

PROPAGACIÓN y ANTENAS

LU1MA

PROPAGACIÓN Y ANTENAS

PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIO

Nota: La siguiente es una traducción del Capítulo 4 de "Your QRP Operating Companion", de Brand Wells, Edición de 1992 por Marta Ester Garrido de Dichiara.

Grandes inversiones en antenas, torres y líneas de transmisión pueden ser malgastadas si usted no entiende bien qué ocurre con su señal luego de desaparecer sobre el horizonte. Los operadores expertos saben cuándo operar y hacia dónde apuntar sus antenas para resultados exitosos.

Manchas solares. La colaboración del sol:



Las manchas solares y las llamaradas solares son dos características del sol de particular interés para el operador de radio. Ambos afectan directamente la ionósfera. Y en consecuencia, las comunicaciones en la porción de onda corta del espectro (HF). Las manchas solares son el rasgo superficial más obvio del sol. Grandes grupos de estas manchas son visibles sin necesidad de amplificadores. (NUNCA mire directamente al sol con el ojo desnudo, y mucho menos aún utilizando un instrumento óptico tal como binoculares o telescopio).

Conviene destacar aquí que la exposición directa de la retina puede provocar ceguera. Si puede observar el sol utilizando un filtro de efectividad reconocida para estar seguro; uno que no deje pasar más del .01% de la impactante luz a través del espectro desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

El número de manchas solares varía aproximadamente en un ciclo de 11 años.

Ayuda desde la ionósfera:

Las comunicaciones radiales a larga distancia en HF son posibles gracias a la ionósfera, una región de la atmósfera que se sitúa aproximadamente entre los 100 y los 450 Km de altura sobre la superficie de la tierra.

Cuando el número de manchas solares es alto, la radiación del sol que afecta a la ionósfera también es alta. La luz ultravioleta y los rayos X que atraviesan esta región crean iones, los cuales crean una barrera para el paso de las ondas electromagnéticas, no permitiendo que éstas se pierdan en el espacio y haciendo que se refracten hacia abajo logrando el enlace a gran distancia. Conviene remarcar que las ondas no son exactamente reflejadas, pero sí curvadas o refractadas a través de varios estratos (capas) de la ionósfera.

Las ondas que abandonan la antena a bajos ángulos sobre el horizonte requieren menor refracción para retornar a tierra. Bajos ángulos de refracción también significan menor energía perdida y mayor distancia alcanzada. Por este motivo, los operadores se esfuerzan por obtener bajos ángulos de radiación en sus antenas. Una excepción a esta regla es cuando se desea obtener una buena cobertura local utilizando las bandas de 80 y 40 metros. En estas bandas, para coberturas de alrededor de 1.000 Km, los ángulos de radiación altos son deseables.

Un indicador útil de la actividad solar es el índice de flujo solar. Se hacen mediciones diarias de este índice en 2.800 MHz. La radioestación WWV, en Colorado, USA, transmite este valor, así como otras informaciones de interés, a 18 minutos pasada cada hora entera. La estación WWVH, de Hawái, repite este informe a 45 minutos pasada cada hora entera. Pruebe de escuchar estas transmisiones en 20, 15, 10 Y 5 MHz.

Regiones de la ionósfera:

Donde la ionósfera se hace menos densa a grandes altitudes, pueden distinguirse en ella diversas capas o regiones. Estas capas tienen diferentes efectos sobre las señales que inciden en ella.

Región o capa D: la capa D es la de menor altitud de la ionósfera. En promedio su altura se sitúa en 80 Km. La cantidad de ionización es proporcional a la radiación solar y resulta máxima al mediodía local, cuando el sol está directamente encima sobre nuestras cabezas, en el cenit.

Esta capa puede refractar ondas de radio de muy bajas frecuencias (VLF) pero absorbe energía de radio a altas frecuencias. La absorción es mayor en frecuencias medias y en la porción más baja de la porción HF del espectro radial (1 a 10 MHz).

Como resultado, la propagación en bandos bajas (160-40 metros) está normalmente limitada a cobertura regional, por debajo de 450 Km de alcance, durante el día. A frecuencias de operación más altas, no obstante, la absorción de la capa D es menor. Menor absorción de la capa D significa que su señal será más fuerte. Usted debe tratar de operar en la banda de frecuencia más alta abierta al lugar que desea trabajar.

La región D desaparece rápidamente con la caída del sol, haciendo así posible usar las bandas más bajas para contactos de DX al atardecer, después de la puesta de sol. Durante tiempos de moderadas manchas solares estas bandas permanecerán abiertas toda la noche, hasta después que salga el sol.

Región E: La región útil más baja de la ionósfera para la propagación en HF es la región o capa E. Su altura aproximada sobre la superficie de la tierra es de 110 Km. La propagación por capa E a veces asiste a comunicaciones de larga distancia sobre pasillos diurnos. La región E pronto desaparece después de la puesta del sol, esto es, en horas nocturnas no existe capa E.

Propagación

esporádica E (Es): Pequeñas y dispersas nubes de intensa ionización pueden formarse a la altura de la capa E. Estas nubes permiten lo que se llama propagación por esporádica E. Estos parches ionizados varían, tanto en tamaño como en intensidad y generalmente se mueven en dirección noroeste. Prevalecen mayormente al final de la primavera y al comienzo del verano en latitudes centrales (ecuatoriales). Las nubes Es son probablemente formadas por vientos cizalla a grandes altitudes, frecuentemente asociados con grandes tormentas eléctricas. Si el pronóstico del tiempo es de tormentas eléctricas a cientos de Km de su localidad, hay una buena oportunidad para aperturas de propagación por Es.

Estas aperturas son cortas en duración y erráticas, pero los niveles de señal son casi siempre altos. La distancia de salto para una típica apertura es de cientos de Km, pero no son poco comunes saltos múltiples cubriendo distancias de hasta 4000 Km. Las señales por esporádica E siguen trayectorias transequatoriales. Esto significa que, por ejemplo, desde el territorio de USA pueden contactarse países caribeños y centroamericanos en 15, 12 Y 10m.

Con el área central de propagación trasladándose rápidamente, los QSO deben convertirse prontamente en cambios rápidos, a fin de lograr el intercambio de la información necesaria. Cuando la actividad solar es alta los efectos de esporádica E son frecuentemente enmascarados por la excelente zona de propagación F.

Región F: lo región de la ionósfera que permite la mayoría de los contactos en HF es la región o capa F. Durante las horas diurnas esta región se divide en dos capas: la inferior F_1 y la superior F_2 . La región F_2 es principalmente responsable por refracciones de ondas de radio en HF. A causa de la baja densidad de la atmósfera a esta altitud (280 Km) los iones toman un largo tiempo en recombinarse con electrones libres. Por esta razón, cuando la actividad solar es alta, la región F dura frecuentemente toda la noche. Los contactos de larga distancia en las bandas altas (14 MHz y superiores) son casi siempre posibles toda la noche. A raíz de que la región D ha desaparecido, éstas son las primeras horas para hacer DX en QRP.

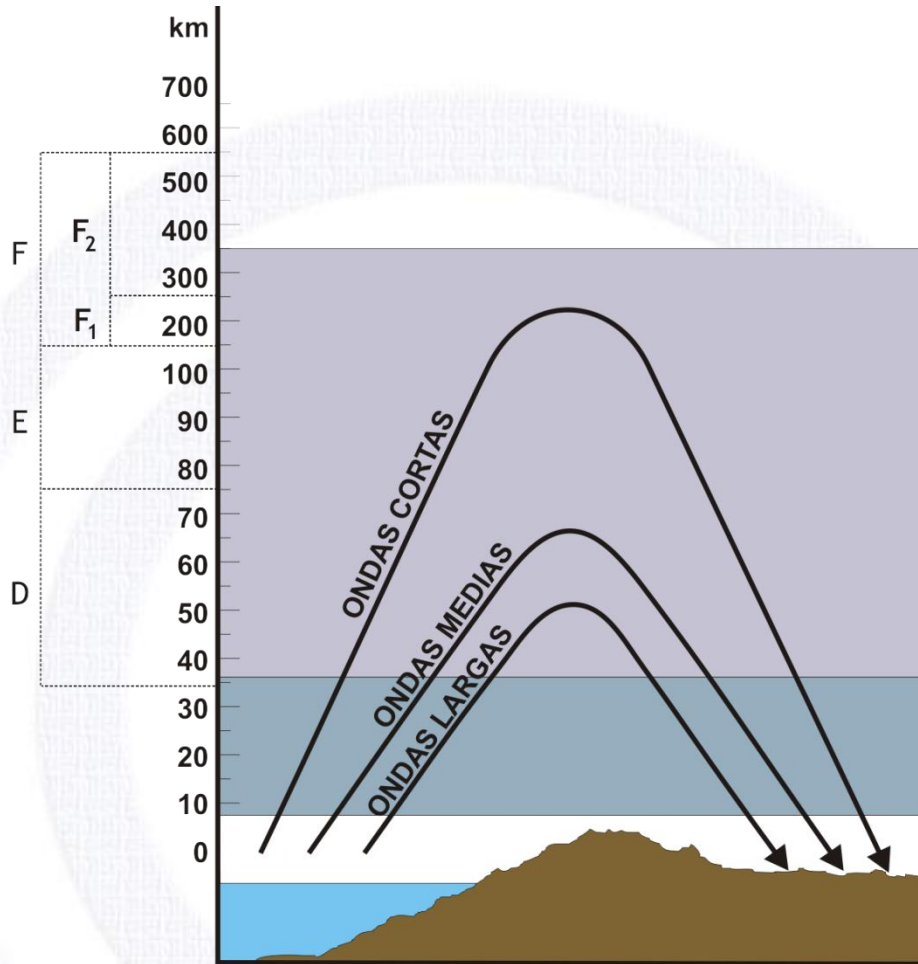
Para una determinada localidad, la capa F alcanza gran ionización en la tarde temprano; la ionización es más baja antes de la puesta del sol. Cuando hay muchas manchas solares la región F_2 frecuentemente permanece ionizada toda la noche. Cuando las manchas solares son pocas, la Máxima Frecuencia Utilizable (MUF) en la región F puede caer hasta 3 MHz, haciendo inútiles todas las bandas para DX excepto la de 160 metros. En la región F, la MUF determina ampliamente la más alta frecuencia que se puede usar para trabajar un área particular.

A raíz de que la absorción de la región D decrece a medida que se va más alto en frecuencia, se debe operar lo más cerca posible de la MUF.

Esto se confirma especialmente cuando se está utilizando baja potencia. Estaciones más potentes pueden colocar señales legibles en 20 metros cuando la MUF está por encima de 30 MHz.

Recuerde: la potencia de salida de estas estaciones puede superar 300 veces la suya, y además pueden tener antenas más grandes.

Dispersión ionosférica: cuando en las horas nocturnas la MUF baja a menos de 3 MHz durante un concurso de radio, la única forma de trabajar sobre el horizonte es desparramando su señal en la fina ionósfera que aún queda. Las señales así propagadas son débiles. Si usted es operador de **QRP** probablemente no obtendrá muchas respuestas a su llamado CQ, pero seguramente tendrá más sueño que un operador de gran potencial.



Llamaradas solares (cuando el sol no coopera)

Las erupciones en la superficie del sol denominado **llamaradas solares**, a veces incrementan la absorción de la ionósfera. Las llamaradas pueden también causar **tormentas geomagnéticas**.

Una **tormenta geomagnética**, es una rotura mundial del campo magnético de la tierra. Muy frecuentemente, la absorción de la región D se incrementa como resultado de una llamarada. La consecuencia es un “**apagón**” de radio en ciertos pasillos (radiocircuitos).

Las comunicaciones de HF que cruzan las zonas polares, realizan una parada durante varias horas, hasta que se disipan los efectos de la llamarada. Los contactos de Este a Oeste son aún posibles a reducidos niveles de señal, pero lo más aconsejable es apuntar la antena al Sur (desde el hemisferio Norte) y tratar de trabajar las estaciones cercanas al ecuador, donde los efectos son menos severos.

No todas las llamaradas, ni cada una, causan una rotura de la ionósfera. La posición de la llamarada sobre la superficie solar determina si las partículas que despedirá van o no a interactuar con la magnetósfera de la tierra. Una de las llamaradas más grandes que se recuerda, en agosto de 1989, fue localizada en el lado oeste del sol. Como fue localizada lejos de la tierra, su corriente de partículas fue suavemente influenciada por el campo magnético de la tierra. Como resultado, casi no perturbó la ionósfera.

Las tormentas geomagnéticas a veces signan a las llamaradas solares. Una tormenta geomagnética puede comenzar 16 a 36 horas después de una llamarada.

Cuando el campo geomagnético está a niveles de tormenta, (como lo reporta la estación WWV y la WWVH) la región F está frecuentemente muy perturbada, a tal punto que parece desaparecer. La propagación en las bandas altas es con frecuencia muy pobre, pero las bandas bajas pueden usarse aún en la oscuridad.

Si usted está siendo perturbado mientras hace DX, las condiciones que ocasionan la molestia pueden trabajar para usted. Muchos operadores poco dados apagarán la radio y se irán a hacer otra cosa. Los ocasionales DX que entran en 80 ó 40 metros pueden ser suyos!

¿Cuán lejos puede ir su señal?

La distancia a la cual una señal radial retorna a la tierra depende del ángulo de radiación de la señal transmitida y de la altura de la región ionosférica en la cual se refracta. Cuando la altura de la región aumenta también lo hace la distancia de salto.

La máxima distancia que puede ser cubierta de un solo salto es de aproximadamente 4.000 Km. No obstante, estos estimados asumen un ángulo de disparo de cerca de cero grados, lo cual es prácticamente imposible de lograr con antenas reales. Cuando una onda real retorna a la tierra, está dispersada, lo que puede causar propagación de múltiples saltos. Este proceso puede repetirse muchas veces permitiendo a la señal viajar alrededor del mundo. No obstante, la atenuación que sufre la señal en su paso por la ionosfera y por las pérdidas de reflectividad del suelo “pagan su precio” debilitando la intensidad de la señal en cada salto.

Las transmisiones de salto múltiple pierden fuerza de señal con cada salto. Un ángulo de radiación más bajo reduce el número de saltos, haciendo su señal más fuerte.

Propagación predecible

A pesar de las complejidades de la propagación, existe un método de determinación de las posibilidades de comunicación con anticipación. Han sido desarrollados programas computarizados que proveen pronósticos bastantes exactos de aperturas de bandas.

Armado con estas predicciones, usted puede seleccionar una banda para usar a cualquier hora, en cualquier día del año. Los mejores programas dan la señal esperada con el nivel de potencia deseado para diferentes frecuencias a lo largo de todo el “pasillo” entre dos puntos de la superficie terrestre. Usted puede ajustar los parámetros del programa de acuerdo a la altura de su antena y ganancia, potencia del transmisor y sensibilidad del receptor. Esta característica es especialmente de ayuda para el operador de QRP. Los programas están generalmente provistos de los parámetros para potencias más altas, digamos por ejemplo 100 watts. Ajustando los parámetros de su estación, usted puede fácilmente darse cuenta cuán fuerte se escuchará en el otro extremo del “pasillo” que usted desea trabajar. Los programas de predicción de propagación son muy útiles para predecir aperturas de banda que usted ni sospechaba, como por ejemplo aperturas tardías en la noche en bandas altas, cuando usted pensaba que cerraban al crepúsculo.

Un programa de este tipo muy difundido es el Miniprop.

Pasillos de propagación

Las ondas radiales normalmente siguen el camino más corto o directo entre el transmisor y el receptor. Esto significa que la señal se propaga sobre un círculo máximo, que es el camino más corto que une dos puntos sobre la superficie de una esfera.

En realidad son dos los caminos que puede seguir la señal entre el transmisor y el receptor. A menos que las dos estaciones estén situadas exactamente opuestas una de la otra sobre la superficie terrestre (antípodas) un camino es más corto que el otro.

La mayor parte del tiempo un operador de QRP usa el camino más corto. A veces el pasillo más corto no está abierto pero el pasillo más largo puede producir contactos.

Pasillos largos

Muchos operadores de DX saben que la apertura de los “pasillos” o “caminos” largos puede existir a determinada hora en un cierto lugar del mundo. Esto es particularmente cierto en 80 a 20 metros aún cuando las aperturas pueden ocurrir en cualquier banda. Durante períodos de mucha cantidad de manchas solares, aún aperturas de pasillos en 10 metros son comunes.

Un número de condiciones deben ser satisfechas antes que un operador de QRP pueda esperar usar una apertura de pasillo largo:

- 1) El pasillo largo será a veces mejor que el pasillo corto si la estación correspondiente está a menos de 1.000 Kms.
- 2) El pasillo largo debe estar la mayor parte en el hemisferio nocturno, para de esta manera minimizar los efectos de absorción de la capa D
- 3) La actividad solar debe ser lo suficientemente alta para que la MUF no descienda por debajo de la banda que está usando durante las horas de oscuridad.

Finalmente, el campo geomagnético debe estar relativamente tranquilo. Esto significa un índice K menor que 4 (reportado por la WWV /WWVH)

Desde el hemisferio Norte las mejores aperturas de pasillos largos son hacia el sur o suroeste en la mañana; y hacia el norte o noroeste en la tarde.

Se han hecho contactos en exceso de 30.000 Km, especialmente cuando ambas estaciones están localizadas a lo largo de la línea salida del sol - puesta del sol.

Propagación por línea gris

La línea que divide a la tierra en la región con luz (diurna) de aquella oscura (nocturna) se llama “terminador”. No es una distinción divisoria exacta pero sí una estrecha banda gris que da toda la vuelta alrededor de la tierra. Cualquier punto situado sobre esta franja gris está al amanecer o al anochecer.

La región D, siendo más baja en altitud y más densa que la región F, no se ioniza tan rápidamente en la mañana. Pero la MUF de la región F puede subir rápidamente sobre la banda gris a medida que la tierra rota, mientras que la absorción de la región D es aún baja.

Al atardecer la región D desaparece rápidamente, pero la MUF de la región F desciende gradualmente. Es fácil ver porqué las señales propagadas a lo largo de la banda gris son frecuentemente muy fuertes o potentes.

Esta característica de la propagación por banda gris permite a las estaciones QRP hacer contactos de pasillos largos a increíbles distancias.

La posición de “terminador” cambia a medida que la tierra orbita el sol. El eje de la tierra no es perpendicular a la eclíptica (el plano en el que está contenida la órbita de la tierra) sino que tiene una inclinación de aproximadamente 23,5 grados.

Como consecuencia de esta inclinación, “terminador” se balancea en distintos sentidos aproximadamente 47 grados durante el año. Los límites Norte y Sur de este balanceo son llamados Círculo Ártico y Círculo Antártico (23,5 grados latitudes N y S). Durante el ciclo de 5 ó 6 años de manchas solares de baja actividad, la línea gris es más efectiva en 160, 80 Y 40m.

Durante los años de gran número de manchas solares, la propagación por línea gris es posible aún en 10m.

Como “terminador” se extiende completamente alrededor de la tierra bajo las condiciones correctas, es posible trabajar cualquier área del mundo dentro de esta región. Desafortunadamente hay áreas del mundo que usted nunca trabajará sobre una línea gris, porque nunca compartirán un terminador con su localidad.

Esto sólo sería posible si el eje rotacional de la tierra estuviera inclinado 45° con respecto a la eclíptica.

Otros dos factores afectan al DX de línea gris. La hora local varía a lo largo de la longitud de terminador. Si usted desea trabajar estaciones situadas en el otro hemisferio, deberá estar frente a su equipo por lo menos 30 minutos antes de la salida del sol local. Trate de operar a las horas en que hay más radioaficionados activos. Además recuerde que la dirección de terminador no es la misma a la hora del amanecer donde usted vive que la dirección de la puesta de sol local.

Un método conveniente de calcular los pasillos de línea gris es a través de programas de computadoras tales como “MFJ Ventajas de la línea gris” o el “Geoclock”, que muestran las áreas de la tierra en horas nocturnas y diurnas.

Propagación de pasillo encorvado

Digamos que usted quiere trabajar Europa en 10 metros. Cuando apunta la antena hacia Europa, escucha las señales, pero débiles. Aún así, cuando usted tuerce un poco la antena hacia el sur las señales aumentan de intensidad. Por alguna razón, las señales radiales no siempre siguen el pasillo de círculo máximo entre dos puntos. La propagación por pasillo en curva es una razón por la que se pueden trabajar áreas del mundo en ciertas bandas aún cuando la propagación pronosticada indica que no hay apertura a esa hora.

La radiopropagación por este medio existe en todas las bandas, en pasillos largos y cortos. Los pasillos largos son casi siempre en curva, por eso es necesario mover la antena fuera del pasillo esperado y ver qué pasa con la señal que usted está copiando.

Propagación a través del año

Mucha de la absorción y características refractoras de la ionósfera están estrechamente relacionadas con el ángulo de entrada de la radiación solar. Cuando el sol está bajo en el horizonte, las características de absorción cambian más rápidamente que las características de refracción. A causa de las rápidas propiedades de desviación de la ionósfera dentro de la región terminador, la propagación de ciertas frecuencias a lo largo de terminador es extremadamente eficaz.

Otro factor que afecta la habilidad de la ionósfera para refractar señales de radio es la variación estacional del ángulo de radiación solar. En marzo y setiembre, el eje de rotación de la tierra está en ángulos correctos con respecto al sol.

En junio y diciembre, el eje de la tierra está inclinado aproximadamente 23,5° hacia o alejándose del sol. Este ángulo cambiante de radiación afecta el monto de radiación real que la ionósfera recibe en varias latitudes.

La reducida radiación solar del invierno genera menos iones en la ionósfera para refractar ondas radiales.

Las noches más largas dan a estos iones más tiempo para recombinar reduciendo su concentración y reduciendo la posibilidad de propagación. Entonces, las bandas de 10 y 15 metros tienden a morir después de los primeros atardeceres de invierno, aún durante periodos de gran actividad solar.

A medida que los días se hacen más largos, el ángulo de entrada de radiación solar se incrementa, resultando en un incremento de los niveles de ionización.

Fortalecida la ionósfera soportará propagación en 10 y 15 metros más allá de la puesta de sol local.

No obstante, las bandas no continúan mejorando a medida que se acerca el verano. En el hemisferio Norte comienzan a deteriorarse nuevamente aproximadamente el 21 de junio. Mientras que el incremento de radiación del verano genera más iones también calienta la atmósfera lo suficiente para causar una mezcla vertical de sus normalmente separadas regiones.

A medida que las regiones suben se mezclan con las superiores, más ionizadas, lo que resulta en una reducción en la concentración de iones y electrones libres. Esta dilución reduce la MUF y limita la propagación en bandas altas.

Este ciclo comienza a revertirse a medida que pasa el verano y se aproxima el otoño. Normalmente la mejor propagación de bandas altas ocurre durante la primavera y durante el otoño.

La propagación de las ondas radiales y los factores que la afectan son temas complejos. La lectura no es un sustituto de la experiencia. Tiempo en el aire es todo lo que hace falta para aprender las características de cada banda.

Cada banda ofrece diferentes oportunidades para el operador de QRP. Use sus 5 vatios como herramienta para explorar las condiciones en un determinado momento.

El hábil operador de baja potencia usa sus conocimientos de propagación para aprovechar I no para combatir la ionósfera.

El índice A es una medida de la actividad del campo geomagnético de la tierra dentro de las 24 horas. Los valores del índice A pueden variar entre 0 y 400 aproximadamente, aunque valores por encima de 100 son muy raros. Cuando el valor del índice A está por debajo de 10 y el campo geomagnético es relativamente estable, se pueden esperar excelentes comunicaciones.

La absorción de energía radial por parte de la ionósfera es baja en este momento permitiendo señales fuertes sobre los pasillos largos. Si el circuito del pasillo cae sobre las regiones polares, el valor de A debe ser bajo o la propagación se convertirá en “no existente”.

Los pasillos de bajas latitudes o aquellos que cruzan el ecuador son los menos afectados por un valor alto de A.

El índice K es similar al A excepto que K refleja más las condiciones corrientes. Esta lectura es tomada 8 veces por día. Estas geoalertas son cambiadas cada 3 horas y anunciadas por WWV /WWVH para reflejar estos nuevos valores. El índice K es más una escala logarítmica que una escala lineal del índice A.

Así, es más sensitiva en el extremo bajo de la escala, mientras que los valores altos cambian poco en respuesta a las condiciones. Este cálculo es computado para Boulder, en Colorado, USA.

Una estación al norte puede experimentar lecturas más altas, mientras una estación al sur puede tener las correspondientes bajas lecturas.

La actividad solar, como se usa en las geoalertas, relaciona las condiciones cambiantes que pueden afectar adversamente la propagación en los circuitos de altas latitudes.

Esta actividad es descripta en términos que van desde “muy bajo”, pasando por “moderado” hasta “muy alto”. Las condiciones del campo geomagnético son descriptas como “tranquilo” (calmo), “desajustado” o “activo”. Condiciones calmas se refieren a un índice A de 10 o menor, mientras que “activo” describe un índice A mayor que 27.

Agregándose a las condiciones de campo geomagnético, se incluirán las tormentas geomagnéticas y se describen como mayores o menores.

La actividad del campo geomagnético tiene el menor efecto sobre los pasillos transecuatoriales, pero un activo campo geomagnético con niveles de tormenta mayor puede cerrar la mayoría de las bandas de HF para todo menos para ondas propagadas por tierra. Otro término usado en estas geoalertas es “tibio estrato”.

Este es un término vulgar para definir la tibieza estratosférica, que es una condición estacional que existe en las regiones polares. Es esencialmente una mezcla vertical de la atmósfera que reduce el nivel de ionización en la ionósfera. Estos bajos niveles de ionización hacen caer la MUF y reducen las oportunidades de propagación en los circuitos que cruzan estas regiones.

Las condiciones de “tibio estrato” son primariamente un fenómeno meteorológico y son pocos los afectados por la fase corriente del ciclo solar.

Para los índices A y K, lo importante no son tanto los valores día a día pero sí su tendencia. Muchos de los factores que afectan a la propagación están relacionados con el ciclo de 27 días, que es el tiempo promedio que requiere el sol para rotar una vuelta completa sobre sí mismo.

Áreas de actividad solar como manchas solares, pueden durar muchos meses, y enfrentar a la tierra más de una vez. Estos ciclos se transforman en aparentes si los valores del flujo solar y el índice A son graficados fuera de tiempo (época).

Si usted rastrea estos números sobre las bases diarias, las condiciones corrientes de cada banda vendrán sin sorpresas. Con algo de práctica, usted será capaz de predecir qué condiciones habrá la próxima semana o el mes próximo. Toda esta información adquiere aún mayor importancia cuando se aplica a las cartas de propagación publicadas en varias revistas de aficionados.

En nuestro país estas cartas son publicadas mes a mes por el Laboratorio Ionosférico de la Armada de la República Argentina (LIARA), entidad científica que depende del SENID, (Servicio Naval de Investigación y Desarrollo). Cabe destacar también que este laboratorio atiende una radioestación, LOL, que presta un servicio horario de alta precisión.

La información actualizada disponible a través de la WWV /WWVH puede ayudar a sobrellevar las deficiencias primarias de cualquiera de estas cartas de predicción.

El promedio del flujo solar sobre el que estas cartas están basadas puede no ser una buena representación del gran rango de la actividad solar que puede tener lugar dentro del período 28 a 31 días.

Adicionalmente, las cartas deben ser preparadas con meses de anticipación y los valores estimados usados para las cartas pueden ser un tanto diferentes del verdadero nivel de actividad solar para el período a pronosticar.

Sepa cuándo y dónde mirar en cada banda

Cada banda de HF tiene algo que ofrecer al operador de QRP. Limitando su actividad a una sola banda o modo limita su accionar en ésta la más interesante práctica de todos los aficionados.

Imagine a un operador de DX que sólo trabaja la banda de 40 metros o un participante de un concurso (contest) que se auto limite a la banda de 160 metros. Mientras ambos se divierten, están al mismo tiempo perdiendo un segmento mucho más ancho de su hobby.

El operador QRP, ya sea de DX, concursante u operador casual, no debe perder oportunidades simplemente por auto limitarse a una o dos bandas.

Demos una mirada a las bandas más populares de HF desde el punto de vista del operador. Cada una posee sus características de propagación individual, modos de operación y los lugares particulares donde los operadores de baja potencia hacen su actividad.

La familiarización con cada una de las bandas es un proceso de aprendizaje a largo plazo. Que usted practique durante una semana de vacaciones tratando de lograr un DX no le hará un experto.

La habilidad de poder hacer contactos en cualquier banda sólo llega con muchos años de actividad intensiva. Algunos operadores han literalmente gastado sus vidas aprendiendo los pequeños trucos de cada banda. Para usted estas líneas acelerarán este proceso.

Pronósticos de propagación WWV / WWVH

Todo radioaficionado tiene una útil herramienta para determinar las condiciones corrientes de la ionósfera. Estas son las transmisiones de estas estaciones ya mencionadas.

Además de proveer las señales horarias precisas (UTC) y tonos de audio patrón, estas emisoras dan información sobre el estado corriente de la ionósfera y pronostican las condiciones de propagación para las próximas 24 horas.

Agreguemos además que las frecuencias de emisión, en la porción HF del espectro de radio, (5, 10, 15 Y 20 MHz) son frecuencias patrón, útiles por ejemplo para calibración del dial de un receptor.

Estas “geoalertas” son transmitidas a los 18 minutos pasados cada hora entera por WWV y a los 45 minutos pasados cada hora entera por WWVH.

Cinco tipos diferentes de información se incluyen en cada transmisión: **flujo solar, medido diariamente a las 20:00 UTC; valor del índice A; ídem para el índice K; actividad solar y condiciones de campo geomagnético.**

Cada uno de estos valores tiene relación con las condiciones presentes y futuras de las bandas de HF de aficionados. El flujo solar, como se ha dicho anteriormente, es una medición de la actividad solar. Los niveles mínimos del flujo van desde el más bajo, 60, correspondiente a sol calmo.

Estas lecturas bajas normalmente ocurren sólo durante los pocos años de la mínima cantidad de manchas solares.

Una lectura de flujo de 64/63 generalmente coincide con una cuenta de manchas cero.

La mayor parte del tiempo las lecturas de flujo superan este nivel y durante los años de gran actividad pueden exceder 250.

“No nos preguntamos qué propósito útil hay en el canto de los pájaros: cantar es su deseo desde que fueron creados para cantar. Del mismo modo no debemos preguntarnos por qué la mente humana se preocupa por penetrar los secretos de los cielos. ...

La diversidad de los fenómenos de la naturaleza es tan grande y los tesoros que encierran los cielos tan ricos, precisamente para que la mente del hombre nunca se encuentre carente de su alimento básico”

JOHANNES KEPLER
(Mysterium Cosmographicum)

Ondas de radio, radiación infrarroja, luz visible, rayos ultravioleta, rayos X, rayos gamma son formas de energía radiante en forma de **ondas electromagnéticas**. Estas ondas son **portadoras de energía**, pero los efectos que ésta puede provocar depende de la frecuencia de las mismas, o lo que es lo mismo, de su longitud de onda.

Todas estas formas de radiación **son similares**, por cuanto se explican por los mismos principios físicos.

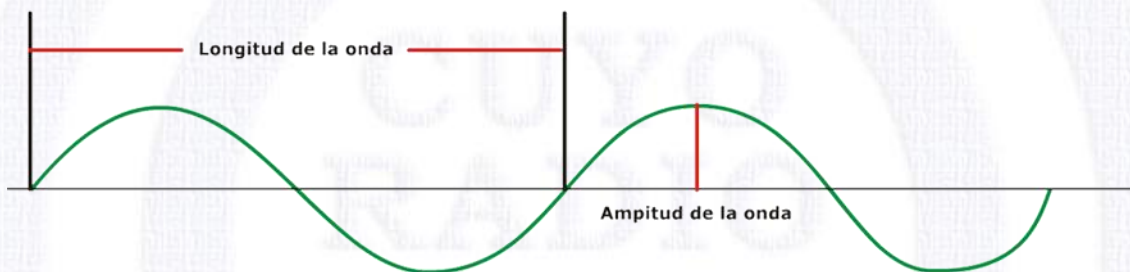
La gran variedad de ondas existentes en el universo forman lo que llamamos el “**espectro electromagnético**”, al que podemos definir en términos de **longitud de onda** o de **frecuencia**.

Este espectro se extiende desde las ondas extra largas existentes en el campo magnético de la Tierra, pasando por las **ondas largas, cortas y milimétricas de radio, ondas de infrarrojo, ondas luminosas, ultravioletas, rayos X**, hasta la infinita región de las **ondas gamma** y **rayos cósmicos** provenientes del espacio profundo.

La gama de frecuencias del espectro es considerablemente amplia, pues se extiende desde aproximadamente desde los **10.000 Hz (30.000m de longitud de onda)** en las mayores ondas radioeléctricas, hasta 100 trillones de Hz, con longitudes de onda del orden del millonésimo de milímetro.

De toda esta vasta gama de radiaciones existentes en el universo, las ondas de inmediato interés en comunicaciones son las pertenecientes a la porción radio del espectro.

Antes de continuar avanzando en nuestro estudio, vamos a aclarar qué significan los términos “**longitud de onda**” y “**frecuencia**”, imprescindibles para comprender todo fenómeno ondulatorio.



Podemos estudiar los principios más importantes de las ondas en algunos ejemplos sencillos y familiares a todos:

Imaginemos estar en un muelle observando las olas del mar. Consideremos que hoy son particularmente suaves y de altura uniforme. Vemos pasar ante nosotros un número determinado de crestas por segundo; digamos f . Este número f es la frecuencia de las ondas. La frecuencia se mide en ciclos por segundo. El ciclo a que nos referimos es un ciclo completo de variación; la partida de una cresta, el paso de un valle y, por último, la llegada de la cresta siguiente. A medida que una onda completa pasa ante nosotros, desde una cresta hasta la siguiente, pasando por el valle, el nivel del agua describe un ciclo completo de variación, de arriba hacia abajo y una vez más hacia arriba.

Al final del ciclo de variación, retornamos al estado original.

Con relación al nivel del agua en estado de reposo, este nivel está claramente más alto en la cresta de la onda y más bajo en el valle entre dos crestas.

Las olas u ondas del océano tardan varios segundos en pasar ante nosotros, de modo que su frecuencia es de una fracción de **c.p.s.**

Si lo deseamos, en lugar de la frecuencia podemos medir el intervalo de tiempo entre el paso de dos crestas sucesivas; el llamado período de la onda, al que llamaremos T .

Vemos entonces que T es la inversa de f , es decir: $T=1/f$

Observando las ondas, podemos estimar o medir la distancia que separa una cresta de la siguiente. Esta distancia es la Longitud de Onda.

El tiempo transcurrido entre el paso de dos ondas sucesivas es T . En este intervalo, la cresta siguiente debe recorrer exactamente una longitud de onda, para llegar a la posición de la cresta anterior.

Así, pues, la onda se desplaza con una velocidad v , igual a la distancia recorrida (longitud de onda), dividida por el tiempo empleado en recorrer esta distancia (T), esto es:

$$\text{Velocidad } (v) = \text{longitud de onda} / T$$

Habíamos mencionado que T es la inversa de la frecuencia, y recíprocamente, de modo que la expresión anterior también podemos expresarla así:

$$\text{Velocidad } (v) = \text{longitud de onda} \times f$$

Podemos pues, expresar longitud de onda en función de f y f en función de longitud de onda, haciendo intervenir la velocidad v :

$$\text{Longitud de onda} = v / f \quad \text{y} \quad f = v / \text{longitud de onda}$$

Cuando necesitamos calcular la longitud de onda de una radioonda, dato muy útil en diseño de antenas, por ejemplo, utilizamos la expresión:

$$\text{Longitud de onda} = 300 / f$$

Expresando la frecuencia en MHz, el resultado queda indicado directamente en metros.

Conviene destacar que esta fórmula permite calcular la longitud de onda de cualquier radiación del espectro electromagnético, ya sea de ondas de radio, luz visible o rayos gamma, por ejemplo.

Agreguemos, además, que en la terminología de la física moderna la unidad de frecuencia se ha designado con el término Hertz, en honor al físico alemán **Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894)**, quien en 1888 logró poner en evidencia la existencia de las ondas de radio, predichas varios años antes por el físico escocés **James Clerk Maxwell**

Así, una frecuencia de 50 c.p.s como la que alimenta de electricidad a nuestros hogares es una frecuencia de 50 Hertz.

Una de 500.000 c.p.s es designada, utilizando el sistema internacional de múltiplos, como de 500 Kilohertz. Continuando con la nomenclatura, 1 Megahertz (MHz) se refiere a una frecuencia de 1.000.000 de c.p.s y un Gigahertz (GHz) designa una frecuencia de 1.000.000.000 de c.p.s

Para dar algunos ejemplos prácticos de estas radiaciones, digamos que las señales de radio de onda media llegan a nuestro receptor a razón de un millón de crestas por segundo; algunas ondas de televisión a una tasa de cien millones de crestas por segundo. La telefonía celular opera en frecuencias de 900 millones de c.p.s y la televisión satelital maneja frecuencias de 17.000.000.000 de c.p.s.

En las expresiones anteriores, uno de los términos es la velocidad.

A qué velocidad nos referimos? Pues a la velocidad de propagación de estas perturbaciones electromagnéticas. Esta velocidad tiene un valor finito y perfectamente establecido.

Este valor es de **300.000.000 de m/s**. Estamos diciendo que en un segundo, una radiación electromagnética recorre trescientos millones de metros, o dicho de otro modo, 300.000 Km. Es interesante hacer notar que fue Maxwell quien obtuvo este valor por deducción, siendo luego confirmado experimentalmente.

Los campos eléctricos y magnéticos, pues de eso se trata toda forma de radiación electromagnética, se propagan por el espacio a ésta y sólo ésta velocidad.

Si la velocidad fuese menor, los campos se extinguirían muy pronto, impidiendo lograr grandes distancias.

Si la velocidad fuese mayor, los campos se acumularían en una acumulación de energía cada vez más grande, algo totalmente opuesto a los principios de conservación de la energía.

A cierta velocidad crítica, esto es, a los 300.000 Km/s, la interacción entre los campos magnéticos y eléctricos continúa en forma indefinida, sin pérdida ni ganancia de energía.

Recordemos que esta velocidad de propagación es válida para toda forma de radiación electromagnética. Así, una onda de radio o una señal luminosa se desplazan por el espacio a la misma velocidad.

En el tema que nos ocupa, la radio, digamos que una señal de radio da más de siete vueltas a la Tierra en un segundo!

Tan fantástica es esta velocidad, que a la escala del Universo es empleada como unidad de longitud para medir distancias. Esta unidad es el año-luz, que es la distancia que recorre la luz, a unos 300.000 Km/s, en un año: aproximadamente 9.5 billones de Km.

Puesto que la luz tarda en llegar a nuestros ojos, todo lo que vemos son imágenes del pasado.

Vemos al Sol como era hace 8 minutos, pues éste es el tiempo que demoran los rayos luminosos en cubrir la distancia que nos separa del astro rey. Decimos entonces que el Sol está a 8 minutos-luz de la Tierra, o, si queremos expresarlo en kilómetros, el Sol se encuentra a 150.000.000 de Km de nosotros. Esta distancia expresada en Km se denomina una unidad astronómica (UA).

La estrella más cercana a nuestro Sol, Próxima Centauri, se encuentra a 4.3 años-luz de distancia. Si enviáramos un mensaje radial hacia un hipotético planeta que orbitara esta estrella, demoraría 4.3 años en llegar allí. Y si algún hipotético ser contestara este mensaje inmediatamente, demoraría otros 4.3 años en llegar hasta nosotros la respuesta.

Una de las estrellas más brillantes del firmamento, Rigel, de la constelación de Orión, está a 910 años-luz. Cuando miramos a Rigel vemos cómo era muchísimo antes del descubrimiento de América.

En los límites del Universo observable, uno de los objetos más lejanos que se conoce es un cuasar situado a 14.000.000 de años-luz!

(**Quasar**: un objeto muy lejano y extremadamente luminoso que tiene aspecto de estrella y es 100 veces más brillante que cualquier galaxia ordinaria. Se cree que es el núcleo de una galaxia activa con un agujero negro en el centro)

Esta energía recogida por nuestros instrumentos, sean éstos receptores de radio o telescopios ópticos, representa energía eléctrica que se ha proyectado al espacio y viaja en forma de ondas electromagnéticas.

Estas ondas consisten en campos eléctricos y magnéticos, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de propagación, viajando a la velocidad de la luz.

De este modo, una onda de radio tiene dos componentes inseparables: una componente eléctrica y una componente magnética.

La energía se distribuye por partes iguales entre los campos eléctricos y magnéticos.

Estos campos se propagan por el espacio sin necesidad de alambres que los guíen. Las radiocomunicaciones tienen lugar de esta forma, estableciéndose los campos gracias a la acción de las corrientes circulantes por la antena emisora. En la estación receptora, la componente magnética de la onda viajera corta a la antena del receptor, y la componente eléctrica se aplica a ella, con lo cual se induce una tensión causante de una corriente que circula por el aparato receptor.

Es interesante observar que a largas distancias la tensión que puede inducirse en una antena es mayor que la que podría aplicarse mediante largos alambres de costo razonable. El efecto de atenuación de las ondas guiadas por alambres es mayor a estas grandes distancias que el efecto de atenuación debido a la distribución de las ondas de radio en un espacio tridimensional.

Cómo podríamos imaginar la propagación de estas ondas? Suele ponerse como ejemplo el caso de los círculos concéntricos que se agrandan progresivamente en la superficie de un estanque cuando arrojamamos una piedra. Pero el estanque representa una superficie de dos dimensiones.

En cambio, las ondas electromagnéticas tienen a su disposición un espacio de tres dimensiones, y es en forma de esferas concéntricas dilatándose continuamente como mejor podemos imaginarlas. Sin embargo, la presencia del suelo limita este fenómeno y da, para una estación transmisora de radio situada sobre la superficie terrestre, un carácter hemisférico.

En esta propagación de las ondas, en este viaje espacial, la energía es transportada, con su precioso contenido de información, atravesando los aislantes y el espacio vacío, franqueando los espacios siderales, como ha sido probado por las reflexiones de radar obtenidas de varios planetas de nuestro sistema solar, las señales recibidas de las naves exploradoras planetarias, así como la recepción por parte de las mismas de las señales de comando enviadas desde la Tierra.

Otro ejemplo son las señales radiales generadas por medios naturales y emitidos por objetos celestes, y recogidas y estudiadas por los radiotelescopios.

Solamente los cuerpos conductores representan un obstáculo, los que se comportan respecto a estas ondas como reflectores.

Esta cualidad es muy bien aprovechada por muchos sistemas de antenas para dirigir la radiación en la dirección deseada.

Para recapitular sobre lo visto hasta aquí, es interesante capturar los siguientes conceptos:

- 1) Las ondas de radio, como toda radiación electromagnética, se propagan en el espacio libre a 300.000 Km/s**
- 2) La intensidad de una onda de radio, en un punto determinado, resulta directamente proporcional a la potencia empleada e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente.**
- 3) Estas ondas están compuestas por campos variables de fuerza magnética y eléctrica, en cuadratura en espacio y tiempo, y su origen son las cargas eléctricas aceleradas.**
- 4) Pueden ser absorbidas, reflejadas, refractadas o concentradas en haces.**
- 5) Pueden ser polarizadas en forma vertical, horizontal u oblicua. Se define la polarización de la onda como la figura geométrica que describe la componente de campo eléctrico a medida que la onda avanza por el espacio.**

Ampliando un poco el punto 5, diremos que esta figura geométrica es en general una elipse. Bajo ciertas condiciones la elipse puede convertirse en una línea recta, en cuyo caso la polarización se denomina lineal. En el otro extremo la elipse se puede convertir en una circunferencia, en cuyo caso hablamos de polarización circular.

De acuerdo a estas condiciones, diremos que una onda está linealmente polarizada cuando el campo eléctrico de la misma se encuentra completamente en un plano que contiene a la dirección de propagación.

Dentro de la polarización lineal, se distinguen los siguientes casos:

Horizontal: el campo eléctrico se encuentra en un plano paralelo a la superficie terrestre.

Vertical: el campo eléctrico se encuentra en un plano que es perpendicular a la superficie terrestre.

Oblicua: el campo eléctrico se encuentra en un plano situado entre el plano paralelo y el perpendicular a la superficie mencionada. Esto nos indica que este tipo de polarización tiene una componente vertical y otra horizontal.

En lo concerniente a la **polarización circular**, comentemos brevemente que en estos casos el vector campo eléctrico puede girar en uno u otro sentido. Convencionalmente, si la onda que se aleja de nosotros gira en el sentido de las agujas del reloj, la polarización es **circular derecha (dextrógira)**. Si lo hace en sentido contrario, diremos **circular izquierda (levógira)**.

En enlaces por radio, es importante que la polarización de la antena del receptor sea la misma que la del transmisor. En cualquier otro caso estamos en presencia de polarización cruzada, lo cual puede introducir una pérdida importante por desadaptación de polarización, que en los casos más severos puede llegar al orden de los 25 dB.

Esta condición adquiere particular importancia cuando el enlace radial se efectúa en frecuencias muy altas (VHF-UHF-SHF).

Esta breve introducción a los principios fundamentales de las ondas electromagnéticas sólo tiene la intención de estimular al lector para que profundice en tan fascinante tema, el cual es muchísimo más extenso de lo aquí expuesto. Existe una muy numerosa bibliografía que puede ser consultada para lograr este objetivo.

Solamente resta agregar que los resultados que se obtengan de esta ampliación de estudios de éste y otros tópicos relacionados con la radio, tienen el valor de lo imperecedero, ya que los conceptos aprendidos son útiles para siempre.

“Afortunadamente, antes y después de Newton las manzanas siguen cayendo por su propio peso”

Autor: LU2MDE - Hugo Antonio Dichiaro D’Agnillo

Espectro Radioeléctrico y propagación

División del espectro

Las ondas de radio son una radiación electromagnética de frecuencia comprendida entre unas pocas decenas de hercios (Hz) hasta los gigaherzios (GHz, 10⁹Hz), y están formadas por un campo magnético y un campo eléctrico que se propagan por el espacio formando una onda electromagnética.

Las variaciones del campo magnético crean el campo eléctrico y viceversa, y ambos se encuentran orientados formando un ángulo de 90° entre sí y con la dirección de propagación. Las ondas electromagnéticas viajan en el vacío, como el resto de las radiaciones electromagnéticas (rayos X, rayos gamma, ultravioleta...) a 299.792 km/seg, que es la velocidad de propagación de la luz, mientras que en otros medios viajan a una velocidad menor.

Las ondas de radio coexisten con otro tipo de ondas electromagnéticas, formando el denominado espectro electromagnético:

Nombre de la región espectral	Rango de Frecuencias
Radiofrecuencia	3KHz – 300GHz
Infrarrojo	300GHz – 4.3 * 10 ¹⁴ Hz
Luz Visible	4.3 * 10 ¹⁴ Hz – 1.0 * 10 ¹⁵ Hz
Ultravioleta	1.0 * 10 ¹⁵ Hz – 6 * 10 ¹⁶ Hz
Rayos X	6 * 10 ¹⁶ Hz – 3.0 * 10 ¹⁹ Hz
Rayos Gamma	3.0 * 10 ¹⁹ Hz – 5.0 * 10 ²⁰ Hz

Las ondas de radio, habitualmente denominadas como radiofrecuencia (RF), ocupan una pequeña parte de todo el espectro electromagnético existente. El espectro de RF se clasifica a su vez en distintas bandas, que engloban frecuencias con propiedades similares:

Abreviatura	Clasificación	Rango de Frecuencias
VLF (Very Low Frequency)	Frecuencias muy bajas	3 a 30 KHz
LF (Low Frequency)	Frecuencias bajas	30 a 300 KHz
MF (Medium Frequency)	Frecuencias medias	300 a 3000KHz
HF (High Frequency)	Frecuencias altas	3 a 30 MHz
VHF (Very High Frequency)	Frecuencias muy altas	30 a 300 MHz
UHF (Ultra High Frequency)	Frecuencias ultra altas	300 a 3000 MHz
SHF (Super High Frequency)	Frecuencias super altas	3 a 30 GHz
EHF (Extra High Frequency)	Frecuencias extremadamente altas	30 a 300 GHz

Asignación para radioaficionados

No todo el espectro de RF está disponible para el uso por los radioaficionados, sino tan sólo unos determinados segmentos en las distintas bandas. La ITU (International Telecommunication Union) asigna los distintos servicios que se emplean en cada segmento del espectro radioeléctrico, a título primario o secundario.

Dentro de cada estado, el gobierno asigna o no a los radioaficionados las bandas que son de uso secundario. Por ejemplo, de 7000 KHz a 7100 KHz está a título primario, pero de 1240 a 1300 MHz es de título secundario y hasta hace un año no se podía usar en España.

Hay que tener muy presente que el espectro radioeléctrico es finito, y que hoy por hoy, los radioaficionados disponemos de una porción muy considerable del mismo.

(λ)	NOMENCLATURA	SERVICIOS	(f)
300 nm	Ultravioleta	Telefonia	10^5 Hz
	Espectro Visible	Datos Video	10^4 Hz
1000 nm	Infrarrojo	Satelites	100 Ghz
	Milimetricas	Radar Telefonia (GPRS, UMTS...)	
1 cm	SHF	GPS	10 Ghz
10 cm	UHF	LMDS, MMDS ...	
1 m	VHF	TV comercial	1 Ghz
10 m	HF	Difucion onda corta Balizas Aeronautica (Volmet)	10 Mhz
100 m	MF	Trans. maritimas Fax	
1 Km	LF	Difusion AM	1 Mhz
	VLF	Aeronautica Cables submarions	100 Khz
10 Km	Espectro Audible	Radiofaros, balizas	10 Khz
100 Km		Telegrafia	1 Khz

Propagación en las bandas de radioaficionado

A lo largo de su viaje por el medio, las ondas de radio sufren una atenuación, que será mayor o menor en función del medio que atraviesen, pero está directamente relacionada con la banda de trabajo.

Un aspecto fundamental que modifica las características de propagación es el Sol, y en concreto, el número de manchas solares. Las manchas solares son una especie de llamaradas creadas en la superficie del sol, cuyo efecto sobre la atmósfera es producir una mayor ionización.

Numerosos estudios muestran que el número de manchas solares se repite de forma cíclica, con una periodicidad que ronda los 11 años. Mientras nos encontramos en una época de poca actividad solar, en general las características de propagación empeoran, sobre todo en las bandas altas de HF.

Durante mediados de la década de los 90, los radioaficionados sufrimos un ciclo de baja actividad solar, que tuvo mínimo en 1996. En 2000 las condiciones de propagación fueron excelentes, y en 2001 ya hemos pasado el máximo y las condiciones han empezado a empeorar lentamente.

Veremos a continuación cómo es la propagación en las distintas bandas asignadas a los radioaficionados y qué alcances podemos esperar en dichas bandas.

Frecuencias Medias o MF (300 kHz–3 MHz)

En este segmento nos encontramos con la banda de 160 metros (1830-1850 KHz). A estas frecuencias, las señales sufren una gran absorción en la capa D, incluso con ángulos de entrada suficientemente altos, con lo que casi ninguna señal pasa a la capa F. Esto provoca que, durante el día, los únicos contactos que podamos realizar se deban a la propagación por medio de la onda de superficie.

Estas ondas se propagan en contacto con la superficie terrestre, y posibilita una cobertura aproximada de unos 100 Km, habitualmente empleada por las estaciones de radiodifusión de AM. La polarización que se ha de emplear para tener una menor atenuación es la vertical.

Durante la noche, la capa D desaparece rápidamente y se hacen posibles los contactos a larga distancia, debido a las reflexiones que sufre la onda en la capa F2. Las tormentas tropicales crean un gran nivel de estática en el verano, por lo que las mayores distancias se consiguen durante las noches de invierno. Esta banda también se ve afectada por el ruido industrial y por el ruido atmosférico.

Frecuencias Altas o HF (3–30 MHz)

En la banda de HF tienen lugar varios tipos de propagación, fundamentalmente por onda ionosférica. Los contactos de mayor distancia se consiguen por rebotes en la capa F2. En toda esta banda, los contactos están caracterizados por desvanecimientos de la señal (en inglés fading), que consisten en variaciones lentas o rápidas del nivel de señal recibido. Las causas de los desvanecimientos son varias, pero las fundamentales son el cambio de tamaño de las capas de la atmósfera y las variaciones de polarización.

Otro efecto muy común es el del multitrayecto o multipath.

El multitrayecto se produce cuando la señal que recibimos recorre diferentes trayectos, en función de la altura a la que se refleje. Esto puede resultar perjudicial si las señales llegan en contrafase (se restan las contribuciones).

En la banda de los 80 metros (3,5 a 3,6 MHz), la propagación mejora durante las noches, si bien las señales con mayor ángulo de entrada pueden atravesar la capa D y reflejarse en las capas E y F. Un DX típico en esta banda está limitado a unos 400 Km. En EA es habitual encontrarse con tertulias entre estaciones de toda la península y las islas durante las noches.

La banda de los 40 metros (7 a 7,1 MHz) es muy popular entre los radioaficionados debido a su buena propagación durante casi todo el día. La capa D empieza a ser más transparente y las señales se rebotan en las capas E y F, posibilitando contactos diurnos de 1000 km. de distancia, siendo el mecanismo de propagación más importante la onda ionosférica (la onda de superficie a estas frecuencias ya no tiene relevancia). El ruido industrial y atmosférico ya no es tan terrible en estas bandas, por lo que podemos decir que es la banda de más baja frecuencia en la que podemos tener cobertura mundial. En EA, esta banda está repleta durante las noches de estaciones llamando DX, tanto en telegrafía como en LSB.

Pero la banda reina del DX no deja de ser la de los 20 metros (14 a 14,350 MHz.), lo que queda patente al comprobar la tremenda ocupación de esta banda por los radioaficionados de todo el mundo. Durante cualquier hora del día, en los periodos favorables del ciclo solar, podremos hacer contactos a nivel mundial. En los años de actividad solar baja, la propagación es mayor durante las horas de día. Quizás el mayor problema para hacer DX en esta banda sea el QRM creado debido al alto nivel de actividad. Durante los concursos de DX a nivel mundial, es fácil encontrar varias estaciones operando en unos pocos KHz. La propagación en esta banda se debe a las reflexiones en la capa F, pudiendo reflejarse la onda varias veces de forma consecutiva y alcanzando así mayores distancias.

La banda de 17 metros (18,068 a 18,168 MHz.) es bastante similar a la de los 20 metros, pudiendo realizar contactos a nivel mundial durante el día. Durante los años de baja actividad solar, la banda puede encontrarse totalmente cerrada, si bien cuando se encuentra abierta el QRM es mucho menor que en la banda de los 20 metros.

Los 15 metros (21 a 21,450 MHz) es otra banda muy popular para el DX, siendo de uso primordialmente diurno. Durante los años de baja actividad esta banda suele estar totalmente cerrada, si bien durante los picos del ciclo solar se mantiene abierta por saltos en la capa F2 durante todo el día y parte de la noche. En EA, la parte baja de esta banda es muy utilizada por las estaciones EC para el DX.

La última banda de HF es la de los 10 metros (28 a 29,7 MHz). En esta banda tienen lugar muchos modos de propagación y las condiciones varían de forma extremadamente rápida, combinando las características de la propagación en HF (reflexiones en la capa F2) con las de VHF. Durante los periodos altos de actividad solar, la banda está abierta desde el amanecer hasta un par de horas después de que anochezca, y se consiguen largos contactos debido fundamentalmente a rebotes en las capas E y F2.

Frecuencias Muy Altas o VHF (30–300 MHz)

La propagación en VHF se produce fundamentalmente por onda espacial. Esto quiere decir que las ondas se propagan de forma directa de transmisor a receptor, sin pasar a las capas altas de la atmósfera, por lo que los alcances se limitan a un poco más que el alcance visual. Esto se denomina comúnmente “línea de vista” (line of sight) o línea de horizonte¹. Así, cuanto más altura tenga la antena, mayor distancia de cobertura tendremos. Según la frecuencia de trabajo va aumentando, los alcances son menores. Debido a esto, en estas bandas es importante tener antenas muy directivas y apuntando hacia la otra antena de la forma más adecuada. Éste es el motivo por el cual los radioaficionados instalamos repetidores en las bandas de V/UHF, con objeto de comunicar poblaciones orográficamente separadas por grandes obstáculos.

En estas bandas, coexisten varios modos de propagación, como son las reflexiones en la capa F y en la capa E, auroras... así como la propagación troposférica, el rebote lunar y el meteor scatter o dispersión meteórica.

El meteor scatter (MS) es otro modo de propagación empleado por los radioaficionados, consistente en aprovechar las reflexiones en las regiones ionizadas de la atmósfera durante una lluvia de meteoros. Este modo de propagación da lugar a contactos de muy poca duración, exclusivamente en CW, debido a que el efecto ionizante es muy breve.

Los contactos de larga distancia más habituales en V/UHF son posibles debido a los efectos de la capa más baja de la atmósfera, la troposfera. Bajo determinadas circunstancias, se produce una inversión de la temperatura en la troposfera, lo que produce una refracción de las ondas, provocando que retornen hacia la superficie terrestre. Estos conductos formados por aire caliente-frío pueden dar lugar a contactos de cientos de kilómetros en V/UHF. Este efecto ocurre con condiciones de alta presión y en los atardeceres tras días cálidos y secos, por lo que tienden a darse mayoritariamente en verano.

La banda más baja para uso de radioaficionados en VHF es la de los 6 metros (50 a 50,2 MHz.).

Durante los años de alta actividad solar, es posible hacer DX en esta banda, de nuevo mediante rebotes en la capa F2, si bien el modo más popular de propagación es la esporádica (capa E).

La banda reina de la alta frecuencia es sin duda la de 2 metros (144 a 146 MHz). En esta banda seguimos teniendo esporádica en la capa E, y la propagación troposférica empieza ya a aparecer e irá aumentando con la frecuencia. Los conductos troposféricos pueden hacer que tengamos alcances extraordinarios a estas frecuencias, del orden de los 1000-2000 kilómetros de distancia o incluso 1La distancia al horizonte en millas es 1.42 veces la altura de la antena en pies.

Frecuencias Ultra Altas o UHF (300 MHz – 3 GHz) y superiores

La banda más baja dentro de las frecuencias ultra altas es la de 70 cm (430 a 440 MHz). A estas frecuencias los alcances que podemos esperar son ya bastante menores que en VHF, si bien la propagación por conductos troposféricos pueden darnos contactos de larga distancia. Por otra parte, la capa E no tiene ningún a estas frecuencias y el efecto doppler empieza ya a ser un problema para ciertas aplicaciones.

Para frecuencias más altas, comienzan ya a aparecer otros efectos troposféricos, así como la propagación producida por scattering de hidrometeoros (agua, nieve...) en las bandas bajas del orden de los GHz. Por encima de 10 GHz., los factores más limitadores son la atenuación producida por el oxígeno (60 GHz) y el vapor de agua (22 GHz y 120 GHz).

Otro efecto muy llamativo de la radio propagación son las auroras. Las auroras son tormentas electromagnéticas que ocurren en las regiones polares, y producen una fluorescencia en la atmósfera.

Esta tormenta crea una gran ionización de la atmósfera, lo que actúa como dispersor para las señales de VHF (50 y 144 MHz son las bandas típicas). Como la posición de la cortina cambia rápidamente, aparecen desvanecimientos, multitrayecto y doppler, lo que hace que las señales de gran ancho de banda lleguen totalmente distorsionadas (señales de voz). Se puede utilizar SSB pero es más habitual la CW por ser más inteligible con doppler y escucharse mejor si la señal es muy débil.

El último modo de propagación que comentaremos es la propagación por línea gris (gray-line propagation). La línea gris es una banda alrededor de la tierra, formada entre la zona de día y la zona de noche. La propagación a lo largo de esta línea es muy eficiente, debido a que al amanecer las capas D y E no están todavía formadas pero la F2 se forma

rápidamente. Al anoecer, la D y la E desaparecen rápidamente y la F2 se mantiene más tiempo. Si trabajamos en las bandas bajas de HF (160 y 80 metros) durante la línea gris estaremos consiguiendo mayores distancias que las esperables a otra hora del día.



El SOL, nuestra estrella madre

El Sol es la estrella más próxima a la Tierra, y es la única cuya superficie podemos estudiar con cierto detalle.

Se encuentra a una distancia de **150.000.000 de Km. (Una unidad astronómica; U.A)**, y la luz emplea para viajar esta distancia un tiempo de 8 minutos. Esto quiere decir que estamos a 8 minutos luz del Sol. Si en este preciso instante el Sol se apagara, veríamos su luz durante 8 minutos más, hasta que los últimos rayos que partieron de su superficie nos alcanzaran.

Este astro es una bola de gas de aproximadamente 1.392.000 Km de diámetro.

Para graficar este tamaño, digamos que harían falta **109 Tierras**, puestas en fila, para abarcar su diámetro.

Contiene alrededor de **333.000** veces más materia que la Tierra, y comprende más del 99,99% de la masa de todo el Sistema Solar.

El Sol es una estrella de mediano tamaño y mediana temperatura, que está en la mitad de su vida, que comenzó hace unos 4.600 millones de años. Somos afortunados de que el Sol sea una estrella ordinaria, no especialmente masiva o pequeña, no especialmente caliente o fría, no particularmente joven o vieja.

Si fuese diez veces más grande, ya habría consumido toda su materia y hubiese explotado como una supernova. Y si fuese diez veces más pequeña, no produciría ni el calor ni la luz para la existencia de la vida.

El 92,1% de la materia solar está constituida por **Hidrógeno**. El elemento que le sigue es el **Helio**, con un 7,8%. Todos los demás elementos constituyen el 0,1% restante.

El Sol es un gigantesco generador termonuclear de fusión. En su remoto núcleo, los átomos de hidrógeno se fusionan para producir átomos de helio, más pesados, que liberan gigantescas cantidades de energía.

En este profundo núcleo, las temperaturas alcanzan valores de **15.000.000 °C**.

Podemos decir figuradamente que éste es la “sala de máquinas” del astro rey, desde allí fluye hacia las capas más exteriores la energía liberada por la fusión nuclear. Esta energía se transporta en forma de fotones, que son paquetes de energía electromagnética.

Después de recorrer tres cuartas partes del camino hacia la superficie, el gas experimenta primero un enfriamiento considerable y después un movimiento convectivo que lo calienta. Esta convección transporta la energía del núcleo hacia el exterior. Justo debajo de la fotosfera (la superficie visible), las enormes células gaseosas que suben se descomponen en células más pequeñas, y así aparecen los gránulos que se ven sobre su superficie. Cuando llega a la fotosfera, el gas se ha enfriado hasta unos 6.000 °C.

Por encima de la fotosfera, hay una capa fina, fría y sonrosada llamada cromosfera, la que sólo se ve durante los eclipses solares o a través de filtros especiales. La parte superior de la cromosfera se funde con la corona, la amplia capa exterior de la atmósfera solar, que se prolonga hasta diez veces el radio solar.

El gas de la corona es muy difuso pero sumamente caliente; alrededor de 1.000.000 °C.

Más allá de la corona, el Sol envía al espacio partículas cargadas (en su mayoría electrones y protones) que forman lo que conocemos como viento solar.

En las proximidades del astro, este viento alcanza velocidades de 4.000 Km/seg., pero cuando alcanza a la Tierra la velocidad es de una décima parte de esta cifra.

El viento solar a veces interactúa con la atmósfera terrestre formando las bellas auroras polares. Además controla la forma y la dirección de la cola de gas ionizado de los cometas.

La superficie visible del sol es la fotosfera (esfera de luz). Aunque parezca sólida, en realidad es una corteza de gas de unos 400 Km de espesor. Con una temperatura, como ya se mencionó, de unos 6.000 °C, esta capa externa es mucho más fría que el gas que guarda en su interior. De las variadas características que es posible observar sobre la fotosfera, las de inmediato interés para los fines de la radio son las llamadas “manchas solares”.

Consta en documentos chinos que desde la antigüedad los observadores han notado la existencia de manchas oscuras en el Sol. Estas observaciones a ojo desnudo seguramente se realizaban cuando el Sol estaba bajo u oculto parcialmente por nubes o niebla. Se recomienda especialmente no intentar imitar esta técnica, sumamente peligrosa. El Sol sólo debe ser visto con filtros especiales de reconocida calidad y confiabilidad, o con técnicas adecuadas de protección y seguridad como puede ser la proyección sobre una pantalla de la imagen captada por un telescopio o binoculares.

Se atribuye al gran astrónomo italiano Galileo Galilei, las primeras observaciones telescópicas de las manchas solares. El demostró que estas manchas no eran nubes situadas encima de la fotosfera, como sugerían algunos, sino rasgos de la propia fotosfera. Galileo y otros observadores determinaron la existencia de manchas a unos 35° del ecuador solar. En el siglo XIX, Richard Carrington observó que las manchas solares próximas al ecuador solar tardaban dos días menos en dar la vuelta al Sol que las manchas situadas a mayores latitudes. Llegó a la conclusión de que distintas partes del Sol rotaban a distinta velocidad, y que esta diferencia de rotación se debe a que el Sol es un cuerpo gaseoso. Esto es lo que hoy conocemos como “rotación diferencial” y constituye un hallazgo de gran importancia.

De hecho, la observación sistemática de las manchas y sus consiguientes registros en el tiempo, dieron la evidencia de que el Sol estaba animado de un movimiento de rotación. En 1861, Carrington fijó la rotación solar promedio vista desde la Tierra en 27-28 días.

También la observación sistemática y su correspondiente tabulación, llevó a determinar que las manchas solares siguen un ciclo de aumento y disminución de su cantidad de aproximadamente 11 años de duración. Este estudio fue realizado en el siglo XIX por un astrónomo aficionado alemán, **Heinrich Schwabe**.

En la actualidad, después de muchos años de observaciones y registros, los científicos han llegado a la conclusión de que las manchas, cuantitativamente, pasan de un mínimo a un máximo, pasando desde muy pocas o ninguna en un período de mínimo, hasta unas doscientas en períodos de máxima.

Para los astrónomos solares, el ciclo cero fue el que alcanzó su punto culminante en 1750. Según los mismos cálculos, el ciclo 22 alcanzó el máximo a mediados de 1989 y finalizó a fines de 1996. Actualmente transitamos el ciclo 23 el que alcanzó su máximo en 2001.

Los ciclos son asimétricos, tardan unos cinco años en alcanzar el punto de máxima actividad, y van disminuyendo a lo largo de seis años.

Al comenzar cada nuevo ciclo, las primeras manchas solares aparecen en torno a los 35° de latitud tanto norte como sur. A medida que avanza el ciclo, las manchas aumentan en número y aparecen en latitudes más próximas al ecuador solar. Al final del ciclo, aparecen manchas en torno a los 7° de latitud solar, tanto norte como sur. Mientras un ciclo está a punto de acabar, ya empiezan a aparecer las primeras manchas del ciclo siguiente en altas latitudes.

Las manchas solares son muy magnéticas, con intensidades de campo magnético de alrededor de 2.000-4.000 gauss. (La intensidad de campo magnético de la Tierra es de 0,5 gauss).

Este intenso campo emergente corta la convección desde el interior del Sol y consiguientemente crea una zona de menor temperatura y presión con relación a la temperatura de la fotosfera circundante. En estas zonas la temperatura resulta unos 2.000°C menor, existe en consecuencia una menor radiación térmica y por ese motivo las manchas se ven oscuras. Mencionemos que el diámetro promedio de la mayoría de las manchas es de unos 43.000 Km.

Cabe agregar como comentario adicional que el Sol es un potente emisor de ondas de radio, con radiaciones desde longitudes de onda milimétricas hasta kilométricas. Las primeras radio observaciones del Sol demostraron que la radioemisión no proviene de la fotosfera, sino de la cromosfera y la corona, ya que cuando se observan los eclipses mediante métodos de radio, utilizando radiotelescopios, éstos comienzan antes y terminan después que el eclipse óptico.

Las observaciones actuales se registran continuamente mediante el “**Número de Manchas Solares de Zurich**”, en el cual se basan las predicciones de propagación de ondas de radio para circuitos de comunicación de onda corta.

Una indicación moderna y útil de la actividad solar es el “**índice de flujo solar**”.

El **flujo (ruido) solar** se mide en distintas frecuencias en muchos lugares.

Una medición en 2800 MHz realizada varias veces al día es transmitida cada hora por la estación WWV. En razón de que es información actualizada permanentemente, relacionada directamente con el número de manchas solares, y de utilidad más inmediata, tiende a desplazar ese número de manchas como medio de predecir las condiciones de propagación.

En tantos años de observaciones, se ha notado que la duración de los ciclos de manchas solares ha variado entre 9 y 14 años, siendo el ciclo “**onceañal**” un promedio. También han variado estos ciclos en intensidad, como habíamos mencionado antes, observándose variaciones en la cantidad de manchas de un ciclo a otro. Como dato histórico, hubo un período entre 1645 y 1715 donde sólo unas pocas manchas fueron observadas. Parece que el Sol pasó por un mínimo de actividad durante 70 años, hoy conocido como “**mínimo de Maunder**”.

Las manchas solares están circundadas por zonas más luminosas y calientes, llamadas “playas”. Es en estas playas donde la radiación ultravioleta es producida y esta radiación UV es la responsable de la ionización de la ionósfera en nuestro planeta. Entonces con un incremento del número de manchas solares aumenta consecuentemente la radiación UV y correspondientemente aumenta la ionización de nuestra atmósfera superior, permitiendo el uso de frecuencias más altas para comunicaciones vía ionósfera.

Otro tipo de actividad que presenta el Sol son las erupciones. Son explosiones brillantes de energía magnética y radiación contenidas. Aparecen y desaparecen, a menudo en cuestión de minutos. Estos fenómenos pueden liberar hasta un 2% de la energía del Sol desde una zona diminuta en muy pocos minutos, y pueden perturbar el ambiente electromagnético de todo el interior del Sistema Solar. Cuando las partículas de la erupción llegan a la Tierra en forma de ráfagas de alta velocidad del viento solar, producen perturbaciones geomagnéticas como las auroras polares. En casos extremos, pueden provocar subidas de tensión que generan fallos en la red eléctrica, produciendo apagones generalizados.

En esta situación se nota un crecimiento, por minutos o algunas horas, de la actividad ionosférica.

Así, la variación de la absorción de la capa más baja de la ionósfera, (**Capa D**) crece de golpe. A este fenómeno se lo denomina con las siglas **SID (Sudden Ionospheric disturbance = disturbio súbito ionosférico)**.

Como consecuencia, aparece un rápido desvanecimiento de los circuitos de comunicaciones de onda corta, efecto que suele indicarse con las siglas **SWF (shortwave fade outs = desvanecimiento de las ondas cortas)** En el terreno

práctico el efecto se pone de manifiesto como un cambio súbito de las señales en estas frecuencias de la porción HF del espectro. Un nombre más generalizado de esta situación es “**fading**”.

Cuando se producen estas tempestades solares, grandes cantidades de materia solar son expulsadas hacia el espacio, conjuntamente con radiaciones luminosas, ultravioletas, rayos X, ondas de radio...

Las radiaciones electromagnéticas como las mencionadas, viajan a 300.000 Km por segundo, tardando 8 minutos en llegar a la Tierra. Los efectos de los rayos UV emitidos por el Sol afectan, por consiguiente, rápidamente a la ionósfera.

En lo que concierne al flujo de partículas, principalmente protones y neutrones, éstas viajan a menor velocidad que la luz, llegando por lo tanto unas 40 horas más tarde a la Tierra. Estas partículas, además de ser las responsables de las bellas auroras boreales y australes, provocan también cambios radicales en las condiciones de propagación de las ondas de radio.

Como consecuencia de la tremenda eyección de masa solar, se forma una onda de choque que avanza hacia la Tierra. Gracias a nuestro campo magnético protector, que actúa a modo de escudo, esta onda altera la forma de los cinturones de Van Allen, y, como una lluvia que cae del cielo, las partículas empiezan a “entrar” en la atmósfera terrestre por los polos magnéticos, provocando un aumento tan elevado de la ionización que llega a interrumpir totalmente las condiciones de propagación en bandas decamétricas.

En esta brevísima introducción sobre nuestra “**estrella madre**” y cómo afecta a nuestro planeta, se ha querido ilustrar sobre lo exclusivo del sistema Sol-Tierra. El comportamiento de las ondas radioeléctricas en nuestra Tierra es único; de allí el celo puesto en cuidar el espectro, organizando las emisiones y sus frecuencias a fin de que sean utilizables para todos, sin interferencias y proporcionando comunicaciones seguras.

Hay otros soles y otros mundos en la vastedad inimaginable del Cosmos. Seguramente el comportamiento de las diferentes radiofrecuencias será allí diferente. Diferencias que serán marcadas por el tamaño de esos mundos, sus distintas atmósferas, sus distintas densidades...

Es necesario insistir sobre la exclusividad del comportamiento de la propagación de ondas de radio sobre nuestra Tierra.

“Los buenos planetas son difíciles de conseguir. Nosotros sólo tenemos éste”

John Kraus

“Cuando te alzas por el horizonte oriental, colmas cada comarca con tu belleza...”

“Aunque te halles lejos, tus rayos están en la tierra”

Eknaton (Himno al Sol) (h.1370 AC), (Citado por Carl Sagan en “Miles de millones”)

Este documento es propiedad intelectual del autor, y no podrá ser empleado ni reproducido para fines comerciales sin autorización explícita escrita. Las opiniones y puntos de vista manifestados representan el resultado de una revisión bibliográfica y deben ser tomados con las respectivas precauciones, de utilizarse este documento como material técnico de referencia. Las instituciones u organizaciones que aparezcan mencionadas en este trabajo tienen como involucramiento único las consultas investigativas que se les puedan haber realizado.

© 2009 - LU2MDE - Hugo Antonio Dichiara D’Agnillo

BIBLIOGRAFÍA

- The Radio Amateur Handbook (ARRL)
- Manual de Antenas de Woodrow Smith (HASA ed.)
- La práctica de antenas de Ch. Gilbert (Marcombo ed.)
- Electrones, ondas y mensajes de John Pierce (EUDEBA ed.)
- Curso de Radiopropagación del Laboratorio Ionosférico de la Armada de la República Argentina (LIARA) Lic. Patricio Marcó y Lic. José L. Verdile
- Diccionario de Astronomía del saber. Isabel Ferro Ramos
- Observar el Cielo de David H. Levy
- Viaje a través del Universo Time-Life
- IPS Radio and Space services HF propagation Course Manual 1999

ANTENAS

Introducción:

La antena es el elemento más importante de toda estación de radio. Todo lo que hacen los equipos de una emisora es amplificar y transformar energía de corriente alterna. Sin embargo, para que una estación pueda comunicarse con otra sin recurrir a cables de interconexión, se necesita transformar la energía de corriente alterna en un campo electromagnético o viceversa. Cuanto más eficaz sea esa transformación mejor será la estación, independientemente del equipo que se posea.

La antena por sí sola **constituye más del 50 % de la calidad de una estación**, por tanto, sólo existen dos posibilidades: la antena es buena, o es mejor.

Como se verá a lo largo de este capítulo, algunos tipos de antenas son sencillísimos y fáciles de instalar. El hecho de que una antena sea sencilla no quiere decir que no tenga un rendimiento óptimo. Cualquier antena, por sencilla que sea, si consigue realizar óptimamente, o sea, sin pérdidas, la transformación de energía de corriente alterna en energía de campo electromagnético (o al revés), será una buena antena.

Otra cosa es que se quiera concentrar el campo electromagnético en una dirección determinada, ya que, esto siempre se realiza en detrimento de las otras direcciones, o lo que es lo mismo, la energía total del campo electromagnético será la misma, sólo que en un caso se difunde en todas direcciones, mientras que en otros va en una sola dirección.

Al instalar una antena, siempre se presenta el problema de que ésta debe encontrarse lo más alta y despejada posible, y forzosamente se la debe conectar de alguna forma a la estación. Ahora bien, como en una antena emisora se le aplica corriente alterna de alta frecuencia, esta conexión debe cumplir unos requisitos muy estrictos. A esta conexión se le denomina línea de transmisión. Se estudiará en primer lugar ya que en la mayoría de los casos condiciona fuertemente el diseño de las antenas.

Tipos de ondas

Las posibles formas de propagación de la onda radiada son:

Ondas de tierra u ondas de superficie: se desplaza a nivel del suelo siguiendo la curvatura del planeta.

Ondas directas o visuales: van de la antena emisora a la receptora.

Ondas espaciales: son aquellas que superan la línea del horizonte.

Diagrama de radiación y directividad

El decibelio es una medida de ganancia o atenuación de dos señales, una de entrada y la otra de salida del sistema. Matemáticamente se define así:

$$\text{Decibelios}(dB) = 10 \log \frac{\text{potencia salida}}{\text{potencia entrada}}$$

Si medimos alrededor de una antena transmisora la intensidad de campo producida por la onda electromagnética radiada, uniendo todos los puntos de igual intensidad trazaremos una curva que se llama lóbulo de radiación de la antena. De este modo tendremos el lóbulo de radiación horizontal si las medidas fueron tomadas en el plano horizontal y el lóbulo de radiación vertical si éstas fueron tomadas en el plano vertical.

Así podemos clasificar las antenas según su directividad:

- **Omnidireccional:** Si el lóbulo de radiación horizontal es semejante a una circunferencia con centro en la antena.
- **Bidireccional:** Si la radiación es en dos direcciones opuestas.
- **Direccional (unidireccional)** Si el lóbulo de radiación está en una sola dirección. Estas últimas antenas, además del lóbulo principal tienen otros más pequeños en otras direcciones; la diferencia entre el lóbulo de radiación principal y el de dirección opuesta nos da la relación delante-detrás, frente/espalda (Front-to-Back: F/B) o eficacia directiva de la antena.

➤ **Radiador isotrópico:**

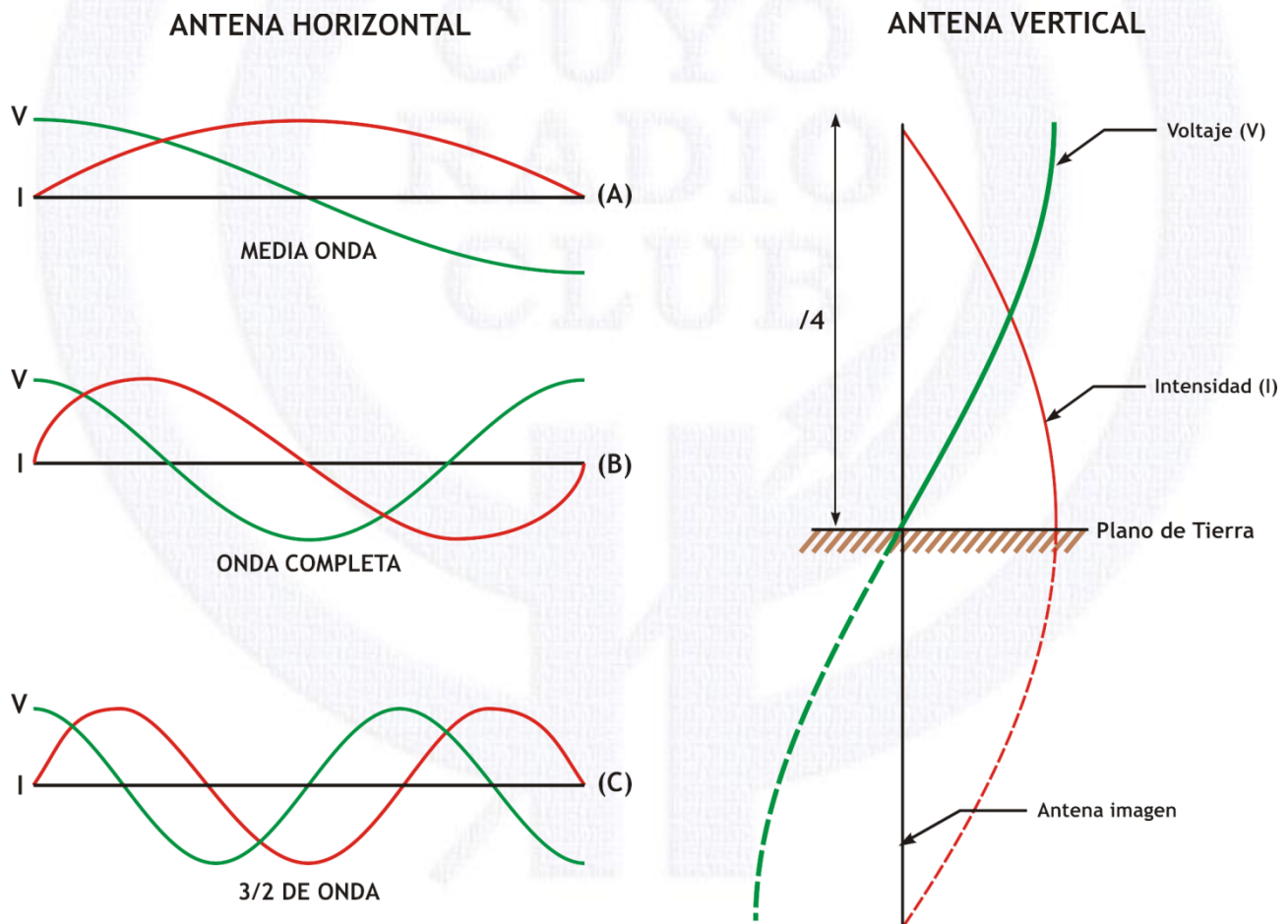
Es una antena imaginaria (ideal) que radiase igual energía exactamente en todas las direcciones; esta antena estaría en el centro de una esfera en la que todos los puntos de su superficie recibirían la misma cantidad de energía, sería en definitiva un punto.

La ganancia de una antena es la relación o cociente entre la potencia entregada a la antena y la que tendríamos que entregar al radiador isotrópico para obtener la misma intensidad de campo en un punto común a los dos lóbulos (situado en la dirección del lóbulo principal de la antena). Esta ganancia se expresa normalmente en decibelios y se simboliza por dBi

Resonancia

Para que una antena tenga un buen rendimiento, tiene que resonar en la frecuencia de trabajo (es decir, tener cancelada la componente reactiva). Cuando esto ocurre, para una misma potencia disponible en el transmisor circulará una corriente mayor. A lo largo de la antena se establecen vientres y nodos de intensidad y de tensión. La resonancia se logra si en el punto de alimentación el cociente de la tensión entre la corriente es resistivo.

Para el caso de una antena aislada de tierra, la medida de resonancia será igual a media longitud de onda y sus múltiplos (ya que en los extremos de la antena sólo pueden existir nodos de intensidad, o sea intensidad nula). Si utilizamos una antena vertical conectada a tierra por un extremo, ésta resonará cuando tenga una longitud de un cuarto de onda o un múltiplo impar de ella (tiene un nodo de corriente en un extremo y un nodo de tensión a la altura de la toma de tierra).



La longitud eléctrica de una onda de radiofrecuencia está relacionada con la velocidad de propagación de las ondas en el espacio y con su frecuencia.

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

La longitud física de una antena siempre será menor que su longitud eléctrica a causa de objetos próximos, de la relación longitud/diámetro y del efecto de los aisladores en las puntas de la antena.

Por lo tanto habrá que aplicar ciertos factores de corrección a las fórmulas de cálculo.

Impedancia

Es la relación que existe en un punto de la antena entre la tensión y la intensidad. Si la antena está en resonancia a una frecuencia determinada y la alimentamos, entonces su impedancia coincide con la resistencia de radiación. En el punto de alimentación tendremos un máximo de corriente creada por la potencia entregada, la cual será disipada por la antena.

Podemos calcular la impedancia de la antena utilizando la fórmula de Joule:

$$Z = \frac{P}{I^2} ; Z=\text{impedancia, } P=\text{potencia, } I=\text{intensidad}$$

Esto es válido si y sólo si la antena está alimentada en un punto de máxima intensidad.

La relación longitud/diámetro de la antena tiene influencia en su impedancia.

Ancho de banda

Se denominará así a la gama de frecuencias en que puede funcionar una antena sin sobrepasar el límite prefijado de ondas estacionarias en la línea de alimentación.

La ganancia y la impedancia de una antena limitan normalmente el margen de funcionamiento a la región de frecuencias de HF, mientras que el cambio de características limita el margen de las de VHF.

Polarización

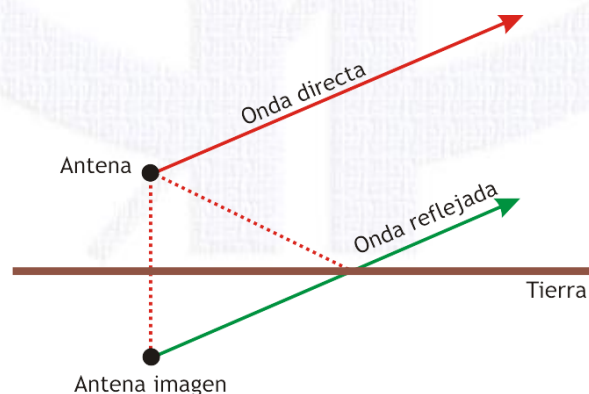
Se define la polarización como el vector del campo eléctrico de la onda electromagnética. Para antenas rectilíneas coincide con el eje de la antena, por lo que será siempre lineal. Otros tipos son la polarización circular y la elíptica que a la vez puedan ser a derechas o a izquierdas, según el sentido de giro del campo eléctrico. Si la polarización de la onda que se quiere recibir no coincide con la de la antena receptora, habrá pérdidas.

Ángulo de radiación

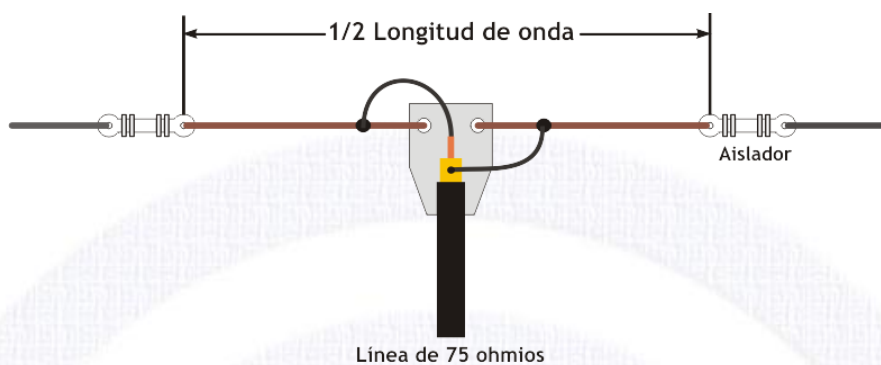
Denominamos así al ángulo que forma el eje de su lóbulo de radiación principal con el horizonte.

Éste se mide en el plano vertical y viene determinado por el diagrama de radiación de la antena, por la altura de la antena respecto al suelo y por la naturaleza del mismo.

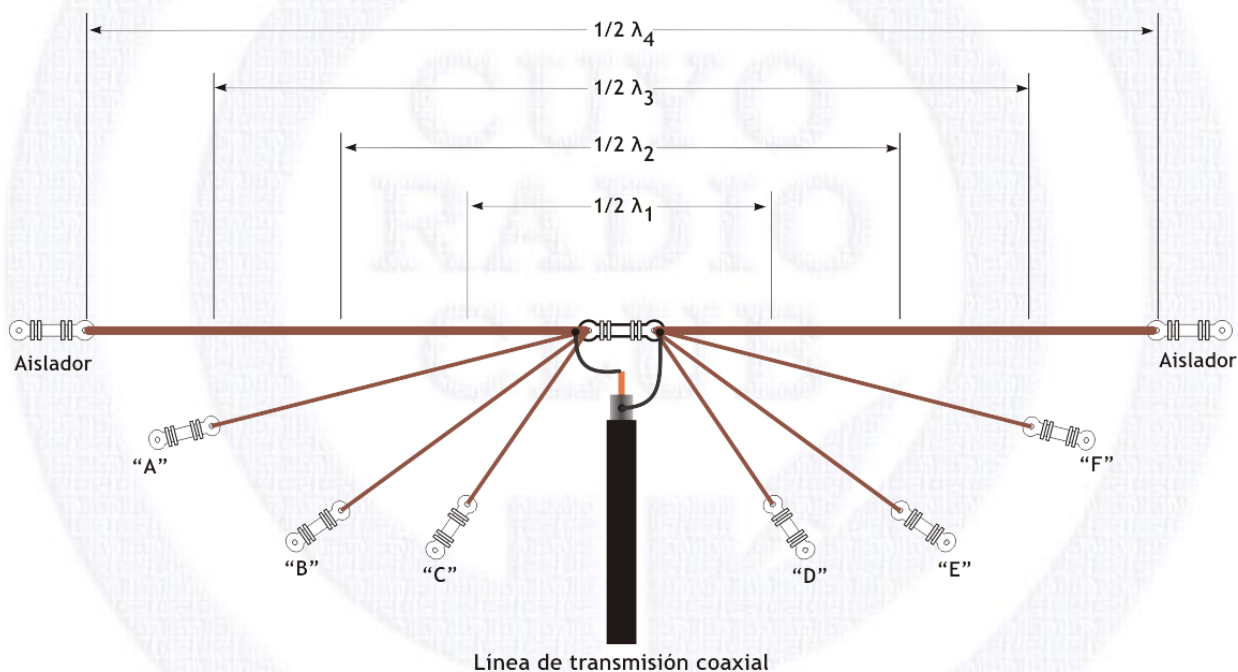
Tiene gran importancia para lograr mayores distancias de salto, por ejemplo si utilizamos una antena para HF situada cerca del suelo en relación con la longitud de onda, el suelo afectará al ángulo de radiación, ya que parte de la energía radiada por las antenas es reflejada por el suelo y devuelta al espacio. En general, para DX interesa que el ángulo sea bajo.



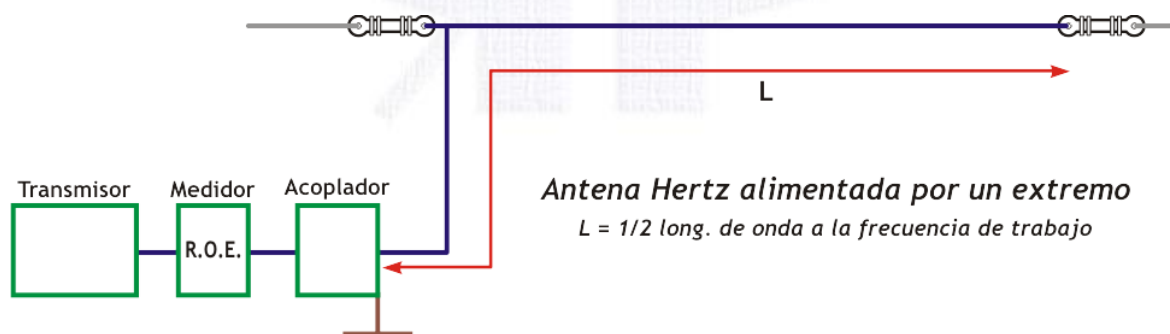
Dipolo

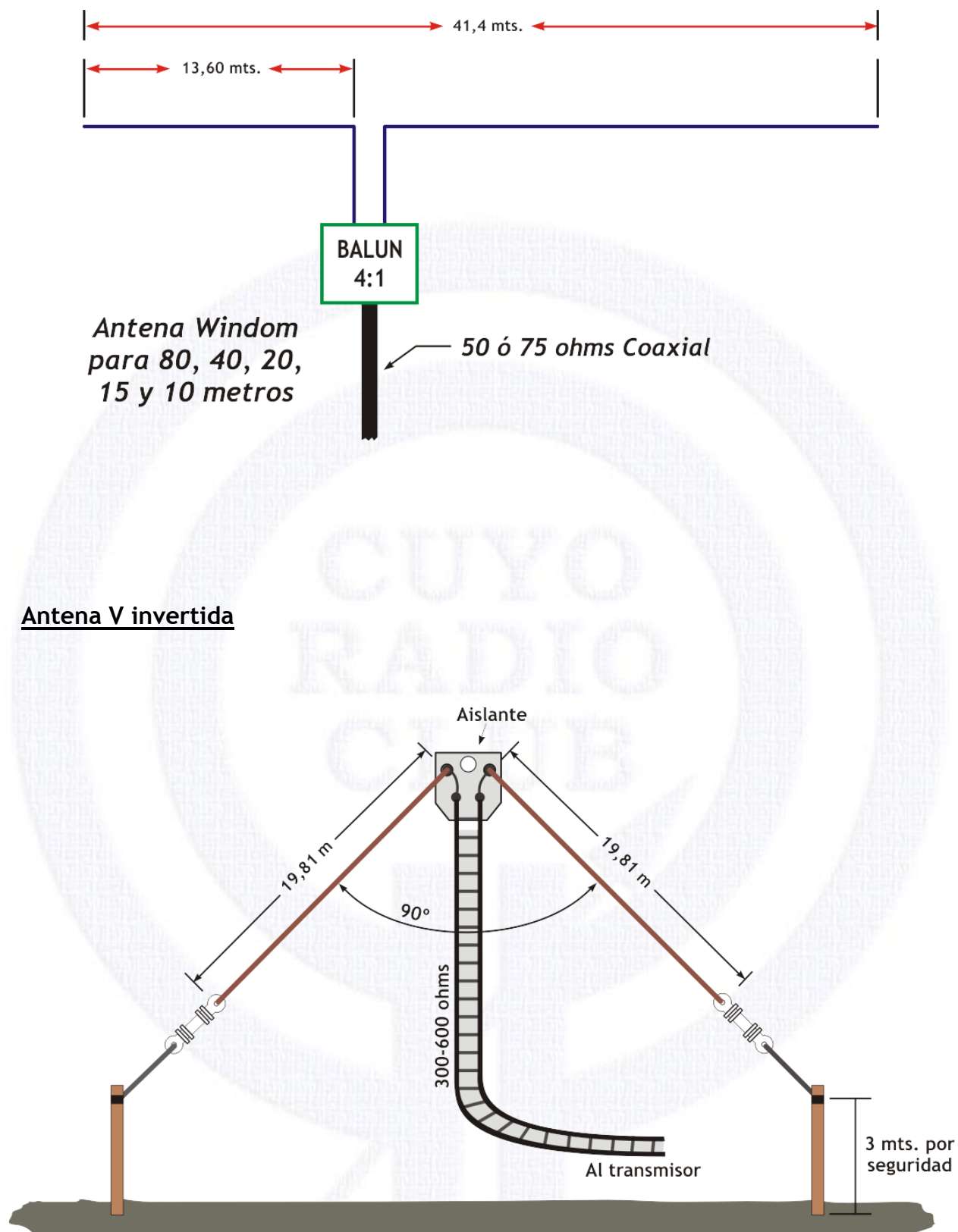


Dipolo multibanda

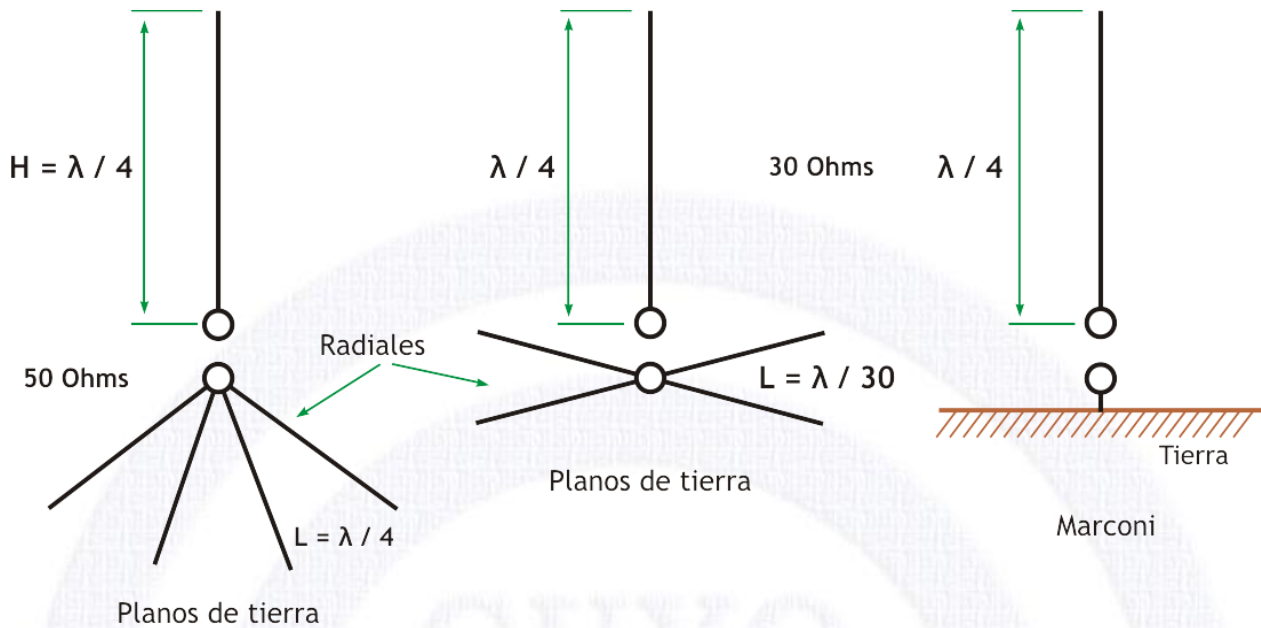


Antenas de hilo largo





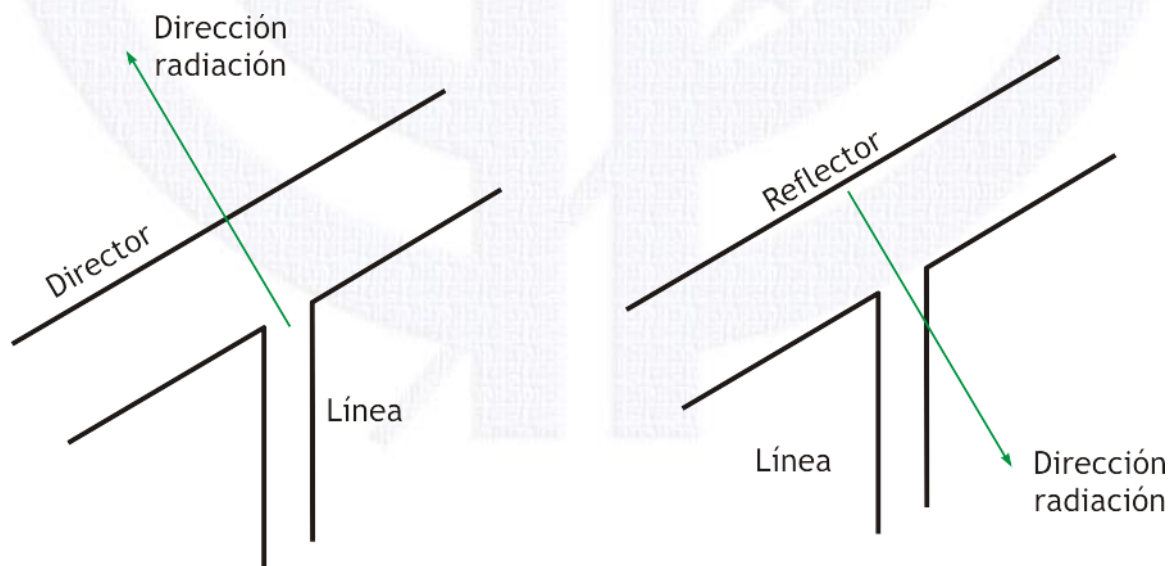
Antenas Verticales



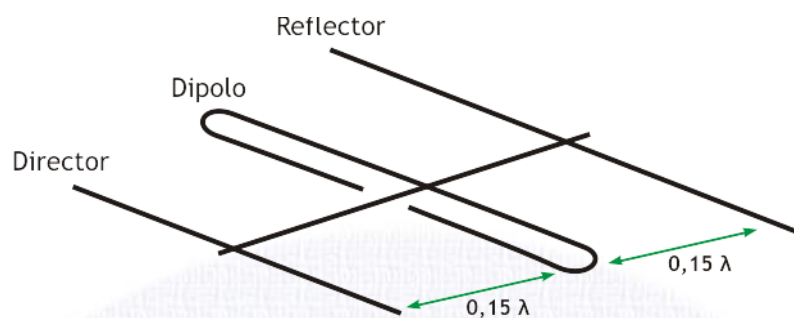
Antenas Yagi:

La antena Yagi es una antena direccional inventada por el Dr. Hidetsugu **Yagi** de la Universidad Imperial de Tohoku y su ayudante, el Dr. Shintaro **Uda** (de ahí el nombre **Yagi-Uda**).

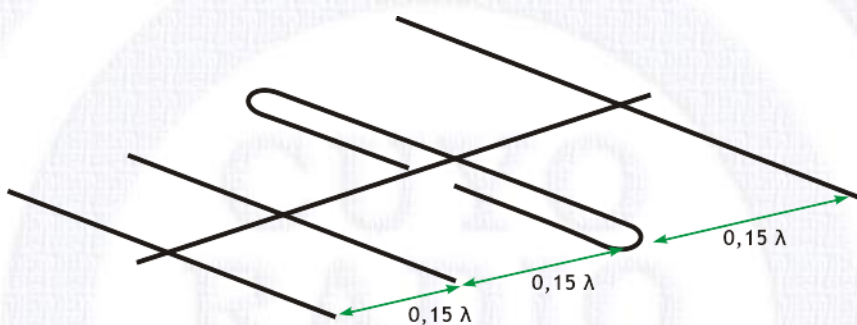
Esta invención "de quitar la tierra" a las ya convencionales antenas (groundbreaking), produjo que mediante una estructura simple de dipolo, combinado con elementos parásitos, conocidos como **reflector** y **directores**, logró construir una antena de muy alto rendimiento. La invención del Dr. Yagi (patentada en 1926) no fue usado en Japón en un principio. Sin embargo fue aceptada en Europa y Norteamérica, en donde se incorporó a la producción comercial, de los sistemas de difusión, TV, radioaficionados y otros. El uso de esta antena en Japón solo comenzó a utilizarse durante la Segunda Guerra Mundial, cuando fue descubierto que la invención de Yagi, era utilizada como antena de radar por los ejércitos aliados.



Antenas Yagi de 2 elementos



Antenas Yagi de 3 elementos



Como funciona una antena Yagi-Uda

Fuente: Wikipedia (http://es.wikipedia.org/wiki/Antena_Yagi)

En virtud del principio de reciprocidad, se puede demostrar que las propiedades (impedancia, ganancia, etc.) de una antena cualquiera son las mismas tanto en emisión como en recepción. Como es más fácil de comprender el funcionamiento de una antena Yagi-Uda en transmisión que en recepción, comenzaremos por una antena en transmisión.

Como ya se ha mencionado, una antena Yagi-Uda está formada por un elemento alimentado (conectado al emisor o al receptor) formado por un simple dipolo o un dipolo doblado llamado también "radiador" de manera inapropiada, ya que en la antena Yagi-Uda todos los elementos irradian de manera comparable. Además de ese elemento, la antena tiene uno o varios elementos aislados llamados, injustamente, elementos parásitos.



La corriente que circula en el elemento alimentado irradia un campo electromagnético, el cual induce corrientes en los "elementos parásitos" de la antena. Las corrientes inducidas en esos elementos irradian también campos electromagnéticos que a su vez inducen corrientes en los demás. Finalmente la corriente que circula en cada uno de los elementos es el resultado de la interacción entre todos los elementos.

La amplitud y la fase de esa corriente dependen de la posición y de las dimensiones de cada elemento. El campo electromagnético irradiado por la antena en cada dirección será la suma de los campos irradiados por cada uno de los elementos.

Esta suma es complicada porque la amplitud y la fase de la corriente que circulan en cada elemento son diferentes. Además, como la distancia a cada elemento depende de la dirección

del punto de medida del campo, la suma dependerá de la dirección.

Tomemos el ejemplo más simple: una antena con un elemento alimentado y un solo elemento parásito. Tomaremos como fase de referencia la fase de la corriente que circula en el elemento alimentado.

La fase de la corriente que circula en el elemento parásito dependerá de la distancia entre los dos elementos y de la longitud y diámetro de este último. La amplitud también dependerá de lo mismo pero mucho menos y será, de to-

das maneras, de la misma magnitud que la corriente del elemento alimentado. Coloquemos el elemento parásito delante del elemento alimentado a una distancia de $\frac{\lambda}{10}$ (donde λ es la longitud de onda) y ajustemos su longitud para que la corriente tenga un retardo de fase de $180 - \frac{360}{10} = 144^\circ$.

En ese caso, el cálculo muestra que la corriente en el elemento parásito es 1,19 veces la corriente en el elemento alimentado. El campo radiado hacia atrás será la suma del campo producido por el elemento alimentado más el campo producido por el elemento parásito. Pero éste último ha sido emitido con un retardo de 144° y como debe recorrer una distancia adicional de $\frac{\lambda}{10}$ sufrirá un retardo adicional de 36° , lo que hace que, hacia atrás, los campos emitidos por los dos elementos estarán en oposición de fase. En cambio, hacia adelante, el campo emitido por el elemento parásito, ganará 36° (en lugar de perderlos) y su retardo de fase no será más que $144 - 36 = 108^\circ$. La suma de los dos campos será máxima.

En el caso particular de este ejemplo, la amplitud E del campo eléctrico de la onda electromagnética radiada hacia adelante en una dirección θ es $E_1 \sqrt{2,42 + 2,38 \cos\left(\frac{2\pi}{10} \cos\theta - \frac{8\pi}{10}\right)}$ donde E_1 es el campo producido por el elemento alimentado si estuviese solo. La ganancia es de 8,96 dBi.

Este tipo de elemento parásito, situado delante el elemento alimentado y que refuerza el campo hacia adelante, se llama director. Los elementos situados detrás y que refuerzan el campo hacia adelante se llaman reflectores. Pero no hay que confundirlos con las superficies o rejillas reflectoras utilizadas en otros tipos de antenas.

Generalmente se ponen uno o dos reflectores y uno o varios directores. Se calculan las posiciones y las dimensiones de manera que las fases de las corrientes resultantes sean tales que la adición de los campos sea mínima hacia atrás y máxima hacia adelante.

Eléctricamente, el costo de esta directividad es una disminución de la parte resistiva de la impedancia de la antena. Con una misma corriente de alimentación, el campo radiado es más débil. Se compensa este inconveniente remplazando el dipolo alimentado por un dipolo doblado.

Para la antena en recepción, la fase y la amplitud de las corrientes inducidas en los elementos por el campo incidente y los demás elementos hace que la corriente inducida en el elemento alimentado (ahora conectado al receptor) sea máxima para los campos que vienen de delante y mínima para los campos que vienen de detrás.

- **Elemento conductor (radiador/captador):** Este es el elemento que capta o emite las señales.
- **Reflectores:** Estas dos varillas actúan reflejando las ondas en la dirección del elemento conductor, con lo que reduce la señal que está en su dirección e incrementa la que está en dirección opuesta. Es un elemento parásito más largo que el elemento de excitación.
- **Directores o guías de ondas:** Estas varillas son elementos parásitos, de longitud progresivamente menor que su elemento de excitación y alejándose de él y espaciadas a distancias precisas, hacen que la onda siga el camino correcto hasta llegar al elemento conductor, con lo que incrementa la intensidad de campo en su dirección y la reducen en la opuesta. También influyen sobre la impedancia de la antena.

Los elementos parásitos son aquellos que no son activos, no se conectan a la línea de transmisión y reciben la energía a través de la inducción mutua. Se clasifican en reflectores y Directores.

Antenas Colineales

Constan de varios dipolos o monopolos situados a lo largo de su eje. La ganancia de esta antena es función del número de dipolos o monopolos y su separación entre puntos de alimentación. Dicho de otro modo, las antenas colineales están en prolongación sobre un mismo eje una a continuación de otra.

Evidentemente, hay una proximidad física entre las antenas, interactuando entre ellas al estar una inmersa en el campo de radiación de la otra y reciprocamente. La primera, encontrándose dentro del campo de la segunda, va a ser sede de una corriente inducida que se va a superponer a la corriente primitiva para dar una corriente resultante cuyo valor dependerá de la fase respectiva de las dos corrientes que la componen.

Por este motivo estos dispositivos forman lo que se conoce como arreglos en fase.

Si una antena dipolo simple irradia máximo en una dirección perpendicular al conductor que la forma, colocando dipolos uno a continuación de otro, en prolongación, sobre la misma línea, y conectados de manera adecuada, este arreglo tendrá también una radiación máxima en sentido perpendicular al eje de la antena así formada. Esto se conoce como arreglo en fase de radiación transversal (collinear array).

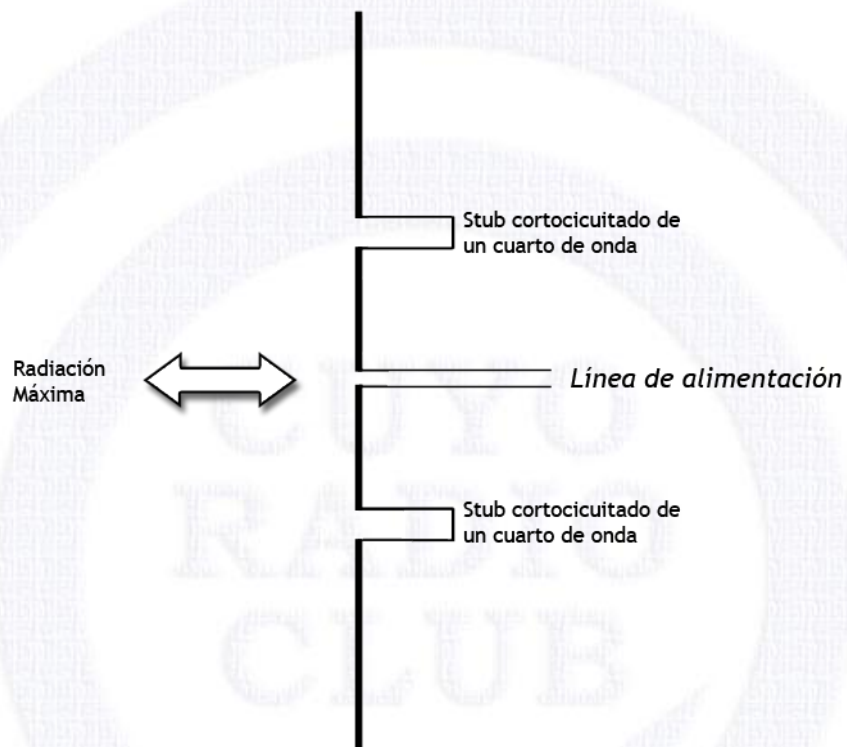
Si los dipolos están en fase, se suman las señales. Se logra enfasar los dipolos de media onda enlazándolos con secciones de línea de transmisión de un cuarto de onda que causan una inversión de fase entre extremos adyacentes.

Las antenas colineales se montan generalmente con el eje principal en posición vertical.

De este modo serán omnidireccionales en el plano horizontal pero tendrán un Angulo de radiación estrecho en el plano vertical.

Por lo tanto son excelentes antenas para estaciones de base (como una FM comercial) y también para radiobases para los sistemas de radio móviles.

La figura siguiente es un esquema elemental de estos tipos de antenas colineales.



Antenas Parábolas

Este tipo de antena utiliza el principio de superficie reflectora para obtener grandes ganancias, siempre que la relación entre el área de la superficie reflectora entre la longitud de onda sea grande. Básicamente se trata de un reflector parabólico, en cuyo foco se instala el elemento radiante. Su lóbulo de radiación es estrecho en los planos vertical y horizontal, de aquí su gran ganancia.

Este tipo de antenas se utiliza para el seguimiento de los satélites y en grandes observatorios, pero actualmente también son numerosos los radioaficionados que las utilizan para sus comunicados en UHF y SHF. Tienen una ganancia elevada. En las antenas parabólicas transmisoras el reflector parabólico refleja la onda electromagnética generada por un dispositivo radiante que se encuentra ubicado en el foco del reflector parabólico, y los frentes de ondas que genera salen de este reflector en forma más coherente que otro tipo de antenas, mientras que en las antenas receptoras el reflector parabólico concentra la onda incidente en su foco donde también se encuentra un detector. Normalmente estas antenas en redes de microondas operan en forma full dúplex, es decir, transmiten y reciben simultáneamente.

Tipos de antenas parabólicas

Atendiendo a la superficie reflectora, pueden diferenciarse varios tipos de antenas parabólicas, los más extendidos son los siguientes:

- **De foco centrado o primario:** que se caracteriza por tener el reflector parabólico centrado respecto del foco.
- **De foco desplazado u offset:** que se caracteriza por tener el reflector parabólico desplazado respecto del foco. Son más eficientes que las parabólicas de foco centrado, porque el alimentador no hace sombra sobre la superficie reflectora.
- **Cassegrain:** que se caracteriza por llevar un segundo reflector cerca de su foco, el cual refleja la onda radiada desde el dispositivo radiante hacia el reflector en las antenas transmisoras, o refleja la onda recibida desde el reflector hacia el dispositivo detector en las antenas receptoras.

Líneas de transmisión

Utilidad

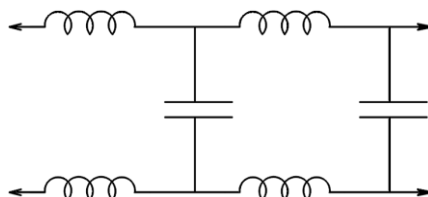
En todo cuarto de radio nos encontraremos con una gran variedad de cables: de alimentación de los equipos, de interconexión de las señales de audio, de control de los rotores, coaxiales... Todos ellos son diferentes entre sí, de diferentes materiales y con distintos diámetros, en función de la potencia y fundamentalmente de la frecuencia de las señales que transporten en su interior.

El término “líneas de transmisión” en el ámbito de los radioaficionados se emplea para referirnos a aquellos “cables” que llevan la señal desde el transmisor de radio hasta la antena, o desde la antena hasta el receptor. Habitualmente disponemos de transceptores, con lo que tendremos una única línea de transmisión por la que viajan las señales de radiofrecuencia (RF) desde y hacia la antena, que será la que se encargue de captarlas y radiarlas, respectivamente. Las líneas de transmisión son indispensables para los radioaficionados, puesto que las antenas no suelen (ni deben) estar en el cuarto de radio, sino en el lugar más alto y despejado de nuestra vivienda. No hay otra forma de llevar la señal de RF hasta ellas que mediante líneas de transmisión.

Problemática de las líneas

¿Cuál es por tanto la misión de las líneas de transmisión? Pues simplemente la de conducir las señales de radiofrecuencia. Así a primera vista, no parece una tarea difícil, pero sí lo es. En primer lugar, los campos electromagnéticos que componen las señales de radio sufren una atenuación al propagarse por la línea de transmisión, debido a la resistencia de los conductores y a la conductividad del dieléctrico. Esto nos impide tener una línea de transmisión todo lo larga que queramos, si necesitamos tener al otro extremo un cierto valor de señal. La atenuación se suele expresar en decibelios por metro (dB/m), aunque es usual encontrarla en los catálogos como “decibelios cada cien metros”.

En segundo lugar, las características físicas de los materiales que componen las guías dependen de la frecuencia de trabajo. Si quisiéramos modelar un cable mediante una combinación de elementos pasivos, nos encontraríamos con una resistencia e inductancia en serie y una conductancia y capacidad en paralelo.



Así, una línea de transmisión que funcione correctamente en la banda de HF puede ser totalmente inútil en la banda de UHF (entendiendo por inútil que la atenuación que presenta es muy alta).

Como ejemplo, un cable coaxial tipo RG-58 presenta una atenuación de 0.4 dB/100 metros a 1MHz, mientras que si la frecuencia de trabajo es de 100 MHz la atenuación es de 4.3 dB/100m.

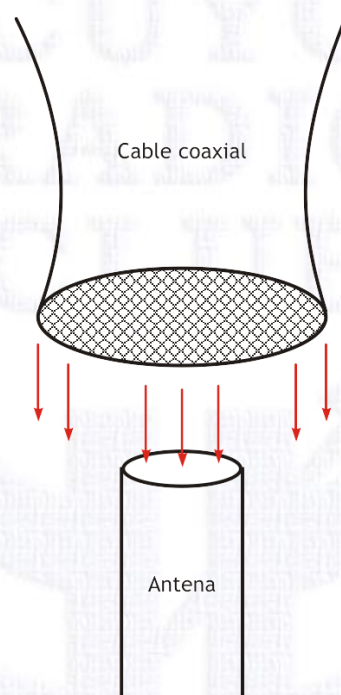
En tercer lugar, no podemos introducir en un cable toda la potencia que deseemos. Los materiales admiten unas tensiones máximas que no podemos exceder. Así, el RG-58 admite una tensión máxima de 1400 V, mientras que el RG-213, otro coaxial muy popular entre los radioaficionados, soporta una tensión máxima de 3700 V.

Por otra parte, toda línea de transmisión tiene una impedancia característica, que viene determinada por su geometría y las características físicas de sus conductores y dieléctricos. Esa impedancia es el cociente entre el campo eléctrico y el magnético de la onda de radio que viaja en su interior, y veremos más adelante que si la carga a la que conectamos la antena no tiene la misma impedancia que la línea, se produce una reflexión de la señal.

Es común tener cables coaxiales con una impedancia característica, Z_0 , de 50Ω (como el RG-58 y el RG-213) o de 75Ω (como el RG-59 o el RG-216). Otro parámetro importante es el factor de velocidad, que se expresa como el cociente en tanto por ciento de la velocidad de propagación en el cable respecto a la velocidad de propagación en el vacío. Para el RG-58, el factor de velocidad es del 66%, que es un valor típico en cables coaxiales).

Si la carga en la que acaba no está adaptada a la línea, parte de la potencia se refleja, viajando desde la carga hacia el generador. En este caso no se entrega a la carga toda la potencia, y al volver ésta al generador puede haber un exceso de corriente o de tensión y dañarse los circuitos de salida del mismo. Un símil que ayuda a comprenderlo sería considerar el cable coaxial como un tubo del que sale agua (que sería la señal de radiofrecuencia) y la antena como un tubo que admite agua.

Si los diámetros (impedancias) de las bocas de ambos tubos no son iguales, se produce una desadaptación: parte del agua no entrará en el tubo. En el caso real, parte de la señal se refleja al transmisor.

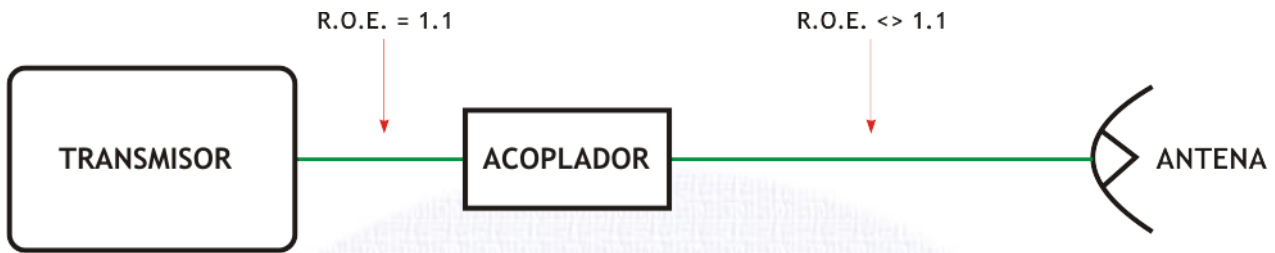


El grado de desadaptación de la línea respecto a la carga se mide por la relación de ondas estacionarias (ROE o SWR, Standing Wave Ratio). La ROE es el cociente entre el valor de pico máximo del voltaje en la línea y el valor mínimo del voltaje en la línea; así, es siempre mayor que uno. Si la adaptación es perfecta la ROE es de 1:1, si es algo peor puede ser 1:1,5, 1:2, 1:3, etc, hasta 1:1.

Cuando la ROE es de 1:1, toda la potencia que genera el transmisor es entregada a la antena, y al no haber reflexiones la distribución del voltaje a lo largo de la línea es constante. Que sea infinita significa que se refleja toda la potencia, que no se entrega nada a la carga. Esto ocurre cuando la carga es un cortocircuito, un circuito abierto o si es totalmente reactiva (sin resistencia).

Si queremos usar una antena desadaptada sin dañar el transmisor y entregando la máxima potencia, necesitamos un circuito que transforme una impedancia en otra. Esto se consigue con un acoplador de antenas, que es también un elemento común en los cuartos de radio. Generalmente llevan dos condensadores variables y una inductancia con varias tomas, y pueden ser automáticos o manuales.

En el último caso, será el operador quien tendrá que ajustar la bobina y los condensadores para conseguir una ROE mínima. La función del acoplador de antenas es hacer que el transmisor vea la impedancia que necesita (habitualmente 50), independientemente de la impedancia de la carga. Con esto, la ROE en la línea no será 1:1 pero sí lo será en el tramo de coaxial que una el transmisor con el acoplador.



Empleo de acoplador de antenas para lograr una R.O.E. 1:1 en Tx.

Es tremendamente importante que antes de emplear una antena comprobemos la relación de ondas estacionarias. El rango aconsejado de trabajo es por debajo de 1:2.

Por otro lado, cuando tenemos que alimentar un dipolo y no lo hacemos con una línea paralela, la alimentación que estamos dando al dipolo no es simétrica (puesto que una rama del dipolo va conectada al vivo y la otra a la malla, que está conectada a tierra).

Esto provoca la aparición de RF por la cara externa del coaxial, y por consiguiente toda la línea hace de antena: se deforma el diagrama de radiación, se interfiere en aparatos eléctricos e incluso el operador puede sufrir calambres al tocar partes metálicas del transceptor. Este problema se soluciona intercalando entre el coaxial y el dipolo un dispositivo conocido como balún (contracción de balanced-unbalanced, del inglés simétrico-asimétrico).

Podemos construirnos un balún con un arrollamiento del coaxial sobre sí mismo, o sobre un núcleo de ferrita para aumentar la inductancia. Así se forma un choque de RF, de alta reactancia para la corriente que circula por la cara externa.

Tipos de líneas

Antes de los años 40 no existía el cable coaxial y se empleaban en su lugar dos hilos paralelos, lo que se conocía como “línea paralela”. Este tipo de línea tiene sus ventajas e inconvenientes. Al no llevar blindaje, le afectan los objetos metálicos cercanos y puede interferir y captar ruidos del entorno. Como contraparte, presentaba la ventaja de que el dieléctrico es aire, por lo que tiene unas pérdidas casi despreciables incluso con ROE elevada.

El cable coaxial vino a sustituir a la línea paralela, estando formado por dos conductores concéntricos aislados entre sí por un dieléctrico y recubiertos por otro material aislante que los protege de los agentes externos, formando una estructura cilíndrica. Al conductor más interno se le denomina habitualmente vivo y al más externo malla, por estar trenzado formando una especie de rejilla. La malla hace que los campos electromagnéticos queden confinados entre los dos conductores, lo que minimiza la radiación hacia el exterior y la captación de interferencias externas. Es usual hoy en día ver decenas de coaxiales discurrendo longitudinalmente unos con otros sin que se produzca entre ellos interferencia apreciable, lo cual no sería posible con la línea paralela. En este caso, la separación recomendada es de varias veces la separación entre conductores.

El conductor usado suele ser cobre y como aislante se emplea PVC (policloruro de vinilo), polietileno o teflón. Los cables de alta calidad para frecuencias muy altas (p.e. repetidores de telefonía móvil o televisión) tienen aire como dieléctrico, lo cual dificulta la construcción mecánica.

El cable coaxial es hoy en día un producto del que existe una extensa gama en el mercado, tanto de fabricantes como de modelos. A la hora de escoger uno para una aplicación en concreto tendremos que atender a los puntos indicados anteriormente: atenuación a la frecuencia de trabajo y potencia máxima. En general, cuanto mayor diámetro tenga el coaxial, mayores frecuencias de trabajo podrá soportar, y cuanto mejor sea el dieléctrico, menor atenuación.

Si bien para frecuencias de HF e inferiores la calidad del cable coaxial empleado no es fundamental, para frecuencias de la banda de VHF y superiores es un parámetro crítico, puesto que la atenuación aumenta con la frecuencia y habrá que intentar minimizar en la medida de lo posible la distancia desde la carga (antena) al transceptor.