

CAPITULO V:

ONDAS ELECTROMAGNETICAS, ANTENAS Y PROPAGACIÓN

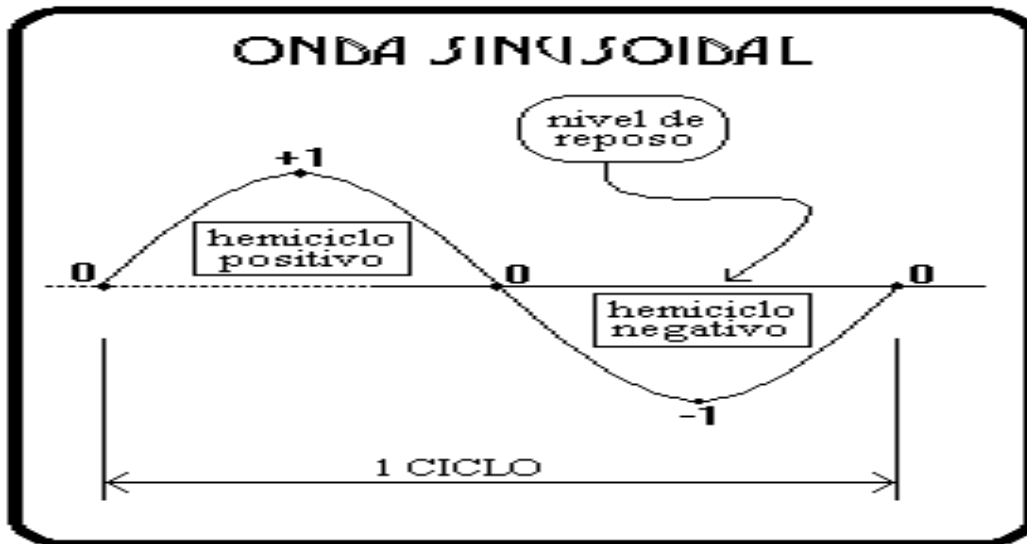
UNIDAD 1: ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS, CARACTERÍSTICAS.

Desde el punto de vista energético, las ondas de radio que emite la antena de una estación transmisora, resultan de la composición de dos tipos de energía: uno de características eléctricas y otro de composición substancialmente magnética. Como resultado de la combinación de ambas, se obtiene lo que se denomina comúnmente **campo electromagnético**, el cual está constituido por todo el conjunto de **ondas electromagnéticas**.

Cuando arrojamamos una piedra a una pileta de agua, el impacto de aquélla sobre la superficie del líquido, genera olas concéntricas que se van alejando del centro y disminuyendo en altura o amplitud. Tratemos de analizar una de éstas olas.

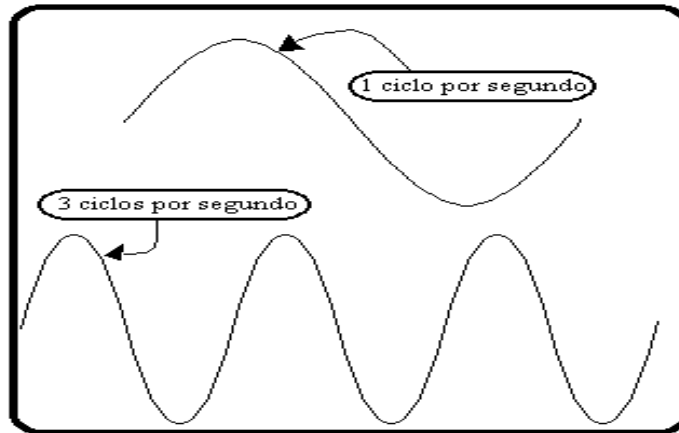
Si pudiésemos ver en cámara lenta el movimiento de la misma, comprobaríamos que tomando como referencia la posición de reposo del agua, que llamaremos 0, ésta se va elevando hasta alcanzar un nivel máximo, que llamaremos +1, a partir de cuyo punto comienza a decrecer hasta alcanzar nuevamente el valor 0. En este punto, el nivel del agua empieza ahora a bajar con respecto al de reposo, y alcanza también un punto máximo bajo el nivel, que llamaremos -1. Una vez alcanzado el punto máximo de descenso, el agua empieza nuevamente a subir y llega otra vez al punto de reposo, el nivel 0. De ahí en adelante se repite todo el proceso al paso de la siguiente ola.

Trasladando a un gráfico el mecanismo explicado, el mismo queda representado por una curva que recibe el nombre de *sinusoide*



La curva completa, es decir arrancando de 0, y pasando sucesivamente por los puntos +1 (máximo), 0, -1 (mínimo), y nuevamente 0, se denomina **ciclo**. Asimismo, si nos tomamos el trabajo de medir el tiempo en que sucedió todo este proceso, supongamos 1 segundo, diremos que la ola cumplió 1 ciclo por segundo.

Ampliando un poco más la idea, y con el objeto de referirnos posteriormente a las ondas de radio, podemos decir que la ola realizó medio ciclo positivo (cuando arrancando del punto 0 llegó al +1 y luego retornó al 0), y medio ciclo negativo (cuando desde 0 llegó al -1 y después volvió nuevamente a 0). Estos dos medios ciclos, conformaron un ciclo entero, todo lo cual se realizó en el tiempo de 1 segundo.



Con las ondas de radio pasa exactamente lo mismo. Aunque no lo podemos comprobar directamente (pero sí por medio de instrumentos), éstas tienen también un medio ciclo positivo y un medio ciclo negativo.

Si volvemos al ejemplo de la piedra arrojada sobre el agua, veíamos que las olas se alejaban o viajaban sobre la superficie. Para hablar con más propiedad, diremos que las olas se **propagaban** sobre la superficie del agua a una determinada velocidad. Con las ondas de radio ocurre algo similar. Estas también se propagan, pero esta propagación se realiza por el aire, o por el espacio, o por el **éter**, a una velocidad igual a la velocidad de la luz, o sea a 300.000 Km. por segundo.

Volvamos nuevamente al ejemplo de la piedra. Cuando tomamos el tiempo en que se completaba un ciclo, comprobamos que éste se realizaba en 1 segundo. Dicho en términos técnicos, tenía una **frecuencia** de 1 ciclo por segundo. Todos hemos oído hablar que la corriente que usamos en nuestros hogares tiene una frecuencia de 50 ciclos por segundo. Esto sencillamente significa que dicha corriente repite un ciclo completo (medio ciclo positivo, más medio ciclo negativo), 50 veces por segundo. La onda de radio se comporta de la misma forma, con la diferencia que estos ciclos tienen una frecuencia mucho mayor. Las ondas de radio se distinguen entre sí por su frecuencia o por su **longitud de onda**. La longitud de un ciclo simple puede ser de muchos kilómetros de largo hasta unos pocos milímetros. Y la frecuencia representa la cantidad de ciclos que una onda de radio cumple en un segundo. Se trata de la más común descripción de una señal en radiocomunicaciones. La unidad internacional de frecuencia es el hertzio (Hz); representa un ciclo por segundo. Los múltiplos del Hz se indican mediante prefijos: Kilo por mil, Mega por un millón y Giga por mil millones. De manera que un millón de Hz (un millón de ciclos por segundo), se expresa como un megahertzio, abreviándose a 1 Mhz. El espectro radioeléctrico contiene aquellas frecuencias que son más altas que las que el oído humano es capaz de percibir. Ese espectro se considera en forma general como que se extiende entre 30 kHz y 300 GHz, pero por el momento no es utilizado en su totalidad para las radiocomunicaciones, debido a que la tecnología no ha avanzado lo suficiente para hacer uso de las microondas de frecuencias más altas; en realidad, solo se usa en forma efectiva el uno por ciento del espectro.

A las señales de longitudes de onda más largas, corresponden frecuencias menores, y a las frecuencias mayores corresponden longitudes de ondas más cortas.

El espectro de radio esta dividido en bandas que corresponden a varios grupos de frecuencias. Esas bandas pueden ser identificadas de varias maneras: por sus frecuencias, por sus longitudes de onda, por acrónimos descriptivos y por sus aplicaciones. De modo que puede uno referirse a una misma banda utilizando diferentes nombres. Existen nombres descriptivos de las porciones del espectro, y uno de los métodos tiene en cuenta la posición relativa:

FRECUENCIAS, CLASIFICACIÓN

Es común referirse a las bandas de radio por la longitudes onda, dada en metros, de alguna de sus frecuencias, como ocurren con la banda ciudadana (o banda civil) que también se la conoce como banda de once metros, o con la internacional de transmisiones en los diecinueve metros, o la de radioaficionados de diez metros.

La ITU clasifica las frecuencias de acuerdo con números asignados a las bandas: Banda 1, Banda 2, etc.

Usos de las bandas de radio

Banda	Usos principales
VLF	Comunicaciones a gran distancia
LF	Radiodifusión - radionavegación
MF y HF	Radiodifusión - radiotelefonía
VHF	Radiodifusión - televisión - radiocomunicaciones - radionavegación
UHF	Televisión - equipos móviles de radio - radionavegación - radar - radioenlace
SHF	Servicio multiplex - radioenlace - radar - comunicaciones por satélite

Las bandas se clasifican también de acuerdo con los servicios que las usan: la banda de broadcasting (emisoras comerciales en AM), las bandas de radioaficionados, las comerciales, la policial, etc.

"La radio de onda corta" fue una expresión que comenzó a usarse en la década del 20, pero que ahora carece de significado e indicaba simplemente que se trataba de longitudes de onda mayores que las que entonces se usaban; por ese entonces estaba alrededor de los 3 megahertzios, en consecuencia las ondas de alta frecuencia (HF) comenzaban allí. En la actualidad, aún las frecuencias más cortas de microondas, que llegan a los gigahertzios, tienen un gran valor en materia de comunicaciones.

DESVANECIMIENTO, CAUSAS Y EFECTOS. (FADING)

Varios son los factores que afectan la transmisión de las señales. Su intensidad se reduce cuando pasan por la lluvia o cualquier otro tipo de agente líquido que el aire contenga, como por ejemplo nubes, nieve, o escarcha. Cuanto más alta sea la frecuencia mayor será la atenuación o pérdida de señal que se produzca. Por esa razón las comunicaciones por arriba de los 10 GHz sobre largas distancias son muy difíciles.

Cuando no existe zona de silencio, o skip, a una cierta distancia de la antena llegan simultáneamente ondas superficiales y ondas espaciales. Dichas ondas, que han recorrido caminos distintos, llegan en fases que pueden ser coincidentes, diferentes, o francamente opuestas.

Como las capas reflectoras de la alta atmósfera, comparables a una masa de nubes, está constantemente cambiando de altura y de constitución, las diferencias de fases se hacen siempre variables. Por esa razón existen zonas donde el desvanecimiento es fluctuante, llegando a veces a anularse la propagación cuando las ondas llegan con la misma intensidad pero en oposición de fase.

A grandes distancias, donde las ondas superficiales no llegan debido a la gran absorción de su energía por parte de la corteza terrestre, los desvanecimientos pueden provenir también por el defasaje de las ondas, pero esta vez producido por la reflexión en diferentes capas de la alta atmósfera, en definitiva, porque las ondas recorrieron caminos de diferente longitud.

LONGITUD DE ONDA, CÁLCULOS.

Calcular la longitud de una onda es la operación matemática básica que se requiere antes de comenzar a construir cualquier antena. Se define como:

$$L = V / \text{Frec.}$$

donde:

- a) "L" es la longitud de onda en el espacio libre.
- b) "V" es la velocidad de desplazamiento de las ondas electromagnéticas en el espacio libre (se considera igual a la velocidad de la luz, o sea de 300.000 km. por segundo).
- c) "Frec" es la frecuencia para la cual se calcula.

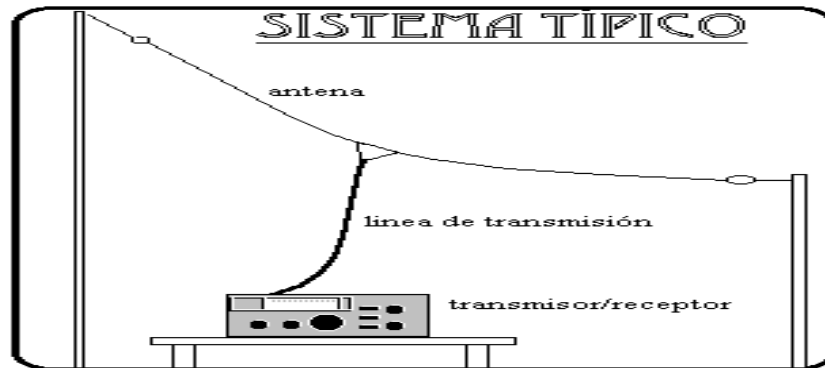
Cuando "V" se expresa en kilómetros por segundo y "Frec" en kilociclos por segundo, "L" queda dado en metros.

UNIDAD 2: ANTENAS Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Principios físicos y eléctricos

La **antena** es un dispositivo que, alimentado con energía de alta frecuencia, irradia ésta al espacio en forma de ondas electromagnéticas (antena de emisión), o que, situado en una

campo de ondas electromagnéticas, se convierte en un captador de energía de alta frecuencia (antena de recepción).



Un dispositivo llamado **línea de transmisión**, o más comúnmente **bajante de antena**, permite enlazar el emisor o el receptor con la antena. Sirve para alimentar la antena con energía de alta frecuencia producida por el emisor, o alimentar al receptor con energía de alta frecuencia captada por la antena.

En principio, no existe diferencia entre la antena de emisión y la de recepción; sólo se distinguen por su utilización.

Un **sistema de antena** comprende todos los componentes que se utilicen entre el transmisor, o receptor, y el radiador real. Por lo tanto, elementos como la propia antena, la línea de transmisión, transformadores de adaptación, transmatchs, balunes, etc., se consideran partes de un sistema de antena. En un sistema bien diseñado sólo debe radiar la antena.

Se ha comprobado que todo conductor por el que circula una corriente variable en intensidad, genera un campo electromagnético en su entorno inmediato. Y en todo conductor que se encuentra inmerso en un campo magnético variable, se induce una corriente también variable. Esto es precisamente lo que sucede con una antena: ella recibe a través de la línea de transmisión una corriente alterna de radiofrecuencia desde el transmisor que, según hemos visto, puede llegar a cambiar varios miles de veces por segundo su polaridad; esta variación en la corriente que la circula, produce una secuencia de ondas electromagnéticas que se desplazan hacia todas las direcciones del espacio a una velocidad de 300.000 km. por segundo. A la inversa, todo el espacio libre está plagado de ondas electromagnéticas de intensidad, polaridad y frecuencia variable; si colocamos en él un material conductor, al que llamamos antena, ese conjunto de ondas electromagnéticas inducirá en la misma una corriente de radiofrecuencia, que al conectarla a un receptor a través de una línea de transmisión, éste la procesará y nos permitirá *escuchar* radio.

Las antenas se construyen normalmente con materiales de buena conductividad eléctrica, tales como el aluminio, cobre, etc., pero para que su rendimiento sea el adecuado han de estar en **resonancia** con la onda recibida o transmitida según el caso, lo que significa que estarán **sintonizadas** a la misma frecuencia de la onda que se requiere trabajar. Cómo se logra esto?. Consiguiendo que una partícula cualquiera de la corriente que conduce la antena, recorra a la misma en ida y vuelta, en el mismo tiempo que demora la onda en cumplir uno o varios ciclos completos. Esto sólo es posible con antenas que tienen una extensión que es igual o múltiplo de media longitud de **onda eléctrica**

Ya hemos visto en el apartado 1.4 cómo se calcula una longitud de onda completa; obviamente la media longitud de onda se obtiene dividiendo por 2 aquella expresión. Pero nos referimos a la media longitud de onda eléctrica. En efecto, la velocidad con que se desplaza una onda electromagnética en el espacio libre, no es igual a la velocidad con que se desplaza una carga eléctrica en un medio metálico o antena, ésta última es menor que la primera. Por ello cuando hablamos de longitud de onda eléctrica, nos estamos refiriendo a la expresión matemática del apartado 1.4, pero multiplicada por un coeficiente de valor menor que 1, que se llama factor de velocidad. O sea:

$$L_e/2 = (V/Frec.) / 2 \times F_v$$

donde F_v es el **factor de velocidad**, que para el alambre de cobre vale 0,95. La distribución de corriente y tensión en una antena de media onda (o **dipolo**) es la que se muestra en la figura.

Cuando una partícula cargada alcanza el extremo del dipolo, se invierte su dirección y su fase, con lo que se obtiene un flujo de corriente alternado. Cuando la tensión es máxima, la corriente es mínima, y viceversa. Siempre que se mantenga la resonancia de la antena, el máximo de corriente se tendrá en el centro del dipolo, punto en el cual la **impedancia** será baja, del orden de los 72 ohms.

TIPOS DE ANTENAS, CARACTERÍSTICAS Y RENDIMIENTOS.

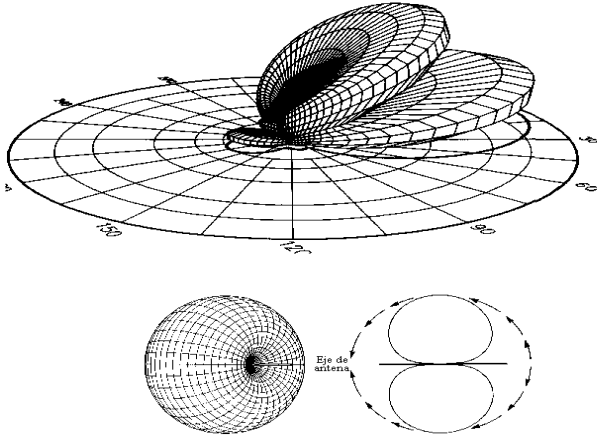
Dijimos que todo conductor está inmerso o genera un campo electromagnético, según esté en estado pasivo o excitado por una corriente de radiofrecuencia. Todo campo electromagnético tiene, como su nombre lo indica, dos componentes: campo eléctrico (E) y campo magnético (H). Por convención, ambos campos se indican como vectores. Dado que todo vector está definido por su magnitud y sentido, podremos decir que el vector E (o vector "campo eléctrico") puede ser vertical, horizontal, oblicuo o de cualquier dirección intermedia según así sea la del respectivo campo que representa.

Por otro lado, se define como **polarización** de una antena a la que posee el campo eléctrico que ella genera. En consecuencia, la polarización de una antena podrá ser vertical, horizontal, etc., según lo sea su campo eléctrico.

En términos generales, la dirección del campo eléctrico de las antenas, es la de una línea imaginaria que une los dos puntos de máxima tensión (para resonancia). En el caso de un dipolo de media onda esos puntos serían los dos extremos del irradiante. Simplificando las cosas, un irradiante horizontal tiene polarización horizontal, uno vertical la tendría asimismo vertical.

La intensidad de radiación de una antena, así como su facultad de recibir señales, no es nunca igual en todas las direcciones y en realidad, incluso hasta puede ser nula en alguna. Aunque no existe ninguna antena que transmita o reciba por igual en todas direcciones, conviene que supongamos que sí. Esta antena hipotética es la que se llama **isotrópica** y suele utilizarse como patrón para comparar las prestaciones de otras. El gráfico de radiación o recepción de una antena isotrópica sería en realidad una esfera y la antena en sí tendría que considerarse puntual. Por comparación, el gráfico de radiación de una antena de media onda es, si se toma en todas las direcciones alrededor de ella, de forma toroidal, como se indica en la figura

El gráfico en cuestión se conserva inalterable, esté la antena horizontal o vertical, siempre que se encuentre en el espacio libre, o al menos a varias longitudes de onda del suelo. Si se corta por la mitad el toroide con un plano que contenga a la antena, la sección resultante es lo que normalmente se conoce como **patrón** o **patern de radiación**, que será vertical u horizontal según que el plano con que se corte lo sea también vertical u horizontal.



El gráfico producido nos dice que la antena tiene su máxima radiación en las direcciones perpendiculares a su eje, pero radiación prácticamente nula en sentido axial.

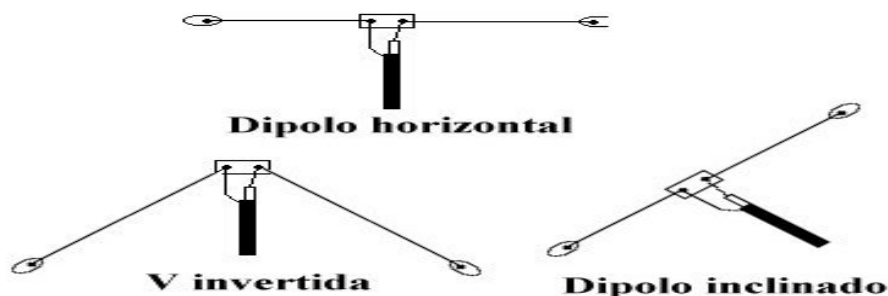
Si cortáramos el toroide con otro plano, esta vez perpendicular a la antena, obtendríamos otra figura de radiación, que nos indicaría que la antena irradia con igual intensidad en cualquier dirección perpendicular a ella. Entonces diremos que la

antena es **omnidireccional**.

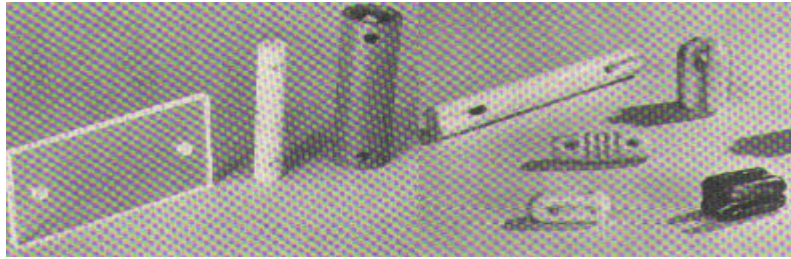
Por contraposición, a aquellas antenas que poseen mejores características de radiación o recepción en ciertas direcciones a expensas de otras, se las denomina antenas **direccionales** o **directivas**.

En resumen, la antena omnidireccional irradia en todos los sentidos excepto hacia las puntas y la antena direccional posee una dirección de mejor rendimiento.

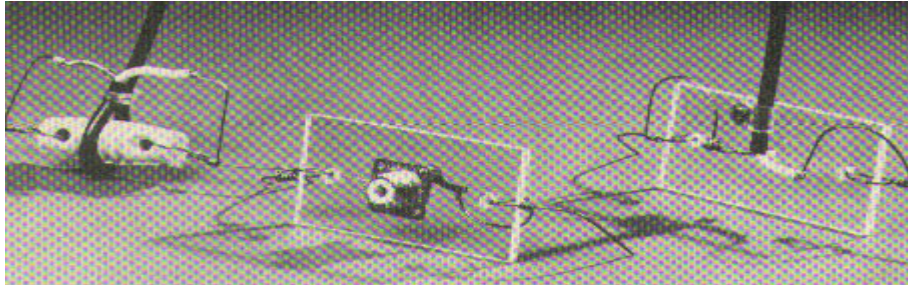
La más utilizada antena omnidireccional es el dipolo, del que hay diferentes tipos. Las variantes más conocidas son el **dipolo horizontal**, el **dipolo inclinado** y la **V invertida**. Los dipolos tienen una longitud de *media onda* y una impedancia en el centro de unos 70 Ohms.



Mientras que el dipolo normal, tiene una polarización horizontal, la antena V invertida y el dipolo inclinado o *sloper*, tienen una polarización vertical. Estos tres tipos de antenas son muy utilizados en las bandas de HF y su construcción es relativamente sencilla. A continuación algunos tipos de *aisladores* (unos de fábrica y otros caseros) que pueden ser utilizados, así como tres formas de montaje.

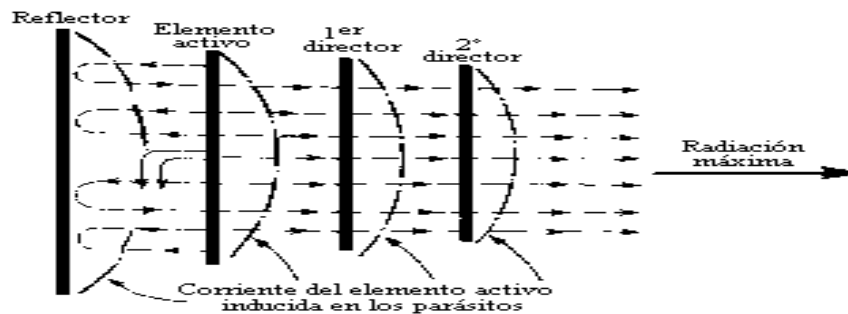


Los aisladores por lo general son fabricados de porcelana o cristal. Sin embargo, también pueden construirse con plástico y tubos de PVC



Tres montajes clásicos para antenas de alambre. A la izquierda con un aislador de fabrica. En el centro utilizando un conector coaxial hembra y a la derecha, con un rectángulo plástico y unas grampas.

En general, para conseguir directividad, a la antena omnidireccional se le agregan elementos que, según su posición respecto del **irradiante** y su frecuencia de sintonía, se denominan **reflectores o directores**.



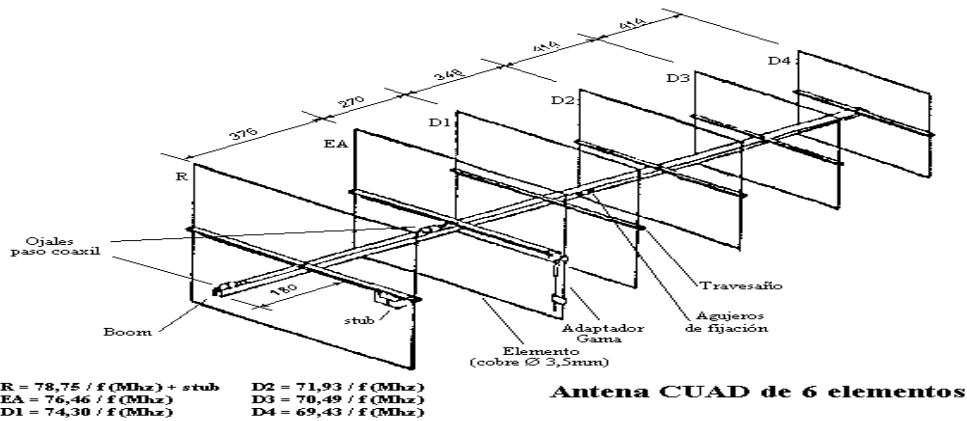
Principio de funcionamiento de un conjunto parásito

La función de estos elementos parásitos, (llamados así porque no son propiamente elementos activos o irradiantes) es la de concentrar la energía disponible, en una dirección preferencial. Uno de los conjuntos parásitos más usados es la antena "yagi", llamada así en honor a uno de sus inventores, el japonés Yagi. Estas antenas pueden contar con sólo dos elementos, o llegar a tener veinte o más en las de alta ganancia.

Podemos citar dentro de la clasificación de directivas, la antena parabólica, llamada así debido a que su reflector es una superficie conductora de directriz parabólica. En este caso, el irradiante se sitúa en el foco de la parábola.

Se trata de una antena de alta ganancia que, debido a la gran superficie requerida por el "plato" con respecto al tamaño del irradiante, sólo es usada comúnmente en las gamas de las microondas.

Otra de las antenas que se pueden contar entre las "populares", es la llamada "loop", o de lazo cerrado. Las hay de diversas formas, triangular, cuadrada, redonda, etc. Cuando el elemento activo se encuentra acompañado por algunos parásitos, se convierte en una antena digna de respeto, y completamente asequible al radioaficionado común. El ejemplo más conocido es la "cuad".



También existe una variante dentro de las tipo "cuad" que está siendo usada bastante en nuestro medio, debido al bajo costo, la alta prestación, muy buena resistencia al viento, y la ventaja de tener todos sus elementos puestos a masa: se trata de la "cuad suiza". Los fabricantes de esta antena reivindican más de 10 dB de ganancia.

Consiste en dos cuadros de forma muy particular, ambos activos pero con un 5 % de diferencia de longitud en su desarrollo, con lo cual uno de ellos se convierte en reflector y el otro en irradiante, alimentados a través de un adaptador gamma, en forma simétrica para los dos cuadros. Para medir la eficacia o **ganancia** de una antena se utiliza la unidad de medida **decibel** (dB). Decimos por ejemplo, que una antena que tiene 12 dB de ganancia, es más rendidora que otra que presenta 10 dB. El patrón de comparación es la antena isotrópica, la que se considera tiene 0 dB de ganancia pues irradia en todas direcciones; a veces se toma también como patrón de comparación a la antena dipolo, que tiene 1,64 dB con respecto a la isotrópica. Esto significa que si poseemos una antena que tiene 6 dB de ganancia con respecto al dipolo, presentará 7,64 dB de ganancia respecto de la antena isotrópica. Siempre resulta recomendable que cuando se indica un valor de ganancia, se aclare con respecto a cual de las dos referencias.

Aumentar la ganancia de un sistema de antena, equivale, para una determinada dirección, a multiplicar la potencia del equipo transmisor o aumentar la sensibilidad del receptor. Con el objeto de aumentar la ganancia de un sistema de antena, suele recurrirse a instalar dos o más de ellas en fase.

Es lo que comúnmente se denomina **array** o arreglo de antenas simples. Consiste en colocar varias antenas simples superpuestas o apareadas lateralmente. Mediante este procedimiento se llegan a ganancias muy elevadas, como las necesarias para las comunicaciones por rebote lunar (EME).

CALCULO Y CONSTRUCCIÓN DE ANTENAS.

Como se dijo en el apartado 1.4, todo proyecto de antena comienza con el cálculo de la longitud de onda para la frecuencia de diseño. Posteriormente, las operaciones matemáticas pueden ser tan complicadas y extensas como sea el grado de aproximación que se pretenda o el sistema de antena que se proyecte construir. De manera general diremos que cuanto menos tiempo dediquemos al cálculo, mayor será el que empleemos en experimentación y ajustes. Dado el nivel de conocimientos que se quiere dar al presente curso sólo indicaremos las operaciones básicas, las que, no obstante, permitirán al novicio encarar cualquiera de los diseños de antenas más comunes. Además, muchos de los distintos tipos de antenas que hemos descrito en el apartado anterior, ya fueron profusamente experimentados, por lo cual sus características geométricas, que están al alcance del radioaficionado común, sufrirán poca variación según el emplazamiento en que se las coloque.

Algunas observaciones antes de entrar a los números. En materia de antenas, todo cálculo, por más que sea muy exacto, necesita de la verificación práctica posterior. Esto significa que la antena puede estar muy bien calculada, pero una vez colocada en su emplazamiento definitivo, puede llegar a presentar un comportamiento diferente al que previamente se suponía; siempre será necesario ajustarla, y en lo posible, en la posición en que definitivamente prestará funciones. Esto es así porque toda antena es muy sensible a las condiciones del entorno inmediato, por ejemplo cercanía de un techo de chapa, paralelismo con cualquier objeto metálico, poca altura desde la superficie del terreno natural o desde el techo, edificios próximos, árboles, etc. En general, es aconsejable evitar cualquiera de las circunstancias descritas. Cabe destacar también que las antenas tipo loop son menos sensibles al entorno que las de otro tipo.

Como ya se dijo, lo primero a calcular es la longitud de onda para la frecuencia a la que funcionará la antena.

$$L = 300.000 / \text{Frecuencia.}$$

Para obtener la longitud de onda eléctrica, se debe multiplicar el valor L por el **factor de velocidad**. Si el material con el que se construirá el irradiante es cobre, el factor de velocidad es igual a 0,95:

$$L_e = 0,95 \times L$$

Suponiendo que lo que queremos construir es un dipolo de media onda, debemos dividir el valor obtenido L_e por 2:

$$\text{Longitud del dipolo} = L_e/2$$

Si lo que se desea es una antena vertical de un cuarto de onda (Ground Plane o Marconi), corresponderá dividir L_e por 4 (esta es la longitud del látigo; se debe tener en cuenta que lleva plano de tierra).

Longitud del 1/4 de onda = $L_e/4$

En caso de tratarse de una direccional tipo yagi, el cálculo de la longitud del irradiante es el mismo que el del dipolo, porque en definitiva aquel no es otra cosa que un dipolo. En cuanto a los elementos parásitos, el reflector es generalmente un 5 % más largo, y los directores el mismo porcentaje pero más corto el primer director con respecto al irradiante, similarmente el segundo director con respecto al primero, y así sucesivamente (éstos valores son tentativos, deben ajustarse para la mejor ganancia).

Como se aprecia en el dibujo, la separación entre los distintos elementos de la yagi, y en general de cualquier antena direccional, tienen íntima relación con la longitud de onda, en este caso no la de la onda eléctrica sino la de la onda en el espacio libre (también aquí los valores definitivos se ajustarán para la mejor ganancia). El cálculo de la longitud de un dipolo plegado tampoco varía con respecto al de un dipolo simple o abierto, que es como se explicó. Cuanto más larga sea la antena, mejor será su rendimiento, pero deberá tenerse en cuenta que para que el mencionado rendimiento no se pierda por otro lado, la longitud de la misma convendrá que sea de un valor múltiplo de media longitud de onda eléctrica, es decir, de dos o tres o más semilongitudes de onda eléctrica, y que dichos tramos de media onda estén en fase. Por supuesto que el tamaño definitivo tiene que ver con las limitaciones de espacio, la resistencia estructural del material o los inconvenientes técnicos en alimentarla. Salvo algunos casos de antenas de alambre, en general la mejora en la ganancia no justifica los inconvenientes a sortear.

LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, TIPOS, CARACTERÍSTICAS.

Se denomina **línea de transmisión** al conjunto de dos conductores encargado de transportar la energía desde el transmisor a la antena, o desde la antena al receptor.

Este es un concepto general ya que hay algunos tipos de antenas que son alimentadas por un único hilo, por ejemplo la antena "window" o también llamada "14%".

La condición fundamental que debe reunir toda línea de alimentación, es la de mínima pérdida. Este es un factor decisivo a la hora de elegir una determinada calidad de **coaxial**, cuando se opta por construir una línea de ese tipo.

Otro parámetro importante es la **impedancia característica** de la línea. En efecto, comercialmente las hay de valores muy variados: coaxiales de 50 ohms, de 75, de 150, de 300, etc.

Existe otra clase de línea de transmisión: la de **hilos paralelos**. Esta consiste de dos conductores de igual diámetro con una separación constante entre ellos. Generalmente se usa este tipo de línea, cuando se necesitan altos valores de impedancia que no son ofrecidos por los coaxiales comerciales. Aquí la impedancia se elige a voluntad, y ella depende fundamentalmente del diámetro de los conductores y de la separación entre ellos. O sea que dado un determinado valor de impedancia, siempre resultará posible seleccionar los diámetros y la separación adecuada a los efectos de conseguir el valor de impedancia proyectado. Este tipo de línea también se produce comercialmente, y es la que comunmente se usa como "bajante de antena" de TV.

Volviendo sobre los coaxiales, que es el tipo de línea más usado debido a su facilidad de instalación, diremos que consiste en un conductor central o "vivo", y rodeándolo, una malla de cobre que oficia de blindaje; entre ambos, un material aislante que los separa, por lo común se trata de plástico muy flexible; por último, y exteriormente, el conjunto se encuentra protegido por un tramo de tubo de PVC que garantiza su inalterabilidad a los rigores de la intemperie.

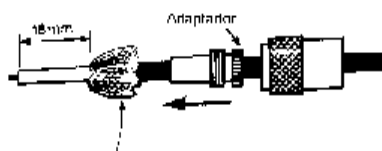
Se ofrece comercialmente en diferentes calidades, las que dependen de los materiales empleados en su construcción y la clase de manufactura. Cuanto mayor espesor tenga el dieléctrico interpuesto entre "vivo" y malla, mayor será la potencia que el coaxial es capaz de conducir a la antena sin riesgos serios de cortocircuito o pérdidas inaceptables.

IMPEDANCIA, DEFINICIÓN Y EFECTOS.

En anteriores capítulos se explicó en qué consisten los capacitores (o condensadores), los resistores (o resistencias), y los inductores (o bobinas), y cuáles son los efectos que, separadamente, producen cada uno de éstos elementos en un circuito electrónico. Cuando tales efectos se combinan entre sí, el resultado se denomina **impedancia**. Cuando hablamos de líneas de transmisión, en el anterior apartado, mencionamos que se



Twin Lead



Coaxial

caracterizan por sus valores de impedancia. En general en todo circuito electrónico se encuentra presente algún valor de impedancia.

Para que haya una correcta transmisión de energía entre diferentes etapas de un circuito, las impedancias que presentan las mismas en sus puntos de interconexión deben ser iguales. Es decir que si queremos conectar el circuito A al circuito B, el circuito A debe tener, en su punto de conexión con el circuito B, la misma impedancia que el circuito B en su punto de conexión con el circuito A. Este concepto también es de

aplicación en los sistemas de antena, como veremos a continuación.

RELACIÓN DE ONDAS ESTACIONARIAS, MEDICIÓN, AJUSTE.

La mayoría de los equipos que se comercializan en la actualidad tienen su salida para conectar antena ajustada a una impedancia de 50 ohms. Como los coaxiales más comunes que se consiguen en el mercado se fabrican con una impedancia característica de 50 o 52 ohms, acoplar el equipo a la línea de transmisión no presenta, en tal caso, ninguna dificultad.

Esa línea de transmisión mantiene, por supuesto, su impedancia característica de 50 ohms en su punto de conexión con la antena.

El problema comienza cuando se trata de conseguir los mismos 50 ohms en la antena propiamente dicha, o sea en el irradiante. El dipolo abierto de media onda, que ya hemos estudiado, presenta en su centro 73 ohms, siempre que se encuentre a suficiente altura en zona despejada. Evidentemente no es la impedancia ideal para conectarle la línea de 50 ohms, ya que la diferencia, que es de 23 ohms, está casi en el cincuenta por ciento, lo que significa, como hemos dicho, que la transferencia de energía no será del todo eficiente. A continuación explicaremos porqué no es eficiente.

Cuando en el punto de conexión las impedancias no son iguales, parte de la energía que transporta el coaxial en forma de ondas, al encontrar en su camino una impedancia diferente, se refleja circulando en sentido contrario a la dirección en que venía. En consecuencia, la cantidad de corriente o energía que efectivamente disipará la antena o irradiará al espacio, es menor que la que salió del transmisor. Por lo tanto el rendimiento del sistema de antena no es del cien por ciento. La potencia (o energía, o corriente) que circula por la línea de transmisión desde el transmisor hacia la antena, se denomina **potencia directa**, y la que circula en sentido inverso, **potencia reflejada**.

Cuando las ondas directas, que se desplazan hacia la antena, se combinan con las ondas reflejadas, que vuelven desde la antena, se produce una onda llamada **estacionaria**, o sea que no se mueve como las anteriores.

Se denomina **relación de onda estacionaria**, o simplemente **ROE** (SWR en inglés), a la relación que se establece entre las tensiones (o voltajes) del pico y del valle de la onda estacionaria. El valor de ROE se expresa como un número (siempre mayor o igual que uno), con respecto a la unidad (o sea al número uno), por ejemplo

"2,3 a 1", "3 a 1", "1,2 a 1", etc.;

o también se lo puede encontrar escrito como

"2,3:1", "3:1", "1,2:1", etc.;

también algunos radioaficionados acostumbran referirse a la ROE mencionando solamente el primer número; dicen

"ROE=2,3", o "ROE=3", o "ROE=1,2", etc.

Se puede llegar a demostrar (nosotros no lo haremos en esta oportunidad), que la relación de tensiones mencionada en el párrafo anterior (ROE), es igual a la relación entre las impedancias que producen la ROE.

Volviendo al dipolo abierto citado más arriba, la ROE es igual a 73 dividido 50. O sea:

$$\text{ROE} = 73/50 = 1,46 \text{ (o } 1,46:1)$$

Como dijimos, lo ideal es que, disponiendo del coaxial de 50 ohms, la antena presente en el punto de conexión, también 50 ohms. En tal caso la ROE sería: $50/50 = 1$ (o 1:1)

O de otra manera, que si la antena presenta en el punto de conexión 73 ohms, se elija una línea de transmisión que tenga también una impedancia de 73 ohms. En tal caso, la ROE resulta $73/73 = 1$ (o 1:1).

En consecuencia podríamos decir que la mejor transferencia de energía, o en otras palabras, que el mejor rendimiento del sistema de antena, se consigue con una ROE de 1 a 1. Cuando la ROE tiene el valor unidad, no hay potencia reflejada. A medida que la ROE aumenta, el rendimiento disminuye, aumentando la potencia reflejada. Si la potencia reflejada, que es la que vuelve hacia el transmisor, aumenta, la etapa de salida del equipo comienza a recalentar; y si esa etapa de salida carece de elementos protectores, la presencia de un alto valor de ROE puede atentar contra la integridad del equipo.

En conclusión: siempre es conveniente ajustar el sistema de antena para mínima ROE, pues no sólo se consigue irradiar mayor potencia, sino que se preserva la seguridad de los equipos. Se aconseja no sobrepasar el valor de 1,5 a 1.

Cómo se mide la ROE?. La respuesta es sencilla: con un **medidor de ROE**. Los hay de los más variados precios, marcas y bandas. También se los puede construir en forma casera. Generalmente este medidor se lo ubica entre el equipo y la línea de transmisión y resulta conveniente usarlo constantemente para prevenir posibles problemas que a veces no son evidentes desde el cuarto de transmisión en forma directa.

Existen múltiples métodos para que la antena presente la impedancia más adecuada. En el caso del dipolo que comentábamos, una forma de bajar la impedancia desde los 73 a los 50 ohms es construyéndola como V invertida. Otra forma es colocándole un **transformador de impedancia** que se puede comprar o construir en el QTH.

En el caso de irradiante de tipo rígido, como las antenas yagi que se usan en VHF, la adaptación de impedancia puede lograrse con métodos muy simples, tales como el **adaptador gamma**. Este mismo método es el que se utiliza en las populares antenas Ringo. El **transformador de cuarto de onda** es otra de las opciones.

En suma, diremos que siempre es posible encontrar un método de adaptación para que la ROE permanezca por debajo de 1,5:1.

Finalmente, cabe hacer una aclaración muy importante. Cuando no hay potencia reflejada (ROE=1), o sea que toda la potencia es directa, cualquiera sea la longitud de la línea de transmisión, el metro de ROE siempre indicará el mismo valor; dicho de otro modo: dada una línea de transmisión sin onda estacionaria, en cualquiera de los puntos a lo largo de toda su extensión, la ROE será siempre igual a 1.

Esto no sucede cuando la línea presenta potencia reflejada. En efecto: dada una línea de transmisión con onda estacionaria, los valores de ROE medidos en diferentes puntos a lo largo de la misma, son distintos según su distancia desde el punto de alimentación de la antena; en este caso, si la medida de ROE nos interesa para determinar qué desadaptación existe entre antena y línea de transmisión, deberemos colocar nuestro medidor de ROE a una distancia de media longitud de onda eléctrica (o a un múltiplo) desde la antena, que es el único lugar, a lo largo de la línea, donde se reproducen las condiciones existentes en el punto de alimentación del irradiante.

De todos modos, para el ajuste corriente de una antena, no es necesario conocer cuales son los valores de impedancia en juego. Se puede proceder de la siguiente forma:

a) Colocada la antena en posición, se comprueba la ROE en la frecuencia en que se desea hacerla funcionar, emitiendo con baja potencia una portadora continua.

b) Se verifica de qué manera varía la ROE cuando se varía la frecuencia.

Si la ROE aumenta cuando la frecuencia crece, y baja a medida que la frecuencia es menor, significa que la antena está larga. Si la ROE aumenta cuando la frecuencia decrece, y disminuye cuando la frecuencia aumenta, quiere decir que la antena está corta.

Por último, si la ROE aumenta hacia ambos lados, la antena resuena en la frecuencia a la que se la quiere hacer trabajar. Puede suceder, en este caso, que la ROE esté demasiado alta de manera que sea inaceptable; si la antena está correctamente ejecutada, y era de esperar una impedancia diferente a la de la línea de transmisión, aquí ya será cuestión de aplicar alguno de los métodos de adaptación mencionados más arriba.

ACOPLADORES, BOBINAS DE CARGA, BALUNES.

Los **acopladores de antena** no son otra cosa que adaptadores de impedancia. Ya hemos visto qué pasa cuando las impedancias entre etapas son diferentes. Así como puede haber una desadaptación entre línea y antena, esta posibilidad es también válida entre línea y transmisor. Es un caso frecuente cuando la impedancia característica de la línea no es la misma que la de la salida del equipo; esto suele suceder cuando la antena necesita de un alimentador especial, o la salida del transmisor no es la común de 50 ohms, o cuando hay ROE mayor que uno sobre la línea. En este último caso, la impedancia que presenta la línea en el extremo que se conecta al equipo, es diferente de su impedancia característica. El adaptador de impedancia a intercalar se llama, en este caso, acoplador de antena. Cuando este acoplador se usa con una línea con ROE alta, es importante no olvidar que esa ROE se elimina hacia el interior del equipo, pero no hacia la antena.

En algunas situaciones, como por ejemplo la falta de espacio, el radioaficionado se ve en la obligación de acortar las antenas sin que por ello se las saque de resonancia. El procedimiento más común es el de colocar la longitud de conductor que se acorta, en forma de arrollamiento o bobina. A este dispositivo se lo denomina **bobina de carga**. La construcción y sobre todo el ajuste de las bobinas de carga, es en realidad una operación bastante delicada que demanda de técnicas que no están dentro de los objetivos del presente curso.

Si observamos el diseño de un dipolo, nos daremos cuenta de que es física y eléctricamente simétrico con respecto al punto de conexión con la línea, o, en otras palabras, balanceado. Por otro lado, sabemos que la conformación del cable coaxial es de un conductor central, rodeado, con separación mediante, de una malla metálica.

El campo electromagnético producido por el vivo es contrarrestado por la malla, pero el irradiado por la malla resulta sólo parcialmente compensado por el vivo, en especial hacia la parte externa del coaxial. Se trata entonces de un conductor desbalanceado eléctricamente. Al conectar un coaxial con un dipolo, se producen algunas perturbaciones indeseables. El problema se elimina con la colocación, en el punto de conexión de la antena, de un dispositivo denominado **balun**. El término balun proviene de la contracción de las palabras inglesas **balanced-unbalanced**, que significan balanceado-desbalanceado, y nos está describiendo cuál es el objeto del dispositivo. Los baluns suelen presentarse en forma de bobinas, arrollamientos de coaxial, o de lazos de coaxial con longitudes de desarrollo determinado y conectados de manera especial. En ocasiones, suele ser conveniente combinar, en el mismo dispositivo, un adaptador de impedancia con un balun.

El elemento resultante se llama **balun de relación**, debido a que la relación entre la impedancia de la antena y la impedancia característica de la línea de transmisión, tiene un determinado valor distinto de 1 (por ejemplo 1:1,5 o 1:2 o 1:4).

UNIDAD 3: PROPAGACIÓN

CAPAS ATMOSFERICAS, COMPONENTES,COMPORANIENTO.

Las ondas de radio pueden ir desde la antena transmisora hasta la receptora de tres formas. Cuando se propagan sobre la superficie de la tierra o del agua (onda terrestre), cuando lo hace por ductos y cuando son reflejadas por la atmósfera superior, lo cual está directamente relacionado con la frecuencia de las mismas.

Propagación ionosférica

La vía de propagación más importante para comunicaciones a largas distancias es la que se produce por la refracción de las ondas de radio en las diferentes capas ionizadas de la atmósfera superior.

A una altura en la atmósfera entre los 50 Kms y los 500 Kms, algunas moléculas son ionizadas por la radiación solar, produciendo un gas ionizado que le da su nombre: **IONOSFERA**.

La ionización es un proceso mediante el cual los electrones, que están cargados negativamente, se separan o unen a átomos o moléculas de carga neutra, dando lugar a iones de carga positiva o negativa, así como electrones libres. Son éstos últimos, por ser más ligeros y móviles, los más importantes a los efectos de la propagación de las ondas de radio en las llamadas Altas Frecuencias o HF (entre 3 y 30 MHz.).

Generalmente, mientras mayor sea el número de electrones, más alta será la frecuencia utilizable. Durante el día y en dependencia de la altura, en la atmósfera pueden existir cuatro capas llamadas D, E, F1 y F2.

- Capa D, entre 50 y 90 km;
- Capa E , entre 90 y 140 km;
- Capa F1, entre 140 y 210 km;
- Capa F2 por encima de los 210 kms.

La característica más importante de la ionósfera en términos de radio comunicación es su capacidad de refractar las ondas de radio. Sin embargo, esto sucede solamente entre determinados rangos de frecuencias.

La región útil más baja de la ionosfera se denomina **capa E** y se encuentra a una altura aproximada a los 100 Km.; esta capa puede mantener su capacidad de curvar ondas merced a la luz solar; por lo tanto la ionización es mayor cerca del mediodía local, y desaparece prácticamente después de la puesta del sol. En las horas diurnas hay una zona más baja llamada **capa D** donde la ionización es proporcional a la altura del sol sobre el horizonte; en las bandas de 160 y 80 m, la energía de radiación resulta totalmente absorbida por esta capa; sólo la radiación de ángulo muy alto pasa a través de ella y es reflejada por la capa E; por lo tanto, las comunicaciones en estas bandas durante el día, quedan limitadas a los contactos a corta distancia. La capa responsable principal de las comunicaciones a larga distancia, es la **capa F** que se encuentra a una altura aproximada de 250 Km.

Debido a la geometría de la refracción ionosférica, la máxima distancia para propagación de un solo salto mediante la capa F, anda en el orden de los 3600 Km, aunque pueden darse varios saltos lo cual posibilita que algunas señales de radio lleguen a miles de kilómetros de distancia en las bandas de HF. Cuanto mayor es la ionización de una capa, más se curva el camino de la onda. La curvatura también depende de la longitud de onda: cuanto mayor es la longitud de onda, más se modifica su camino para un determinado grado de ionización.

La zona que existe entre el sitio donde desaparece la onda terrestre y el lugar más cercano, desde la estación transmisora, en que la onda espacial vuelve a la tierra, se denomina **zona de silencio** o **skip**.

Por encima de ciertas frecuencias, las condiciones atmosféricas son tales que la refracción y reflexión de las señales son muy reducidas. El valor de la frecuencia en que ello ocurre se llama **Máxima Frecuencia Útil (MUF)**, y está por lo general, entre los 10 y 15 Mhz, pero puede llegar hasta la banda de los 6 metros (50 Mhz) o descender a la de 80 (3,5 Mhz), dependiendo ello de la hora del día, estación del año, condiciones atmosféricas y del ciclo de manchas solares. Por debajo de la MUF, las señales pueden usarse para comunicaciones en largas distancias por reflexión de las ondas en la ionosfera. Pero por arriba de la MUF las señales van de forma directa al espacio y se pierden.

Otras formas de propagación

Esporádica E

La propagación por capa **E esporádica** se produce aproximadamente a la misma altura que la capa E normal, donde suelen formarse nubes muy ionizadas, de modo esporádico y al azar, las cuales varían de intensidad y se desplazan con rapidez, del sudeste al noreste en el hemisferio norte.

Como ya se vio, la máxima frecuencia utilizable (MUF) está en función de la densidad de ionización y en el caso de la esporádica E, está por lo general alrededor de los 50 Mhz. Aunque es posible la comunicación en 2m por esporádica E, ello ocurre en muy pocas ocasiones. En condiciones favorables esta forma de propagación permite comunicados a distancias de 3000 km. e incluso más.

Comunicaciones en VHF

La transmisión en línea visual requiere que entre las antenas transmisora y receptora no haya obstáculos. En la banda de 2m o superiores, las comunicaciones se hacen por línea visual.

La tropósfera es la parte más baja de la atmósfera, o sea la que está en contacto con la superficie terrestre y es donde se producen todos los fenómenos meteorológicos. Estos fenómenos pueden producir formas de propagación que, aunque esporádicas, son muy importantes para las comunicaciones en las bandas de VHF y UHF.

Cuando por atravesar capas de distinto contenido de humedad, nubes, zonas de distinta presión y/o temperatura, frentes de tormenta, etc. las ondas de radio son refractadas o reflejadas, se produce el fenómeno conocido como **dispersión troposférica**. De forma similar, cuando las ondas de radio quedan atrapadas entre dos capas atmosféricas de diferente altura y temperatura, estaremos en presencia de los llamados **ductos troposféricos**. Ambas formas de propagación troposférica permiten en ocasiones contactos a distancias superiores a los 2 mil kilómetros en las bandas por encima de los 144 MHz.

La propagación por **reflexión auroral** se produce en zonas cercanas a las regiones polares y durante tormentas ionosféricas o magnéticas. Las frecuencias en que se tiene reflexión por este medio son, aproximadamente, las de 150 Mhz, y la propagación se caracteriza por unas variaciones rápidas, que dificultan enormemente la telefonía, pero afectan poco a la onda continua. La radiación debe dirigirse, como es lógico, a los casquetes polares -norte o sur, según la localidad de que se trate- la antena receptora tendrá que estar orientada también a ellos.

La propagación por **dispersión sobre la cola del meteoro** o **dispersión meteórica** consiste en un fenómeno de corta duración, que a menudo es inferior a un minuto, producido cuando la atmósfera superior es atravesada por un meteoro que deja tras de sí una estela de ionización. Esto causará una reflexión parcial de las ondas de radio. Esta forma de propagación es ampliamente utilizada en las bandas por encima de los 50 MHz y aunque hasta hace poco tiempo eran necesario alta potencias y antenas muy eficaces, en la actualidad la utilización de programas especializados de computación permite realizar contactos por esta vía de una forma mucho más fácil.

Ciclo solar

Las tormentas que ocurren sobre la superficie del sol y la inestabilidad magnética que ello produce en la Tierra, tienen una marcada influencia en las comunicaciones. La intensidad de esas tormentas solares se manifiestan a manera de manchas oscuras sobre su superficie (manchas solares), y ocurren en ciclos periódicos de 11 años. Cuando la actividad que motiva esas manchas solares es elevada, el resultado es un aumento de la ionización de la atmósfera, que se traduce en una mayor propagación de las ondas de radio en frecuencias altas de HF.

Esto es sumamente importante para los radioaficionados que gustan del DX por cuanto las señales en las bandas de los quince, diez, y a veces en la de seis metros, recorren distancias enormes.