



**COMUNICACIONES
Y SISTEMAS
RADIOELECTRICOS
PARTE II**

Índice

| | |
|---|----|
| Sistemas radioeléctricos | 5 |
| Introducción..... | 5 |
| Corriente eléctrica | 6 |
| Corriente continua y corriente alterna | 6 |
| Tensión | 7 |
| Principios del movimiento ondulatorio | 7 |
| Teoría de propagación de onda | 8 |
| Clasificación según su propagación: Ondas transversales | 9 |
| Clasificación según su propagación: Ondas Longitudinales | 9 |
| Medios | 10 |
| Ciclo | 11 |
| Longitud de onda | 11 |
| Amplitud | 11 |
| Frecuencia..... | 12 |
| Período | 12 |
| Características del movimiento de las ondas..... | 13 |
| Efecto DOPPLER..... | 14 |
| Espectro electromagnético | 15 |
| El espectro electromagnético | 15 |
| Propagación de ondas electromagnéticas | 15 |
| Componentes de una onda electromagnética..... | 16 |
| Campo eléctrico | 17 |
| Campo magnético..... | 18 |
| Combinación de los campos magnéticos y eléctricos..... | 18 |
| Ondas radioeléctricas | 19 |
| Bandas de radio de frecuencia..... | 19 |
| Polarización..... | 20 |
| Reflexión | 21 |
| Refracción | 22 |
| Difracción..... | 22 |
| Efecto de la atmósfera en las ondas radioeléctricas..... | 23 |
| Efectos de las condiciones meteorológicas en la propagación | 23 |
| Atenuación por precipitaciones | 23 |
| Lluvia..... | 24 |
| Niebla..... | 24 |
| Nieve..... | 24 |
| Granizo | 24 |
| Inversión de la temperatura | 25 |
| Propagación troposférica..... | 25 |

| | |
|---|----|
| Transmisión de ondas radioeléctricas..... | 26 |
| Ondas terrestres | 26 |
| Ondas ionosféricas..... | 28 |
| Ionización y recombinación | 28 |
| Capas de la ionósfera..... | 29 |
| La capa D..... | 29 |
| La capa E..... | 29 |
| La capa F..... | 30 |
| Refracción en la ionósfera | 30 |
| Densidad de las capas ionizadas | 30 |
| Frecuencia crítica..... | 31 |
| Ángulo de incidencia..... | 31 |
| Distancia de salto y zonas de silencio | 32 |
| Caminos de propagación | 32 |
| Absorción en la ionósfera | 33 |
| Desvanecimiento | 33 |
| Desvanecimiento por camino múltiple..... | 34 |
| Desvanecimiento selectivo | 34 |
| Pérdidas de transmisión por reflexión terrestre y en el espacio libre | 35 |
| Interferencia electromagnética | 35 |
| Interferencia artificial | 36 |
| Interferencia natural..... | 36 |
| Control de la interferencia electromagnética..... | 36 |
| Variaciones en la ionósfera..... | 37 |
| Variaciones regulares | 37 |
| Diarias | 37 |
| Estacionales | 37 |
| 11-Años (ciclos de actividad solar)..... | 38 |
| 27-Días (ciclo de manchas solares) | 38 |
| Variaciones irregulares | 38 |
| Capa esporádica E..... | 39 |
| Disturbios ionosféricos repentinos (Sudden Ionospheric Disturbances - SID)..... | 39 |
| Tormentas ionosféricas..... | 39 |
| Consideraciones para la selección de frecuencias | 40 |
| Características de cada gama de frecuencia..... | 41 |
| Antenas..... | 43 |
| Principios de radiación de una antena..... | 43 |
| Distribución de tensión y corriente en una antena | 44 |
| Radiación de energía electromagnética..... | 46 |
| Alcance | 46 |
| Características de las antenas..... | 46 |
| Reciprocidad de las antenas | 46 |

| | |
|--|----|
| Ganancia de antena | 46 |
| Polarización..... | 46 |
| Requerimientos de polarización para diferentes frecuencias | 47 |
| Ventajas de la polarización vertical | 48 |
| Ventajas de la polarización horizontal | 48 |
| Diagramas y tipos de radiación | 49 |
| Antenas cargadas..... | 50 |
| Fundamentos de la transmisión | 50 |
| Mensaje | 50 |
| Onda portadora | 51 |
| Modulación de la amplitud (AM) | 51 |
| Modulación de la frecuencia (FM) | 51 |
| Principio de funcionamiento del transmisor | 52 |
| Principio de funcionamiento del receptor | 52 |
| Clasificación de los equipos | 53 |

Sistemas radioeléctricos

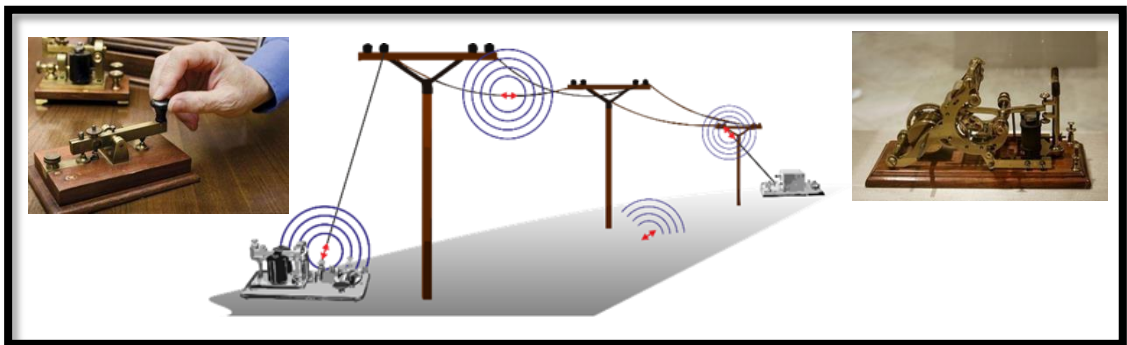
Introducción

Tempranamente, el hombre reconoció la necesidad de extender la distancia de las comunicaciones más allá del alcance de la voz humana. Por ello, fueron desarrollados métodos de comunicación tales como gestos de manos, golpeteo de un madero ahuecado y señales de humo, pero a pesar de lo efectivo de estos métodos primitivos, ellos tienen un alcance limitado.

Eventualmente, estas limitaciones de alcance fueron superadas por el desarrollo del correo y el sistema postal, pero existía el problema de la rapidez.

Por siglos, el tiempo requerido para distribuir un mensaje dependió de la velocidad del caballo. Durante la última parte del siglo XIX, ambas limitaciones de distancia y tiempo fueron largamente superadas. La invención del telégrafo hizo posible las comunicaciones instantáneas sobre largos circuitos alámbricos.

Primeros
telégrafos, emisor y
receptor
inventados por
Samuel Finley
Beese Morse, el
mismo creador del
código morse.



<https://redhistoria.com/la-invencion-del-telegrafo/>

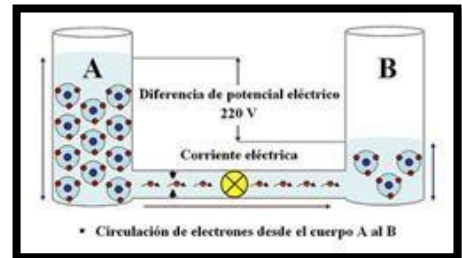
Luego, al poco tiempo, el hombre descubrió cómo transmitir mensajes en forma de ondas de radio.

Pero, antes de enfocarnos en las mismas es necesario comprender algunos conceptos básicos de las corrientes eléctricas.

Corriente eléctrica

Es el flujo ordenado de electrones que circula a través de un conductor cuando existe una diferencia de potencial entre sus extremos, la misma se mide en Amperios.

Entenderemos por **conductor**, a todo elemento que permita en mayor o menor grado el pasaje de la corriente eléctrica. Algunos materiales utilizados son el cobre, aluminio, etc.



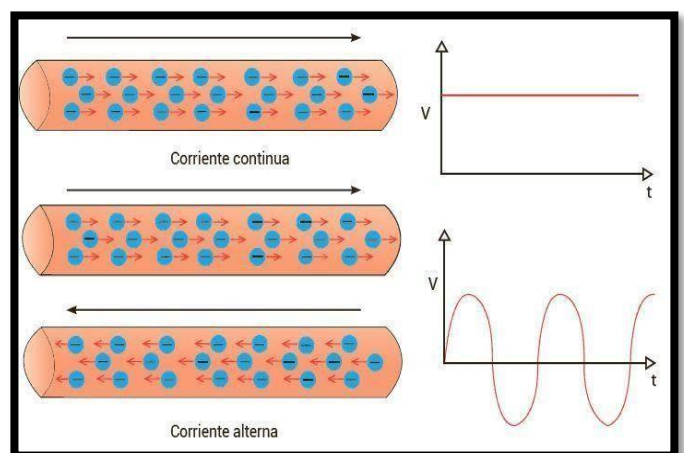
AMPERE, André Marie (1775-1836):

Nació en Polemieux, cerca de Lyons, Francia, el 22 de enero de 1775. Estableció importantes relaciones entre electricidad y magnetismo. En 1820 presenta un trabajo sobre la acción de la corriente eléctrica en una aguja imantada, dando inicio a una teoría matemática con la cual no sólo explicó los fenómenos ya conocidos, sino también predijo muchos nuevos. Fallece el 10 de junio de 1836 en Marsella.

Corriente continua y corriente alterna.

La **corriente continua** es aquella en que el desplazamiento de electrones se realiza en un solo sentido. Ejemplos típicos: una batería de aeronave que puede ser de Ni-Cd (24 Vcc), una pila común de 1.5 Vcc, etc.

Por otro lado, en la **corriente alterna**, el desplazamiento de los electrones varía su sentido de circulación con el tiempo. Algunos ejemplos son la corriente de red domiciliaria en nuestro país que varía 50 ciclos por segundo, en EUA de 60 ciclos por segundo, en algunas aeronaves hay sistemas que utilizan 400 ciclos por segundo.



Tensión.

Es la fuerza electromotriz responsable de la producción de corriente eléctrica. Su valor se mide en volt. Las hay continua, alterna, pulsante, etc.

*VOLTA, Alessandro (1745-1827):
Nació en Como (Italia) el 18 de febrero de 1745. Inventó la primera pila, descrita en 1800, como coronación de los trabajos de Swammerdam (1678), Caldani (1756) y Galvani (1786). La enorme importancia de esta invención radica en que abrió el camino para el aprovechamiento práctico de la energía eléctrica.*



Principios del movimiento ondulatorio

Todas las cosas de nuestro mundo - en la tierra o en el agua - dan muestras de energía de ondas. Algunas de estas ondas estimulan nuestros sentidos y pueden ser vistas, oídas o percibidas de distintas maneras. Podríamos definirla como una perturbación (sonido, luz, ondas de radio) que se mueve a través de un medio (aire, agua, vacío).

Entonces, al movimiento ondulatorio podríamos definirlo como una perturbación periódica que avanza a través del espacio con o sin el uso del medio físico, por lo tanto, es una forma de mover o transferir energía de un punto a otro. A modo de ejemplo podríamos decir que, cuando las ondas acústicas inciden sobre un micrófono, la energía sonora es convertida en energía eléctrica, o, por otro lado, cuando las ondas de luz inciden sobre un fototransistor o las ondas de radio son interceptadas por una antena, estas, también se convierten en energía eléctrica. Es oportuno entonces establecer que, el sonido, la luz y las ondas radioeléctricas son todas formas de energía que se desplazan por el movimiento ondulatorio.



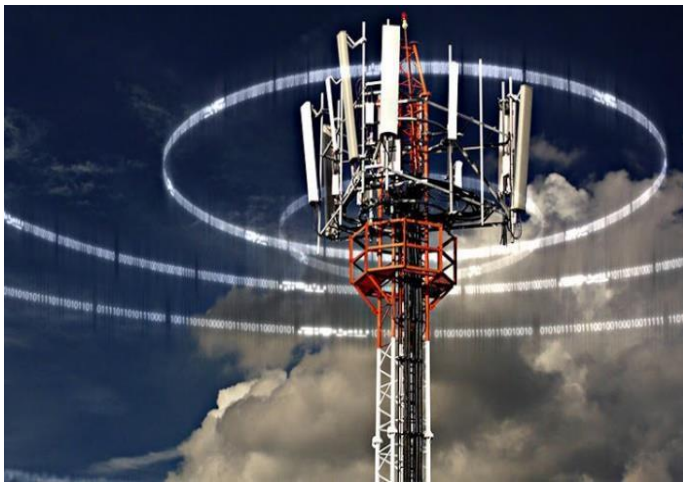
Para entender un poco mejor este concepto podemos observar el movimiento ondulatorio que resulta de arrojar una piedra en el agua. Cuando la piedra ingresa al agua la superficie crea una perturbación, causando un movimiento del agua hacia arriba y hacia abajo. Desde este punto, la perturbación es transmitida a la superficie del agua como una serie de expansiones de ondas circulares, donde la primera onda continúa moviéndose hacia el exterior y es seguida por una serie

de ondas que gradualmente disminuirán su amplitud, mientras que la turbulencia en el punto original del contacto gradualmente se apaciguará.

En este ejemplo, el agua no está realmente desplazada hacia el exterior por el movimiento expansivo de la onda, pero si por el movimiento ascendente y descendente, este, podemos decir que es transversal, o de ángulos rectos, respecto de la dirección de expansión de las ondas. Este tipo de movimiento ondulatorio se denomina movimiento de ondas transversales.

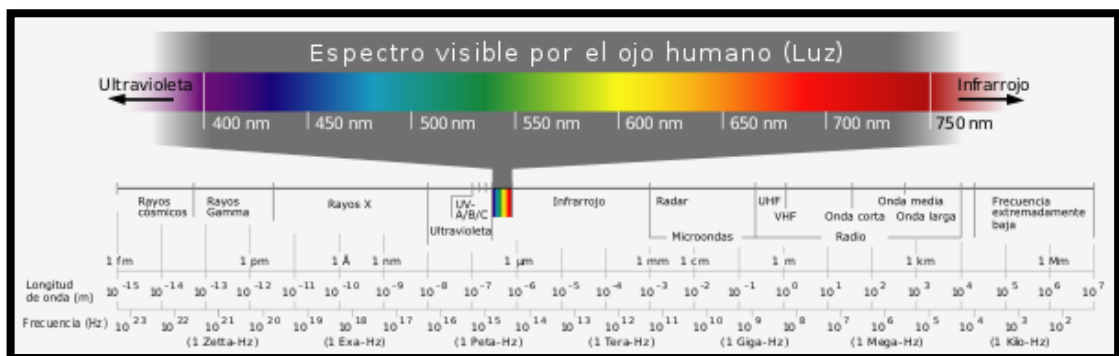
Teoría de propagación de onda

Propagación significa extenderse, como los rayos se extienden desde una luz en el techo de una habitación. Esta propagación puede darse en todas las direcciones, como las



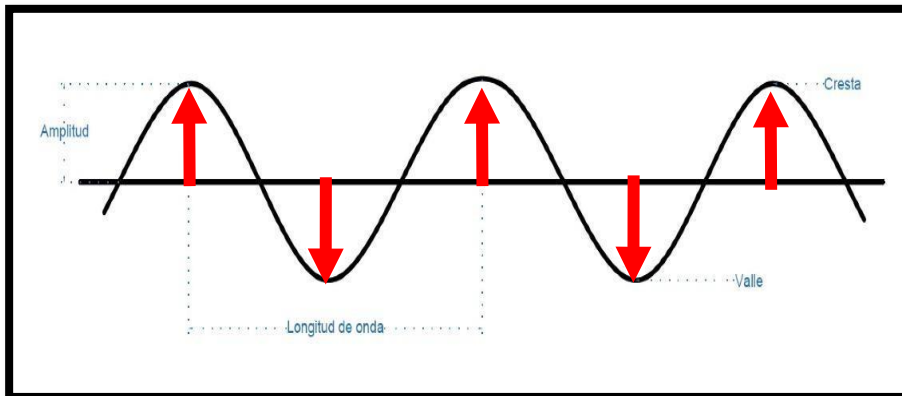
ondas de radio, o bien pueden realizarlo en una dirección concentrada, como la luz de la linterna. **La onda de radio es una forma de energía radiante**, similar a la luz y el calor, y a pesar de que ninguno de ellos puede ser visto u oído, su presencia puede ser detectada a través del uso de dispositivos de medición adecuados.

La razón de que la luz puede ser vista, y las ondas de radio, -las cuales poseen la misma forma de energía, son invisibles, es que el ojo humano (como la voz humana o un instrumento musical) opera dentro de un rango fijo de frecuencias, las cuales pueden encontrarse sobre o por debajo de este rango de visión, por lo tanto, a pesar de que las ondas de radio, como las ondas lumínicas, consisten en irradiación electromagnética, ellas no pueden ser vistas, porque la frecuencia de las ondas de radio son bajas en comparación con la extremadamente alta frecuencia de la luz. Las ondas de radio caen dentro del espectro que el ojo humano no puede detectar.



https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_visible

Clasificación según su propagación: Ondas transversales.



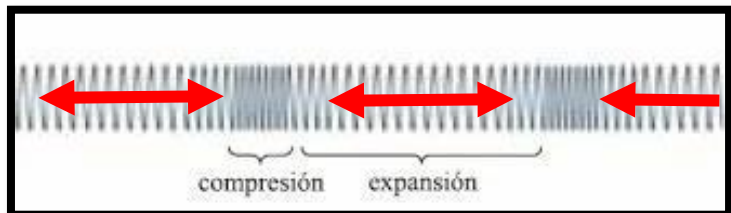
Las ondas transversales son una sucesión de crestas y vientos o valles, donde se considera que la vibración de

la onda se da de modo vertical, tal como indican las flechas. La **longitud de onda** es la distancia desde la cresta de una onda a la cresta de la próxima, o entre dos puntos similares de cualquiera de las ondas adyacentes. Por otro lado, la **amplitud** de una onda transversal es la mitad de la distancia medida verticalmente desde la cresta al vientre o valle.

Las ondas de agua son conocidas como ondas transversales porque el movimiento ascendente y descendente o de ángulos rectos, es la dirección en la cual viajan las ondas. Esto se puede apreciar observando cómo un corcho se bambolea hacia arriba y hacia abajo en el agua, a medida que las ondas pasan; el corcho se mueve muy poco hacia las costas. También, es común encontrar estas ondas en los instrumentos musicales tales como las cuerdas, membranas delgadas, o como en el caso de una bandera.

Clasificación según su propagación: Ondas longitudinales.

A diferencia de las ondas transversales -las cuales viajan en ángulos rectos en la dirección de propagación-, las ondas longitudinales viajan hacia adelante y hacia atrás en la misma dirección que el movimiento ondulatorio. Por lo tanto, las ondas longitudinales son aquellas donde las partículas oscilan en la misma dirección de propagación de la onda, tal como podemos observar en las flechas de la figura.



Las ondas sonoras son ejemplos de ondas longitudinales al igual que un resorte que se estira o contrae. Cuando una persona habla, la voz se mueve en dirección hacia afuera, el aire que está inmediatamente en frente de él, se comprime, (se hace más denso) por lo tanto, esta presión momentánea va creciendo sobre otros puntos en el medio circundante (aire).



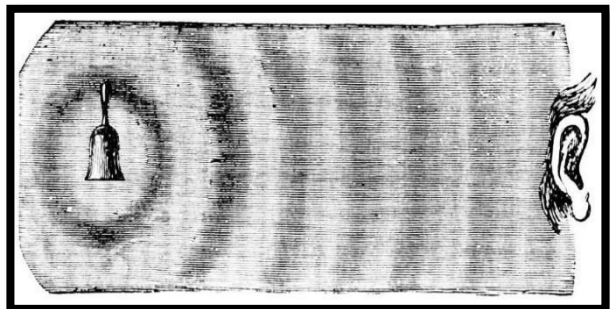
Debido a que el aire es elástico, la perturbación es transmitida en la dirección de expansión, como lo son las ondas de compresión cuando la voz varía su tono; el aire que está enfrente de la boca es rarificado (se hace menos denso o expandido). Por lo tanto, esta presión es menor que la que hay alrededor del aire circundante. Las ondas de expansión son propagadas desde la boca y siguen a las ondas de compresión a través del medio (aire).

Medios

El término “medio” en este caso, puede definirse como un vehículo a través del cual las ondas viajan de un punto a otro, pudiendo ser este, cualquier elemento. Un ejemplo es: el aire, esa mezcla de gases invisibles, inoloros e insípidos que rodean la tierra.

El objeto que produce las ondas se llama fuente o transmisor, y el que responde a las mismas se llama detector o receptor, que en este caso podría ser, el oído humano. La fuente, el detector y el medio son necesarios para todo movimiento ondulatorio y propagación de onda.

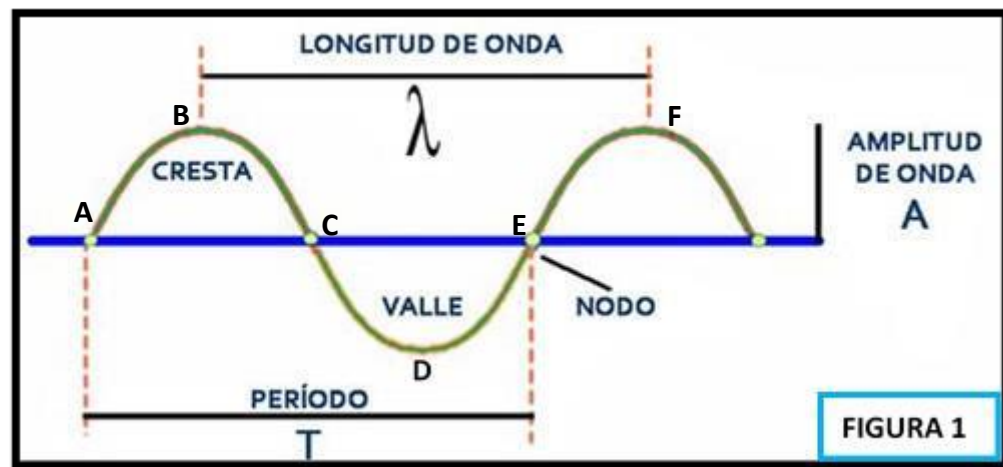
Si tomamos como ejemplo una campana, las partículas de aire alrededor de la misma son comprimidas y luego expandidas. Esta compresión y expansión de partículas de aire establecen el movimiento ondulatorio en aire. En la medida que las ondas se producen, transportan energía desde una partícula a otra, a través del medio (aire) y hacia un detector (oído).



En este momento, es propicio aclarar que existen términos específicos para designar las partes de las ondas y sus características, los cuales deben ser conocidos.

Ciclo

Mientras nos referimos a la onda en la figura 1, se notará la similitud con una onda senoidal. Todas las ondas transversales aparecen como ondas senoidales cuando son observadas desde un lateral. Se puede observar que la onda tiene 1,5 ciclos. Los puntos A, B, C, D, E ejemplifican un ciclo completo; tiene un valor máximo sobre y un valor máximo por debajo de la línea de referencia. La parte sobre la línea de referencia (entre los puntos "A" y "C") se llama semiciclo positivo, y la parte debajo de la línea de referencia (entre los puntos "C" y "E") es conocida como semiciclo negativo.



La combinación de un semiciclo positivo y uno negativo representa el ciclo de una onda. En el punto "E", la onda comienza a repetir un segundo ciclo. El pico de un semiciclo positivo (el máximo valor sobre la línea) es muchas veces denominado como la cima o cresta, y al pico del semiciclo negativo (el máximo valor por debajo de línea) se lo denomina vientre o valle. Por consiguiente, un ciclo tiene una cresta y un vientre o valle.

Longitud de onda

Sí se pudiera congelar una onda en un lugar y medirla, la longitud de onda sería la distancia desde el primer borde de un ciclo al punto correspondiente en el próximo ciclo, por lo tanto, podemos decir que la longitud de onda es la distancia en el espacio ocupado por un ciclo de onda en un período de tiempo dado.

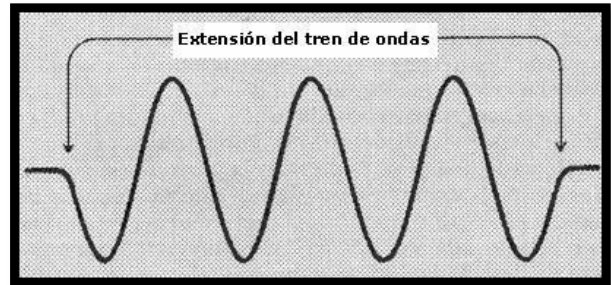
La longitud de onda puede variar desde unos pocos cientos de milímetros en frecuencias extremadamente altas, a algunos kilómetros en frecuencias extremadamente bajas. En la figura 1, la distancia entre "B" y "F" es una longitud de onda. La letra griega (λ) es utilizada para identificar la longitud de onda.

Amplitud

Dos ondas pueden tener la misma longitud de onda, pero la cresta de una puede ser superior sobre la línea de referencia con respecto a la cresta de la otra. En la figura 1,

entre "A" y "B" o "E" y "F" se puede observar lo que podemos definir como amplitud de onda, siendo la altura de la onda con respecto a la línea de referencia.

La amplitud nos dará una indicación relativa de la cantidad de energía que la onda transmite. A continuación, podremos ver una serie de ondas continuas, las cuales tienen la misma amplitud y longitud de onda. Esto se denomina tren de ondas.



Frecuencia

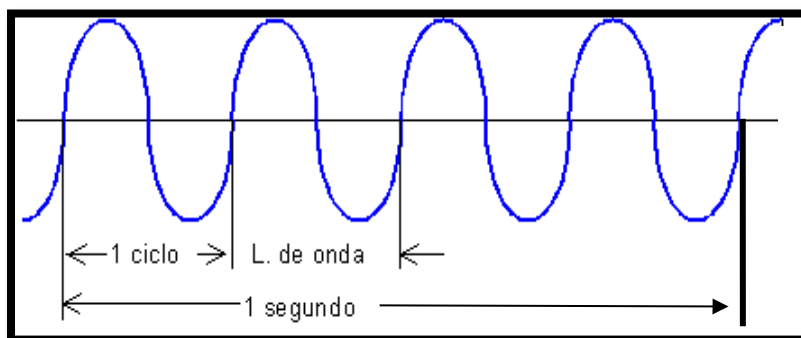
Habiendo explicado ya el termino ciclo, podremos comprender que la frecuencia es la cantidad de ciclos que suceden en un periodo específico de tiempo.



Heinrich Rudolf Hertz

Nacido en Hamburgo, Confederación Germánica, 22 de febrero de 1857, falleció en Bonn, Imperio alemán, 1 de enero de 1894. En 1967, en honor al mismo, se designó el uso del término Hz a la expresión ciclos por segundo cuando se refiere a la frecuencia de una onda de radio, siendo el mismo, la cantidad de acontecimientos que tienen lugar en un (1) segundo.

Por ejemplo, si en un (1) segundo se completan cuatro ciclos, podemos determinar que el mismo tiene una frecuencia de cuatro (4) Hertz (Hz), tal como podemos ver en la figura.



Período

Es la cantidad de **tiempo** requerido para completar un ciclo (**T**). Por ejemplo, si la onda tiene una frecuencia de 2 Hz, cada ciclo tiene una duración, o un período de medio segundo. En la figura 1, entre "A" y "E", podremos apreciarlo correctamente.

Características del movimiento de las ondas

Los dos tipos de movimientos de onda, transversal y longitudinal tienen muchas características semejantes, tales como frecuencia, amplitud y longitud de onda. Otra característica importante que estos dos tipos de movimientos de ondas comparten, es la velocidad.

La velocidad de propagación es la rapidez con la que una perturbación viaja a través de un medio, o la velocidad con la cual la cresta de una onda se mueve, esta dependerá del tipo de onda (luz, sonido, radio) y del tipo de medio (aire, agua, metal).

La frecuencia de una onda longitudinal, como la de una onda transversal es el número de ciclos completos que la onda ha realizado en la unidad de tiempo, donde, se puede observar que en la medida que incrementamos la frecuencia, el período disminuye en forma inversamente proporcional. Por lo tanto, podemos decir, que a mayor frecuencia menor longitud de onda o, a menor frecuencia mayor longitud de onda, tal como podemos observar en la figura.



En los dos tipos de movimientos ondulatorios descriptos anteriormente, los siguientes parámetros son los de mayor interés, relacionándose en base a la fórmula descripta:

- El período (**T**), que es el tiempo en el cual ocurre un ciclo completo de una perturbación.
- La frecuencia de vibración (**f**), la cual indica el número de ciclos que tiene lugar en un segundo (también llamado **Hz**).
- La longitud de onda (**λ**), la cual representa la distancia durante la cual la perturbación viaja, en un período (**T**).

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

Otras características importantes del movimiento ondulatorio son: la reflexión, la refracción, la difracción, y el efecto de DOPPLER.

Entre diferentes medios tales como el aire, los sólidos o gases, una onda viaja en línea recta. Cuando una onda pasa a través de un medio y encuentra diferentes características del mismo, pueden ocurrir tres hechos:

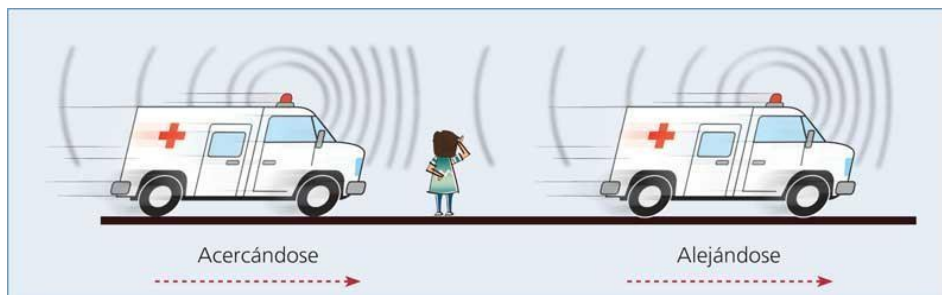
- a. Alguna parte de la energía puede ser reflejada y retornar al medio inicial.
- b. Alguna parte de la energía puede ser transmitida a un segundo medio, desde donde ésta puede continuar a una velocidad diferente.
- c. Algo de la energía puede ser absorbida por el medio.

Nota: En muchos casos, estos tres procesos (reflexión, transmisión y absorción) pueden ocurrir en diferentes magnitudes.

La definición y explicación de los términos Reflexión, Refracción y Difracción serán analizados más adelante, por lo que ahora, únicamente veremos un fenómeno muy conocido, el efecto Doppler.

Efecto DOPPLER

Es el aparente cambio en frecuencia cuando una fuente de ondas se mueve hacia o alejándose del receptor, o cuando dicho receptor se mueve alejándose o acercándose a la fuente. Este principio fue descubierto por el físico austriaco Christian Doppler y es aplicable a todo movimiento ondulatorio. En el siguiente link podremos apreciarlo auditivamente, <https://www.youtube.com/watch?v=UEBNJqUW5Ok>



<https://www.correodelmaestro.com/publico/html5072014/capitulo2/El-efecto-Doppler-su-descubrimiento-explicacion-y-aplicaciones.html>

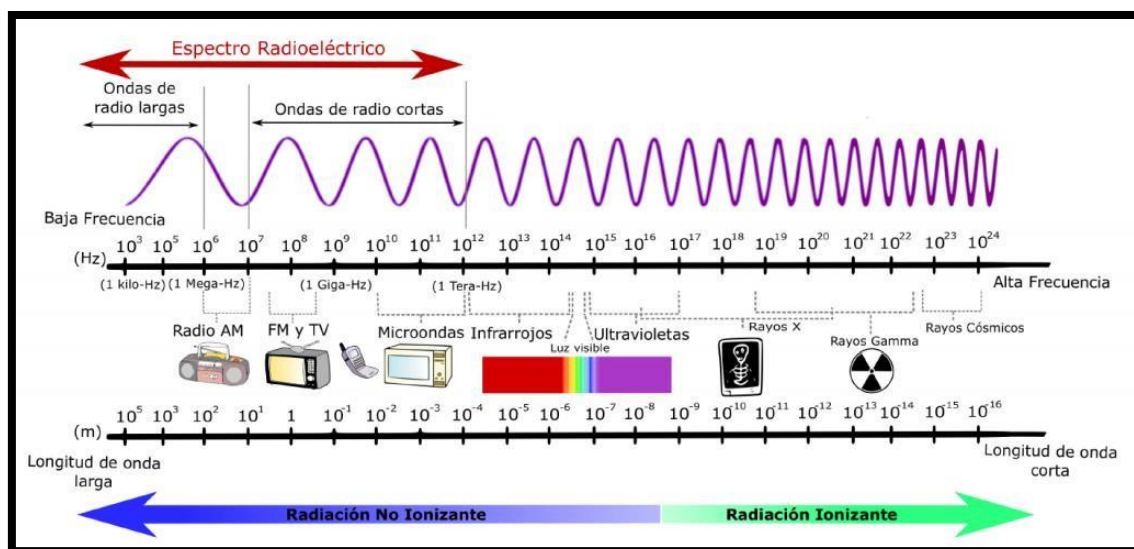
Si existe un movimiento relativo entre la fuente de ondas y el receptor de dichas ondas, la frecuencia en el receptor difiere de la frecuencia en la fuente. Es decir, si la distancia entre la fuente y el receptor decrece, el receptor encontrará mayor cantidad de ondas por segundo, que las que debiera encontrar si la distancia fuera constante. Esto trae como consecuencia un incremento aparente en la frecuencia. Contrariamente, si la separación se incrementa, menor cantidad de ondas se encontrará (el receptor), con una aparente disminución en la frecuencia.

Este aparente cambio de frecuencia llamado efecto DOPPLER, afecta la operación de equipos usados para la detección y medición de la energía de las ondas. En el tratamiento de la propagación de ondas electromagnéticas, este principio es empleado en equipos tales como radares meteorológicos.

Espectro electromagnético

El espectro electromagnético

La luz es un tipo de energía electromagnética. Existe un conjunto de tipos, incluidas las ondas de calor y las de radio o radioeléctricas, donde la única diferencia entre esos diferentes tipos, es su frecuencia. El término espectro es empleado para referirse al rango completo de ondas electromagnéticas, en orden de sus frecuencias, dentro del cual podemos encontrarnos con un espectro visible, que es lo que nuestros ojos pueden ver.



<https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/eem/>

Propagación de ondas electromagnéticas

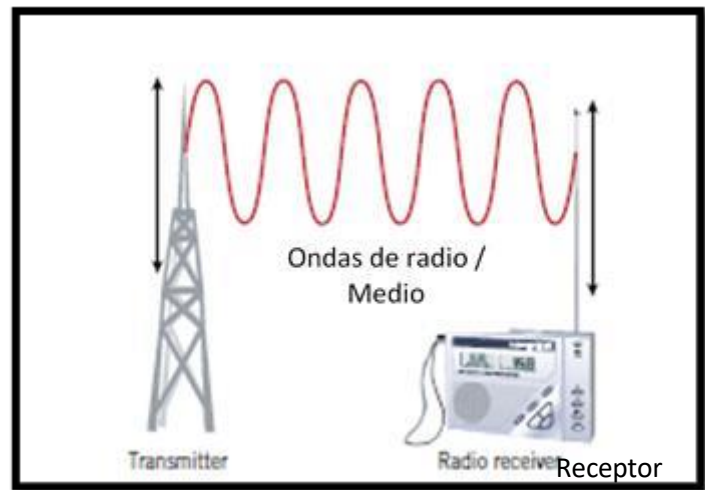
Los campos electromagnéticos y la energía electromagnética constituyen el medio apto para recibir y transmitir energía de un punto a otro, por lo que a continuación, veremos la composición de una antena básica, como medio de propagación de las ondas electromagnéticas, aunque al final de este tomo veremos una descripción un poco más profunda.

El estudio de las antenas y de las ondas electromagnéticas es esencial para entender los conceptos de comunicaciones radioeléctricas, radar y otros sistemas electrónicos. En primer lugar, consideraremos que los elementos básicos necesarios para un sistema de radio, son:

- Equipo transmisor
- Línea de transmisión
- Antena transmisora

- d. Medio
- e. Antena receptora
- f. Línea de Transmisión
- g. Equipo receptor (en la mayoría de los casos el equipo transmisor podemos utilizarlo como equipo receptor, pudiendo denominarlo transceptor)

A grandes rasgos, el transmisor es un dispositivo electrónico que genera energía en forma de ondas electromagnéticas. Esta energía, viaja a través de las líneas de transmisión hasta la antena, desde donde son radiadas al espacio, a la velocidad de la luz. Las ondas radioeléctricas viajan a través

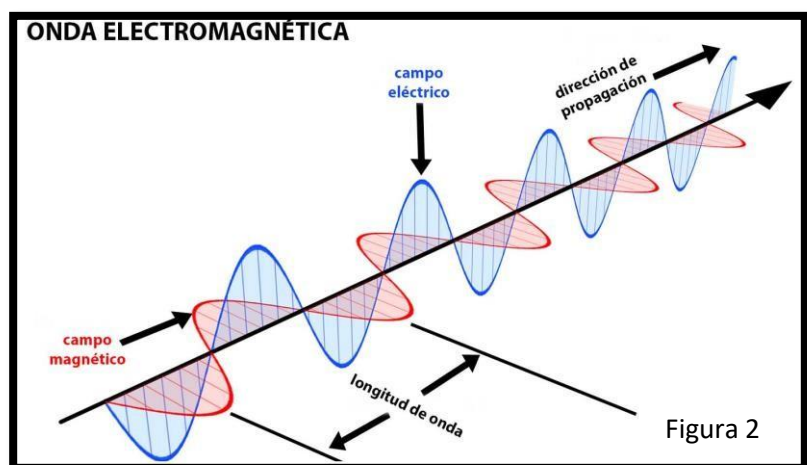


de la atmósfera o el espacio (medio) hasta tanto ellas son reflejadas o absorbidas. Si otra antena es ubicada en el camino de estas ondas radioeléctricas, ésta absorberá parte de la energía e iniciará el proceso inverso, donde viajará por una nueva línea de transmisión hacia el equipo receptor.

Componentes de una onda electromagnética

Una onda electromagnética posee dos componentes primarios, un campo eléctrico (**E**) y un campo magnético (**H**). El campo eléctrico es consecuencia de la diferencia de potencial, mientras que el campo magnético lo es de la circulación de corriente.

En general, la radiación electromagnética es fácil de graficar en el espacio, por cuanto consiste en líneas de campo orientadas horizontalmente y verticalmente, separadas en ángulos de noventa grados entre sí. Estas líneas de fuerza son producidas por el campo eléctrico



<https://cienciadesofa.com/2018/02/respuestas-lxxxix-por-que-la-velocidad-de-la-luz-es-la-que-es.html>

(E) y el campo magnético (H), los cuales constituyen un campo electromagnético en el espacio.

La corriente a través de la antena, en tanto parte del circuito eléctrico transmisor o receptor, producirá el campo magnético y las cargas en la misma, producirán los campos eléctricos, estos dos campos producen los campos de inducción.

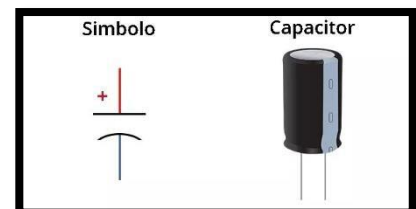
Campo eléctrico

Alrededor de toda carga eléctrica existe un campo de fuerzas que puede ser detectado y medido. Este campo de fuerzas es producido por el movimiento de cargas. Cuando un objeto se encuentra eléctricamente cargado, puede poseer una mayor o menor concentración de cargas respecto de lo normal, es por ello que existe una diferencia de potencial entre las zonas cargadas y descargadas del objeto.

Este campo de fuerzas invisible es habitualmente representado por líneas que muestran los caminos, a lo largo de los cuales la fuerza actúa. Las líneas que representan los campos eléctricos son dibujadas partiendo de una carga positiva, la cual puede, normalmente, moverse bajo la influencia de ese campo.

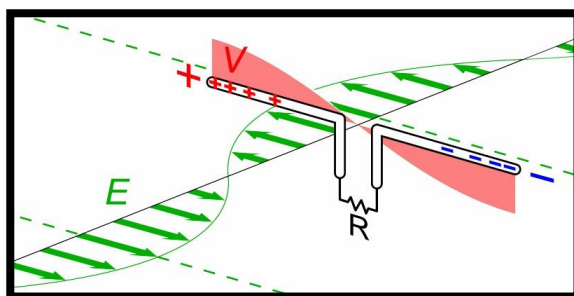
Cuando un capacitor es conectado a una fuente de energía, tal como se hace con una batería, éste se carga en una cantidad particular, dependiendo del voltaje y el valor de capacitancia. Como consecuencia de la fuerza electromotriz, las cargas negativas se concentran en la placa inferior, mientras que las cargas positivas lo hacen en la placa superior.

Las líneas de flujo van directamente desde la placa positiva hacia la placa negativa. Cuando el capacitor alcanza su carga máxima, ésta es igual a la del generador y opuesta en polaridad, almacenando energía en forma de un campo eléctrico.



Si las dos placas comienzan a separarse, el campo eléctrico curva sus líneas de fuerzas. Si esta acción continúa hasta que las placas se ubiquen en una misma línea, podemos

observar que la representación tiene un aspecto semejante al presentado como antena básica. Más aún, si las placas son reemplazadas por varillas o alambres.



Antena dipolo donde se puede apreciar la distribución de campos en base a la polaridad de la antena.
www.wikipedia.com

En comunicaciones dos varillas sustituyen las placas del capacitor, y la batería es sustituida por una fuente de corriente alterna. En el semiciclo

positivo del generador de corriente alterna (AC), el campo eléctrico se extiende de la varilla cargada positivamente a la cargada negativamente. En el semiciclo negativo

inmediatamente posterior, la carga se invierte, y la anterior distribución de electrones se desplaza de una varilla a la otra.

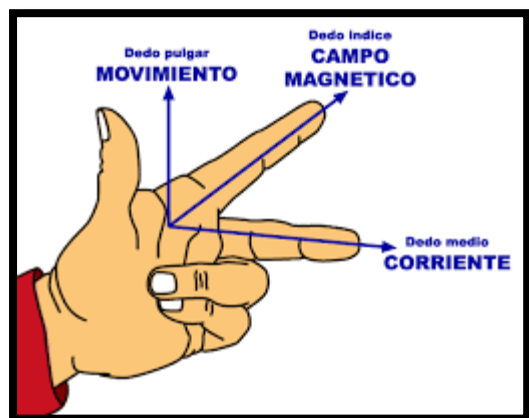
La polaridad de las cargas y la dirección del campo eléctrico invertirán su polaridad y dirección periódicamente, con una frecuencia determinada por la fuente. El campo eléctrico incrementa su valor de cero al máximo, y luego colapsa hacia cero nuevamente. Luego se repite el proceso en dirección opuesta. Este proceso ocurre durante un ciclo de la fuente de voltaje (RF). El dipolo de media onda es un elemento fundamental, usado normalmente como punto de comienzo para el tratamiento de la radiación de energía electromagnética al espacio. Si la energía de radio frecuencia proveniente de una fuente alimenta los elementos de una antena, el voltaje a través de la antena retarda la corriente durante 90° . En consecuencia, la antena actúa como si fuera un capacitor.

Campo magnético

Cuando la corriente fluye a través de un conductor, el campo magnético se encuentra envolviendo el conductor. El movimiento de una carga eléctrica crea un campo magnético, siendo este la región del espacio donde las fuerzas magnéticas pueden ser detectadas y medidas. Este incluye dos elementos o campos, el campo de inducción el cual existe encerrado y cercano al conductor, y el de radiación, el cual parte de la varilla donde se produce el movimiento de cargas viajando a través del espacio.

Si ponemos dos varillas paralelas que se encuentren en oposición, podremos observar que los campos magnéticos se cancelan mutuamente de manera total o parcial, resultando en una disminución de la energía electro magnética.

Por otro lado, cuando están los dos campos en la misma dirección, se puede obtener un máximo de radiación electromagnética en el espacio. La dirección de las líneas de fuerza magnética (H) puede ser determinada mediante la aplicación de la regla de la mano izquierda para conductores, donde el pulgar indica la dirección de circulación de la corriente eléctrica, y los dedos restantes al -envolver el conductor- indican la dirección de los campos magnéticos.



Combinación de los campos magnéticos y eléctricos

El generador provee de voltaje, el cual crea un campo eléctrico y de corriente que crea un campo magnético. Esta fuente de voltaje y corriente alcanza el máximo valor en un semiciclo, y luego alcanza el máximo valor en dirección opuesta y durante el siguiente semiciclo. Ambos campos se alternan desde un valor máximo hasta un valor mínimo, sincronizados con los cambios de voltaje y corriente. Ambos campos alcanzan su máxima

intensidad en el primer cuarto de ciclo. Como la corriente y el voltaje, producen a E y H, y están 90 ° fuera de fase, los campos estarán también 90° fuera de fase. Ver figura 2.

Ondas radioeléctricas

Una onda electromagnética que es generada por un transmisor de radio es llamada Onda Radioeléctrica. La onda Radioeléctrica es radiada en el espacio por una antena transmisora, siendo esta, una forma muy compleja de energía que contiene tanto un campo E como uno H; de allí deriva su nombre de **radiación electromagnética**.

Es oportuno dejar en claro que el termino onda Radioeléctrica es aplicable a todo equipo que genere señales en la forma de Energía Electromagnética (Ej: COM, VOR, NDB, Radar, etc).

Las frecuencias comprendidas entre 3000 Hz (3 kHz) y 300.000.000.000 Hz (300 GHz) son llamadas frecuencias de radio (RF), por ser comúnmente empleadas en radio comunicaciones y en ayudas a la navegación. Este rango, se encuentra dividido en bandas, las cuales son parte del espectro de RF. Cada banda del espectro es diez (10) veces mayor que la banda inmediatamente inferior, facilitando de esta manera la fijación de los rangos de frecuencia, según podemos apreciar en la tabla a continuación.

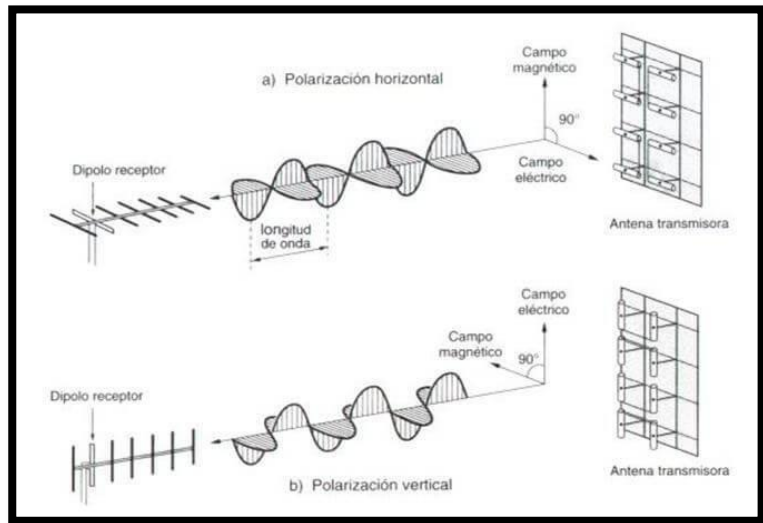
Bandas de radio frecuencia

| DESCRIPCIÓN | ABREVIATURA INGLES | ABREVIATURA CASTELLANO | <i>FRECUENCIA</i> |
|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------|
| Muy Baja Frecuencia | VLF | MBF | 3 a 30 kHz |
| Baja Frecuencia | LF | BF | 30 a 300 kHz |
| Frecuencia Media | MF | FM | 300 a 3000 kHz |
| Alta Frecuencia | HF | AF | 3 a 30 MHz |
| Muy Alta Frecuencia | VHF | MAF | 30 a 300 MHz |
| Ultra Alta Frecuencia | UHF | UAF | 300 a 3000 MHz |
| Super Alta Frecuencia | SHF | SAF | 3 a 30 GHz |
| Extremadamente Alta Frecuencia | EHF | EAF | 30 a 300GHz |

Polarización

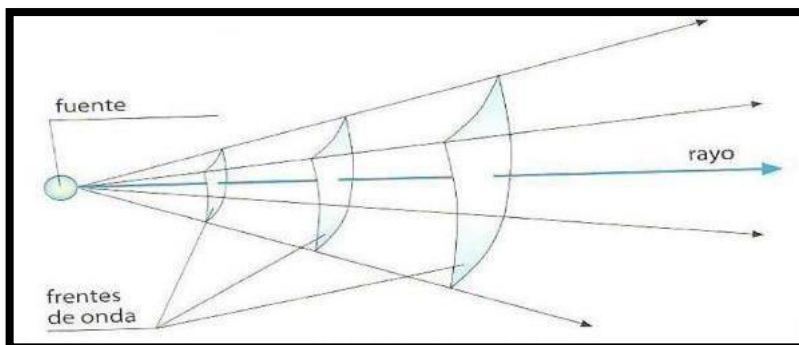
Para una máxima absorción de energía de los campos electromagnéticos, la antena receptora debe estar localizada en el plano de polarización. El Plano de polarización de una onda Radioeléctrica es el plano en el cual el campo E se propaga respecto de la superficie terrestre. Si el campo E de una onda radioeléctrica viaja en un plano perpendicular (vertical) a la

superficie terrestre, se dice que la radiación está verticalmente polarizada. De la misma manera, si el campo E se propaga en un plano paralelo a la superficie terrestre (horizontal), la radiación se dice que está horizontalmente polarizada.



<https://ingangeletti.com/antenas-para-emisoras-de-fm/>

La posición de la antena en el espacio es importante, porque afecta la polarización de la onda electromagnética. Cuando la antena transmisora está cercana a la Tierra, el empleo de polarización vertical es la más conveniente por producir señales sobre la superficie terrestre de mayor intensidad. Por el contrario, si las antenas se encuentran altas respecto de la superficie terrestre, el empleo de la polarización horizontal es de mayor conveniencia por permitir señales de mayor intensidad sobre la superficie.



La energía radiada lo hace en la forma de una esfera en expansión. Una pequeña sección de esta esfera es denominada frente de onda. Este es perpendicular a la dirección en que viaja

la energía, toda la energía en esta superficie se encuentra en fase y todos los puntos del frente son equidistante de la antena. Cuanto más lejos esté el frente de onda de la antena, menos esférica aparece la onda. A una distancia considerable, el frente de onda puede ser considerado como una superficie plana perpendicular a la dirección de propagación.

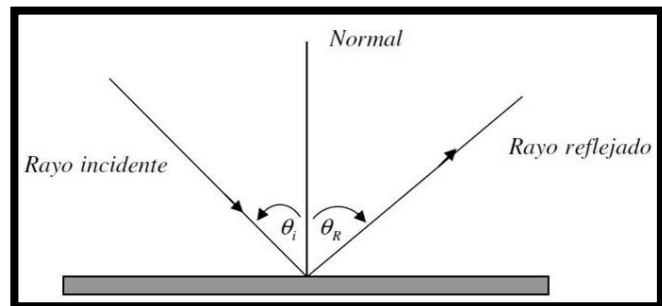
Recordemos el uso de la regla de la mano izquierda, es una gran herramienta para determinar la dirección de la onda si sabemos la orientación de la antena. Es importante, además, remarcar el hecho de que para obtener la mejor señal en la emisión-recepción la polarización de las antenas deberán ser similares. A medida que vayamos alejándonos más de esta, la calidad del enlace se irá deteriorando.

Dentro de la atmósfera, las ondas radioeléctricas pueden ser reflejadas, refractadas y difractadas, de la misma manera que las ondas de luz y calor.

Reflexión

Las ondas de reflexión son esas ondas que no son absorbidas ni transmitidas, pero que son devueltas nuevamente al medio en donde ellas se encuentran. Si una onda es dirigida hacia una superficie reflectante, tal como un espejo, las ondas que chocan la superficie se llaman ondas incidentes, y las que regresan se llaman ondas reflejadas.

El ángulo formado por el rayo incidente y la normal se denomina ángulo de incidencia y el formado por el rayo reflejado y la normal, ángulo de reflexión.



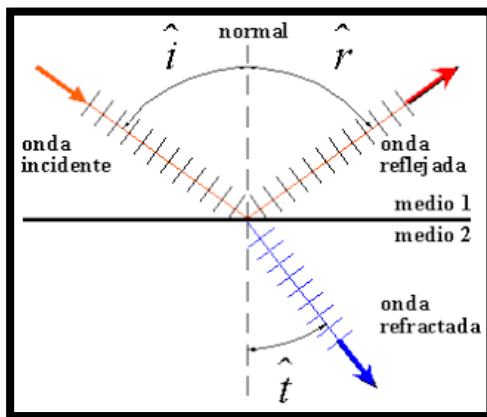
La ley de la reflexión, establece que el ángulo de incidencia es igual al ángulo de refracción, siempre y en tanto que la superficie del medio que se ha contactado sea suave y pulida. Del mismo modo, la cantidad de energía de la onda incidente que es reflejada dependerá de la naturaleza de la superficie reflectante y del ángulo de incidencia. Esta se incrementa en la medida que el ángulo de incidencia aumenta, alcanzando su máximo cuando la onda incidente es prácticamente paralela a la superficie reflectante. Cuando el ángulo de incidencia se aproxime a la normal, la mayoría de la energía es transmitida al otro medio.

Las ondas radioeléctricas pueden ser reflejadas por diferentes sustancias u objetos, encontrados entre los puntos de transmisión y recepción. La magnitud de la reflexión depende del material refractante. Una superficie de metal pulido y con buena conductividad eléctrica, se constituye como un eficiente reflector de ondas radioeléctricas. Las ondas radioeléctricas no son reflejadas desde un punto determinado del reflector, sino desde un área de su superficie. El tamaño del área requerida para que tenga lugar la reflexión depende de la longitud de la onda radioeléctrica y del ángulo de incidencia con que la misma impacta sobre la superficie reflectora. La superficie de la Tierra puede ser considerada como un buen reflector.

Cuando las ondas radioeléctricas son reflejadas desde una superficie plana, ocurre un cambio de fase entre la onda incidente y la onda reflejada. Luego de ocurrida la reflexión, las ondas están, aproximadamente, 180° desfasados respecto de la onda incidente. La

variación del desfase no es constante, por cuanto la reflexión no es constante ya que depende de la polarización y del ángulo con que las ondas son reflejadas por la superficie. Las ondas radioeléctricas que conservan su relación de fase, luego de la reflexión producen una señal fuerte en la estación receptora, mientras que las que se reciben fuera de fase, ocasionan disminución, de señal. Esta es una de las principales razones del fenómeno conocido como FADING.

Refracción



Cuando una onda pasa de un medio a otro con diferente velocidad de propagación, ocurrirá un cambio en la dirección de dicha onda, desviándose generalmente hacia la superficie terrestre, o hacia el medio donde la velocidad de propagación es menor. Este cambio de la onda que ingresa al segundo medio se denomina refracción.

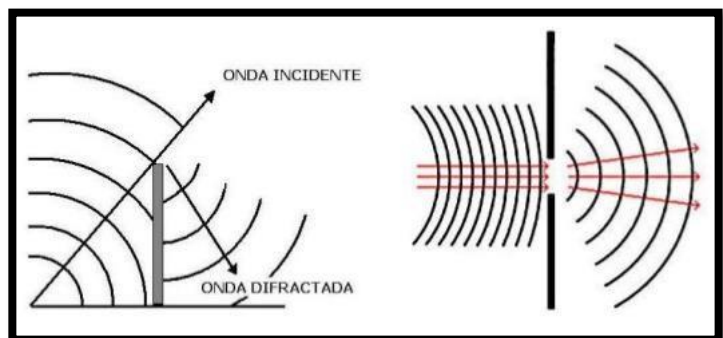
Las ondas radioeléctricas que pasan a través de la atmósfera son afectadas por ciertas características tales como temperatura,

presión, humedad y densidad. Estas pueden, y de hecho refractan las ondas radioeléctricas.

Difracción

Una onda de radio que encuentra un obstáculo en su trayecto tiene una tendencia natural a doblarse, envolviendo el obstáculo. Este fenómeno denominado DIFRACCION, provoca un cambio de dirección de parte de la energía respecto del trayecto normal (línea de vista). Este cambio permite la recepción de energía en sitios obstruidos por obstáculos. La porción de energía difractada es usualmente más débil, y deberá ser captada con receptores más sensibles. El efecto principal de la Difracción es extender el rango del horizonte visible. De allí que en comunicaciones se emplee el concepto de horizonte eléctrico.

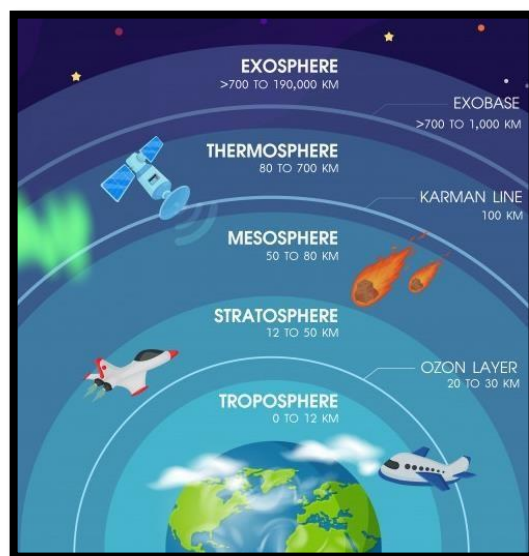
Las ondas radioeléctricas de la banda de radios comerciales (AM utilizadas también por el ADF/NDB), frecuentemente viajan y pueden superar obstáculos tales como una montaña y ser recibidas por estaciones ocultas (fuera de la línea visual) gracias a este fenómeno, mientras que ante la misma situación frecuencias altas (TV y FM) no pueden



Efecto de la atmósfera en las ondas radioeléctricas

Esta discusión acerca de la propagación de las ondas electromagnéticas está dirigida, principalmente, a las propiedades y efectos del medio, a través del cual éstas deben viajar, entre la antena transmisora y la receptora. Mientras que las ondas que viajan por el espacio libre tienen muy poca influencia externa que las afecten, aquellas que lo hacen a través de la atmósfera terrestre son afectadas por condiciones variables. La influencia ejercida por la atmósfera sobre las ondas agrega muchos nuevos factores que complican, lo que, a primera vista, pareciera ser un problema relativamente simple. Estas complicaciones se deben a la ausencia de uniformidad de la atmósfera. Las condiciones atmosféricas varían con los cambios en altitud, ubicación geográfica, e incluso con el tiempo (día, noche, estación, año). Un conocimiento acerca de la composición de la misma será importante para entender la propagación de las ondas y sus limitaciones.

En particular, debemos tener en cuenta que las capas más importantes serán la tropósfera, estratósfera y la ionósfera que es donde suceden la mayoría de los fenómenos, pero no entraremos en mayores detalles sobre sus características debido a que ya han sido cubiertas en la materia meteorología, aunque si haremos un breve análisis sobre los efectos en sus distintas capas y por distintas causas.



Efectos de las condiciones meteorológicas en la propagación

El viento, la temperatura y el agua contenida en la atmósfera pueden combinarse en distintas proporciones. Ciertas combinaciones pueden provocar que las señales radioeléctricas sean escuchadas cientos de kilómetros más allá del rango ordinario; contrariamente, una combinación diferente de factores puede provocar una atenuación de la señal, tal que ésta no sea escuchada, aun dentro del trayecto donde funcionaría normalmente. Desafortunadamente, no pueden establecerse reglas fijas respecto del efecto de las condiciones meteorológicas en las transmisiones radioeléctricas. Pero a continuación veremos brevemente el efecto de cada uno de los fenómenos de manera separada.

Atenuación por precipitaciones

El agua en sus diferentes estados (vapor, líquido y sólido) estará siempre presente y debe ser considerados en todo cálculo de enlace. Pero, antes de discutir los efectos de

atenuación que las diferentes formas de precipitación (lluvia, nieve y neblina) tienen en las ondas radioeléctricas, se debe tener presente que los efectos de atenuación de las precipitaciones son generalmente proporcionales a la frecuencia y a la longitud de onda de la onda radioeléctrica.

Lluvia

La atenuación debido a las gotas de lluvia es la más importante y la mayor respecto de cualquier otra forma de precipitación. Esta atenuación puede ser causada por absorción donde las gotas de lluvia actúan como dieléctricos pobres, absorbiendo potencias de las ondas radioeléctricas y disipándola ya sea por pérdida de calor o dispersión. Las gotas de lluvia causan mayor atenuación por dispersión que por absorción en frecuencias superiores a los 100 MHz y en frecuencias superiores a los 6 GHz la atenuación por dispersión es aún mayor. Como podemos ver en la figura, el arcoíris es un buen ejemplo de la dispersión de ondas, en este caso, dentro del campo visible.



Niebla

En lo concerniente a la atenuación la neblina, esta debe ser considerada como otra forma de lluvia. Dado que la niebla permanece suspendida en la atmósfera, la atenuación se puede determinar por el tamaño de las gotas de agua en suspensión y la cantidad de agua por unidad de volumen. La atenuación por dispersión es de poca importancia para frecuencias por debajo de los 2 GHz, sin embargo, por sobre esta frecuencia puede provocar serios problemas de atenuación por absorción.

Nieve

La atenuación debido a este fenómeno es difícil de calcular por lo irregular de los tamaños y formas de los copos de nieve. Sin embargo, los científicos aprecian que la atenuación es menor que la ocasionada por la lluvia cayendo ambas a igual velocidad. Esta presunción se fundamenta en el hecho de que la densidad de la lluvia es ocho veces mayor que la densidad de la nieve.

Granizo

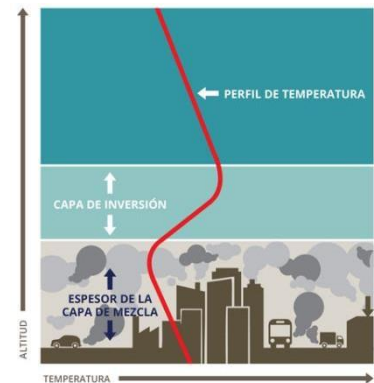
La atenuación producida por este fenómeno está determinada por el tamaño de las piedras y su densidad. La atenuación de las ondas radioeléctricas por dispersión debido al meteoro, es considerablemente menor al producido por la lluvia.

Inversión de la temperatura

Recordemos que, en condiciones atmosféricas normales, el aire más caliente se encuentra cercano a la superficie terrestre. Con el incremento de la altura respecto del nivel del mar, el aire se va enfriando. A veces, sin embargo, se desarrolla una situación inusual en la cual las capas de aire caliente se forman sobre las capas de aire frío, esta condición es conocida como, inversión de temperatura.

Si una antena transmisora se encuentra dentro de tales franjas, o si la onda radioeléctrica ingresa a la franja con un muy bajo ángulo de incidencia, las transmisiones en las bandas de VHF y UHF pueden ser propagadas más allá de las distancias de línea de vista normal. Estas distancias son posibles de alcanzar debido a las diferentes calidades refractivas y densidades del aire caliente y el frío.

El violento cambio en densidad cuando una onda radioeléctrica ingresa proveniente del aire caliente a un ducto, provoca que ésta sea refractada nuevamente hacia la Tierra. Cuando la onda incide en la Tierra o en una capa de aire caliente debajo de la franja, esta es nuevamente reflejada o refractada hacia arriba y así prosigue a lo largo de la franja ejecutando múltiples saltos a lo largo del mismo.



Propagación troposférica

Según el camino que siguen entre el transmisor y el receptor las ondas de radio se clasifican en ondas troposféricas, directa, terrestre, ionosférica y reflejada.

En el caso de la troposfera, recordemos que es la capa más baja de la atmósfera terrestre, extendiéndose desde la superficie de la Tierra hasta aproximadamente una altura de 11 km. Virtualmente, todos los fenómenos meteorológicos ocurren en esta región. La troposfera se caracteriza por una casi constante disminución tanto sea en temperatura y presión cuando se incrementa la altura. Sin embargo, los cambios en el clima pueden causar variaciones en la humedad y una no uniforme distribución de calor en la superficie terrestre. Como resultado de ello, el aire en la troposfera está en continuo movimiento lo que provoca pequeñas turbulencias, las cuales incrementan su intensidad con la proximidad a la superficie terrestre y poseen características refractivas que permiten la refracción o dispersión de ondas radioeléctricas con pequeñas longitudes de onda. El rango de frecuencia utilizable para la dispersión troposférica es aproximadamente de 100 MHz a 10 GHz.

Transmisión de ondas radioeléctricas

Hay dos formas principales en que la energía electromagnética viaja desde la antena transmisora hasta la receptora: por onda terrestre y por onda espacial. Las ondas terrestres son aquellas que viajan cerca de la superficie de la Tierra, en tanto que las ondas espaciales, son las reflejadas por la ionósfera y devuelta a la Tierra. A continuación, las analizaremos con mayor detalle.

Ondas Terrestres

Las ondas terrestres son aquellas que viajan cerca de la superficie de la Tierra. Estas, también son conocidas como onda de superficie y onda directa. El factor que resulta determinante para clasificar si una onda es de superficie o directa es, si la misma está viajando directamente por la superficie terrestre o elevada sobre la misma.



La onda de superficie alcanza la antena receptora viajando directamente por la superficie terrestre. Esta es capaz de seguir los contornos de la Tierra, debido al proceso de Difracción. Cuando una onda de superficie encuentra un objeto en su camino y las dimensiones del mismo no exceden su longitud de onda, ésta tiende a curvarse o doblarse alrededor del mismo. Cuanto más pequeño sea el objeto, más pronunciada será la acción de la Difracción.

A medida que la onda de superficie se desplaza sobre la Tierra, va induciendo voltaje sobre la misma. Este voltaje inducido quitará energía a la onda, y por ende debilitándola o atenuándola, a medida que se aleja de la antena transmisora.

Para reducir esta atenuación, la cantidad de voltaje inducido debe ser reducida. Esto se lleva a cabo mediante el empleo de **ondas polarizadas verticalmente**, las que, encontrándose perpendicular al suelo, minimizan la extensión en que el campo eléctrico de la onda está en contacto con el suelo. Cuando una onda de superficie está polarizada horizontalmente, el campo eléctrico de la misma es paralelo al suelo, y por ende se encuentra en contacto permanente con el mismo. La onda es, entonces, atenuada completamente en una distancia muy corta desde el puesto transmisor. Por esta razón, la polarización vertical es marcadamente superior a la horizontal para la propagación de ondas de superficie.

Por otro lado, la disminución de voltaje inducido a la Tierra, depende también de manera considerable de las propiedades eléctricas del terreno por el cual viaja. El mejor tipo de superficie es aquel que posee una buena **conductividad eléctrica**. Cuanto mejor es la conductividad, menor es la atenuación.

| SUPERFICIE | CONDUCTIVIDAD RELATIVA |
|-----------------------------|------------------------|
| Agua de mar | Buena |
| Arcilla | Normal |
| Grandes masas de agua dulce | Normal |
| Terreno rocoso | Pobre |
| Desierto | Pobre |
| Jungla | Inutilizable |

Otro factor importante a considerar en la atenuación de las ondas de superficie, es la **frecuencia**. Debemos recordar, respecto de la longitud de onda, que será menor en la medida que mayor sea la frecuencia. Estas altas frecuencias, con sus cortas longitudes de onda, no son difractadas, pero son absorbidas por la Tierra en puntos relativamente cercanos al puesto transmisor. Por ende, se puede asumir que a medida que la frecuencia aumenta, más rápidamente será absorbida o atenuada la onda por la superficie terrestre. Debido a estas pérdidas por atenuación, las ondas de superficie, son ineficientes para transmisiones a largas distancias en frecuencias superiores a los 2 MHz.

Por otro lado, cuando la frecuencia es lo suficientemente baja como para tener una gran longitud de onda, la Tierra parece ser muy pequeña y la Difracción es suficiente para la propagación más allá del horizonte. De esta manera, bajando la frecuencia dentro de la banda VLF y usando transmisores con alta potencia, la onda de superficie puede propagarse a grandes distancias.

En el caso de la onda terrestre, ésta sigue dos caminos distintos. Por un lado, va desde la antena transmisora hasta la receptora a través del aire, y por el otro, la onda es reflejada por la Tierra con el mismo destino (figura 3). El primero es el camino principal. Consecuentemente, la antena receptora debe estar ubicada dentro del radio del horizonte de la antena transmisora, debido a que las ondas directas son apenas refractadas, incluso cuando se propagan por la tropósfera, ya que el horizonte electromagnético es aproximadamente un tercio más largo que el horizonte natural.

Aunque las ondas directas sufren poca atenuación producida por la Tierra, son a su vez susceptibles al desvanecimiento (fading). Esto se produce por ondas directas que siguen caminos de distintas longitudes (directo y reflejado) al receptor y, por lo tanto, pueden arribar en o fuera de fase. Si son recibidas en fase, el resultado es una señal más fuerte

o incrementada. Asimismo, si son recibidas fuera de fase, tienden a cancelarse entre ellas, deviniendo una señal débil.

Ondas ionosféricas

La onda espacial, frecuentemente llamada ionosférica, es radiada alejándose de la superficie terrestre y retornada a la misma por la refracción de la ionósfera. Esta forma de propagación no es prácticamente afectada por la superficie terrestre, y es capaz de propagar señales a grandes distancias. Usualmente se utiliza para la banda HF.

Recordemos que, la Ionósfera es la región de la atmósfera que se extiende desde los 50 km. de la superficie terrestre, hasta aproximadamente los 400 km. Se denomina de esta manera por estar constituida por un sin número de partículas de gas cargadas, denominadas iones.

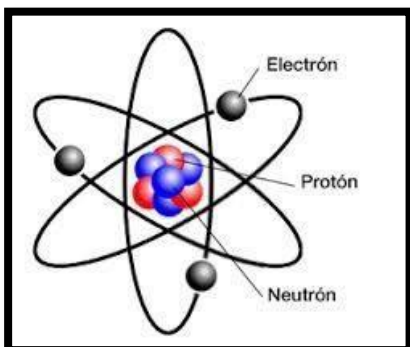


El siguiente estudio en detalle de la ionósfera y sus efectos en las ondas espaciales, ayudará a comprender mejor la naturaleza de la propagación de las mismas.

Ionización y recombinación

Es el proceso que se produce cuando la radiación ultra violeta proveniente del sol, incide sobre los átomos de gas produciendo la liberación de electrones. Un átomo es eléctricamente neutro, posee partículas positivas (protones) en su núcleo y negativas (electrones), orbitando alrededor del mismo. Cuando el electrón es liberado del átomo, éste se convierte en un Ion positivo y permanece en el espacio coexistiendo con los electrones libres. Los electrones libres continúan absorbiendo energía ultravioleta. Por ello, la densidad de la ionósfera será función de la densidad de átomos y de la intensidad de la luz ultravioleta la cual varía con la actividad del sol.

El término proviene del latín *atōmus* (*a*, que significa «sin»), y (*tómos*, «sección»), que literalmente es «que no se puede cortar, indivisible», nombre que se dice que les dio Demócrito de



Dado que la atmósfera es bombardeada por luz ultravioleta de diferentes frecuencias, se forman varias capas ionizadas a distintas alturas. En la medida que la frecuencia de la luz ultra violeta incrementa su valor, la penetración en la atmósfera será mayor. La altura y el espesor de las capas ionizadas varían constantemente, por ser función de la frecuencia, la intensidad de la luz UV y la declinación solar.

Debido a que la ionización es un proceso reversible, se produce también la colisión entre partículas de menor tamaño posible. iones positivos y electrones libres, generando átomos neutros. Según el momento del día, la velocidad de ionización y la velocidad de recombinación podrán ir predominando una sobre otra. Durante las horas de luz, la velocidad de ionización es mayor, razón por

la cual se forman las diferentes capas alcanzando su máxima densidad en horas de máxima intensidad solar. En este punto la velocidad de recombinación es despreciable.

En la medida que declina la intensidad de la luz ultra violeta (intensidad solar), la velocidad de reconversión incrementa sus valores hasta alcanzar un máximo en horas de la noche. Como consecuencia de ello, la densidad de las capas será mínima, justo antes de la puesta del sol.

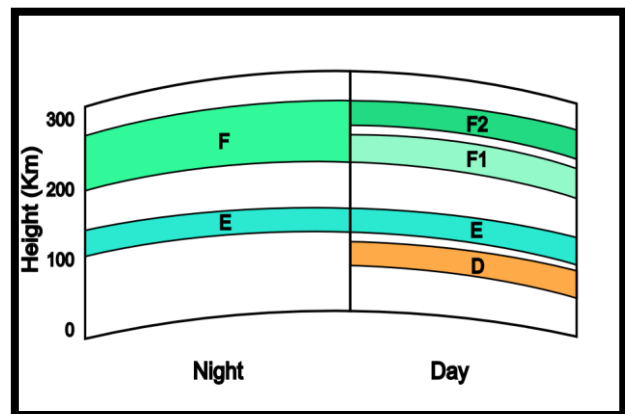
Capas de la Ionósfera

Las capas son tres, denominadas D, E, y F. La capa F, a su vez, se divide en dos subcapas denominadas F1 y F2.

La presencia o ausencia de estas capas, es producto de la posición del sol y de la intensidad de radiación ultravioleta que incide como se manifestó precedentemente. La posición del sol varía, además, diaria, mensual y anualmente respecto de un punto específico en la Tierra.

La Capa D

Se encuentra localizada entre los 50 y 90 km. de la superficie terrestre, en la parte más baja de la ionósfera. Tiene la capacidad de refractar las frecuencias bajas (VLF), siendo muy importante para las comunicaciones a grandes distancias en esta banda. Esta, refracta las ondas de LF y MF para las comunicaciones de cortas distancias. Absorbe las ondas de HF y tiene muy pequeño efecto sobre las ondas VHF y superiores. En la noche esta capa desaparece.



La Capa E

La localización de esta capa no es fija, encontrándose entre los 90 y 145 km. Es conocida también, como capa Kennelly-Heaviside, denominación efectuada por quienes propusieron, por primera vez, su existencia hacia principios del siglo XX.

En la capa E, la ionización depende del ángulo respecto del sol. Durante el día con una mayor incidencia solar la capa se comprime más cerca de la superficie de la tierra reduciendo la distancia que pueden alcanzar sus rebotes. Refracta las ondas de HF superiores a los 20 MHz durante el día, permitiendo enlaces superiores a los 2.400 km. La ionización es rápidamente reducida hacia la noche habiendo diferentes opiniones en el mundo científico. Algunos autores establecen que la misma tiende a desaparecer debido a que la velocidad de recombinación en esta capa, es mayor antes de la caída del sol, y por el otro lado se dice que la misma permanece, aunque a mayor altura,

permitiendo enlaces a mayor distancia. A los fines prácticos de esta materia, tomaremos como válido el concepto de que la misma permanece durante los horarios nocturnos.

La Capa F

Se encuentra localizada entre los 145 y 340 km. Durante las horas de luz ésta se divide en las subcapas F1 y F2. El nivel de ionización de estas capas es bastante alto y varia ampliamente durante el transcurso del día. Al mediodía, esta porción de la atmósfera, por ser la más cercana al sol, alcanza el grado de ionización máximo. La estructura y densidad de la capa F, depende del momento del día y el ángulo respecto del sol. Esta región consiste en una capa durante la noche y se divide en dos capas durante las horas de luz. La densidad de ionización en la capa F1 depende del ángulo respecto del sol. Esta tiene efecto en la absorción de las ondas de HF que han pasado a través de la capa F2.

La capa F2 es la más importante para comunicaciones a largas distancias en la banda HF. Es muy variable y su altura y densidad cambia con el momento del día, estación y actividad de manchas solares. En estas alturas de la atmósfera, la recombinación ocurre lentamente después de la caída del sol; por lo tanto, podemos encontrar una capa con valores estables presente durante todo el tiempo.

Refracción en la Ionósfera

Cuando las ondas radioeléctricas son transmitidas hacia las capas ionizadas, se produce su refracción. Como se consignó anteriormente, la refracción es causada por el cambio en la velocidad de propagación de un medio a otro. Sin embargo, otros factores de los cuales será función este fenómeno, son:

- a. La densidad de ionización de la capa.
- b. La frecuencia de la onda de radio.
- c. El ángulo de incidencia con que la onda ingresa a la capa ionizada.

Densidad de las capas ionizadas

Cada capa ionizada tiene una región central de ionización relativamente densa, la cual varía gradualmente a ambos lados, es decir sobre y debajo de una región máxima. Cuando una onda de radio ingresa a la región de ionización creciente, se produce la curvatura de la onda como consecuencia del incremento en la velocidad de propagación; dicha curvatura retorna la onda hacia la Tierra. Cuando se alcanza la zona de la capa más altamente ionizada (la región central) las refracciones se concretan más lentamente, debido a que la densidad en esta zona es casi uniforme. Por otro lado, cuando la onda ingresa a la parte alta de la capa (ionización decreciente), la velocidad de propagación decrece, produciéndose una curvatura que la aleja de la Tierra.

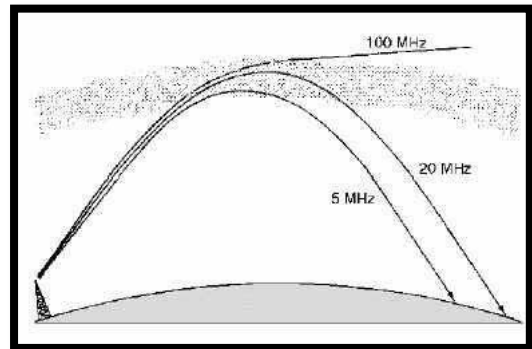
Si una onda incide sobre una capa fina, altamente ionizada, será refractada tan rápidamente a la Tierra, que aparecerá como reflejada, debido esto a la gran curvatura

sufrida por la refracción. Para reflejar una onda radioeléctrica, la capa debe tener un espesor aproximadamente de una longitud de onda. Dado que las capas ionizadas son normalmente de varios kilómetros de espesor, la reflexión ionosférica es más probable que ocurra en las frecuencias bajas (largas longitudes de onda).

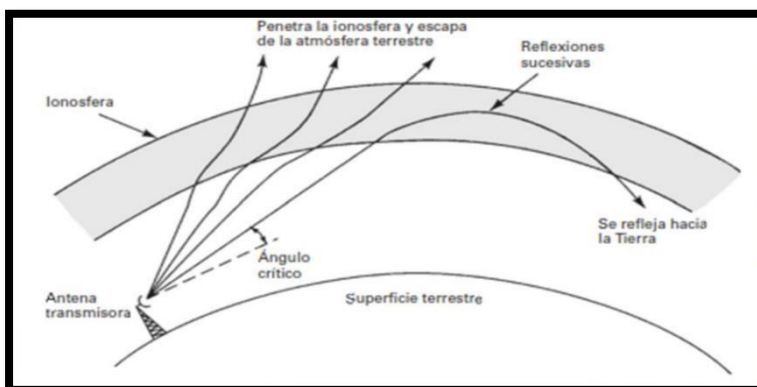
Frecuencia crítica

Cada capa ionosférica tiene una frecuencia máxima, por la cual las ondas radioeléctricas pueden ser transmitidas verticalmente y retornadas a la Tierra. Esta frecuencia es conocida como Frecuencia Crítica. Las ondas radioeléctricas superiores a esta frecuencia crítica atraviesan las capas y se pierden en el espacio, pero si ingresan a otra capa superior con una frecuencia crítica diferente más alta, la onda será refractada hacia la superficie de la Tierra. Por el contrario, todas las frecuencias menores a la frecuencia crítica serán refractadas.

En la figura, podemos observar tres ondas radioeléctricas de diferentes frecuencias, ingresando en una capa ionizada en un mismo ángulo. Obsérvese que la onda de 5 MHz es refractada totalmente hacia la superficie en forma muy aguda, la onda de 20 MHz en forma menos aguda y retornando a una mayor distancia del punto transmisor, mientras que la onda de 100 MHz que es obviamente superior a la frecuencia crítica en esta capa ionizada, no es refractada y se pierde en el espacio.



Angulo de incidencia



La relación por la cual una frecuencia dada es refractada en una capa ionizada, depende del ángulo con el cual la onda incide sobre la misma. En la medida que los ángulos disminuyen, las ondas serán refractadas pero no llegarán a la superficie terrestre.

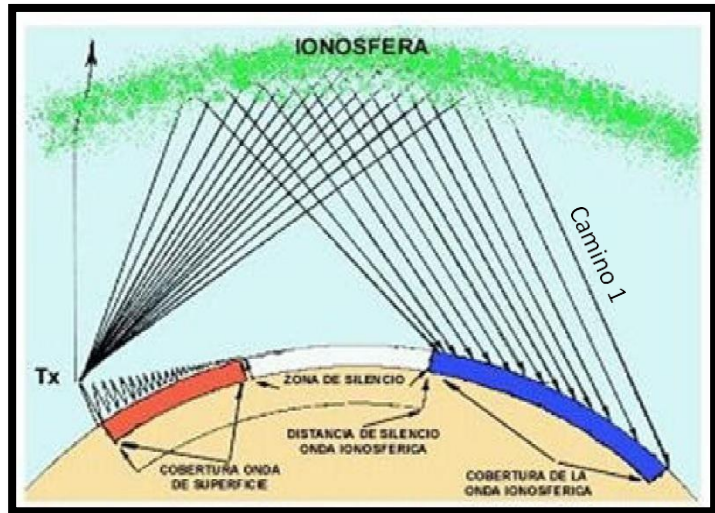
En la medida que la frecuencia de las ondas radioeléctricas aumenta, el ángulo crítico disminuye para que exista refracción. Esto se puede observar en la figura de arriba donde los ángulos posteriores al crítico escapan al espacio exterior.

Distancia de salto y zonas de silencio

La distancia de salto es la distancia desde el transmisor hasta el punto donde retornará a Tierra la primera onda. En la figura, se puede observar la relación entre la distancia de salto de la onda de radio, la zona de silencio, y la cobertura de la onda terrestre.

La misma depende de la frecuencia, el ángulo de incidencia y el grado de ionización presente.

La Zona de silencio es el área entre el punto donde la onda terrestre se torna demasiado débil para ser recibida y el punto donde retorna a Tierra la primera onda. El tamaño de la zona de silencio depende de la distancia cubierta por la onda terrestre y de la distancia de salto. Cuando la cobertura de la onda terrestre es suficientemente grande, o la distancia de salto es lo suficientemente chica, no se produce zona de silencio.



Caminos de propagación

Los caminos que recorre una misma onda de radio dependen fundamentalmente del ángulo con los cuales incide en la ionósfera. Una vez en ella, los caminos serán múltiples; por ello es posible recibir en la antena receptora las componentes provenientes de dos o más recorridos. Estas componentes pudieron realizar múltiples saltos entre la Tierra y la ionósfera, refractarse a través de más de una capa ionizada o simplemente refractándose en una única capa ionizada con diferentes ángulos. Esto lo podemos observar en la figura anterior que ilustra acerca de algunas posibilidades para su mejor interpretación.

Cuando el ángulo con la horizontal (Tierra) es relativamente bajo (camino 1), la onda tiene una pequeña penetración en la capa ionizada y es refractada a una distancia dada. En la medida que el ángulo se incrementa, la onda ingresa más profundamente en la capa (caminos 2,3) pero las distancias alcanzadas después de la refracción son menores que para el caso anterior.

En la medida que el ángulo se incrementa más aún (camino 4,5 y sucesivos) la energía penetra en el área central de la capa, zona que posee el mayor grado de ionización, razón por la cual es refractada más lentamente, y eventualmente, retorna a la Tierra a grandes distancias. Cuando el ángulo se aproxima a la vertical, la onda es levemente desviada

perforando la capa y perdiéndose en el espacio. Por último, cuando el ángulo de incidencia y la profundidad de penetración en la capa ionizada hacen que una componente regrese primero a la Tierra a la mínima distancia de la estación transmisora se la llama Distancia de Salto o de silencio.

Absorción en la Ionósfera

Muchos factores afectan a las ondas radioeléctricas en estos caminos entre el punto transmisor y el receptor. El factor que resulta más perjudicial para las ondas radioeléctricas es la Absorción. La misma resulta en una disminución de la energía de la onda, perjudicando la fuerza con que llega al receptor y las comunicaciones a grandes distancias.

Este fenómeno ocurre como consecuencia de la presencia de agua y vapor de agua en la parte baja de la atmósfera, tal como se explicó previamente. Sin embargo, la absorción de energía de RF por parte de esos elementos resulta importante en frecuencias superiores a los 10.000 MHz.

Otro elemento que produce absorción es la parte baja de la ionósfera donde la densidad de ionización es más alta. Las ondas radioeléctricas pasan por dentro de la capa perdiendo parte de su energía con los electrones e iones existentes. Si los electrones libres y los iones con alta energía no chocan átomos de baja energía, parte de la misma es reconvertida en energía electromagnética y la onda continua su camino con una pequeña pérdida de intensidad. Por el contrario, si los electrones libres y iones con alta energía colisionan con otras partículas, mucha de esa energía se pierde, resultando en la absorción de la energía de la onda. Desde que la absorción de energía depende de la colisión de partículas, cuanto más alta es la densidad de la capa, mayor será la probabilidad de colisiones y, por ende, mayor la absorción. Las altamente densas capas E y D ocasionan la mayor absorción a las ondas de radio.

Debido a que el nivel de absorción de las ondas radioeléctricas depende de la densidad de la ionósfera, que varía con las estaciones del año y las condiciones diarias, es imposible expresar una relación fija entre distancia e intensidad de la señal para la propagación ionosférica.

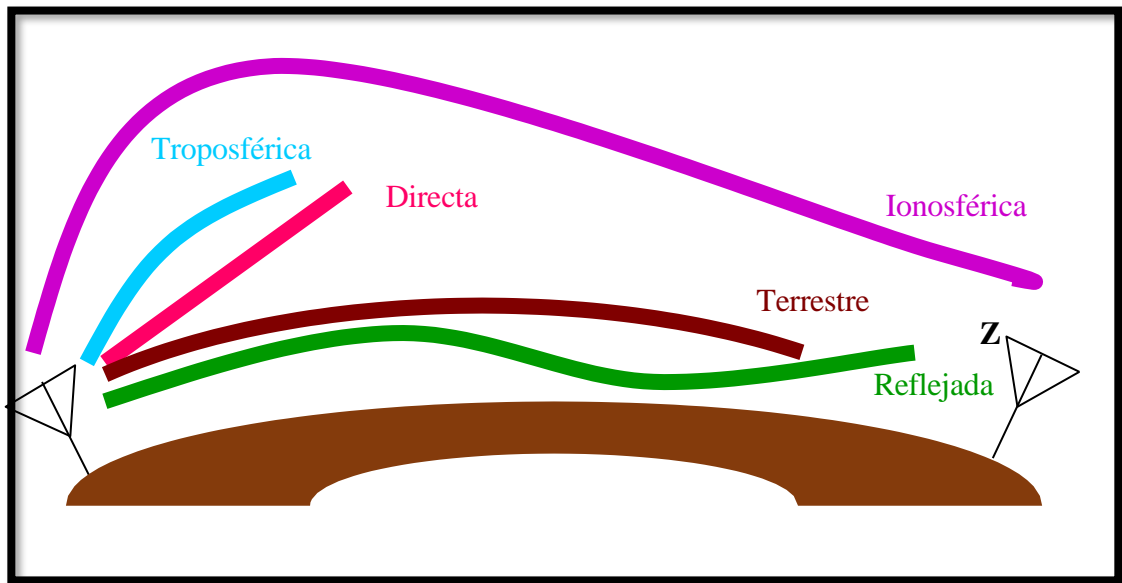
Desvanecimiento

El problema más grande en la recepción es la variación en la intensidad de la señal comúnmente conocido como desvanecimiento. Los factores que pueden producirlo son múltiples. Cuando una onda de radio es refractada por la ionósfera o reflejada por la superficie terrestre, ocurren cambios aleatorios en la polarización de las ondas.

Debido a esto, debemos tener en cuenta que los sistemas de antenas receptoras verticales y horizontales están diseñadas para recibir ondas polarizadas vertical y horizontalmente, respectivamente, tal como se indicó en **Polarización**.

Desvanecimiento por camino múltiple

Camino múltiple es, simplemente, un término usado para describir los diversos caminos que las ondas radioeléctricas pueden seguir entre el punto transmisor y el receptor. Estas rutas de propagación incluyen las ondas terrestres, la refracción ionosférica, re-irradiación por las capas ionosféricas, reflexión por la superficie terrestre o por más de una capa ionosférica.



En el punto Z, donde la señal recibida es una combinación de ondas terrestres y espaciales, al haber viajado por diferentes caminos, arriban en diferentes tiempos y por ello pueden o no estar en fase entre ellas. Las ondas que son recibidas en fase, se refuerzan entre ellas, produciendo una señal más potente en el receptor. Al contrario, aquellas que llegan fuera de fase producen una señal más débil. Pequeñas alteraciones en la ruta de transmisión pueden cambiar la relación de fase entre las dos señales, causando un desvanecimiento periódico.

El desvanecimiento por caminos múltiples puede ser minimizado mediante prácticas llamadas diversidad de espacio y de frecuencia. En la diversidad de espacio, dos o más antenas receptoras son colocadas con cierta distancia entre ellas. El desvanecimiento no ocurrirá en las dos antenas al mismo tiempo, por ende, casi siempre habrá disponible una de las antenas para proveer una señal utilizable. En la diversidad de frecuencia, son utilizados dos transmisores y dos receptores, cada par en una determinada frecuencia, transmitiendo la misma información al mismo tiempo, siendo más probable que uno de los receptores vaya a proveer una señal utilizable.

Desvanecimiento selectivo

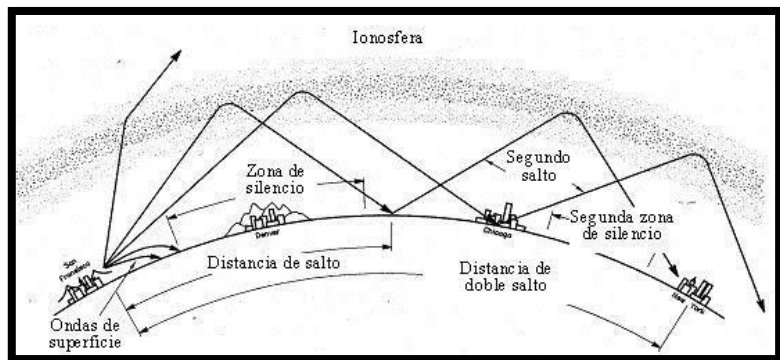
El desvanecimiento por camino múltiple de propagación es variable con cada frecuencia en particular ya que cada frecuencia alcanza al receptor por diferentes trayectos de

propagación. Cuando una banda ancha de frecuencias es transmitida al mismo tiempo, cada una de ellas va a variar la cantidad de desvanecimiento. Esta variación es denominada desvanecimiento selectivo. Cuando este ocurre, ninguna de las frecuencias de la señal transmitida retendrá la fase original y amplitud relativa, por lo que el desvanecimiento causará una severa distorsión de la señal limitando el total de la señal transmitida.

Pérdidas de transmisión por reflexión terrestre y en el espacio libre

Todas las ondas radioeléctricas propagadas sobre rutas ionosféricas sufren pérdidas de energía antes de ser recibidas. Como fue visto anteriormente, absorción en la ionósfera y bajos niveles atmosféricos son las causas de dichas pérdidas. Más allá de eso, hay otros dos tipos de pérdidas con un significativo efecto en la propagación ionosférica de ondas radioeléctricas, conocidas como reflexión terrestre y pérdida en el espacio libre. Los efectos combinados de la absorción, pérdidas por reflexión terrestre y pérdida en el espacio libre cuentan para prácticamente todas las pérdidas de energía de transmisiones de radio propagadas por vía ionosférica.

Cuando la propagación se lleva a cabo vía refracción por saltos múltiples, se pierde energía RF cada vez que la onda es reflejada en la superficie terrestre. La cantidad de energía perdida depende de la frecuencia de la onda, el



ángulo de incidencia, las irregularidades del terreno y la conductividad eléctrica en el punto de reflexión, conociéndose ésta como reflexión terrestre.

Normalmente, la mayor pérdida de energía se debe a la expansión del frente de onda durante su propagación. A medida que aumenta la distancia, el área del frente de onda se expande, análogamente al rayo de luz de una linterna. Esto significa que la cantidad de energía contenida en cualquier unidad de área en el frente de onda va a decrecer a medida que aumenta la distancia. Cuando la energía es recibida por la antena receptora, el frente de onda está tan expandido que la antena sólo toma contacto con una pequeña parte del mismo, esto se conoce como pérdida en el espacio libre.

Interferencia electromagnética

Las pérdidas de transmisión no son los únicos factores que interfieren con las comunicaciones. Un factor adicional es la presencia de interferencia electromagnética (en inglés denominada comúnmente con la sigla EMI). Esta interferencia puede resultar en imposibilitar las condiciones de operación. Las fuentes de EMI pueden ser naturales o artificiales.

Interferencia artificial

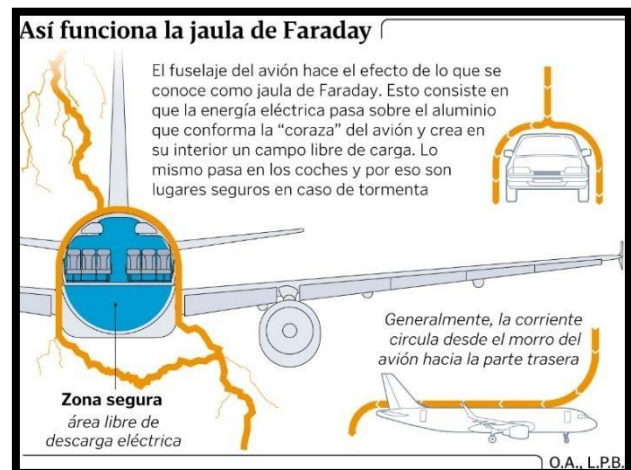
La interferencia artificial o provocada por el hombre, tiene un sinnúmero de orígenes o fuentes. Muchas de esas fuentes son osciladores, transmisores de comunicaciones y transmisores de radio, más específicamente diseñados para generar energía de RF. Un número considerable de artefactos eléctricos generan RF pese a no haber sido diseñados con ese propósito. Ejemplo de ello son los sistemas de encendido, generadores, motores, etc. La intensidad del ruido intencional varía diariamente de niveles importantes durante las horas diurnas a valores considerablemente menores por la noche cuando muchas de las fuentes no son empleadas. El ruido artificial constituye un factor de suma importancia para la determinación del emplazamiento de las estaciones receptoras.

Interferencia natural

¿Se refiere a los ruidos estáticos que se pueden oír al escuchar una emisora. Esa interferencia es generada por fenómenos naturales tales como tormentas eléctricas, de nieve, fuentes cósmicas y ruido solar. La energía liberada por esas fuentes es transmitida hasta las estaciones receptoras de igual manera que las ondas radioeléctricas. Resulta, además, que cuando las condiciones ionosféricas para comunicaciones a largas distancias son buenas para las ondas radioeléctricas, también lo son para la propagación de la interferencia natural. La interferencia natural es muy errática, particularmente en la banda de HF; sin embargo, generalmente decrece en la medida que se incrementa la frecuencia de operación y mayores son los anchos de banda usados.

Control de la interferencia electromagnética

La interferencia puede ser controlada mediante el empleo de las técnicas adecuadas. La cantidad de emisiones de interferencia electromagnética (EMI) que son producidas por transmisores de radio puede ser reducida mediante el corte en las medidas exactas de las antenas transmisoras según la frecuencia de operación, limitando los anchos de banda y empleando redes de filtros electrónicos y jaulas metálicas (también llamadas Jaulas de FARADAY). Las EMI radiadas durante las transmisiones pueden ser controladas mediante la separación física de las antenas receptoras y transmisoras, el empleo de antenas direccionales y limitando el ancho de banda de las antenas.



Variaciones en la Ionósfera

Como la existencia de la ionósfera está directamente relacionada con las radiaciones provenientes del sol, el movimiento de la Tierra alrededor del mismo o cambios en la actividad solar resultan en variaciones en la ionósfera. Estas variaciones son de dos tipos generales:

- a. Aquellas que son más o menos regulares y ocurren cíclicamente, las cuales pueden ser predichas con una probabilidad de ocurrencia razonable.
- b. Aquellas que son irregulares como consecuencia de actividad anormal del sol y no pueden ser preestablecidas.

Ambas tienen importantes efectos sobre las ondas radioeléctricas.

Variaciones regulares

Estas afectan la intensidad del proceso de ionización y pueden ser divididas en cuatro clases:

- a. Diarias
- b. Estacionales
- c. 11 – Años
- d. 27 – Días

Diarias

Las variaciones diarias son el resultado de la rotación de la Tierra sobre su eje, de 24 horas de duración. Estas variaciones, en las diferentes capas de la ionósfera, ya han sido cubiertas anteriormente.

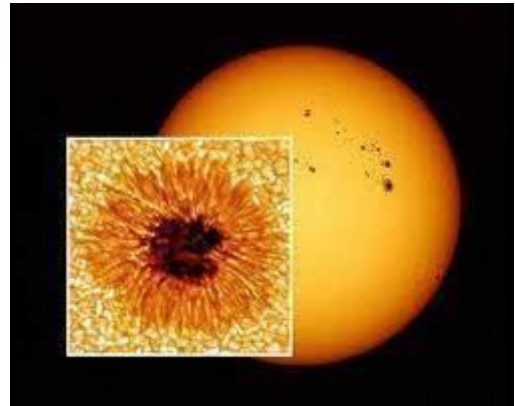
Estacionales

Las variaciones estacionales son el resultado de las revoluciones de la Tierra alrededor del sol. La posición relativa del sol respecto de uno u otro hemisferio se modifica en las estaciones.

Las variaciones estacionales resultan para las capas D, E, y F1 en un mayor ángulo respecto del sol. Por ello la densidad de ionización es mayor para estas capas en el verano. Por el contrario, la densidad de ionización de la capa F2 es mayor en invierno; por ello, las frecuencias de operación para la propagación en ésta, son mayores en invierno que en el verano.

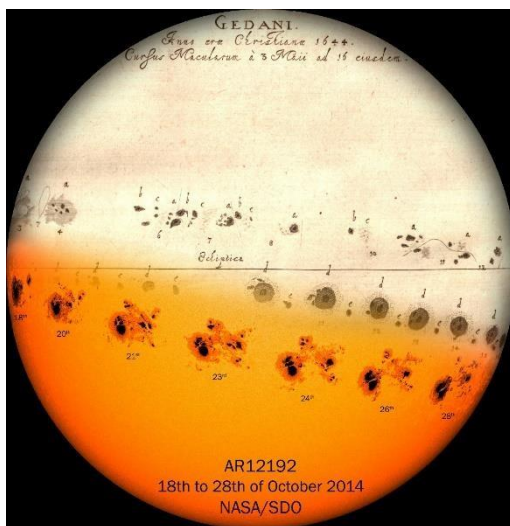
11-Años (ciclos de actividad solar)

Uno de los fenómenos más notables en la superficie solar es la aparición y desaparición de áreas oscuras y de formas irregulares conocidas como manchas solares. La naturaleza exacta de este fenómeno no es conocida, pero científicos establecen que son causadas por violentas erupciones en el sol y caracterizadas por inusualmente fuertes campos magnéticos. Este fenómeno solar es responsable de la variación en los niveles de densidad de ionización. Las manchas solares ocurren inesperadamente y su duración es variable; sin embargo, se han observado ciclos de actividad, ocurriendo aproximadamente cada once (11) años, llamándose las tormentas solares o geomagnéticas.



Durante los periodos de máxima actividad de las manchas solares, la densidad de ionización de todas las capas se incrementa. Por ello, la absorción en la capa D aumenta y la frecuencia crítica para las capas E, F1 y F2 son mayores. Al mismo tiempo, frecuencias mayores son empleadas para comunicaciones a largas distancias.

27-Días (ciclo de manchas solares)



El número de manchas solares en existencia simultáneamente está continuamente sujeto a cambios, algunas desaparecen mientras surgen nuevas. Mientras el sol rota sobre su propio eje axial, las manchas solares son visibles por intervalos de 27 días, tiempo que aproximadamente le demanda al sol para completar una rotación, ya que algunos estudios afirman que el tiempo puede variar entre 26 y 30 días.

Los ciclos de manchas solares de 27 días causan variaciones en la densidad de ionización de las capas diariamente como mínimo. La variación en la capa F2 es mayor que en las restantes, por esta razón la predicción precisa de la frecuencia crítica diariamente no es posible.

Variaciones irregulares

Las variaciones irregulares en las condiciones de la ionósfera saben tener un importante efecto en la propagación de las ondas radioeléctricas. Por ser estas variaciones, irregulares y consecuentemente impredecibles, pueden afectar drásticamente las

capacidades de comunicación sin ningún tipo de alarma o preaviso. Las más comunes son: capa esporádica E, tormentas ionosféricas y disturbios ionosféricos repentinos.

Capa esporádica E

Manchas irregulares similares a nubes de inusual alta ionización, denominada capa esporádica E, se forman frecuentemente a alturas próximas a la capa E normal. Las causas exactas de este fenómeno no son bien conocidas, ni tampoco puede ser prevista su ocurrencia. Se conoce que varía significativamente con la latitud. En las latitudes extremas aparecen muy relacionadas a las auroras boreales.

La frecuencia crítica de la capa esporádica E es muy alta y puede ser mayor que el doble de la frecuencia crítica de las capas ionosféricas normales permitiendo la transmisión de señales a largas distancias con frecuencias inusuales para tal efecto. Esto también puede permitir comunicaciones entre sitios ubicados en zonas de salto a muy corta distancia entre sí.

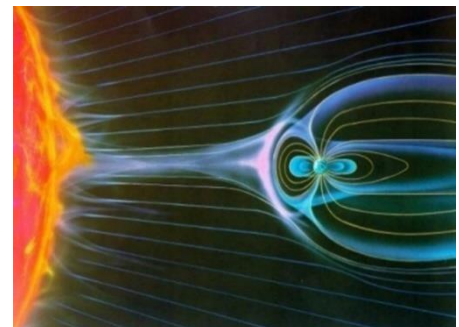
La capa esporádica E puede formarse o desaparecer en un corto período ya sea durante el día o la noche. Esto no ocurre, usualmente, en forma simultánea en la estación receptora y la transmisora.

Disturbios ionosféricos repentinos (Sudden Ionospheric Disturbances - SID).

Es la más extraña de las irregularidades ionosféricas conocidas. Estos disturbios pueden ocurrir sin aviso previo y pueden perdurar desde unos pocos minutos hasta varias horas. Cuando ocurre un SID la propagación a largas distancias en la banda de HF es casi totalmente nula y toda estación localizada totalmente o en parte, del lado iluminado de la Tierra es afectada. En casos donde un SID ha ocurrido, un estudio del sol ha revelado que se han producido erupciones solares. La erupción solar provoca un incremento inusual en la incidencia de rayos de luz ultravioleta que no alcanzan a ser absorbidos por las capas F1, F2 y E, pero sí ocasionan un repentino y anormal incremento en la densidad de ionización de la capa D. Como consecuencia de esto, las frecuencias superiores a 2 MHz son incapaces de penetrar la capa D y normalmente son absorbidas en su totalidad por dicha capa.

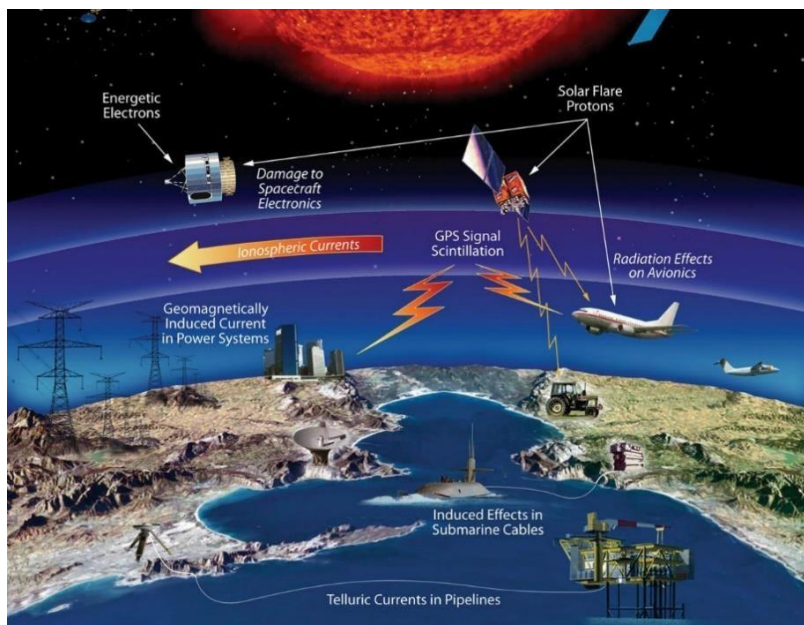
Tormentas ionosféricas.

Son normalmente causadas por disturbios de los campos magnéticos terrestres. Estarían asociadas con las erupciones solares y el ciclo de manchas solares de 27-Días. Ocurren usualmente con posterioridad a las 18 horas de producidas las erupciones solares o los SID, existe una tendencia a la repetición en intervalos de 27 días en coincidencia con el periodo que le demanda una rotación del sol.



Los científicos especulan que las tormentas ionosféricas son consecuencia de la radiación de partículas provenientes del sol luego de una erupción solar. Estas partículas tendrían una menor velocidad que los rayos de luz UV lo que justificaría el intervalo de diferencia entre la ocurrencia de un SID y la tormenta Ionosférica.

También son asociadas, las tormentas ionosféricas, con la actividad de las manchas solares, esta ocurriría desde dos días antes de que la mancha solar alcance el meridiano central del sol hasta cuatro días con posterioridad a haberlo cruzado. Sin embargo, han ocurrido tormentas ionosféricas sin que se produjera la actividad mencionada y también ha existido actividad de manchas solares sin que se produjeran tormentas. En síntesis, no existen reglas o normas respecto de este fenómeno.



https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html

El efecto más importante de las tormentas ionosféricas son las turbulencias en la ionósfera y la propagación de las ondas en forma errática. Las frecuencias críticas son más bajas que lo normal, particularmente para la capa F2. Estas tormentas afectan en un principio la parte superior de la capa F2 disminuyendo la densidad de ionización.

Las capas más bajas no son considerablemente afectadas por las tormentas a menos que esta sea demasiado grande.

El efecto práctico de este fenómeno es que el rango de frecuencias que puede ser empleado para un dado enlace es mucho menor a lo normal y las comunicaciones son posibles trabajando en frecuencias menores.

Consideraciones para la selección de frecuencias

VLF LF MF HF VHF UHF SHF EHF

La selección de una frecuencia de operación es de primordial importancia para el mantenimiento de comunicaciones confiables.

Para una comunicación exitosa entre dos sitios para cualquier momento del día, hay una Frecuencia Máxima (MUF), una Frecuencia Mínima (LUF) y una Frecuencia Optima (FOT), existiendo distintas tablas disponibles para la posición terrestre, el día y la hora a que se debe establecer la comunicación, a continuación, veremos un ejemplo de ello, pero en determinadas circunstancias podremos apreciar tablas mucho más complejas.

| VERANO | | | | | |
|------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|------------|
| | NOCHE | | DIA | | |
| DISTANCIAS | CORTAS | LARGAS | AMANECER CORTAS | MEDIODÍA CORTAS | LARGAS |
| FRECUENCIA | 3 a 4 Mhz | 5 a 6 Mhz | 5 a 6 Mhz | 10 o superior | 6 a 10 Mhz |

| INVIERNO | | | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | NOCHE | | DIA | |
| DISTANCIAS | CORTAS | LARGAS | CORTAS | LARGAS |
| FRECUENCIA | 2 a 3 Mhz | 3 a 5 Mhz | 3 a 4 Mhz | 5 a 6 Mhz |

Ante irradiación solar importante o para largas distancias = frecuencias altas.

Ante irradiación solar reducida o para distancias cortas = frecuencias bajas.

Características de cada gama de frecuencia

Comprendiendo la forma de propagación de las frecuencias podemos llegar a optimizar el uso de este medio que más de una vez nos auxiliará tanto en las comunicaciones, navegaciones y hasta en la supervivencia. A continuación, veremos un breve detalle con las características de cada una de las frecuencias.

VLF (muy baja frecuencia):

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ESTÁTICAS | ANTENAS | USO |
|---------------------------|------------------------|-------------|-------------|---|
| Onda terrestre y espacial | 4000 NM onda terrestre | Muy fuertes | Muy grandes | Sistema de navegación omega-comunicaciones a larga distancia. |

LF (baja frecuencia):

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ESTÁTICAS | ANTENAS | USO |
|--|-------------------------|---|----------|---|
| Onda terrestre de día. Onda terrestre y espacial de noche. | 1500 NM onda terrestre. | Inferiores a las de VLF, pero aún molestas. | Grandes. | Radiofaros NDB, localización por radio y Loran. |

MF (media frecuencia):

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ESTÁTICAS | ANTENAS | USO |
|--|--------------|-----------------------|-----------------|--|
| Onda terrestre de día. Onda terrestre y espacial de noche. | 300 a 500 MN | Presentes y molestas. | Todavía grandes | NDB, radiodifusión (broadcasting), LORAN, radiolocalización. |

HF (alta frecuencia):

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ESTÁTICAS | ANTENAS | USO |
|---|--|--------------------------------|-----------------|---|
| Onda espacial de día y noche. Onda terrestre en distancias cortas. ¡Cuidado con el fenómeno de desvanecimiento de la señal! | Terrestre 100 NM onda espacial 3000 a 4000 NM | Presentes pero menos molestas. | Todavía grandes | Comunicaciones a grandes distancias especialmente por su capacidad de reflejarse en la ionósfera y a ciertas horas del día. |

VHF (Muy alta frecuencia)

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ESTÁTICAS | ANTENAS | USO |
|----------------|---------|----------------|----------|---|
| Onda espacial. | Óptico. | Despreciables. | Pequeñas | DME, ILS LOCALIZADOR, VOR, MARCADORES DEL ILS, RADIOALTÍMETRO, Comunicaciones, TACAN. |

SHF (super alta frecuencia):

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ESTÁTICAS | ANTENAS | USO |
|----------------|---------|-------------------|----------|--|
| Onda espacial. | Óptico. | No es importante. | Pequeñas | Radares de avión meteorológico, radar de vigilancia del avión, radioaltímetro. |

EHF (extremadamente alta frecuencia):

| PROPAGACIÓN | ALCANCE | ATENUACIÓN | ANTENAS | USO |
|----------------|---------|------------|---------------|--------------------------------------|
| Onda espacial. | Optico. | Grave. | Muy pequeñas. | Radar de superficie para aeropuertos |

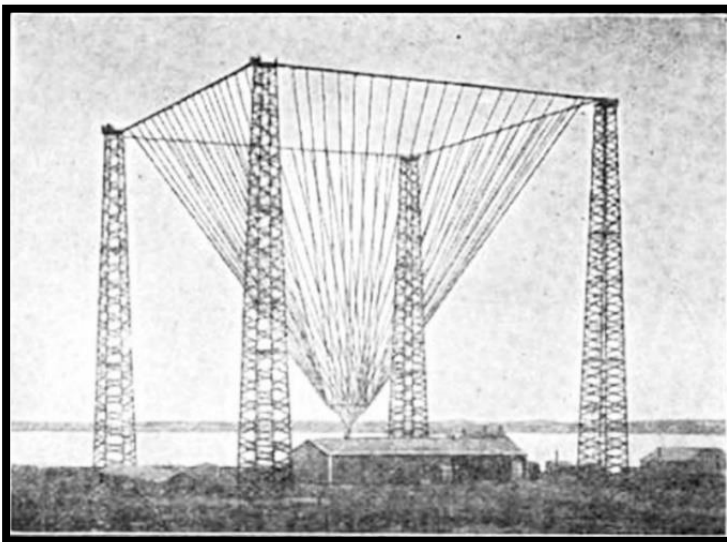


Principios de radiación de una antena.

Luego de que una señal de RF ha sido generada, se debe utilizar algún dispositivo que permita transmitir dicha energía por el espacio hasta un receptor; el dispositivo que realiza dicha tarea es la antena.

Se puede definir que una antena es un conductor o grupo de conductores, usados ya sea para radiar o para recoger energía electromagnética en o del espacio. La energía eléctrica entregada por el transmisor es convertida en energía electromagnética por la antena y radiada hacia el espacio; en el extremo receptor, la energía electromagnética es convertida en energía eléctrica por la antena, y ésta es entregada al receptor.

Telégrafo inalámbrico de Marconi donde se encontraba la estación transmisora en Poldhu, Cornwall, construida en OCT - 1901, con la cual realizó la primer transmisión transatlántica a St. John's Bay, Newfoundland el 12 - DIC-1901, a una distancia de 2300 NM

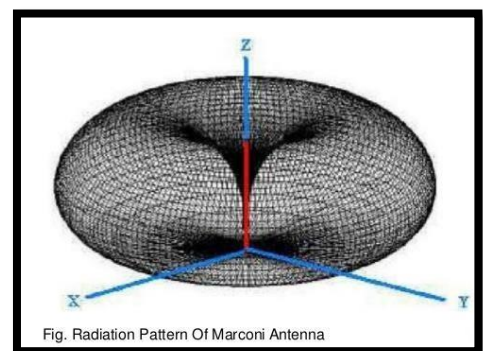


El diseño de un sistema de antenas es un aspecto muy importante en una estación transmisora. La antena debe ser capaz de radiar eficientemente la potencia entregada al transmisor, de manera tal que se desperdicie la menor cantidad posible. Para tal efecto, es necesario que tenga las dimensiones exactas, las cuales estarán determinadas por la

frecuencia de transmisión. Las dimensiones de una antena receptora no son críticas para el caso de relativamente bajas frecuencias; sin embargo, con el aumento de las mismas el diseño y la instalación se transforman en un aspecto crítico.

La antena convencional es un conductor, o conjunto de conductores que irradian o interceptan la energía electromagnética. Una antena ideal es aquella que tiene la longitud necesaria exacta, un diámetro uniforme, y está perfectamente aislada en el espacio; la realidad indica que el diseño de una antena para un sistema de comunicaciones es algo muy complejo, afectado por numerosos factores entre los cuales se destacan: la altura del radiador respecto de la Tierra, la conductividad de la Tierra debajo del mismo, y la forma y dimensiones de la antena; todos estos factores afectan el patrón de radiación en el espacio. Otro problema que se suma a los ya expuestos es el hecho necesario de lograr que el patrón de radiación de la antena se encuentre comprendido dentro de ciertos ángulos, tanto en el plano vertical como en el horizontal.

Las antenas más prácticas se dividen en dos grandes grupos, a saber: Antenas Hertz (media onda) y Antenas Marconi (cuarto de onda). Las antenas Hertz (Hz) son instaladas a alguna distancia sobre la Tierra y se pueden posicionar para irradiar, tanto verticalmente como horizontalmente. Las antenas Marconi, por su lado, actúan con un extremo en Tierra y son montadas verticalmente respecto de ésta (o de la superficie que actúe como Tierra). Las antenas Herz son usadas para frecuencias sobre los 2 Mhz y las Marconi para frecuencias por debajo de los 2 Mhz, aunque en ciertas aplicaciones pueden ser usadas con frecuencias superiores a esto.



Patrón de radiación de antena Marconi.

Un sistema completo de antenas consta de tres grandes partes:

- a. El dispositivo de acoplamiento
- b. El sistema de alimentación
- c. La antena propiamente dicha.

El dispositivo de acoplamiento (bobina de acoplamiento) conecta al transmisor con el sistema de alimentación (alimentador). El alimentador es una línea de transmisión que conduce la energía hacia la antena, y ésta irradia la energía hacia el espacio.

Los factores que determinan los distintos tipos, tamaños y formas de las antenas son:

- a. La frecuencia de operación del transmisor
- b. La potencia radiada
- c. La dirección general del receptor.

Distribución de tensión y corriente en una antena

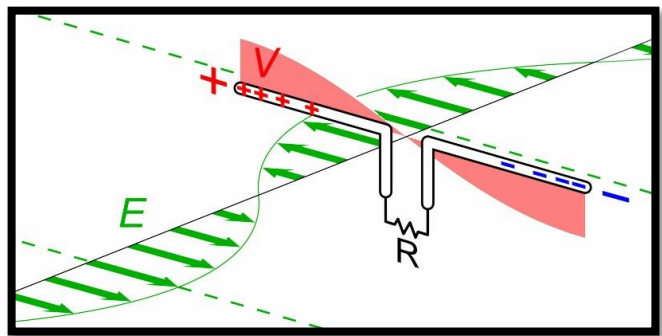
Una corriente que fluye en un alambre conductor cuya longitud está relacionada con la RF produce un campo electromagnético. Este campo es radiado por el conductor hacia el espacio libre.

- a. Los principios de radiación de campos electromagnéticos ya han sido explicados anteriormente; recordar que se basan en dos leyes:

- 1) Un campo eléctrico variable crea un campo magnético variable (H).
- 2) Un campo magnético variable crea un campo eléctrico variable (E).

- b. En el espacio, estos campos estarán en fase y serán perpendiculares uno respecto del otro para cualquier tiempo dado.

- c. En la figura se muestra la distribución de corriente y voltaje en una antena de media onda (Herz). La frecuencia del generador es tal que, cada mitad del conductor es un cuarto de su longitud de onda. El resultado es una antena muy comúnmente utilizada, denominada dipolo.



En un determinado momento, el lado derecho del generador es positivo, mientras que el lado izquierdo es negativo. Dado que las cargas de igual signo se repelen, los electrones fluirán, alejándose del terminal negativo tan lejos como sea posible, mientras que el extremo positivo los atraerá. La curva de distribución muestra que la máxima corriente fluye en el centro y es casi nula en los extremos. La distribución de corriente sobre la antena será siempre la misma, independientemente de la cantidad que fluya, sin embargo, variará para cada punto de la antena directamente con la cantidad de voltaje desarrollado por el generador.

En un determinado momento, el lado derecho del generador es positivo, mientras que el lado izquierdo es negativo. Dado que las cargas de igual signo se repelen, los electrones fluirán, alejándose del terminal negativo tan lejos como sea posible, mientras que el extremo positivo los atraerá. La curva de distribución muestra que la máxima corriente fluye en el centro y es casi nula en los extremos. La distribución de corriente sobre la antena será siempre la misma, independientemente de la cantidad que fluya, sin embargo, variará para cada punto de la antena directamente con la cantidad de voltaje desarrollado por el generador.

- d. Un cuarto de ciclo después de que los electrones hayan comenzado a fluir, el generador desarrollará su máximo voltaje, y la corriente decaerá hasta ser nula. En dicha condición, no circulará corriente, y un máximo número de electrones se encontrará en el extremo izquierdo del conductor. La distribución de cargas a lo largo del conductor variará cuando el voltaje del generador varíe.

Resumiendo lo expuesto se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- 1) Una corriente fluye en la antena con una amplitud que varía con el voltaje del generador.
- 2) Existe una distribución senoidal de cargas en la antena. Cada $\frac{1}{2}$ ciclo, las cargas invierten su polaridad.
- 3) La variación sinusoidal en magnitud de las cargas tiene un retardo respecto de la variación sinusoidal de la corriente en $\frac{1}{4}$ de ciclo.

Radiación de energía electromagnética

La radiación electromagnética de una antena está formada por dos componentes, el campo H y el campo E. Estos campos sumados forman el campo electromagnético. El total de energía radiado permanece constante en el espacio, excepto por alguna absorción de la tierra. Sin embargo, cuando la onda avanza, la energía se distribuye en áreas más grandes, por lo que, para un punto dado, la energía decrece cuando la distancia se incrementa.

Alcance

Podemos establecer que el alcance se encuentra íntimamente relacionado con la potencia de transmisión, la cual es conveniente conocerla debido a que puede ayudar a predecir el alcance de una comunicación desde tierra, se estima un alcance medio en terreno llano de un Km por vatio de salida del equipo.

Características de las antenas

Reciprocidad de las Antenas

Afortunadamente, rara vez se requiere de antenas separadas para transmitir y recibir. Cualquier antena puede transferir energía captada en el espacio hacia su receptor, y desde el transmisor hacia el espacio con la misma eficiencia (obviamente respecto de la misma frecuencia). Esta propiedad de intercambiabilidad de la misma antena para transmitir y recibir se denomina **Reciprocidad**. En general, las propiedades de una antena se aplican independientemente si la antena se usara como transmisora o receptora, si esta es muy eficiente en transmisión, también lo será en recepción para la misma frecuencia.

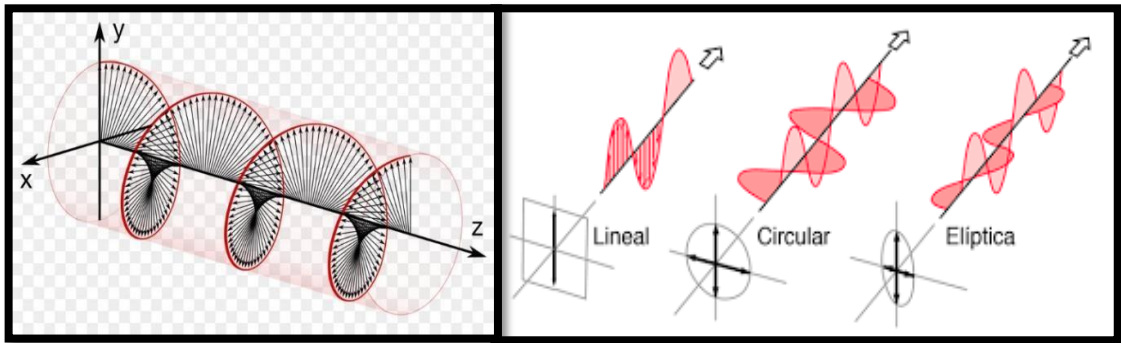
Ganancia de Antena

Algunas antenas son altamente direccionales; esto significa que, en ciertas direcciones se propaga mayor cantidad de energía que en otras. La relación que existe entre la cantidad de energía propagada en estas direcciones preferenciales, respecto la cantidad de energía que se propagaría si la antena no fuese direccional se denomina Ganancia de la Antena (normalmente dada en dB).

Polarización

El campo eléctrico determina la dirección de polarización de una onda. Una onda polarizada verticalmente es aquella cuyas líneas de fuerza eléctricas se encuentran perpendiculares respecto de la Tierra (usada siempre como referencia natural). Una onda polarizada horizontalmente es aquella que tiene su campo eléctrico paralelo a la Tierra.

Polarización circular



La polarización circular es aquella que tiene su campo eléctrico rotando 360° con cada ciclo de la energía de RF. En algunos casos, la dirección del campo eléctrico no permanece constante, rotando cuando la onda viaja por el espacio; bajo estas condiciones existen tanto la componente vertical como la componente horizontal del campo eléctrico y se dice entonces, que la onda está polarizada elípticamente (cuyo caso particular será la polarización circular que ocurre cuando las componentes horizontal y vertical poseen igual magnitud).

Requerimientos de polarización para diferentes frecuencias.

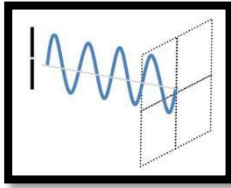
La transmisión con ondas de superficie es ampliamente utilizada en los rangos de LF y MF. Para este caso, se utiliza la polarización vertical (líneas de fuerza perpendiculares a la Tierra), permitiendo a las ondas de radio seguir a la superficie terrestre con un mínimo de atenuación. La polarización horizontal no puede ser usada para estos rangos, debido a que las líneas de fuerzas son paralelas a la Tierra y a estas frecuencias, la misma se comporta como un buen conductor produciéndose entonces un cortocircuito, lo cual no le permitiría a la onda viajar demasiado lejos.

A partir de HF, con el empleo de ondas ionosféricas, puede ser utilizada tanto la polarización vertical como la polarización horizontal, debido a que la onda arribará a la antenna receptora polarizada elípticamente. Esto es causado por el trayecto oblicuo respecto de los campos magnéticos terrestres que sigue la onda hasta incidir sobre la ionósfera. Las amplitudes relativas y las diferencias de fase entre las componentes horizontal y vertical también cambiarán. Por lo tanto, la antenna receptora podrá estar orientada tanto verticalmente como horizontalmente.

No obstante, lo explicado, las antenas polarizadas horizontalmente tienen ciertas ventajas para las HF, las cuales serán explicadas más adelante.

Con frecuencias en el rango de VHF y UHF, ambas polarizaciones son satisfactorias, ya que la onda viaja directamente de la antenna transmisora a la receptora sin intervención de la ionosfera. La polarización original producida en el transmisor es mantenida constante en todo el trayecto de la onda hasta el receptor.

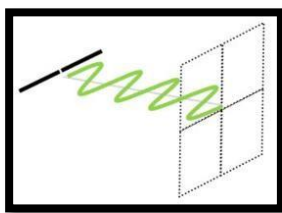
Ventajas de la Polarización Vertical



Antenas verticales muy simples pueden ser utilizadas para comunicaciones omnidireccionales. Esto es una ventaja, sobre todo cuando el enlace debe ser realizado desde un móvil.

- a. En algunas comunicaciones terrestres, tales como las comunicaciones vehiculares, la altura de las antenas no puede superar los tres metros o menos. En tales casos, y con frecuencias superiores a los 50 Mhz, la polarización vertical permite obtener mejores resultados que la horizontal. En general, puede afirmarse que desde los 50 a los 100 Mhz, la polarización vertical posee ciertas ventajas sobre la horizontal con antenas a la misma altura. Por sobre frecuencias superiores a los 100 Mhz, la diferencia entre las polarizaciones es despreciable.
- b. Para comunicaciones sobre superficies de agua, la polarización vertical es mucho mejor que la horizontal para las antenas de baja altura. Cuando la frecuencia se incrementa, la altura mínima de la antena disminuye. En los 30 Mhz, la polarización vertical será más conveniente para una antena que tenga una altura menor a los 90 metros; en los 85 Mhz, la altura de la antena deberá estar por debajo de los 15 metros; y así continuando, cuanto más alta las frecuencias, más bajas las alturas respectivas. Por lo tanto, para un mástil normalizado de 12 metros de altura la frecuencia de operación deberá estar por debajo de los 100 Mhz para que la polarización vertical sea más ventajosa que la horizontal.
- c. La radiación es de alguna manera menos afectada por las reflexiones provenientes de un aeroplano volando exactamente sobre el trayecto de la transmisión cuando se utiliza polarización vertical. Si se usase polarización horizontal, tales reflexiones provocarían variaciones en la intensidad de la señal recibida. Este aspecto adquiere importancia en localidades donde el tráfico aéreo es denso.
- d. El uso de polarización vertical reduce la cantidad de interferencia en la propia señal que provocan las fuertes señales de estaciones emisoras de VHF y UHF (Televisión y Radioemisoras Comerciales de FM), debido a que éstas utilizan generalmente polarización horizontal.

Ventajas de la Polarización Horizontal

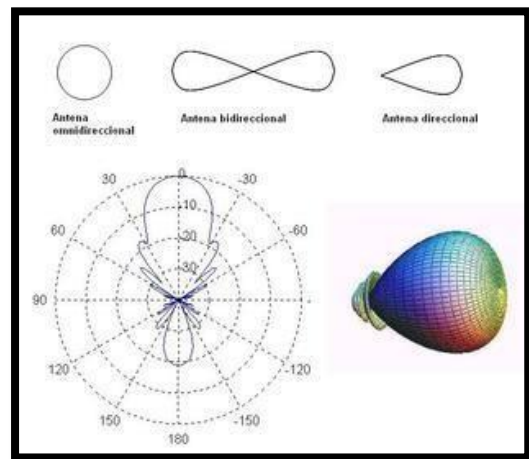


Una antena polarizada horizontalmente se dice que es bidireccional. Esta característica se aprovecha para minimizar la interferencia proveniente de determinada dirección. Asimismo, las antenas horizontales son menos susceptibles a la interferencia de radiaciones provocadas por el hombre (motores, arrancadores, etc.) las cuales están en general polarizadas verticalmente.

- a. Cuando las antenas deben ser colocadas en áreas cercanas a bosques espesos o con gran cantidad de edificios, se prefiere la polarización horizontal, ya que ésta provocará que las pérdidas en la intensidad de las señales sean menores, sobre todo en frecuencias superiores a los 100 Mhz. Pequeños cambios en la ubicación de la antena no provocarán grandes variaciones en la intensidad de campo de las antenas polarizadas horizontalmente; en cambio, si ésta fuese vertical, un pequeño cambio de algunos metros en la ubicación afectaría en forma considerable la intensidad de la señal recibida.
- b. Las líneas de transmisión, que generalmente se colocan en forma vertical, son menos afectadas en una antena montada horizontalmente. De esta manera, la línea está resguardada del campo directo proveniente de la antena. Consecuentemente, tanto el patrón de radiación como las características eléctricas de la antena son prácticamente inalteradas por la presencia de la línea de transmisión vertical.

Diagramas y tipos de radiación

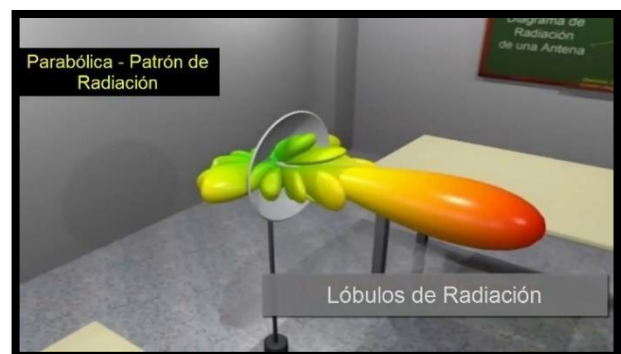
La energía radiada por una antena forma un campo que tiene un patrón definido de radiación, es decir una forma o disposición de la energía colocada en el espacio por la antena. Este patrón se representa con una gráfica que surge de tomar los valores del campo a ángulos diferentes a una misma distancia respecto de la antena. La forma que tomará dicho diagrama es particular de cada tipo de antena.



Algunas antenas irradian energía con la misma intensidad en todas direcciones; a este tipo de fuentes de radiación se las denomina isotrópicas. El ejemplo que nos presenta la naturaleza para este tipo de fuente es el sol. Para obtener un diagrama de radiación de una fuente isotrópica se toman mediciones alrededor del mismo a una distancia fija y en diferentes puntos.

La mayoría de los radiadores o emisores irradian su energía con mayor potencia en una dirección respecto de otras, es decir, tienen una dirección preferencial; a estos emisores se los denomina anisotrópicos.

La radiación desde una fuente de luz y radiación de una antena, se hacen en forma de ondas electromagnéticas. La medida de radiación de una antena, por lo tanto,



sigue el mismo procedimiento básico como el ya descrito para la luz del sol y la linterna. Esta medición puede ser graficada para obtener un modelo de radiación para la antena.

Antenas cargadas

Frecuentemente, se requiere el uso de una sola antena en sistemas que utilizan varias frecuencias. Dado que la antena debe estar siempre en resonancia con la frecuencia de operación, la antena deberá ser alargada o acortada, ya sea físicamente o eléctricamente, para satisfacer las distintas frecuencias. Evidentemente, la solución de variar la longitud de la antena físicamente no es muy práctica.

Para lograr el mismo resultado que el alargamiento o acortamiento físico de la antena se la puede modificar eléctricamente. Para hacerlo, se debe insertar ya sea un capacitor o un inductor en serie con la antena, este procedimiento es conocido como cargar la antena. Si la antena es demasiado corta para la longitud de onda que está siendo usada, esta resonará a una frecuencia mayor que aquella a la cual está siendo excitada. Por lo tanto, esta ofrece una reactancia capacitiva a la excitación de la frecuencia. Esta reactancia capacitiva puede ser compensada con el agregado de una carga de reactancia inductiva. En forma similar, si la antena es demasiado larga para la frecuencia de transmisión, ésta ofrece una reactancia inductiva que también podrá ser compensada con la carga de una reactancia capacitiva.

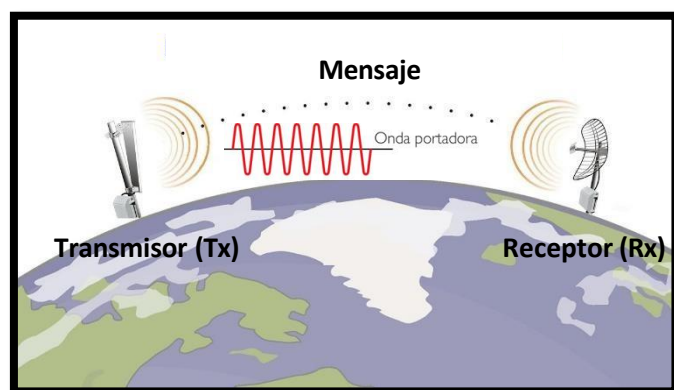
Fundamentos de la transmisión

Ahora, una vez vistos los conceptos anteriormente explicados, es momento de concentrarnos en la necesidad primaria que poseen estos sistemas. El envío de la información.

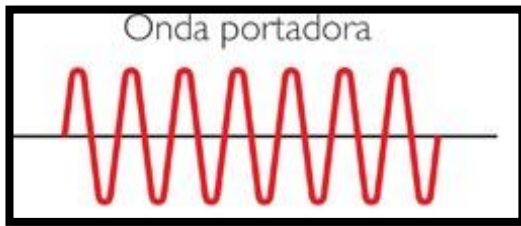
Mensaje

Es la información que deseamos enviar o recibir, ya sea como una señal audible como datos, la cual viaja desde el transmisor hasta el receptor.

La radio frecuencia sin modular: es lo que comúnmente llamamos portadora.



Onda portadora

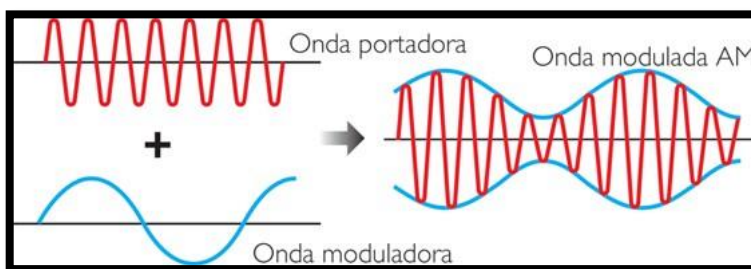


Una onda portadora es una onda, generalmente senoidal, modificada en alguno de sus parámetros (amplitud, frecuencia o fase) por una señal de entrada denominada moduladora con el fin de transmitir información.

La modulación es el proceso de codificar información de un mensaje de forma apropiada para transmitirla. Esta se puede realizar en la Amplitud, Fase o frecuencia de una señal portadora. Por otro lado, la demodulación es la operación inversa, en la cual se extrae el mensaje.

El objetivo de un esquema de modulación es transportar la señal/mensaje a través del canal con la mayor calidad, ocupando el menor espectro de RF posible.

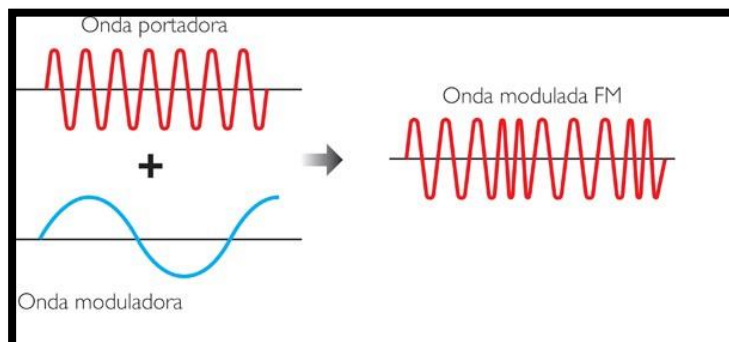
Modulación de la amplitud (AM)



La modulación en Amplitud o AM en general ocupa menos ancho de banda que los sistemas FM. El ancho de banda de la señal modulada es el de la señal moduladora. La modulación es sensible a

cambios en la amplitud de la señal: el ruido atmosférico o cualquier ruido impulsivo causa rápidas fluctuaciones en la amplitud y hay fluctuaciones en los niveles de señal recibidos debido a desvanecimientos rápidos en el canal.

Modulación de la frecuencia (FM)

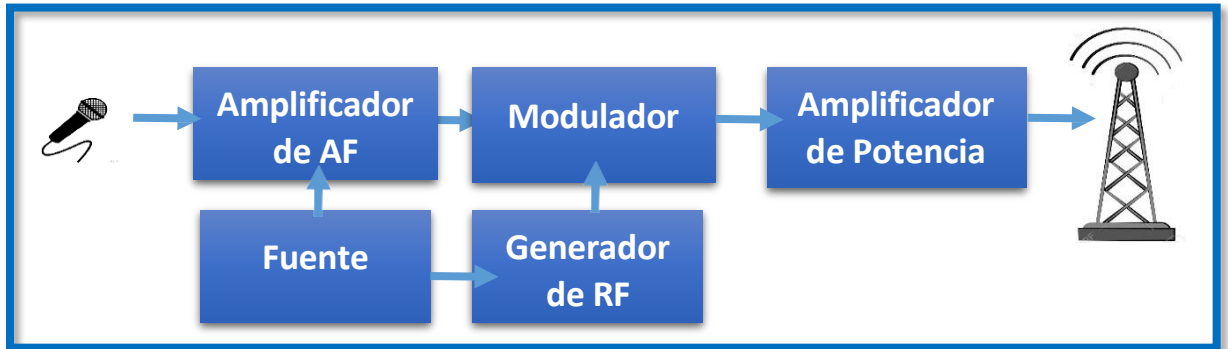


La modulación en frecuencia (FM) ocupa un mayor ancho de banda de que el de AM, además las interferencias atmosféricas o la estática pueden removerse de la señal de FM por lo que se obtiene una mayor fidelidad en la transmisión.

En este caso la amplitud de la onda modulada se mantiene constante, mientras lo que varía es la frecuencia. Es decir, la información se encuentra contenida en la frecuencia.

Principio de funcionamiento del transmisor

Mediante el siguiente esquema podremos apreciar el principio básico de funcionamiento de un sistema transmisor:



Amplificador de potencia:

Toma la señal modulada y la amplifica antes de enviarla a la antena.

Modulador

Modula la portadora o sea le imprime la información que trae la modulante.

Amplificador de A.F.:

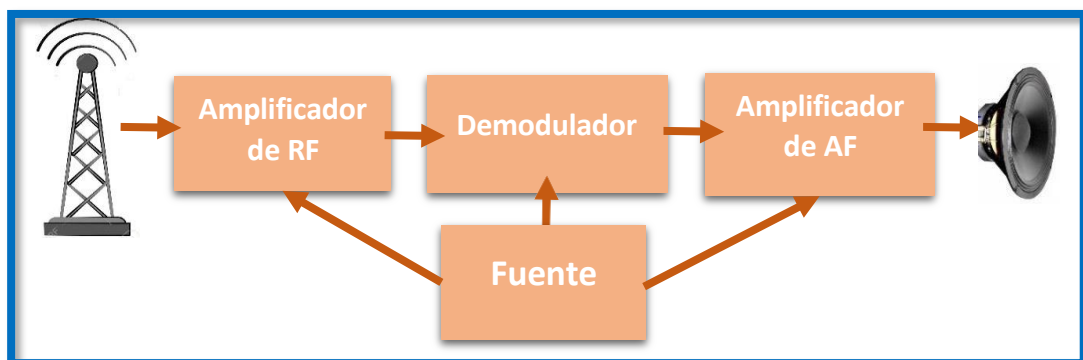
Amplifica y acondiciona la señal modulante para modular a la portadora.

Fuente:

Da energía a todo el sistema.

Principio de funcionamiento del receptor

Mediante el siguiente esquema podremos apreciar el principio básico de funcionamiento de un sistema receptor:



Amplificador de entrada o de RF:

Es la primera etapa luego de la antena, acondiciona la señal que llega débil al receptor para poder extraerle la información.

Demodulador:

Obtiene la información de la señal entrante.

Amplificador de AF.:

Amplifica la señal de audio obtenida por el demodulador para sacarla por los parlantes o auriculares.

Fuente:

Da energía a todo el sistema.



Para finalizar, a continuación, veremos una breve reseña de las características de algunos equipos, en primer lugar, aquellos con son de uso cotidiano, a través de una tabla general y, en segundo lugar, a través de tablas específicas de posible uso aeronáutico:

| Bandas de Frecuencias | | | | | | | |
|--|--------------------|----------------------------|---|---|---|---|-------------------------|
| | | | | | | | |
| VLF | LF | MF | HF | VHF | UHF | SHF | EHF |
| MUY BAJA FRECUENCIA | BAJA FRECUENCIA | MEDIA FRECUENCIA | ALTA FRECUENCIA | MUY ALTA FRECUENCIA | ULTRA ALTA FRECUENCIA | SÚPER ALTA FRECUENCIA | EXTREMA ALTA FRECUENCIA |
| 3 - 30 | 30 - 300 | 300 - 3000 | 3 - 30 | 30 - 300 | 300 - 3000 | 3 - 30 | 30 - 300 |
| KHz | | | MHz | | | GHz | |
| Servicios Típicos | | | | | | | |
| Radionavegación Servicio Móvil Marítimo | Frecuencias Patrón | Radiodifusión Sonora en AM | Telefonía Fija y Móvil Radioaficionados Radiodifusión en Onda Corta | Telefonía Fija y Móvil Radioaficionados Radiodifusión Sonora en FM Televisión Abierta Radionavegación | Telefonía Fija y Móvil Televisión Abierta Radiolocalización | Telefonía Fija y Móvil Radiodifusión por Satélite Radionavegación | Telefonía Fija |

Comunicaciones en VHF-AM

| USO | PROPAGACIÓN | POTENCIA DE SALIDA | RANGO DE FRECUENCIA | ALCANCE |
|-------------|--|--------------------|--|---|
| Aeronáutico | Onda directa (depende altura de vuelo, de la torre y de la potencia de tx.) | 20 W normalmente. | 118,00 a 135,95 Mhz Separación 50 Khz Ejemplo: 118,05 / 118,10 | 200 mn a 27.000 ft Limitación: su alcance se encuentra limitado a la línea |

| | | | | |
|--|--|--|--|---|
| | | | | visual entre el transmisor y el receptor. |
|--|--|--|--|---|

Cabe aclarar, para no generar confusiones debido a su uso cotidiano, que las Radios Aeronáuticas trabajan en la banda de frecuencias VHF en tanto, la banda de los vehículos trabaja en HF y MF.

Comunicaciones en VHF-FM

| USO | PROPAGACIÓN | POTENCIA DE SALIDA | RANGO DE FRECUENCIA | ALCANCE |
|---|--|--------------------|---------------------|-----------------|
| Comunicaciones terrestres. (Policia, Taxi, personal de superficie) | Onda directa (depende de los obstáculos y de la potencia de Tx) | Según el equipo | 30 a 79 Mhz | Según el equipo |

Comunicaciones en UHF (De uso Militar Generalmente).

Comunicación entre aeronaves en vuelo y en determinadas circunstancias, control con tierra. Frecuencia que no tiene ruido y es muy clara, pero necesita tenerse a línea de vista.

Comunicaciones en HF

| USO | PROPAGACIÓN | POTENCIA DE SALIDA | RANGO DE FRECUENCIA | ALCANCE |
|----------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------|--|
| Comunicaciones a larga distancia | Onda ionosférica (gran alcance) | Según el equipo | Según el equipo | Ilimitado Limitaciones: 1. Muy perturbada por estática 2. Interferencias debido a su largo alcance y posibilidad de reflejarse en la ionósfera. 3. Existen zonas de silencio |