prácticamente todos digitales.

Son utilizados por las compañías que prestan servicios de telecomunicaciones para unir nodos de su red y también por empresas privadas para comunicación de voz y datos entre distintos sitios o sucursales.

Radioaficionados

Son sistemas de comunicaciones abiertos mediante los cuales se transmiten mensaje a diferentes partes del mundo. También se utilizan para ensayos de comunicaciones. Los radioaficionados cumplen una función social. Sus transmisiones son utilizadas en caso de catástrofe o de urgencia. Los mensajes emitidos tienen una serie de restricciones: no pueden ser comerciales ni tener líneas telefónicas conectadas al equipo de radio, salvo si el mensaje es de emergencia.

Existe una gran cantidad de frecuencias con diferentes alcances. La banda de 80 m se utiliza para comunicaciones locales y nacionales. No llega más allá de los 2000 km. Con una banda de 40 m se puede llegar hasta Europa, pero las bandas específicas para comunicaciones internacionales son las de 20, 15 y 10 m. La banda de 6 m es utilizada para comunicaciones locales. Sobre los 145 MHz se utiliza VHF para comunicaciones locales vía satélite. Las bandas ultracortas, de 10 cm hacia abajo, son utilizadas para experimentación.

Radioastronomía e investigación

Espectro reservado para estaciones receptoras que controlan e investigan el espacio. Estas estaciones reciben las radiaciones emitidas desde el espacio por estrellas.

Radiocomunicaciones privadas y oficiales

Son frecuencias dedicadas a empresas que las piden para un determinado territorio. El nombre de "oficial" está dado porque varios organismos gubernamentales y empresas estatales las utilizan. Al ser privatizadas estas empresas el nombre del servicio se mantiene con el argumento de que brindan servicios de interés público.

En el caso de las frecuencias de uso privado en la Argentina, a diferencia de lo que ocurre en EEUU, no se ordenan las bandas y canales por sectores de actividad, sino que se asignan directamente a las empresas que los piden. Pero hay algunas excepciones: se han determinados bandas para bomberos, remises, cooperativas de servicios públicos, fabricantes de equipos de VHF y UHF, policía, servicios de radiotaxi, y también para los teléfonos inalámbricos familiares.

Radiodifusión

Aquí se incluyen tanto las bandas para radiodifusión sonora en AM (630 – 1630 KHz) como en FM (88 – 108 MHz) y en onda corta; estas últimas, utilizadas tradicionalmente por los servicios de radiodifusión al exterior. También las bandas para canales de TV, que van del 2 al 69.

En el caso de la TV están en uso los canales 2 al 13 (54 -216 MHz) en la banda de VHF y los canales 14 al 69 (470-806 MHz) de la banda de UHF.

Todos los canales servirán para TV digital terrestre, con la excepción de los canales 2 al 6 (54-88 MHz) que son muy afectados por los ruidos, y el canal 36 destinado en el futuro a radioastronomía.

Servicios rurales

Los servicios rurales son usados donde no llegan líneas cableadas de telefonía fija. Dentro de este ítem se encuentran el servicio de transmisión de mensajes, bidireccional de mensajes (STMB), el servicio de repetidor comunitario (SRC), la radiotelefonía rural por acceso múltiple (RTRAM), y los monocanales. Los proveedores de estos servicios son principalmente las cooperativas.

Servicios satelitales

Los servicios satelitales se basan en la utilización de un repetidor ubicado en el espacio para la transmisión de información de voz, datos o vídeo entre puntos ubicados sobre la tierra. Pueden ser punto a punto, punto a multipunto o para servicios de radiodifusión.

Existen tres tipos de sistemas satelitales: los de órbita baja o LEO (Low Earth Orbit) que operan con una órbita inferior a los 1000 km de altura, los satélites de órbita media o MEO (Medium Earth Orbit) cuya órbita está alrededor de los 10000 km y los satélites geoestacionarios o GEO (Geostationary Earth Orbit) a 36000 Km de altura.

Las aplicaciones tradicionales son las comunicaciones telefónicas internacionales, la distribución de señales de TV entre el lugar de origen y las estaciones de TV que las retransmitirán a los espectadores, las comunicaciones de datos punto a punto con la facilidad de llegar a lugares de difícil acceso para otras tecnologías.

En los años recientes se desarrollaron y se pusieron en marcha proyectos para brindar telefonía satelital (comunicando directamente el satélite con el terminal de los clientes) y televisión directamente a los hogares.

Servicios de radiolocalización GPS

Es un sistema que, a través de una terminal portátil, permite determinar las coordenadas del lugar en que se encuentra. El terminal detecta la señal de al menos tres satélites de órbita baja que brindan el servicio y mediante triangulación identifica las coordenadas.

Telefonía móvil

Bajo esta denominación se engloba todo servicio inalámbrico móvil que permite las comunicaciones de voz de abonados entre sí, y de abonados con otras redes de telecomunicaciones. En la Argentina tiene varias denominaciones: la telefonía celular, que en el AMBA se llama SRMC (servicio de radiocomunicaciones móviles celulares) y en el interior STM (servicio de telefonía móvil) y el PCS (personal communication system).

La telefonía celular ocupa el tramo de frecuencias en 850 MHz y PCS tiene como destino los 1900 MHz. La digitalización de redes celulares hizo que la diferencia entre ambos sistemas de telefonía móvil se reduzca solamente a la mayor capacidad de transmisión de datos de PCS, debido a que opera en una frecuencia más alta.

Señales Eléctricas.

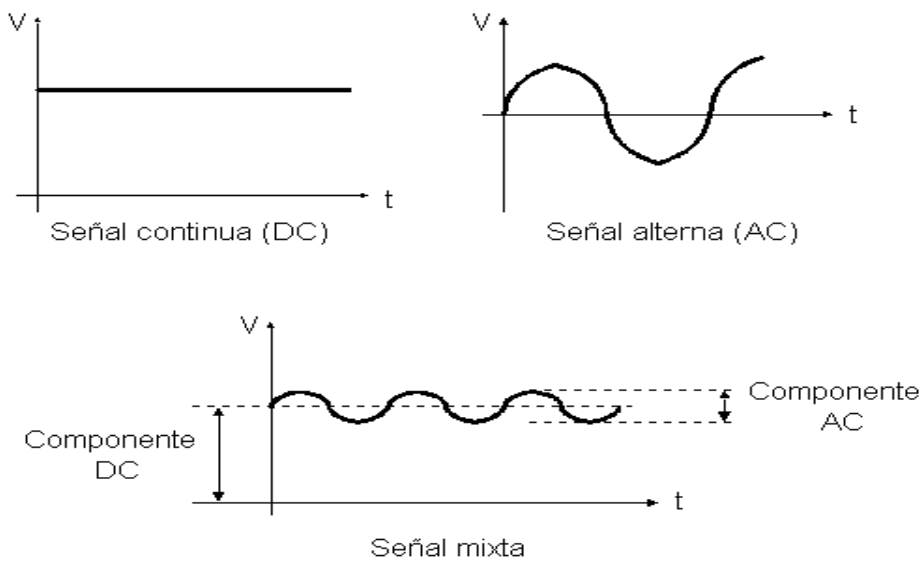
Una **señal eléctrica** es un tipo de señal generada por algún fenómeno electromagnético.

En la mayoría de los casos, las señales (tensiones o corrientes) aplicadas a los circuitos eléctricos pueden encuadrarse dentro de una de las siguientes categorías:

Señales continuas (DC): Se trata de señales de valor medio no nulo con una frecuencia de variación muy lenta, por lo que se pueden considerar como constantes en el tiempo.

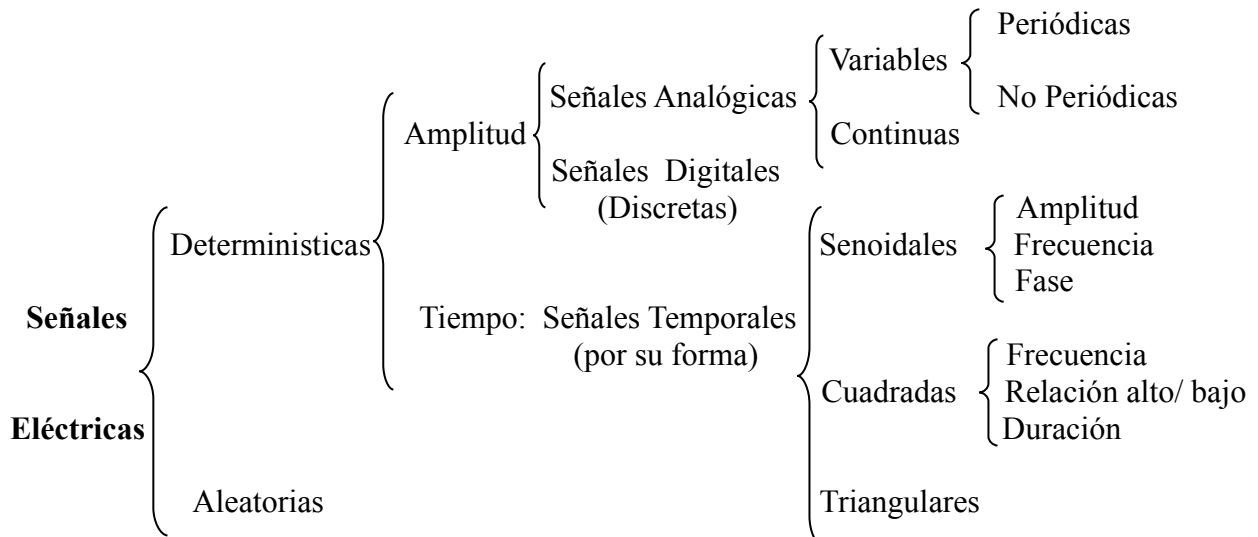
Señales alternas (AC): Son señales que cambian de signo periódicamente, de tal forma que su valor medio en una oscilación completa es nulo. El caso más simple es el de una señal sinusoidal

Señales de alterna superpuestas a un valor de continua: Obviamente, se trata de una superposición de los dos casos anteriores. Al valor medio de la señal se le llama *componente continua*, mientras que la oscilación recibe el nombre de *componente de alterna*.

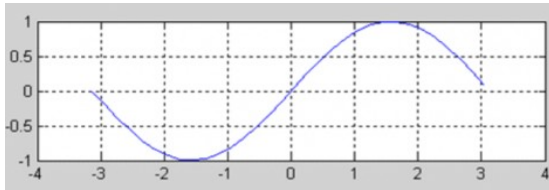


Clasificación de las señales eléctricas.

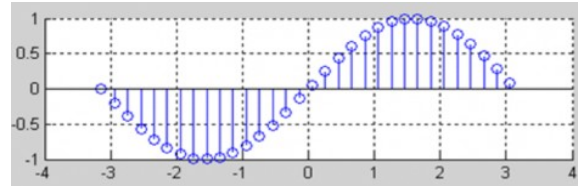
Una clasificación más amplia de las señales eléctricas se muestra en el siguiente cuadro:



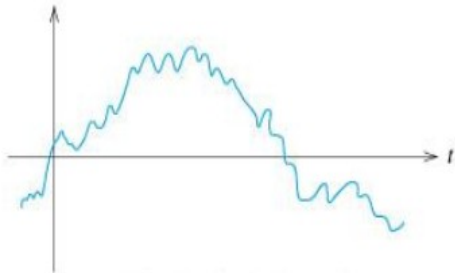
Ejemplos de Señales Eléctricas



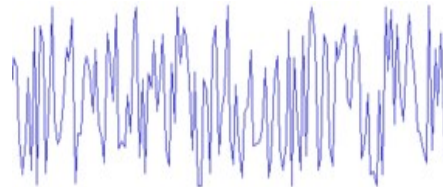
Señales Analógicas Senoidales



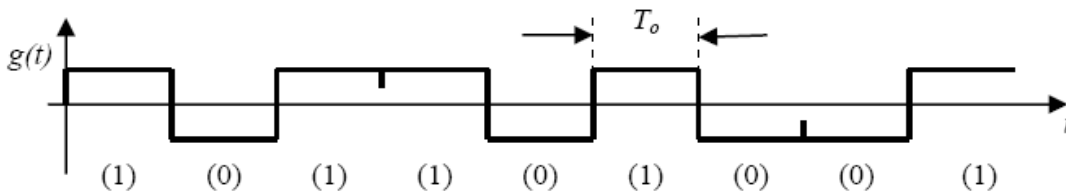
Señal discreta



Señal variable no periódica



Señal Aleatoria – (Ruido)



Señal Digital

Señales Eléctricas periódicas.

Una señal es una cantidad eléctrica que puede estar definida por tres características principales; Amplitud, fase y frecuencia.

La **amplitud** es el valor escalar instantáneo que se indica en unidades, normalmente Volts de la señal.

La **frecuencia** es un valor que nos indica, asumiendo que una señal es periódica, el número de veces que el periodo se repite en un intervalo de tiempo, las unidades de frecuencia son Hertz.

La **fase** es un valor que indica el valor instantáneo de la amplitud dentro del periodo de la señal. La figura 1.2 muestra una señal seno y sus características.

En la figura 1.2 (b) se puede ver que la amplitud es el valor instantáneo definido por la fase de la onda en ese instante, por lo cual nos podemos ayudar de la figura 1.2 (a) donde se puede ver que la fase está definida por un valor angular ϕ donde este valor es el ángulo que forma un vector con un círculo de radio igual a la amplitud de la señal y la componente del vector en el eje x es igual al coseno de ϕ y la componente del vector en y es igual al seno de ϕ , la amplitud y la frecuencia de la señal está definida por la siguiente ecuación:

$$V(t) = A \text{ sen } \omega t$$

Donde $\omega = 2\pi f$ es la frecuencia angular de la señal y f es la frecuencia en Hertz.

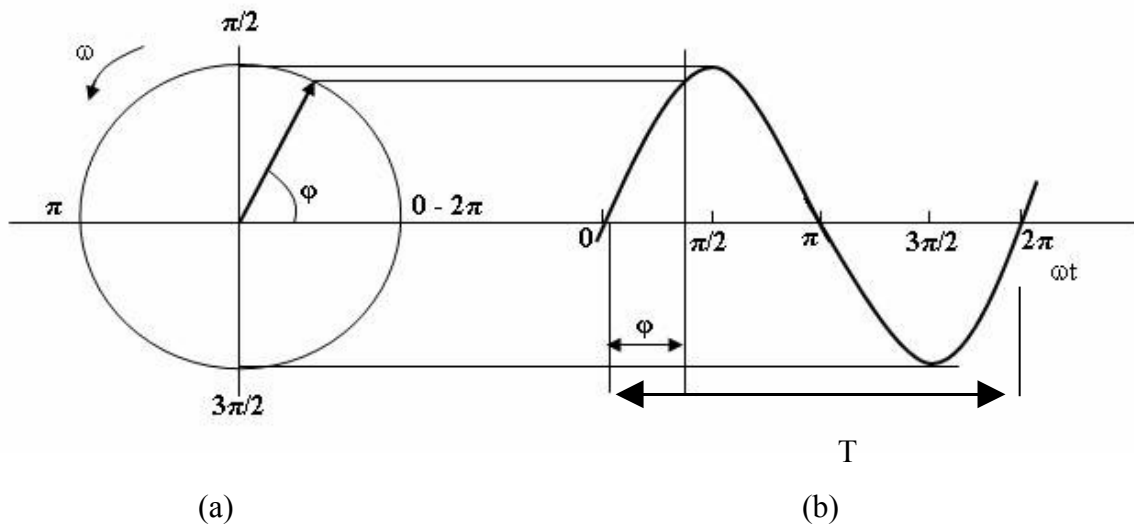


Figura 1.2 Características de una señal periódica.

Refiriéndonos a la figura 1.2 (b) f esta definida por el recíproco del periodo T :

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{y también} \quad f = \frac{c}{\lambda} \quad \text{donde:}$$

f = frecuencia; c = factor de velocidad (velocidad de la luz); λ = longitud de onda

Formas de Ondas Complejas

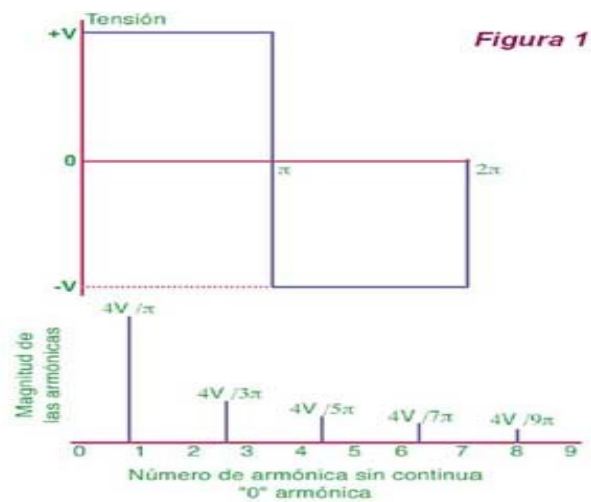
Timbre y Frecuencia

El timbre es la cualidad gracias a la cual podemos diferenciar el sonido de un piano del de una flauta aunque estén interpretando la misma nota, es decir: aunque dos instrumentos emitan un sonido con la misma frecuencia podemos diferenciarlos gracias a su timbre característico. Este fenómeno es debido a que un sonido no está formado sólo de una frecuencia, sino por la suma de otras que son múltiplos de la fundamental. Estas otras frecuencias varían en intensidad y son llamadas armónicas. La proporción e intensidad de estos armónicos son diferentes en cada instrumento y es por ello que podemos diferenciar sus sonidos.

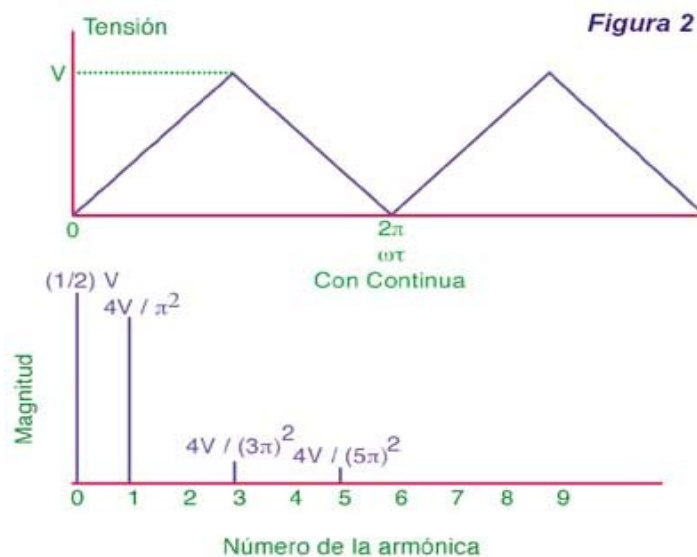
Jean Fourier demostró matemáticamente que toda función periódica no senoidal puede ser descompuesta en una serie de funciones senoidales. Las senoidales carecen de armónicos, por lo cual podemos considerarlas puras. Este modo de descomponer una señal es conocido como análisis de Fourier.

Si a una señal se le van añadiendo armónicos, la forma de onda irá variando pero su frecuencia fundamental permanecerá inalterada. Las amplitudes relativas de cada armónico varían en función de la forma de onda, siendo el de mayor amplitud el que se considera fundamental.

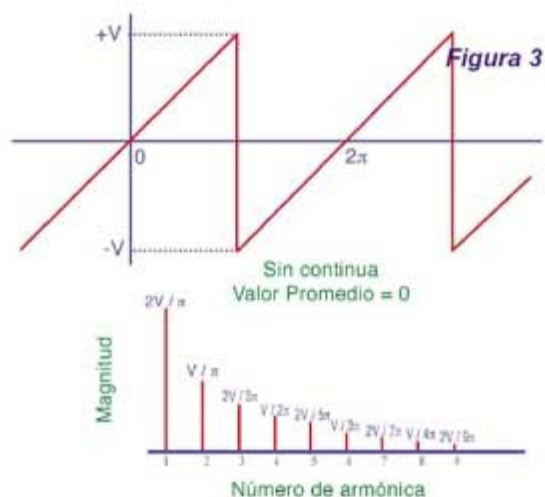
El análisis de las formas de onda es un campo complejo que a veces es difícil de entender. Consideremos primero las ondas cuadradas. Sabemos que una onda cuadrada contiene una cantidad de armónicas. Lo que posiblemente no sepamos es que las ondas cuadradas no tienen armónicas pares, y que la amplitud de las armónicas disminuye a medida que aumenta su grado.



Esto es correcto para una onda cuadrada (50% del ciclo "on" y para el 50% restante off), pero para un pulso con un ciclo de trabajo distinto al 50%, no es obligatorio que sea así.



Dependiendo del ciclo de trabajo, la fundamental o primera armónica puede ser fuerte, luego las próximas armónicas pueden disminuir, y luego las siguientes pueden ser fuertes de nuevo. Trataremos aquí solamente a formas de onda periódicas. Una onda periódica es aquella que se repite cada intervalo de tiempo, este intervalo de tiempo se llama período.



Cada forma de onda periódica que no es sinusoidal contiene ciertas armónicas, la primera de las cuales es la fundamental. Si el período es T (tiempo), la frecuencia en hertz de la fundamental es $1/T$. No existe ninguna frecuencia inferior a la fundamental en una forma de onda compleja. Un método lógico para mostrar el contenido armónico de una forma de onda es mediante el empleo de una gráfica del contenido espectral de la misma.

Las gráficas de las figuras 1, 2 y 3 indican la posición relativa y magnitud de cada armónica (sólo se muestran las primeras). A menudo se incluye una línea a frecuencia cero para indicar el valor (promedio) de continua de la onda. El conjunto de armónicas se llama **serie de Fourier**. De acuerdo a la teoría, la magnitud de los miembros (armónicas) de esta serie se hace cada vez más pequeño y eventualmente llega a cero para una frecuencia infinita. Ya que la forma de onda es la suma algebraica de todas las armónicas (incluyendo las que llegan hasta el infinito), a medida que agregamos armónicas cada vez más altas obtenemos una aproximación mejor de la forma de onda real.

Ancho de banda limitado

Todo canal de comunicación o medio de transmisión, - par trenzado de alambres, cable coaxial, radio, Amplificador del osciloscopio, etc.- tiene un ancho de banda definido asociado a él que especifica la banda de componentes de frecuencia senoidales que el canal transmitirá sin atenuación. Por ello, al transmitir datos por un canal, necesitaremos cuantificar el efecto que tendrá el ancho de banda del canal sobre la señal de datos transmitida.

Podemos valernos de la técnica matemática denominada análisis de Fourier para demostrar que cualquier señal periódica -es decir, una señal que se repite a intervalos de tiempo regulares (el periodo)- está formada por una serie infinita de componentes de frecuencia senoidales.

El periodo de la señal determina la componente de frecuencia fundamental: el recíproco del periodo en segundos da la frecuencia en ciclos por segundo (Hz). Las demás componentes tienen frecuencias que son múltiplos de ésta y se denominan armónicas de la fundamental.

Dominio del tiempo y dominio de la frecuencia.

Como se menciono anteriormente una señal tiene como características la amplitud, la fase y la frecuencia. Se puede observar como varia la señal con el tiempo si usamos una gráfica de amplitud contra tiempo. Estas gráficas se dice que están en el dominio del tiempo, porque el parámetro de variación es el tiempo. También se puede observar como varia la señal con la frecuencia, se puede hacer una gráfica de amplitud contra frecuencia. Estas gráficas se dice que están en el dominio de la frecuencia, porque el parámetro de variación es la frecuencia.

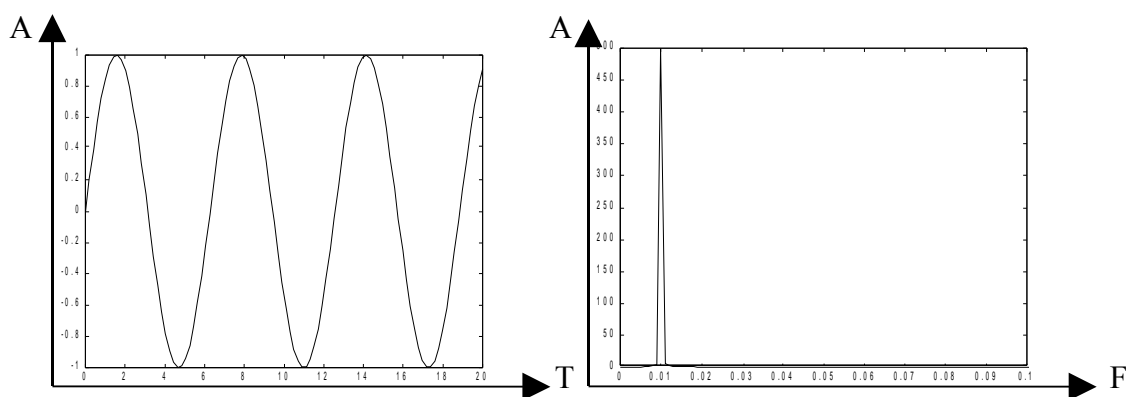


Figura 1.4 Dominio del tiempo y dominio de frecuencia.

La herramienta matemática para pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia es la transformada de Fourier. Esta transformada se puede definir con las siguientes ecuaciones:

Transformada de Fourier.

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt$$

Transformada inversa de Fourier

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

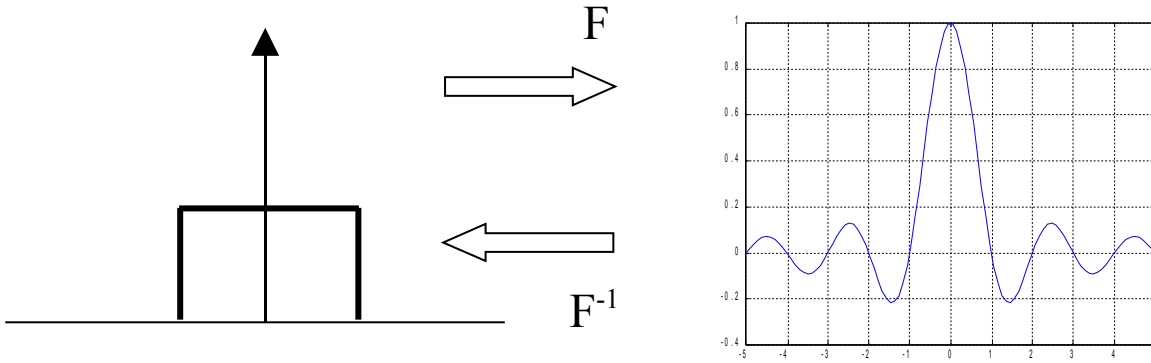


Figura 1.5 Transformada de una onda cuadrada.

La figura 1.7 (a) muestra una señal compleja en el dominio del tiempo y la figura 1.7 (b) muestra la misma señal en el dominio de la frecuencia. Se pasa de un dominio a otro con la transformada de Fourier y la anti-transformada de Fourier respectivamente. En la figura 1.6 es fácil ver el contenido de onda seno. Por lo contrario, en la figura 1.7 no es fácil ver el contenido espectral en el dominio del tiempo, pues la onda es muy compleja y formada de muchas frecuencias fundamentales, frecuencias que es más fácil ver en el dominio de la frecuencia.

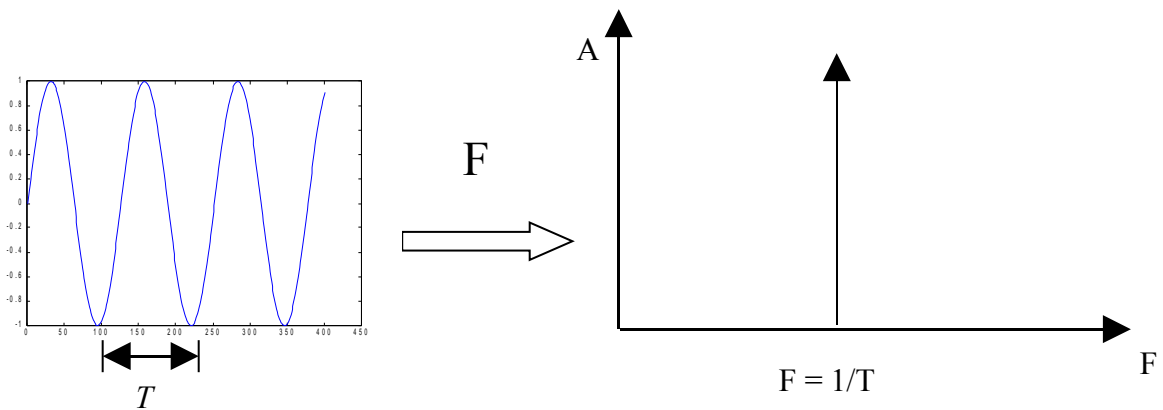


Figura 1.6 Onda seno y su transformada de Fourier

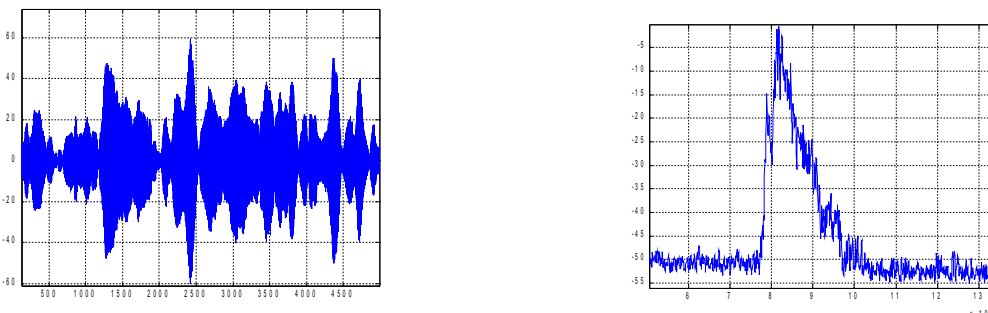


Figura 1.7 Señal compleja y su transformada de Fourier.

Series y transformada de Fourier

En problemas de ingeniería eléctrica la señal, el ruido o la combinación de señal con ruido por lo general se compone de una forma de onda de voltaje o de corriente que es una función del tiempo. Sea $w(t)$ la forma de onda de interés (de voltaje o de corriente). Si se desea, en un osciloscopio se podría ver la forma de onda. El valor de voltaje (o corriente) espectral de la onda en el dominio del tiempo, ya que es una sola varía en función del tiempo; por consiguiente, ciertas frecuencias o intervalo de frecuencias es una de las principales propiedades de interés para el ingeniero electrónico. En teoría para evaluar las frecuencias presentes, se tiene que examinar la forma de onda en todo momento (es decir en un intervalo de t mayor que menos infinito y menor que más infinito) para asegurarse que la medición se hizo correctamente y para garantizar que ninguno de los componentes de frecuencia se ignora. El espectro de voltaje (o corriente) da el nivel relativo de frecuencia comparada con otra. Este se obtiene con la transformada de Fourier de la forma de voltaje (o corriente).

Básicamente la Transformada de Fourier se encarga de transformar una señal del dominio del tiempo, al dominio de la frecuencia, de donde se puede realizar su antitransformada y volver al dominio temporal.

Series de Fourier.

Sea una función $f(t)$ una función periódica de periodo T , la cual se puede representar por la serie trigonométrica

$$\begin{aligned} f(t) &= \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2\omega_0 t + \dots + b_1 \text{sen} \omega_0 t + b_2 \text{sen} 2\omega_0 t + \dots \\ &= \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \text{sen} n\omega_0 t) \end{aligned}$$

donde

$$\omega_0 = 2\pi/T.$$

Una serie como la representada se llama serie trigonométrica de Fourier. Esta serie también se puede representar así:

$$f(t) = \frac{1}{2} a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \text{sen} n\omega_0 t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(n\omega_0 t - \theta_n)$$

Se puede observar que la representación de Fourier de una función periódica, representa la función como la suma de componentes sinusoides que tienen diferentes frecuencias.

La componente sinusoidal de frecuencia $\omega_n = n\omega_0$ se denomina la n -ésima armónica de la función periódica. La primera armónica comúnmente se conoce como la componente fundamental porque tiene el mismo período de la función y se conoce como la frecuencia angular fundamental. Los coeficientes C_n se conocen como las amplitudes armónicas y los ángulos θ_n se conocen como ángulos de fase.

Funciones Periódicas

Una función periódica se puede definir como una función para la cual

$$f(t) = f(t + T)$$

Para todos los valores de t. La constante mínima T que satisface la relación, se llama el período de la función. Mediante repetición, se obtiene:

$$f(t) = f(t + nT), n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

La Transformada de Fourier.

La transformada de Fourier se emplea con señales periódicas a diferencia de las series de Fourier. Para obtener la transformada de Fourier es necesario que se cumplan las condiciones de Dirichlet, mismas que se enuncian a continuación.

- Debe ser absolutamente integrable, es decir:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 \cdot dt < \infty$$

- Debe de tener un grado de oscilación finito.
- Debe de tener un número máximo de discontinuidades.

La transformada de Fourier es una particularización de la transformada de Laplace con $S=j\omega$ (siendo $\omega=2\pi f$), y se define como:

$$x(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt$$

Y su antitransformada se define como:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

Transformada rápida de Fourier

Muchas formas de onda encontradas en los sistemas de comunicaciones típicos no pueden medirse satisfactoriamente por expresiones matemáticas. De este modo, su comportamiento en el dominio de la frecuencia es de mucho interés. A menudo existe una necesidad de obtener un comportamiento en el dominio de la frecuencia de las señales que se están coleccionando en el dominio del tiempo (es decir, en el tiempo real). Esta es la razón de por que fue desarrollada la transformada discreta de Fourier. Con la transformada discreta de Fourier, una señal en el dominio del tiempo se muestra en tiempos discretos. Las muestras se alimentan a una computadora en donde un algoritmo calcula la transformada. En consecuencia, el tiempo de cálculo es proporcional a n al cuadrado, donde n es al número de muestras. Para cualquier número razonable de muestras, el tiempo de cálculo es excesivo. Consecuentemente, en 1965 se desarrollo un nuevo algoritmo llamado la transformada rápida de Fourier o FFT por Cooley y Turkey. Con el FFT el tiempo de cálculo es proporcional a n log 2n en vez de n al cuadrado. El FFT esta disponible en la mayoría de los osciloscopios digitales actuales.

Decibeles. (dB)

En sistemas de comunicación muy a menudo es necesario confrontar las relaciones entre las mediciones de varios niveles de señal y medir niveles exactos de señal a través de todo el sistema.

Es deseable que los cálculos para determinar esas relaciones o cálculos exactos sean lo más simple posible para evitar la posibilidad de error. Para llevar a cabo esto se ha seleccionado un sistema de cálculo basado en el decibel dB.

El decibel es una cantidad que indica una relación en lugar de una cantidad en sí, es decir, nos indica que una cantidad es 5 veces mayor que otra o que una cantidad es 10 veces mayor que otra. El dB es una relación entre dos cantidades que se miden con un mismo parámetro. Ej. Potencia o Voltaje.

Cuando se consideran las condiciones normales en un sistema, se encuentra que una cantidad q_1 es mayor que una cantidad q_2 nos referimos a una ganancia de señal y cuando una cantidad q_1 es menor a una cantidad q_2 nos referimos a una pérdida de señal y como usamos valores logarítmicos (dB), un signo positivo indicará una ganancia y un signo negativo indicará una pérdida.

Hay dos cosas importantes que recordar:

- 1) El dB es usado en un sistema para representar solamente pérdida o ganancia .
- 2) El dB siempre expresa una relación de cantidades y nunca una cantidad definida.

Dado que los niveles de señal en los sistemas de comunicación son muy pequeños y están representados por relaciones en lugar de cantidades fijas, se hace necesario encontrar una forma de representar estos valores. La representación en Decibeles es una manera sencilla y que cubra una amplia gama de valores en una cierta escala.

Atendiendo a esto se usan los valores en una escala logarítmica. Aunque esto parezca complicado, es una manera sencilla de representar valores muy dispares y con una exactitud aceptable. Así un valor en Decibeles es una representación logarítmica de una relación de dos valores.

Para expresar ganancia de potencia directamente se usa esta ecuación:

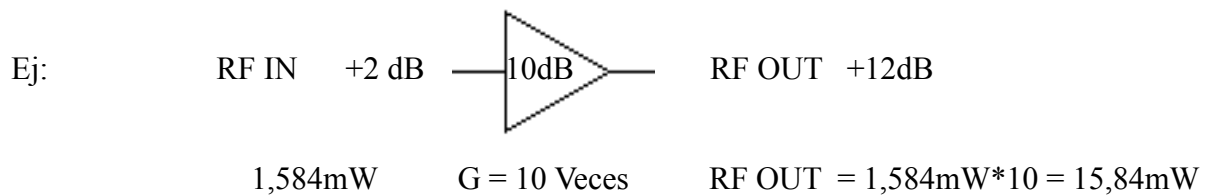
$$\text{Ganancia de potencia en } dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1}$$

Para expresar ganancia de potencia en términos de voltaje y corriente se usan estas ecuaciones:

$$\text{Ganancia de potencia en } dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$\text{Ganancia de potencia en } dB = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^2 = 20 \log \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

Con estas ecuaciones se puede expresar que la potencia es directamente proporcional a la corriente o al voltaje ($P = V^2 / R$) o ($P = I^2 * R$) ya que la resistencia (o impedancia) para sistemas de comunicación, es estándar, por lo tanto la resistencia es igual y desaparece de los términos.



Otro estándar que se usa muy comúnmente es el de dBmV. Esta señal de referencia para mediciones de señal y representa una relación de una señal de un valor fijo de 1 miliVolt o $1 \cdot 10^{-3}$ Volts y otra señal desconocida. Este es un valor de potencia ya que la impedancia o resistencia es fija.

Por lo tanto $0 \text{ dBmV} = 1 \text{ mV}$ de señal a través de una resistencia fija, debido a que:

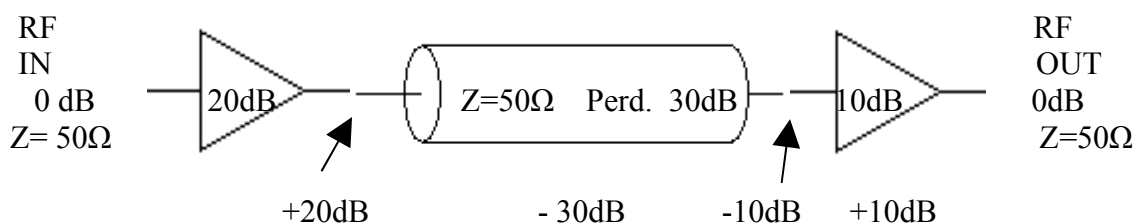
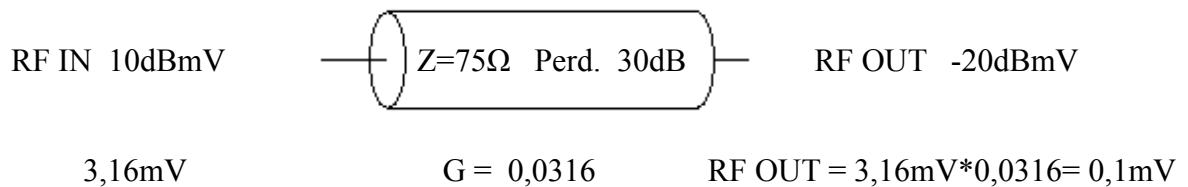
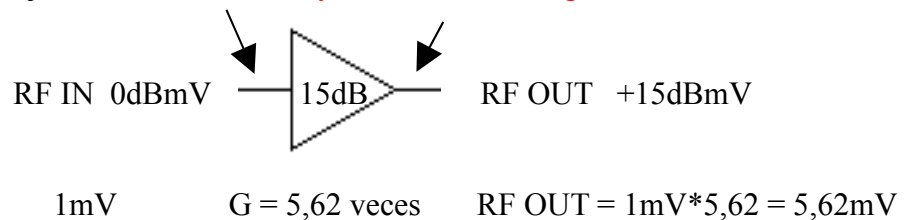
$$0 \text{ dBmV} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{1 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} \right) = 20 \log(1)$$

Ejemplo. ¿Cuántos dBmV tendrá una señal que tiene un nivel de 20 mV?

Solución:

$$\text{Potencia en dBmV} = 20 \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{20 \text{ mV}}{1 \text{ mV}} \right) = 20 \log(20) = 26 \text{ dBmV}$$

EJ: ojo: Las Z de entrada y salida deben ser iguales



Enseguida se muestra la tabla de conversión de dBmV a mV, para mostrar la relación entre estas dos cantidades e ilustrar más su uso:

Tabla 2.1. Conversión de dBmV a miliVolts

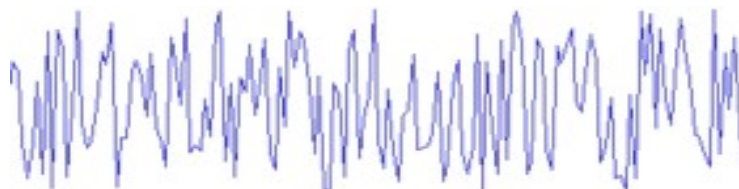
dBmV	mV	dBmV	mV	dBmV	mV
-40	0.01	-9	0.35	22	12.59
-39	0.01	-8	0.4	23	14.13
-38	0.01	-7	0.45	24	15.85
-37	0.01	-6	0.5	25	17.78
-36	0.02	-5	0.56	26	19.95
-35	0.02	-4	0.63	27	22.39
-34	0.02	-3	0.71	28	25.12
-33	0.02	-2	0.79	29	28.18
-32	0.03	-1	0.89	30	31.62
-31	0.03	0	1	31	35.48
.
.
-15	0.17	15	5.62	46	199.52
-16	0.18	16	6.31	47	223.87
-14	0.2	17	7.08	48	251.19
-13	0.22	18	7.94	49	281.84
-12	0.25	19	8.91	50	316.23
-11	0.28	20	10	51	354.81
-10	0.32	21	11.22	52	398.11

Otras definiciones de valores logarítmicos

dBc	dB relativo a la potencia de la portadora
dB _i	dB Ganancia con respecto a una antena isótropica
dBm	dB referido a un miliwatt

Ruido.

El Ruido es una señal aleatoria inherente a todos los componentes físicos. Directamente limita la detección y procesamiento de toda la información. La forma más común de ruido es el *Ruido Blanco Gaussiano*, causado por los múltiples procesos aleatorios de la corriente eléctrica o por las agitaciones térmicas de elementos conductivos.



Ruido Blanco Gaussiano

El ruido blanco Gaussiano es un proceso aleatorio Gaussiano estacionario $R_n(t)$ con valor medio igual a cero, $m_n = 0$, y función de correlación d.

$$R_n(t) = N_0 d(t),$$

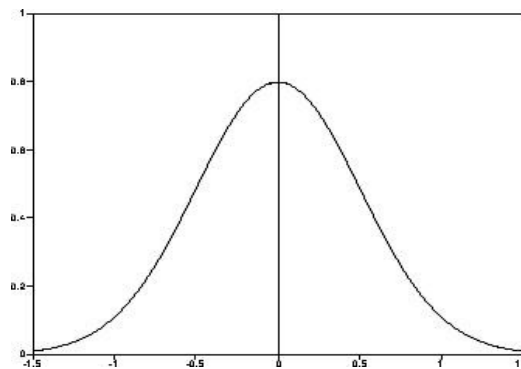
Donde N_0 es la densidad espectral (o intensidad de ruido). Debido a la función de correlación de forma d , la densidad espectral ruido blanco es una constante N_0 para todas las frecuencias, $-\infty \leq f \leq \infty$, por lo tanto, la energía total del ruido blanco es infinita. Tal proceso es una idealización del ruido real que ocurre en los sistemas eléctricos, de comunicación y otros procesos de señales.

¿Cuál es el significado del término "Blanco"?

Blanco se refiere a la fuente de ruido de potencia de densidad espectral, que es idealmente plano con la frecuencia. En realidad, en algún punto (debido al desfase) hay una reducción en el nivel de ruido medible.

¿Qué significa el término "Gaussiano"?

El término de Gaussiano se refiere a la distribución de voltaje de la fuente de ruido. Debido a su carácter aleatorio, el ruido de voltaje de un componente normalmente es una distribución de Gauss. Esto se caracteriza por su valor medio y excursiones de voltaje aleatorias que siguen la forma de una campana o curva de Gauss.

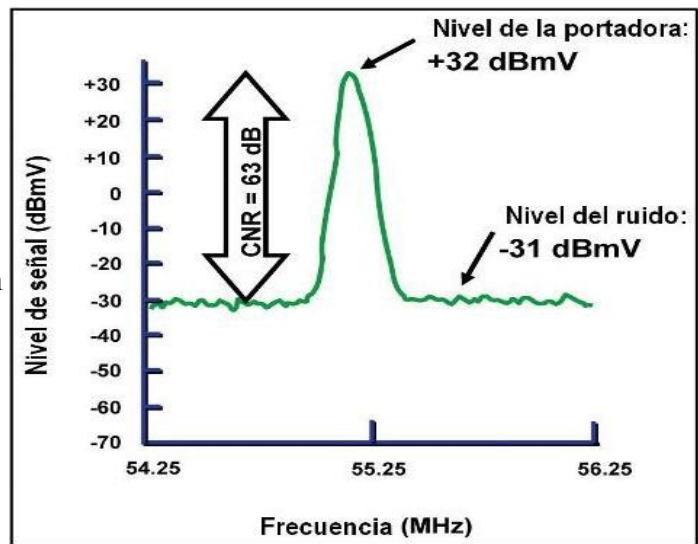


El ruido se define como el proceso aleatorio mediante el cual señales indeseadas se agregan a la señal fuente en un sistema de comunicación. Hay varias fuentes de ruido entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

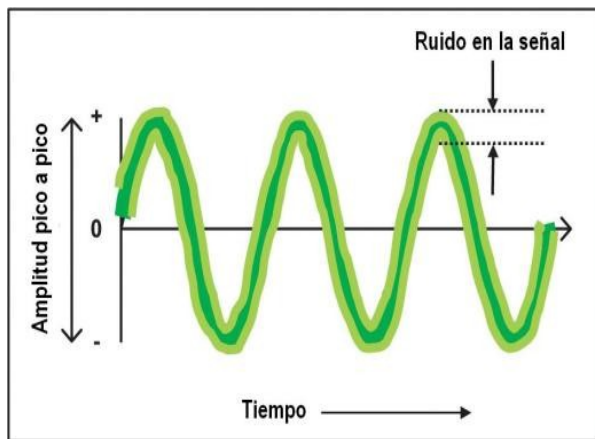
- 1) Ruido Térmico: Ruido generado por la interacción de las moléculas en los materiales, es decir, el movimiento libre de los electrones de las órbitas externas entre átomos. Se llama ruido térmico porque varía con la temperatura. Normalmente generado en componentes pasivos (resistencias, capacitores y bobinas)
- 2) Otra fuente de ruido proviene de la utilización de componentes activos en los equipos de transmisión y recepción (transistores y circuitos integrados.)
- 3) Ruido Atmosférico y espacial: ruido generado por diversas fuentes atmosféricas, por ejemplo: rayos, relámpagos, auroras boreales, movimientos de las masas de aire, etc y el que proviene del espacio exterior de fuentes diversas (sol, estrellas, planetas, etc).
- 4) Ruido generado por el hombre. Las maquinas e instalaciones eléctricas de gran tamaño, y los automotores, generan ruido de un rango muy diverso de frecuencias, este ruido influye en los sistemas de comunicación.

Relación Portadora a Ruido CNR

La *relación portadora a ruido* (CNR, Carrier to Noise Ratio) es el nivel relativo de potencia de la portadora de la señal con respecto al nivel de ruido en un sistema. Determina básicamente la calidad del sistema. La portadora se refiere a la señal de información en este caso. Esta relación se expresa en dB.



Relación señal a ruido (SNR.)



Este es un parámetro importante en la evaluación de comportamiento de un sistema de comunicación o de un enlace.

Es la relación que indica cuanto se acerca el valor del ruido respecto a la señal que se transmitió. Se indica con la división de la amplitud de la señal y la amplitud del ruido en un sistema.

$$SNR = \frac{s(t)}{n(t)}$$

Donde $s(t)$ es el nivel de la señal y $n(t)$ es el nivel del ruido. Esta relación frecuentemente se expresa en decibeles (dB).

Por otra parte, si el Ancho de Banda (BW) y la S/N son intercambiables (Relación de Hartley), se puede reducir el BW con el fin de incrementar la relación S/N y viceversa, por lo que modificando estos parámetros se puede mantener una rapidez dada de comunicación con una calidad específica.

Figura de ruido. (noise figure NF)

La figura de ruido se define como la cantidad de ruido adicional que un dispositivo, circuito o equipo agrega al ruido típico del sistema.

$$NF = SNR_{OUT} - SNR_{IN}$$

NF = Figura de ruido, SNR_{OUT} = Señal Ruido a la Salida, SNR_{IN} = Señal Ruido en la Entrada

Por ejemplo, para el transistor BFR96 la hoja de datos (datasheet) indica:

$$NF = 2.4 \text{ dB (typ) @ } f = 0.5 \text{ GHz}$$

y para el 2SC3356 la especificación es:

$$NF = 1.1 \text{ dB (typ), Ga } 11 \text{ dB typ @ } V_{ce} = 10V, I_c = 7 \text{ mA, } f = 1.0 \text{ GHz,}$$

por lo que el transistor 2SC3356 aportaría menos ruido al sistema, **1.3 dB menos**.

Propagación de las Ondas Radioeléctricas

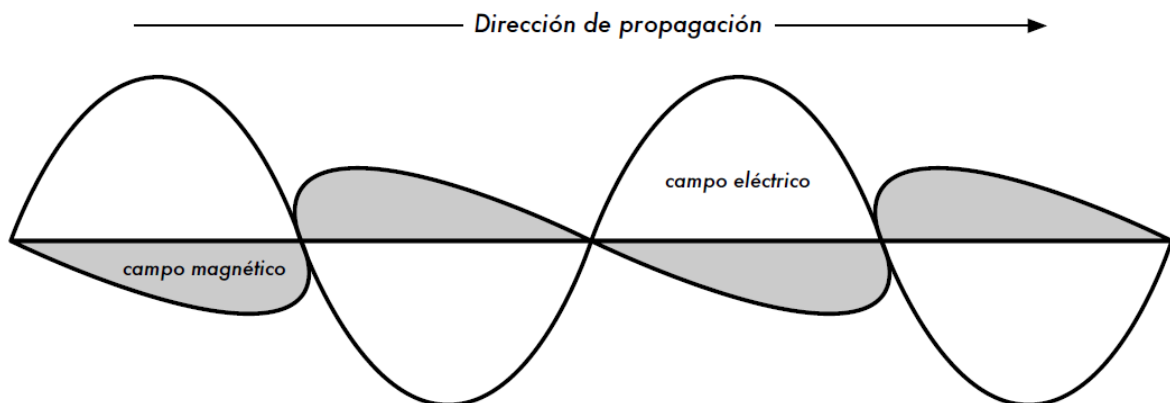
La propagación de ondas se refiere a la propagación de ondas electromagnéticas en el espacio libre. Aunque el espacio libre realmente implica en el vacío, con frecuencia la propagación por la atmosfera terrestre se llama propagación por el espacio libre y se puede considerar siempre así. La principal diferencia es que la atmosfera de la tierra introduce perdidas de la señal que no se encuentran en el vacío.

Las ondas electromagnéticas se propagan a través de cualquier material dieléctrico incluyendo el aire, pero no se propaga bien a través de conductores con pérdidas como el agua de mar ya que los campos eléctricos hacen que fluyan corrientes en el material disipando con rapidez la energía de las ondas.

Las ondas de radio se consideran ondas electromagnéticas como la luz y al igual que ésta, viajan a través del espacio libre en línea recta con una velocidad de 300,000,000 metros por segundo. Otras formas de ondas electromagnéticas son los rayos infrarrojos, los ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.

Las ondas de radio se propagan por la atmosfera terrestre con energía transmitida por la fuente, posteriormente la energía se recibe del lado de la antena receptora. La radiación y la captura de esta energía son funciones de las antenas y de la distancia entre ellas.

Las ondas radioeléctricas están compuestas por una onda senoidal eléctrica que se mueve perpendicular a la onda magnética en la dirección de la propagación.



Existen cuatro formas distintas de propagación de las ondas radioeléctricas: Propagación de onda directa, reflejada, por difracción, y refracción. Las tres primeras son propagaciones terrestres, y la última es una propagación ionosférica.

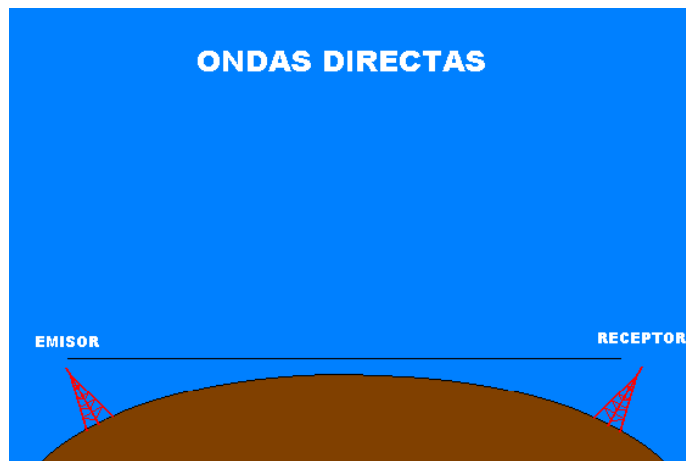
Propagación directa

En ella la onda emitida por la antena emisora alcanza la antena receptora en línea recta y sin desviación alguna. Es la que más interesa.



No toca el terreno ni la ionosfera. La atenuación es mínima, siendo únicamente la que se produce por el espacio abierto o agentes meteorológicos (lluvia, nieve, etc) Es la propagación típica de frecuencias superiores a 30MHz (VHF-UHF-SHF).

Un claro ejemplo lo tenemos en los emisores de radiodifusión FM y TV, en los que para conseguir máximas distancias es imprescindible tener la antena emisora lo más alta posible (o ubicaciones de repetidores o reemisores en cotas altas del terreno). Otro ejemplo lo tenemos en los radioenlaces de microondas (SHF o frecuencias >3GHz) en los que es imprescindible que haya visión directa para establecerse la comunicación.



Atenuación (Ley del cuadrado inverso)

La atenuación es descrita matemáticamente por la ley del cuadrado inverso que describe como es que se reduce la densidad de potencia con la distancia a la fuente. La ley del cuadrado inverso nos dice que entre más lejano va el frente de onda de la antena transmisora, la densidad de potencia es más pequeña y que esta disminuye inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente.

El campo electromagnético continua se dispersa a medida que el frente de onda se aleja de la fuente, lo que hace que las ondas electromagnéticas se alejen cada vez más entre si. En consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor.

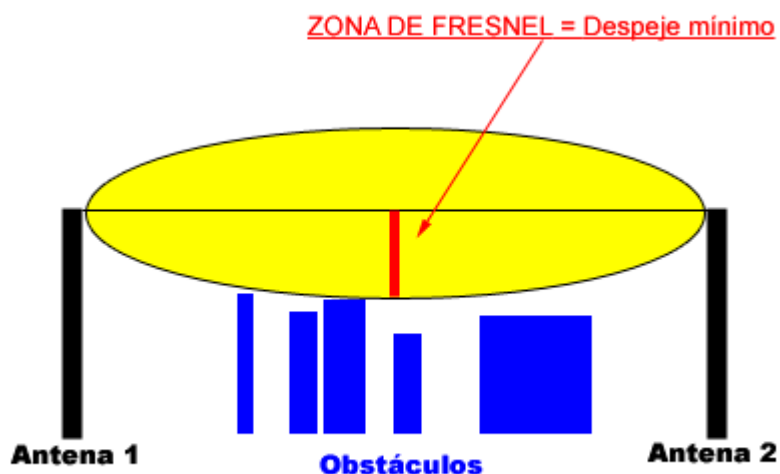
$$\text{Atenuación (dB)} = 20 \times \log D + 20 \times \log F + 32,5$$

Siendo: D = Kms y F = Mhz.

Zona de Fresnel

Tanto en óptica como en comunicaciones por radio o inalámbricas, la **zona de Fresnel** es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas.

Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de intensidad de señal recibido. Debiendo considerar la curvatura de la tierra(K), que generalmente puede tomar valores de $K=2/3$ (peor caso) y $K=4/3$ (caso óptimo)En la óptica y comunicaciones por radio, una zona de Fresnel, es uno de los elipsoides de revolución



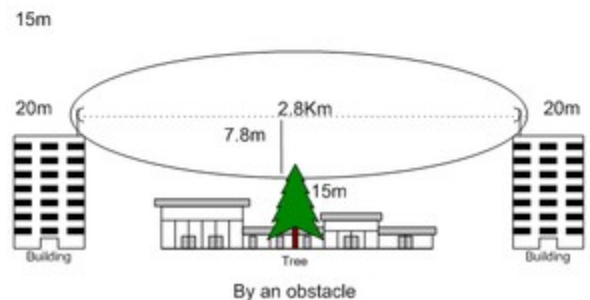
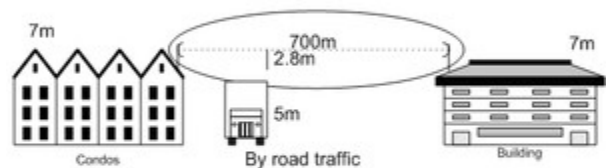
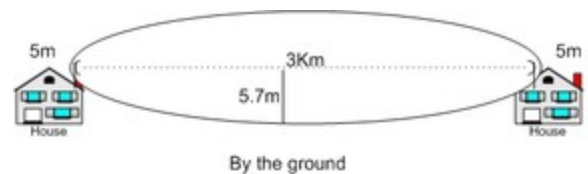
concéntricos teóricamente infinitos que definen volúmenes en el patrón de radiación de la abertura circular (generalmente). Fresnel divide resultado en zonas de la difracción por la abertura circular.

La obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%. Para el caso de radiocomunicaciones depende del valor de K (curvatura de la tierra) considerando que para un $K=4/3$ la primera zona de fresnel debe estar despejada al 100% mientras que para un estudio con $K=2/3$ se debe tener despejado el 60% de la primera zona de Fresnel.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF, que en términos simples es una línea recta entre la antena transmisora y la receptora. Ahora la zona que rodea la línea de vista de RF, es la zona de Fresnel. El radio de la sección transversal de la primera zona de Fresnel tiene su máximo en el centro del enlace. En este punto, el radio r se puede calcular como sigue:

$$r = 17.32 \sqrt{\frac{D}{4f}}$$

- * r = radio en metros
- * D = distancia total del enlace en kilómetros
- * f = frecuencia del enlace en gigahertz (2.4, 5.8Ghz, etc)



Propagación por reflexión

Se entiende por reflexión el cambio en la dirección de propagación de un fenómeno ondulatorio, como son las ondas radioeléctricas, cuando inciden sobre una superficie reflectante.

En las siguientes ilustraciones puede verse como a una antena receptora le llega una señal radioeléctrica reflejada por un obstáculo, por ejemplo, un edificio de gran altura. Este tipo de propagación no es muy deseable, ya que a la antena receptora pueden llegarle, además de la señal directa, varias señales reflejadas procedentes de uno o varios puntos, con lo cual llegan al receptor dos o más señales iguales y desfasadas en el tiempo, puesto que las trayectorias de las reflejadas son más largas, produciendo las conocidas y molestas "imágenes fantasma" o dobles imágenes.



Para evitar esto, deben utilizarse antenas receptoras de gran directividad, correctamente situadas con relación al emisor.

Interferencia de dos ondas de radio.

Es necesario distinguir entre la interferencia causada por dos señales independientes, con frecuencias muy cercanas, y la interferencia producida cuando la onda directa irradiada por un emisor se recibe al mismo tiempo que una onda reflejada. En este último caso, los tiempos de recorrido de las dos ondas son diferentes y las dos señales recibidas están defasadas. Pueden entonces presentarse varios casos:

defasaje igual a un múltiplo del período: las señales están en fase y se refuerzan mutuamente. Sus amplitudes se añaden.

defasaje de un múltiplo de un semi-período: las señales están en oposición de fase y la amplitud de la más débil se deduce de más fuerte. Si las dos señales tienen la misma amplitud, el nivel de la señal resultante es nulo.

defasaje cualquiera: la amplitud de la señal que resulta es intermedia entre estos dos valores extremos.

Los fenómenos de interferencias pueden ser muy molestos cuando el tiempo de recorrido de la onda indirecta varía (ej: reflejo en un avión): la amplitud de la señal recibida varía entonces a un ritmo más o menos rápido. El fenómeno de interferencia se utiliza en aplicaciones que cubren numerosos ámbitos: medida de velocidad (Efecto Doppler), radiogoniometría...

Propagación por difracción

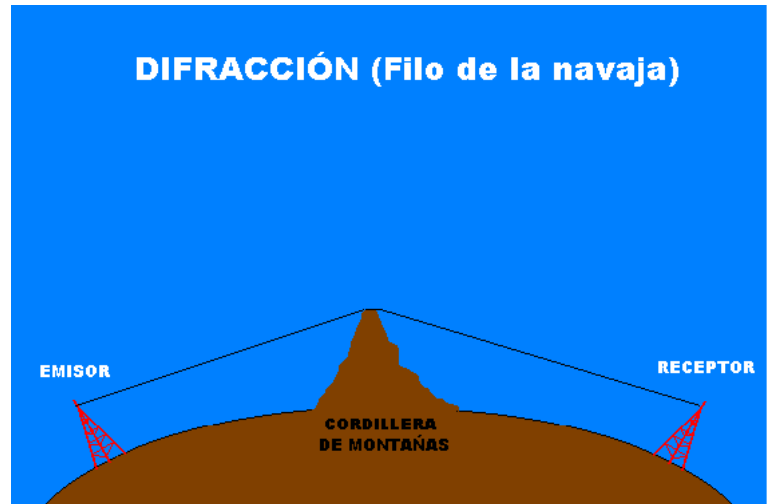
Es el fenómeno característico de las propiedades ondulatorias de la materia, por lo cual un obstáculo que se opone a la propagación libre de las ondas se presenta como una fuente secundaria que emite ondas derivadas en todas las direcciones. Gracias a este fenómeno las ondas rodean al obstáculo y consiguen salvarlo.



En la ilustración puede verse como, gracias al fenómeno de la difracción, la señal radioeléctrica procedente de la antena emisora sigue la ladera de las montañas y colinas, y consigue alcanzar a la antena receptora.

Difracción (filo de la navaja)

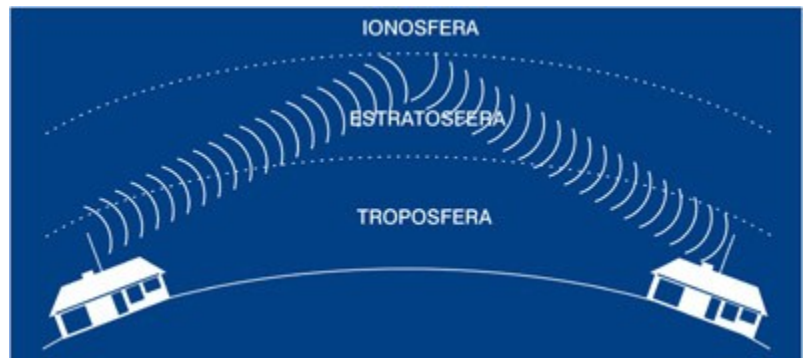
Cuando entre el emisor y el receptor se encuentra una montaña o cordillera, puede ocurrir que las ondas modifiquen su trayectoria debido a la naturaleza del terreno (temperatura, humedad, etc) consiguiéndose incluso, niveles de ganancia, en lugar de atenuaciones.



Propagación por refracción

Es el cambio en la dirección de la propagación de un movimiento ondulatorio, como las señales radioeléctricas, debido al paso de la onda desde un medio a otro de distinto índice de refracción.

En la imagen puede verse como la señal radioeléctrica es reflejada en las capas inferiores de la **ionosfera**. Este fenómeno se debe al estado ionizado de esta zona de la atmósfera. Cabe citar aquí que con este tipo de propagación, cuando se dan las condiciones ideales, es posible captar emisiones muy lejanas, imposibles de recibir por una propagación directa.

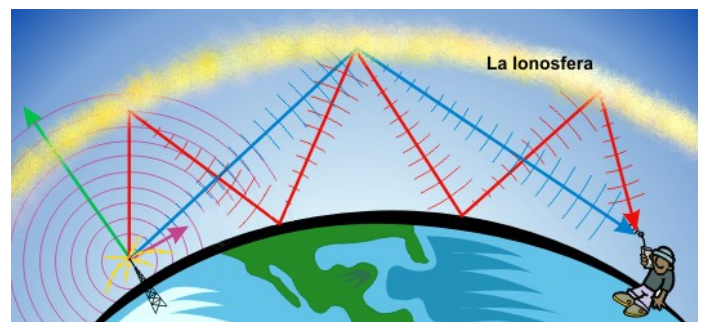


LA IONOSFERA

La ionosfera es un grupo de capas en nuestra atmósfera donde el aire es muy delgado y que se extiende entre los 50 km y los 500km de altura. Bajo la influencia de la radiación solar los átomos se rompen formando iones. Lo mejor de este proceso es que esos iones pueden reflejar o doblar ondas de radio hasta una determinada longitud de onda.

La ionización es un proceso de ruptura de los enlaces electrónicos en los átomos, que producen la formación de parejas de iones de cargas opuestas. Los principales mecanismos de ionización son la colisión de los átomos o moléculas con otros átomos e iones, la interacción con algún tipo de radiación y la aportación de calor.

Los iones son los que dan nombre a la ionosfera la cual al ser más ligera permite a los electrones moverse más libremente. Este factor es importante para la propagación de alta frecuencia (HF: 3 a 30 Mhz). Generalmente, cuantos más electrones hay, frecuencias más altas se pueden usar.



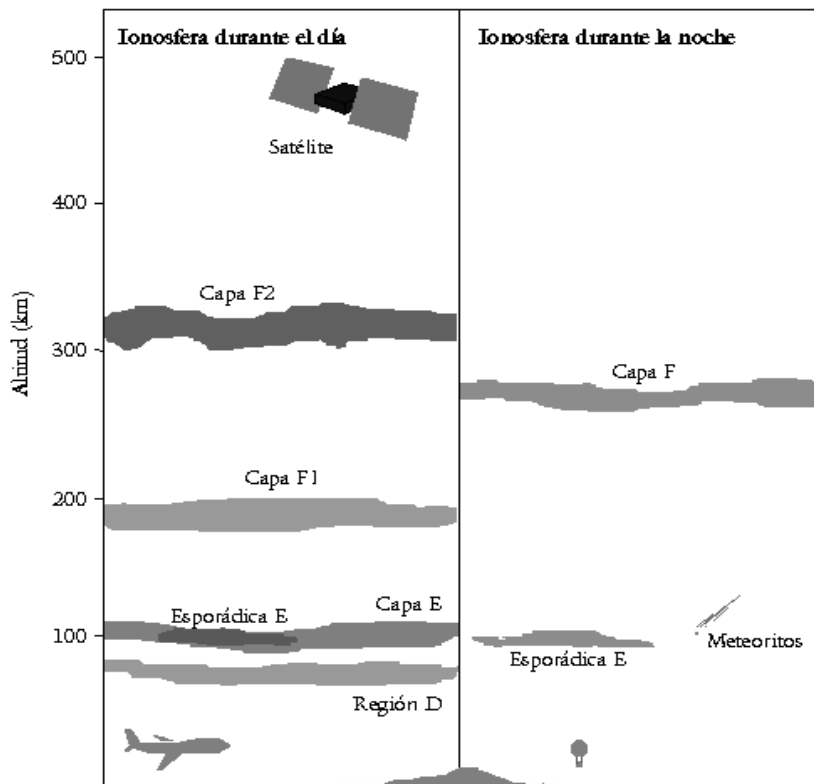
Durante el día puede haber en la ionosfera 4 regiones o capas llamadas D, E, F1 y F2. Sus alturas aproximadas son:

Región **D** de 50 a 90 Km.

Región **E** de 90 a 140 Km.

Región **F1** de 140 a 210 Km

Región **F2** más de 210 Km de altura.



Estructura de la ionosfera de día y de noche.

Durante el día, la propagación de tipo "Esporádica-E" se da en la región E de la ionosfera, y a ciertas horas del ciclo solar la región F1 se junta con la F2. Por la noche las regiones D, E y F1 se quedan sin electrones libres, siendo entonces la región F2 la única disponible para las comunicaciones; de todas formas no es raro que también pueda darse por la noche la propagación "esporádica-E". Todas las regiones excepto la D reflejan las ondas de HF. La Región D pese a no reflejarlas también es importante ya que ésta se encarga de absorberlas o atenuarlas.

La región F2 es la más importante para la propagación de HF ya que:

Está presente las 24 hs del día. Su altitud permite comunicaciones más lejanas.

Normalmente refleja las frecuencias más altas de HF.

Ya que la causa principal de la ionización es la actividad solar, el comportamiento de la ionosfera está muy influido por los ciclos solares observados desde la tierra.

Los periodos de estos ciclos son:

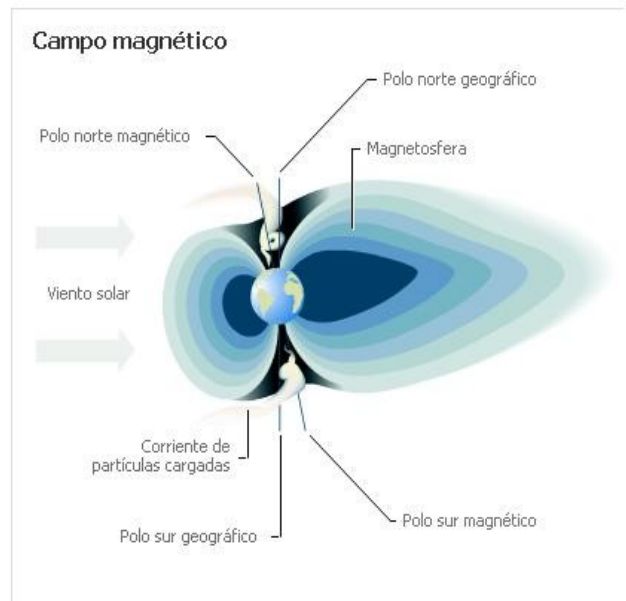
- Diurno.
- Anual.
- De 11 años.

Campo Geomagnético (GMF):

Aunque no sea una parte de la ionosfera es importante explicar el concepto dado que la afecta en gran medida. El campo magnético producido por la rotación del núcleo metálico de la Tierra provoca una "líneas de campo" que van de polo a polo.

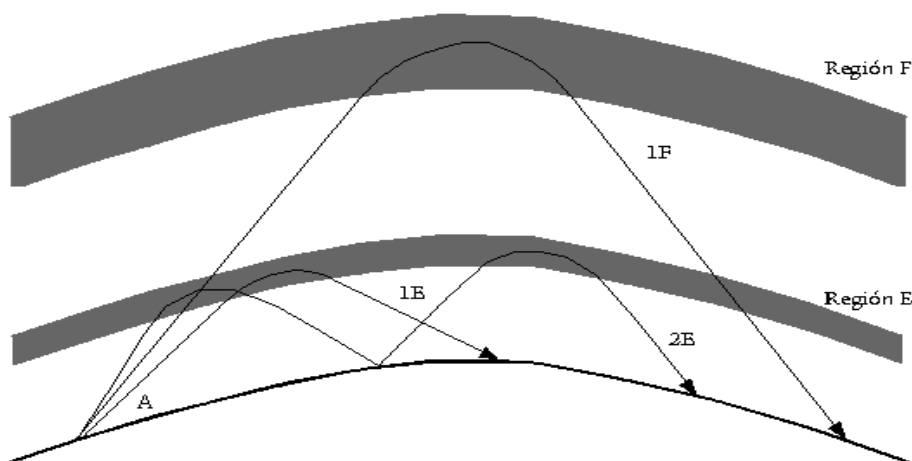
Su forma es como una gota de agua, con la cola apuntando opuesta al sol. Esta forma se da a causa de un flujo continuo de partículas cargadas procedentes del Sol, al cual se le denomina viento solar. El Campo Geomagnético (GMF) tiene mucha relevancia en la dinámica de la ionosfera. Sin la protección de nuestro campo geomagnético, la ionosfera y la superficie del planeta estarían sometidas a un bombardeo constante de partículas cargadas. La formación de la ionosfera sería muy pobre a causa de esos bombardeos. Si no tuvieramos un Campo Geomagnético que nos mantuviera la ionosfera "en posición", las comunicaciones a larga distancia no serían posibles ya que las ondas se reflejarían sin ningún orden. El Campo geomagnético es más débil cerca de las regiones polares y más fuerte cerca de las regiones ecuatoriales.

El campo magnético terrestre



¿CÓMO VIAJAN LAS ONDAS DE HF EN LARGAS DISTANCIAS?

Una señal de HF transmitida desde la tierra puede viajar a través de la ionosfera y posteriormente rebota hacia el suelo. Esto ocurre debido a la interacción entre la señal de HF y las partículas cargadas eléctricamente de la ionosfera. Entonces la señal puede volver a rebotar desde el suelo hasta la ionosfera y luego volver a rebotar hacia el suelo y así sucesivamente varias veces. La señal de HF viajará a mayor o menor distancia dependiendo de la frecuencia, la potencia de transmisión y el ángulo (A) con el que rebote la onda en el suelo y en la ionosfera.



Otro factor es que cuando la onda rebota en el suelo, éste absorbe parte de ella mientras que si lo hace en agua salada, es decir en el mar, es reflejada en su totalidad. Por esta razón las estaciones situadas cerca de la costa tienen a veces mejores condiciones que las de interior.

Para una determinada distancia y hora habrá un rango de frecuencias de HF que será más apto para las comunicaciones; las frecuencias fuera de ese rango funcionarán pobremente o simplemente no funcionarán.