

CURSO INTERACTIVO
Diploma
de
Operador
radioaficionado

TEMA 7
Propagación

Temario ajustado al
HAREC
(Harmonized Amateur Radio Examination Certificate)
Certificado Armonizado del Examen de Radioaficionado

desarrollado por los miembros
del Radioclub La Salle
coordinados por
Luis A. del Molino EA3OG

Publicado en PDF en 11 de Junio de 2011 por el Radioclub La Salle
bajo la supervisión de Luis A. del Molino EA3OG
amparado por una licencia *Creative Commons*



Reservados algunos derechos:

No se permite ni el uso comercial de la obra, ni la generación de obras derivadas, ni la utilización parcial del texto

Agradecimientos:

Numerosas ilustraciones han sido cedidas por la Editorial Marcombo (www.marcombo.com), procedentes de su libro: *Radioafición y CB: Enciclopedia Práctica en 60 lecciones*

También hemos de agradecer la colaboración de Víctor Ballesteros en la realización de algunas de las ilustraciones, tarea en la que ha colaborado también Roger Galobardes.

Con tal de mejorar el texto y el contenido, os agradeceremos mucho que cualquier sugerencia de mejora o los errores que encontréis nos los comunicuéis a la dirección:
<radioclub@salle.url.edu>

TEMA 7: Propagación

Las ondas electromagnéticas, además de propagarse a la misma velocidad de la luz, por tener su misma naturaleza, durante sus trayectorias sufren muchas influencias, especialmente por parte de todas las capas de la atmósfera terrestre que atraviesan, principalmente por parte de la ionosfera, la capa ionizada, así como la influencia de otros fenómenos meteorológicos algunos de los cuales favorecen la propagación, mientras que otros la dificultan. A continuación analizaremos todas esas influencias.

7.1 Atenuación de la señal, relación señal/ruido

Desde su radiación desde una antena, la onda electromagnética radiada se expande indefinidamente, como si partiera desde un punto situado en el centro de una esfera que aumenta de radio con la distancia recorrida, por lo que su energía se distribuye por toda la superficie de esa esfera, superficie que aumenta con cuadrado de la distancia y, por tanto, su energía por unidad de superficie disminuye constantemente de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (el radio de la esfera).

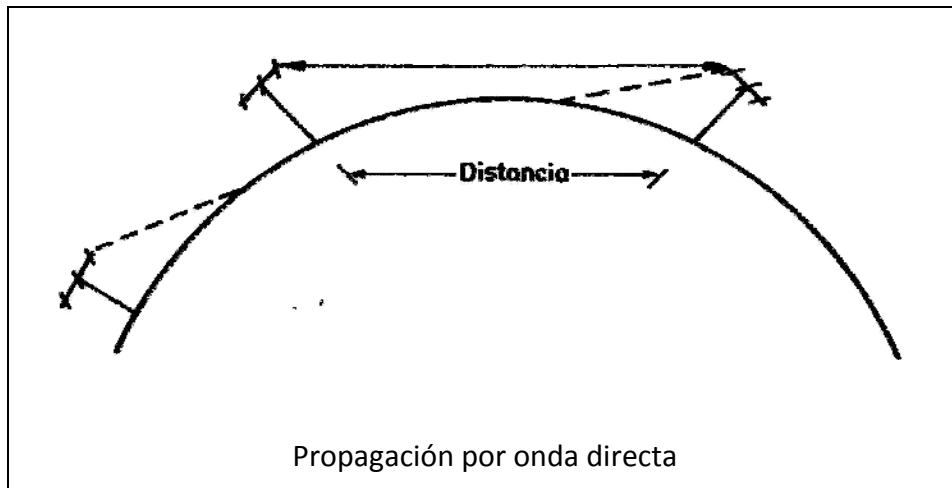
Por otra parte, en HF el ruido exterior captado por cualquier antena tiene una potencia respetable y, puesto que la señal disminuye con el cuadrado de la distancia, va disminuyendo su nivel en relación al nivel de ruido que entra en el receptor y puede llegar un momento que sea inferior a este ruido ambiental y se imposibilita la recepción..

En cambio, en VHF, el ruido exterior ha descendido a niveles despreciables y el que nos limita la recepción empieza a ser el ruido del propio receptor, por lo cual también puede ocurrir que la señal que captemos por la antena sea inferior al ruido interno y nos sea imposible la recepción.

La relación entre la potencia captada y la potencia del ruido se llama relación señal/ruido, y si esta proporción entre la señal y el ruido disminuye por debajo de un umbral mínimo (que depende del sistema de modulación empleado), puede que llegue a un nivel en que se haga imposible la demodulación o decodificación de la señal, al ser imposible separarla del ruido en el demodulador del receptor.

7.1.1 Propagación por línea de visión directa (propagación en el espacio libre, ley del cuadrado inverso)

Afortunadamente para establecer una comunicación no es absolutamente necesaria la visión directa entre la antena emisora y la receptora, pues las ondas electromagnéticas pueden rebotar en elementos metálicos, especialmente en capas ionizadas, como por ejemplo la ionosfera, o pueden experimentar efectos de curvatura y difracción en la troposfera terrestre que permitan recibirlas más allá de obstáculos terrestres y metálicos.



De todos modos, en ausencia de obstáculos, normalmente la onda electromagnética se propaga como si partiera del centro de una esfera que aumenta de radio con la distancia, por lo que su energía se distribuye por una superficie que aumenta con el cuadrado del radio ($S = 4\pi R^2$ en el que R es la distancia) y, por tanto, disminuye rápidamente la energía de la señal por unidad de superficie de un modo inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

Si tenemos en cuenta que la antena receptora captura una señal con una potencia que es proporcional a su área de captura, descubriremos que, aunque incluso haya visión directa entre antena emisora y receptora, la distancia excesiva puede hacer que la señal disminuya tan rápidamente que la baja relación señal/ruido en el sistema receptor haga imposible la demodulación.

7.2 La ionosfera como reflector

La ionosfera es una región de la alta atmósfera compuesta por iones y electrones, o sea de partículas eléctricamente cargadas, a las que llamamos plasma, debido a la pérdida de electrones de los átomos inicialmente neutros, causada por los impactos de la radiación solar y el viento solar, así como la radiación cósmica y galáctica procedente de nuestra galaxia y el resto del universo, que tienen suficiente energía para arrancar electrones de los átomos y los convierten en iones con carga eléctrica positiva y deja sueltos los electrones.

Todas estas partículas con carga eléctrica forman este plasma eléctricamente cargado que interacciona con las ondas electromagnéticas, ocasionando su desviación y curvatura, y también muchas veces una reflexión total de estas ondas, enviándolas de vuelta hacia la superficie terrestre.

7.2.1 Capas ionosféricas

La alta atmósfera, debido a su densidad decreciente, se ioniza de forma diferente a diferentes altitudes en lo que llamamos capas de la ionosfera, y algunas de ellas absorben las ondas electromagnéticas, mientras que otras permiten habitualmente la reflexión de las ondas de radio, concretamente las de las frecuencias inferiores a los 30 MHz, aunque el límite superior de las frecuencias que rebotan es muy variable y, muy

esporádicamente, alguna de sus capas también refleja frecuencias más elevadas que ya entran en el segmento de VHF y superiores.

Las capas ionizadas de la ionosfera se clasifican de la siguiente forma:

Capa D

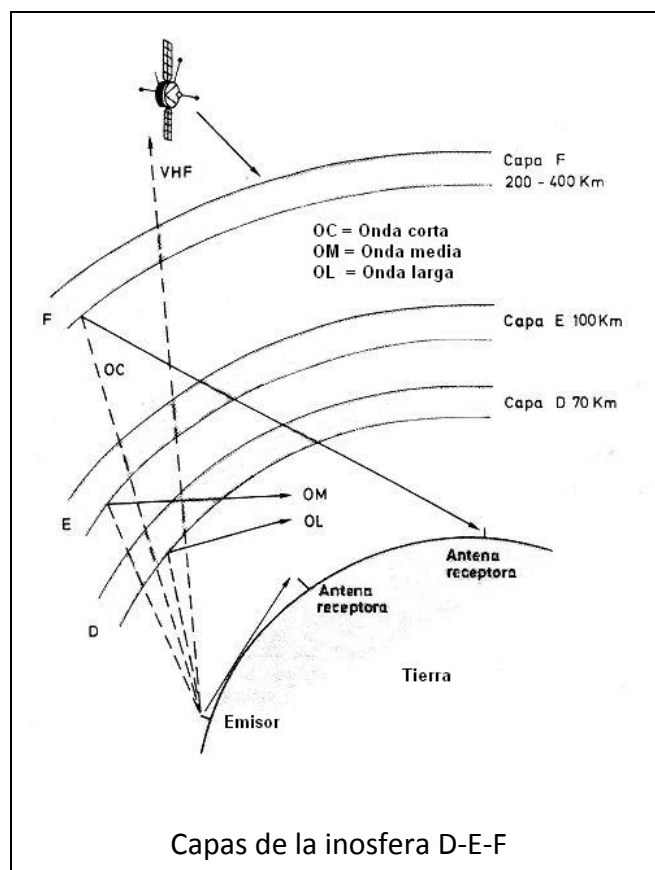
La capa D se forma solamente durante el día por debajo de los 60-80 km de altura y destaca por la absorción que realiza durante el día de las ondas de radio de frecuencias más bajas, a las que llamamos MF o Frecuencias Medias u Onda Media. Por la noche se desvanece totalmente por recombinación inmediata de los electrones con los iones positivos.

Capa E

Es una capa que se forma esporádicamente, por causas no demasiado claras ni conocidas, a una altura sobre 90-110 km y que produce reflexiones esporádicas e inesperadas de las ondas de radio de frecuencias de muy elevadas llamadas VHF (del inglés *Very High Frequency*), y eso se produce más frecuentemente en ciertas épocas del año.

Capa F

La capa F es la principal responsable de la propagación por reflexión ionosférica porque se forma durante el día a una altitud entre 200 y 400 km y esta altura es la que permite las comunicaciones más regulares y a más larga distancia por reflexión.



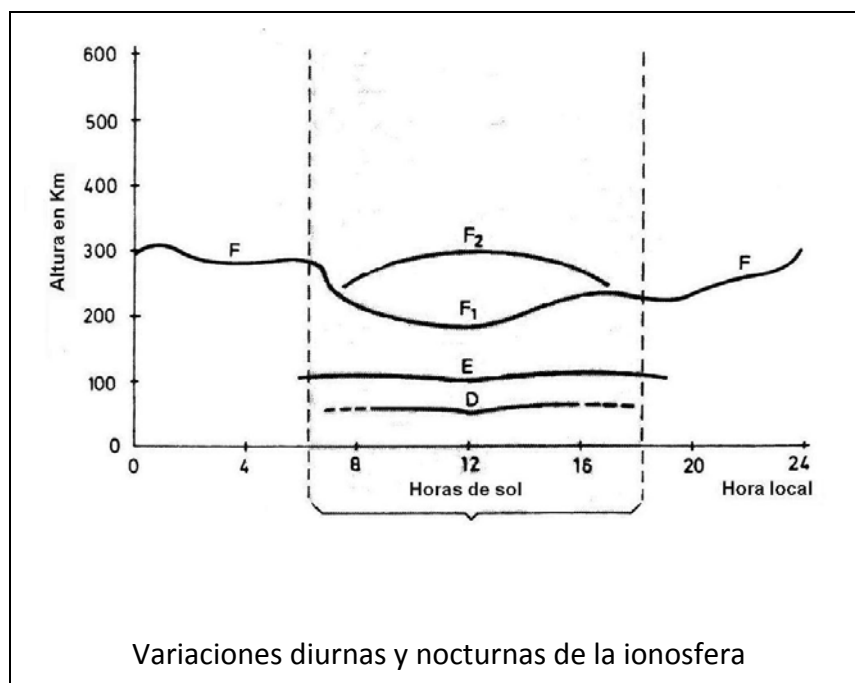
Normalmente la ionización de la capa F se desvanece también por noche por la recombinación de los iones positivos con los electrones, aunque la atmósfera a esas alturas está tan enrarecida que los iones positivos y los electrones tardan mucho en encontrarse para recombinarse y, en consecuencia, se mantiene a veces aún activa e ionizada durante horas, a veces durante toda la noche, en la parte alta de la capa F, que ahora recibe el nombre de **capa F2** (sobre 300- 400 km).

En cambio, la ionización en la parte más baja (sobre 200-300 km), llamada **capa F1**, sólo se mantiene unas pocas horas porque la mayor densidad de la atmósfera facilita una recombinación más rápida.

7.2.2 Variaciones regulares y no predecibles de la ionosfera

Como **variaciones previsibles** de la ionosfera, tenemos las siguientes:

-Variaciones diurnas/nocturnas solares, producidas por el cambio de día/noche. En las zonas en las que incide el Sol se acentúa la ionización de todas las capas, mientras que durante la noche se produce la recombinación.



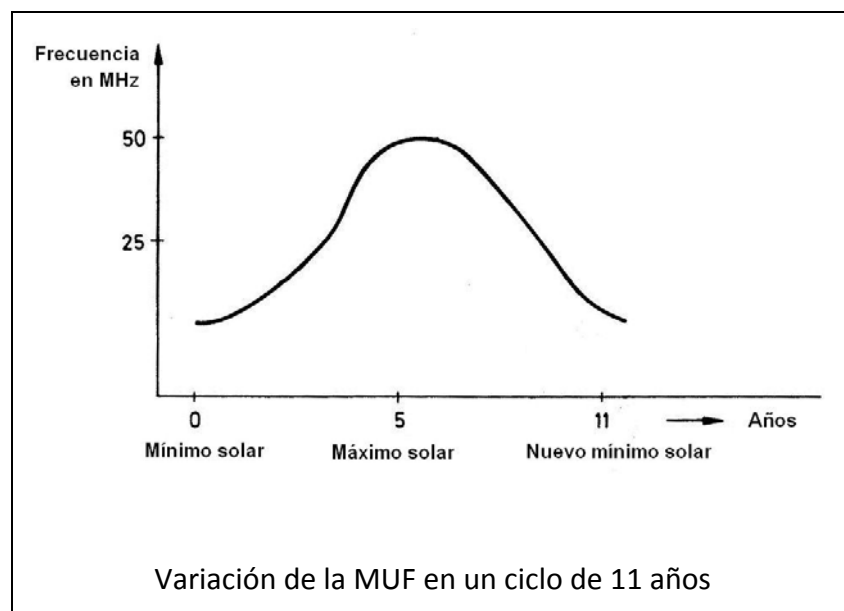
-Las variaciones estacionales son debidas al recorrido de la Tierra por su órbita y, en consecuencia, la diferente inclinación del eje de la Tierra en invierno y en verano. Mientras que en los solsticio de invierno el sol incide en el hemisferio norte con mayor inclinación, en el de verano siempre incide con mayor verticalidad, lo cual hace que la ionización varíe en consecuencia, mientras que en los equinoccios de primavera y otoño, se reparte mejor la insolación entre los dos hemisferios.

-Tenemos que tener en cuenta también las variaciones mensuales debidas a la rotación solar. El sol gira sobre sí mismo con un promedio de 29 días, aunque la

velocidad de rotación de la superficie solar no sea exactamente la misma en altas latitudes que en las bajas. Eso hace que las condiciones de la actividad solar sigan un ciclo más o menos predecible de 29 días.

Variaciones menos previsibles:

-En cuanto a las variaciones menos previsibles, tenemos las variaciones del ciclo solar cuya actividad sigue un ciclo de actividad más o menos irregular de 11 años con habitualmente una subida de 4-5 años y un descenso de 7-6 años que coincide con el incremento y disminución del número medio de manchas oscuras vivibles en la superficie del sol.

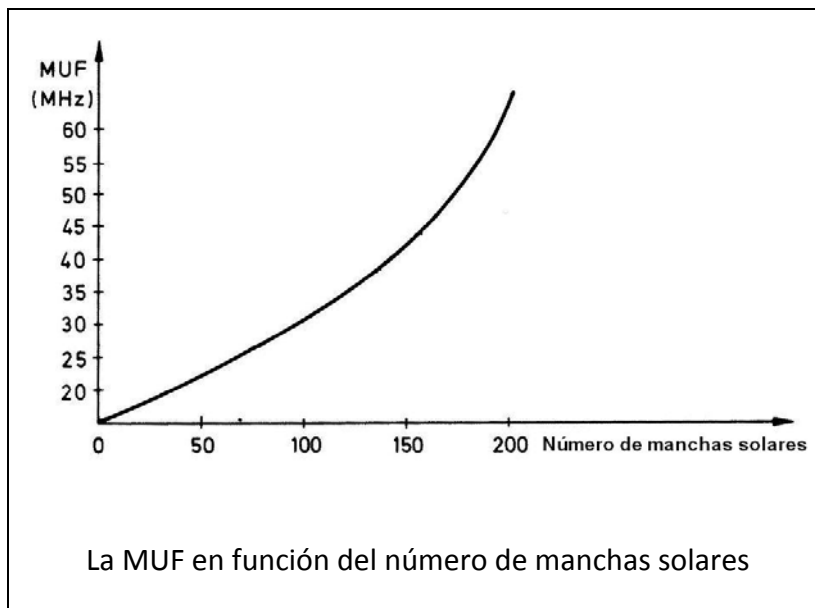


- Otras variaciones imprevisibles totalmente en el estado actual de la técnica son las tormentas magnéticas solares y las emisiones correspondientes de viento solar, en las que se envían grandes chorros de partículas, especialmente protones que perturban las comunicaciones terrestres. Las perturbaciones magnéticas se producen primero y, dos a tres días más tarde, llegan las partículas del viento solar.

7.2.3 Influencia del sol en la ionosfera

Aparte de las variaciones diurnas/nocturnas y estacionales ya comentadas anteriormente, el sol varía su actividad como emisor de radiaciones y partículas ionizantes siguiendo más o menos un ciclo de 11 años, el llamado ciclo de manchas solares, con una subida de actividad de unos 4-5 años y una bajada de 7-6 años, cuyas causas se deben a los flujos de plasma existentes en su interior, los cuales no se conocen aún exactamente, lo que no nos permite hacer previsiones exactas de las variaciones presentes y futuras de su actividad.

Únicamente se pueden hacer predicciones estadísticas, analizando los datos obtenidos de las recogidas de observaciones históricas sobre las de las manchas solares, o por estimaciones indirectas de la actividad solar, basada en la proporción de Carbono 14/12 en los anillos de las cortezas de los árboles.

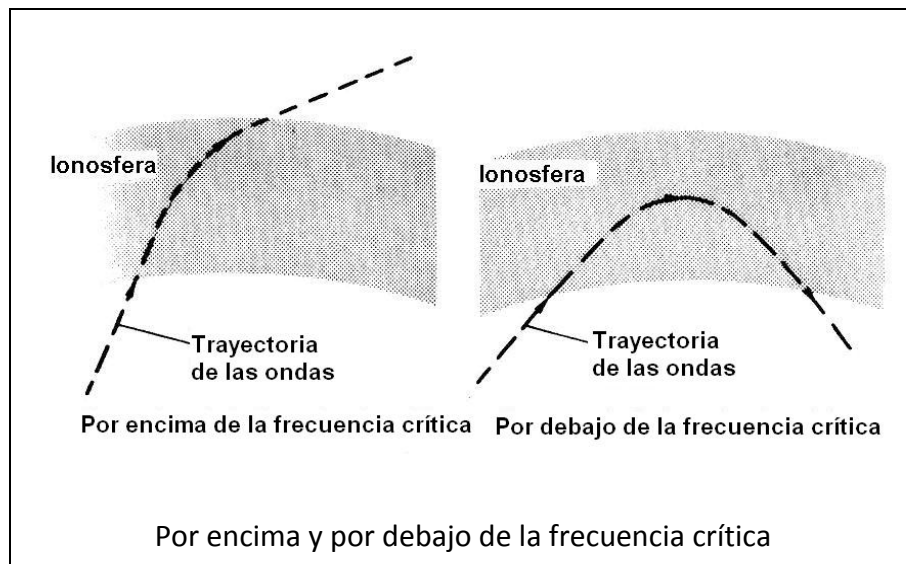


En los periodos de mayor actividad de la radiación solar, cuando el sol se encuentra cerca del máximo del ciclo de 11 años, se crea una densa capa F ionizada durante el día, que permite la propagación por reflexión de las señales de las bandas altas de HF a grandes distancias por todo el mundo, durante la mayor parte del día y también de la noche, gracias a la lenta recombinación nocturna de la capa F2, incluso en frecuencias de hasta 50 MHz, mientras que en los periodos de menor actividad solar, apenas hay comunicaciones nocturnas por debajo de 5 MHz.

7.2.4 Frecuencia crítica

Llamamos frecuencia crítica a la frecuencia de una onda electromagnética (y superiores) a partir de la cual, con una incidencia vertical de 90°, se atraviesa la ionosfera y ya no se refleja, mientras que, por debajo de esta frecuencia, la onda vertical se refleja y vuelve rebotada hacia la superficie de la Tierra.

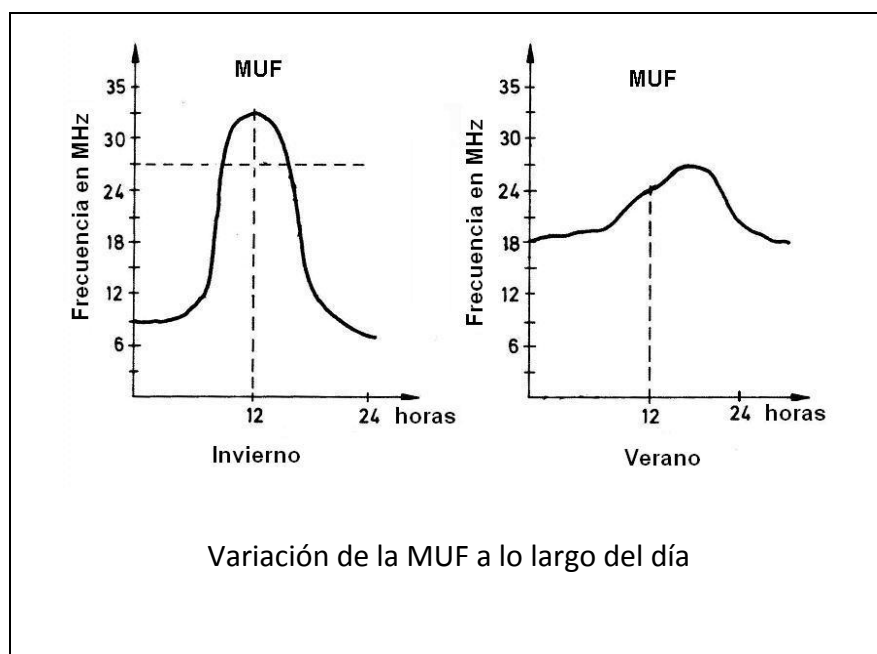
El conocer la frecuencia crítica en cada instante por medio de lo que llamamos ionosondas automáticas, es decir, emisores que emiten automática y secuencialmente señales de todas las frecuencias en todas las direcciones del espacio y comprueban si se reflejan o no en la ionosfera, lo que nos permite hacer estimaciones de la Máxima Frecuencia Utilizable o MUF para las comunicaciones entre dos puntos concretos por reflexión y también de la FOT o Frecuencia Óptima Utilizable en dicha comunicación.



7.2.5 Frecuencia máxima utilizable (MUF) y frecuencia óptima de trabajo (FOT)

A partir de conocer la frecuencia crítica en cada momento y en cada dirección del espacio, podemos deducir y calcular la que podríamos definir como la Frecuencia Máxima Utilizable o MUF como aquella máxima frecuencia que sería utilizable para la comunicación entre dos puntos determinados.

Por otra parte, si queremos asegurar la comunicación, no podemos fiarnos de la MUF, pues esta puede disminuir durante la comunicación al estar en el límite, por lo que en la práctica normalmente se recomienda utilizar una frecuencia ligeramente más baja, la llamada Frecuencia Óptima Utilizable o FOT, que sería la frecuencia que permitirá la comunicación, con al menos un 90% de probabilidad, para la comunicación entre dos puntos por medio de la reflexión en la ionosfera.

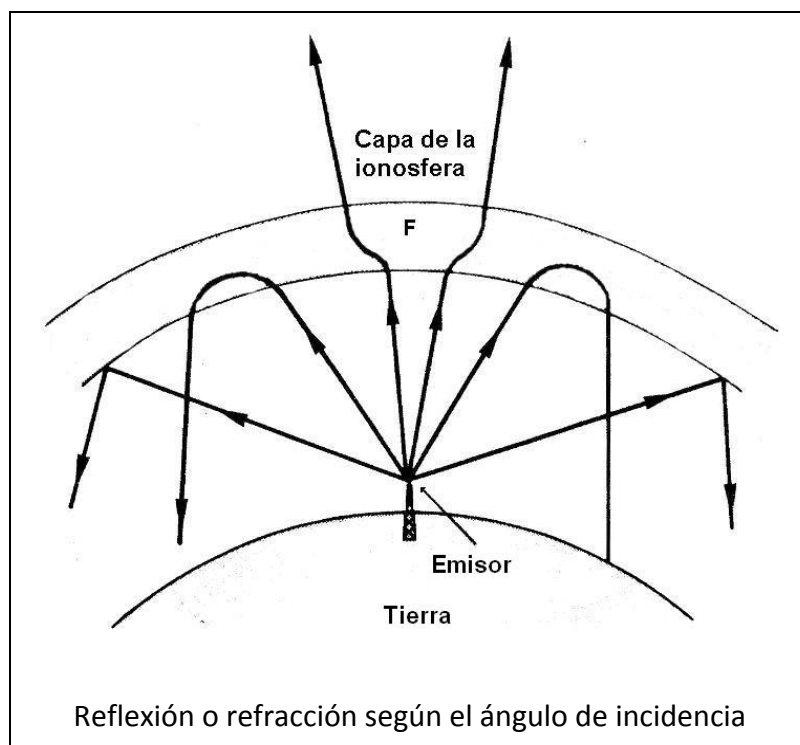


Finalmente, gracias a las ionosondas automáticas, podemos conocer cuáles son las frecuencias más bajas en las que, pudiéndose reflejar y captar por reflexión en la ionosfera, la absorción de la capa D y el ruido atmosférico son tan elevados que, por debajo de ella, no se podría discernir la señal del ruido de fondo. A esta frecuencia por debajo de la cual ya no es posible la comunicación la llamamos Frecuencia Mínima Utilizable o FMU.

7.2.6 Ondas terrestres y ondas ionosféricas, ángulo de radiación y distancia de salto

Las ondas de frecuencias medias (MF de 300 a 3.000 kHz) y largas (LF de 30 a 300 kHz), las más bajas del espectro de ondas de radio que pueden utilizarse, normalmente pueden propagarse siguiendo la curvatura de la Tierra mucho más allá del horizonte visual y hasta distancias que dependen solamente de la potencia del emisor.

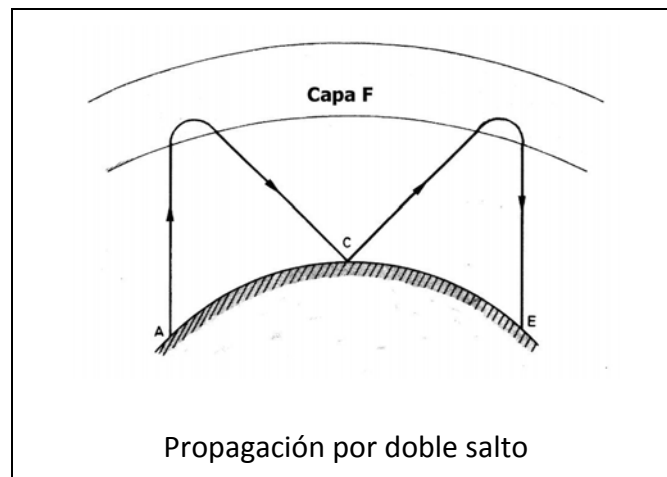
Sin embargo, durante el día, este alcance no se alarga mucho más allá de unos cientos de kilómetros por la superficie de la tierra, porque durante el día en estas frecuencias la capa ionizada D las absorbe de tal manera que no permite que se reflejen en la ionosfera. Sin embargo, durante la noche las distancias cubiertas son considerables, pues son reflejadas con muy poca ionización en la capa F1.



Para alcanzar la máxima distancia en una reflexión en las bandas de HF (entre 1 y 30 MHz), deberíamos conseguir un ángulo de elevación lo más bajo posible. Sin embargo, con una antena horizontal es difícil conseguir ángulos de radiación muy bajos, pues el efecto reflexión en el suelo siempre produce un cierto ángulo de radiación máxima con cierta elevación.

Teóricamente un monopolo vertical con plano natural de tierra muy conductor debajo de la antena, radiaría bastante bien con un ángulo casi nulo de elevación hacia el horizonte y nos permitiría alcanzar con un solo salto de reflexión en la capa F1 a 200 km una distancia máxima teórica de unos 3.200 km, mientras que una reflexión en la capa F2 a 400 km de altitud nos proporcionaría una distancia máxima de unos 4.500 km con un solo salto.

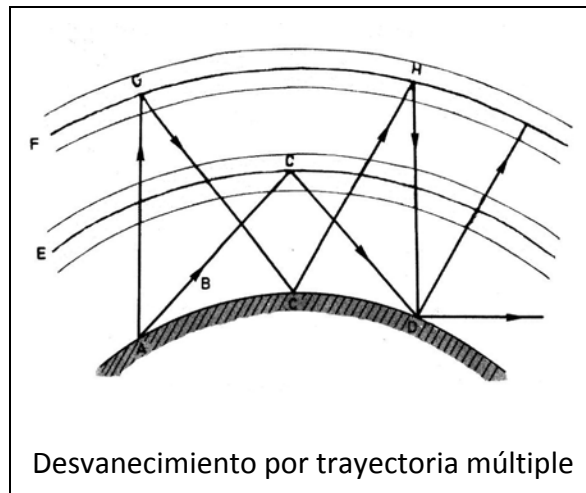
También es posible que la onda electromagnética se vuelva a reflejar sobre la tierra o sobre el mar y vuelva a reflejarse nuevamente en la ionosfera, alcanzando mucha mayor distancia en lo que se llama propagación por doble salto.



7.2.7 Desvanecimiento o fading

En primer lugar, una de las causas del desvanecimiento periódico de las señales reflejadas en la ionosfera es el cambio o giro de la polarización de la onda electromagnética en su reflexión en la ionosfera. Esto se debe a que, aunque hayamos emitido nuestra señal con una polarización horizontal, la señal reflejada pueda ser devuelta por la ionosfera con una polarización aleatoria que cambie en el tiempo y que, en ciertos momentos, sea exactamente la contraria de la antena receptora, aunque ésta también tuviera polarización horizontal.

En segundo lugar, la yuxtaposición de la misma señal recibida por dos caminos o reflexiones diferentes y que, por tanto, habrán recorrido distancias diferentes, llegarán probablemente con fases diferentes y puede hacer que, en ciertos momentos, las dos componentes de la misma señal se sumen y otras que lleguen con fase opuesta y se cancelen.



En tercer lugar, las propias variaciones de la ionosfera pueden hacer que cambie rápidamente la propagación y la reflexión, y que en ese momento se desvanezcan las señales, pero en estos casos normalmente el desvanecimiento es más definitivo que periódico.

En cuarto lugar, el comportamiento del sol puede dar lugar a la aparición de grandes tormentas magnéticas en el Sol con la emisión posterior de impresionantes chorros de partículas que darán lugar a perturbaciones del campo magnético de la Tierra y, a veces, se producirá una absorción tal de las ondas electromagnéticas que parezca incluso que se han estropeado los receptores, pues queda absorbido hasta el ruido atmosférico habitual.

7.3 Otros modos de propagación ionosférica

Nos referimos aquí a todos los fenómenos que no tienen una variación regular, sino que se presentan de forma aleatoria y cuyas causas o son poco conocidas o son totalmente imposibles de prever.

7.3.1 Reflexión por esporádica E

Por fenómenos no muy bien conocidos, pero que se sospecha que están relacionadas con las tormentas terrestres y las corrientes en chorro en la parte alta de la estratosfera, esporádicamente se producen intensas ionizaciones en la capa E a una altura de 60-80 km que permiten reflexiones de las señales de frecuencias tan altas como las de VHF (50 y 144 MHz) a distancias de hasta 2000 km.

Esta nubes de ionización reflejan bien las señales de las bandas 50 MHz y de 144 MHz y, durante su breve vida, que puede llegar a ser de unas pocas horas, muestran un desplazamiento de este a oeste y de sur a norte en el hemisferio norte y son más probables en determinados meses del año.

7.3.2 Dispersión auroral

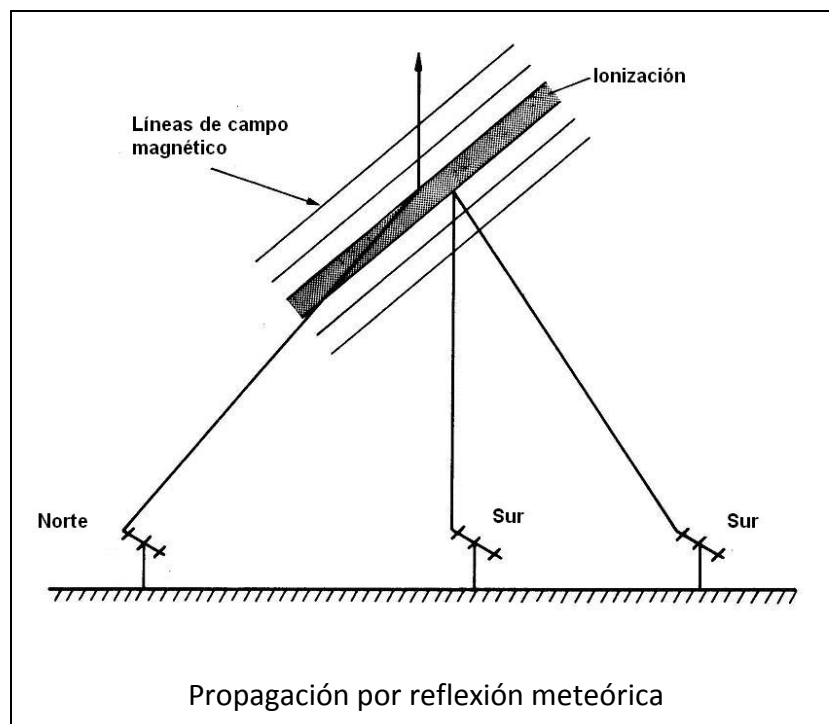
Las grandes tormentas solares suponen siempre la emisión de chorros de partículas, especialmente protones que, al llegar a la Tierra, interaccionan con su campo

magnético y sólo encuentran una vía de llegada por ambos polos, donde la intensa ionización causan los fenómenos luminosos conocidos como auroras boreales y australes.

Estas auroras son cortinas ionizadas que permiten su utilización como capas reflectoras en las que rebotan ciertas frecuencias de VHF y UHF y permiten únicamente las comunicaciones entre estaciones situadas ambas más al sur (en el hemisferio Norte y a la inversa en el hemisferio Sur), al mismo tiempo, degradar las comunicaciones de HF que las atraviesan con una distorsión típica que en inglés se llama “fluttering”.

7.3.3 Dispersión meteórica

Los meteoritos, al encontrar en su trayectoria por el espacio las capas de nuestra atmosfera con mayor densidad, entran en incandescencia y se queman rápidamente, dejando a su paso una estela ionizada en las capas bajas de la atmósfera, la cual, durante breves instantes, antes de su recombinación, refleja las ondas de radio de VHF y UHF, lo que permite el intercambio de información a gran velocidad durante esos instantes.



Desgraciadamente, la densidad de las capas de la atmósfera en la que se produce la estela ionizada es suficiente para que la recombinación de iones positivos y electrones se produzca tan rápidamente, que incluso a veces duran hasta menos de un segundo, por lo que las estelas de los meteoros solamente permiten las comunicaciones radiotelegráficas realizadas a grandes velocidades, de modo que toda la información de un mensaje se comprima en menos de un segundo.

Los meteoritos capaces de producir una cola ionizada suficientemente fuerte son muy escasos y raros, pero cuando la Tierra, en su órbita alrededor del sol, penetra en zonas

de alta concentración de meteoritos que forman parte de la cola de algún cometa, se producen las llamadas lluvias meteóricas durante las cuales se multiplican las trazas meteóricas.

Las principales lluvias meteóricas anuales son

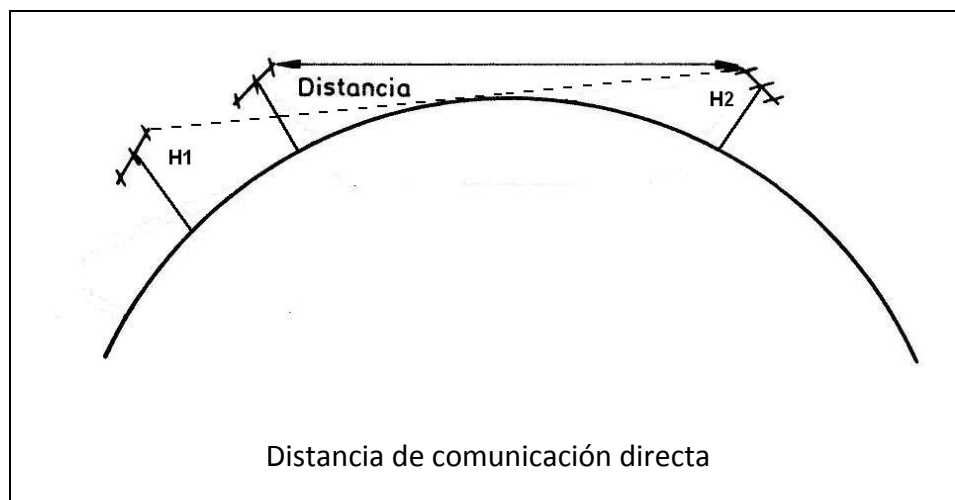
Cuadrántidas	4 de enero
Líridas	22 de Abril
Eta Acuáridas	5 de Mayo
Líridas	16 de Junio
Delta Acuáridas	27 de Julio
Perseidas	13 de Agosto
Oriónidas	21 de Octubre
Táuridas	8 de Noviembre
Leónidas	18 de Noviembre
Gemínidas	14 de Diciembre
Úrsidas	22 de Diciembre

7.4 Propagación troposférica

La troposfera es la capa de la atmósfera que contiene suficiente oxígeno para permitir la vida, lo que se considera como posible solamente en los primeros 10 kilómetros de altura.

7.4.1 Influencia de la altura de las antenas en la distancia que puede ser cubierta (horizonte de radio)

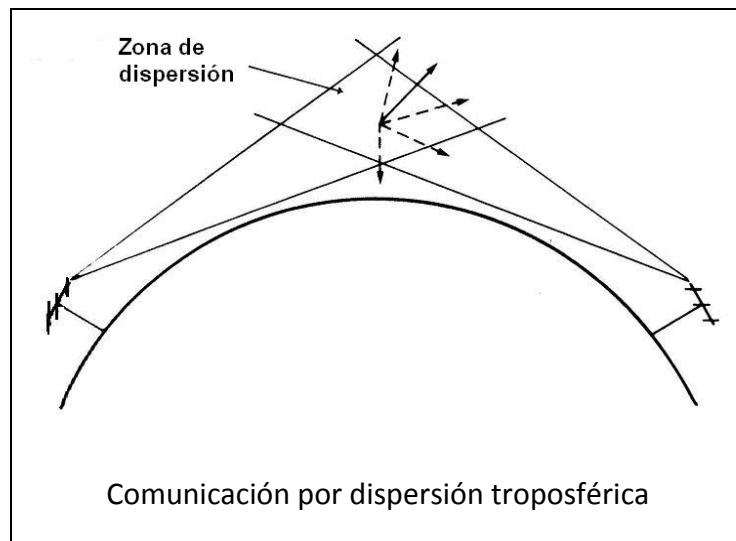
Por medio de la trigonometría es relativamente fácil deducir la fórmula de la máxima distancia visible desde una antena, en función de su altura H_1 del emisor, que podemos resumir por medio de la fórmula $D = 3,6 (\sqrt{H_1})$ en donde H_1 está expresada en metros y D en kilómetros.



Si la antena receptora también se encuentra situada a cierta altura sobre la superficie terrestre, la fórmula se completa de la forma $D = 3,6 (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})$ en la que H_1 y H_2 los damos en metros sobre el nivel del mar y D estará en kilómetros.

7.4.2 Troposfera (dispersión)

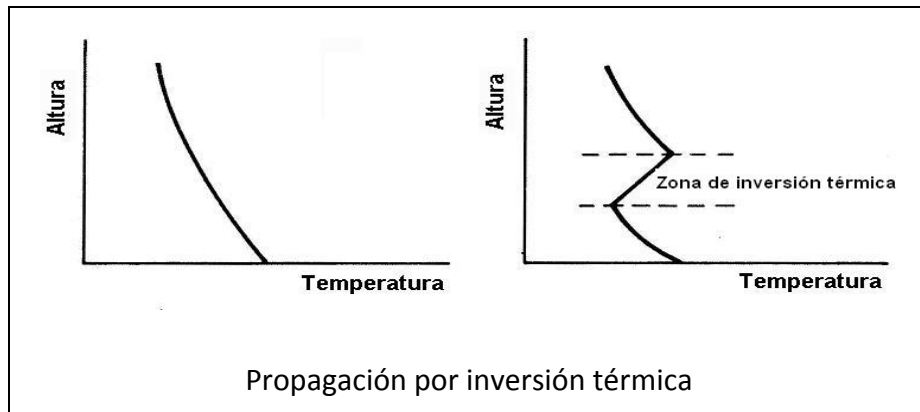
En la troposfera siempre hay irregularidades de densidad y, a base de concentrar una gran potencia y antenas muy directivas en una determinada región de la troposfera se consigue muchas veces una dispersión de las ondas electromagnéticas en las partículas en suspensión en una zona de la baja atmósfera, lo que permite recibir estas señales de VHF y UHF mucho más allá del horizonte visual.



7.4.3 Inversión de la temperatura en la troposfera

La inversión térmica es un incremento excepcional de temperatura con la altura en contra de lo más habitual en la atmósfera, que es un descenso de la temperatura a medida que ascendemos. Esta inversión cambia la densidad y el índice de refracción del aire para las ondas electromagnéticas. La inversión térmica produce como un conducto que curva las ondas electromagnéticas y alarga la propagación sobre la superficie del mar y terrestre a grandes distancias muy superiores a las del horizonte radio.

Estos efectos de conducción a largas distancias se deben siempre a la inversión térmica y se produce gracias a la estratificación en capas en días de gran estabilidad atmosférica. El estado normal es que la temperatura descienda con la altura, pero en días de gran estabilidad, al declinar el sol, se enfrían antes unas capas más bajas de la atmósfera y quedan debajo de las más calientes. Eso hace que el índice de refracción aumente con la altura (a la inversa de lo habitual), de forma que se generan unos conductos que desvían las ondas de radio de VHF y a veces incluso de UHF y frecuencias superiores, y las mantienen en el interior del conducto a lo largo de grandes distancias.



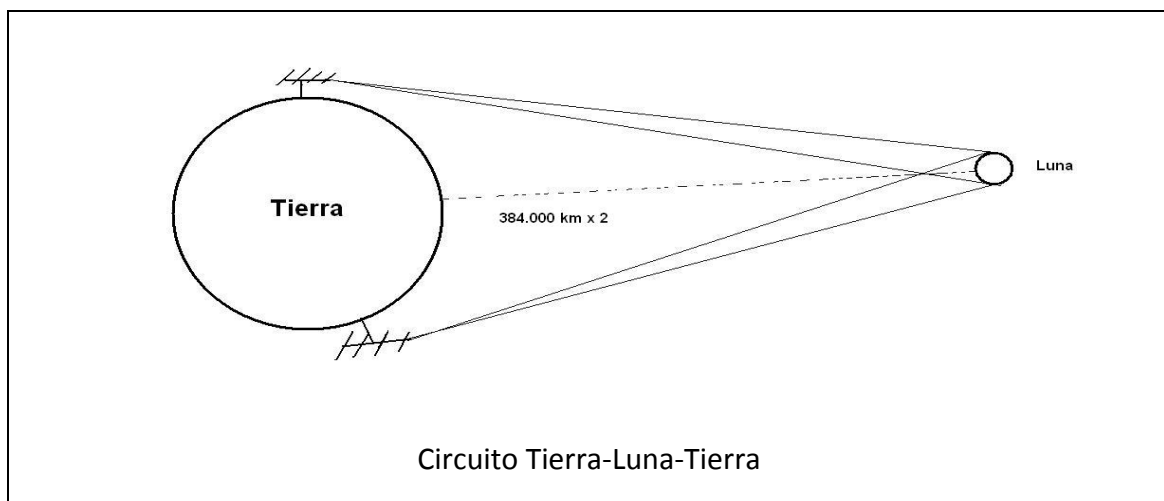
Las inversiones térmicas se pueden producir tanto sobre la superficie terrestre como sobre la superficie del mar, pero son mucho más frecuentes sobre este último en los días de verano. Estas inversiones térmicas pueden llegar a canalizar también las ondas luminosas y son las que dan lugar a los espejismos en los desiertos, así como de OVNIS luminosos que se desplazan a velocidades imposibles en las noches de gran estabilidad atmosférica..

7.5 Comunicaciones por EME y satélites 7.15 y 7.XX

7.5.1 Rebote lunar

Llamamos EME (del inglés *Earth-Moon-Earth*) o en castellano TLT (Tierra-Luna-Tierra) a la comunicación conseguida por reflexión de las ondas eletromagnéticas en la Luna.

La Luna puede ser un buen reflector pasivo de las señales electromagnéticas con la conductividad suficiente como para devolver reflejadas todas las ondas electromagnéticas que inciden. Sin embargo, puesto que la distancia del circuito de ida y vuelta es muy grande y el área de la Luna que contemplamos desde la Tierra es muy pequeña, la atenuación en la trayectoria de ida y vuelta de las señales y reflexión es muy grande y se puede demostrar que esa distancia supone una atenuación de -262 dB (+- 1 dB), de modo que la comunicación exige la utilización de grandes potencias y antenas muy directivas y de gran ganancia.



Las antenas necesarias sólo pueden tener unas dimensiones razonables a partir de frecuencias de VHF y superiores, aparte de que en estas bandas el ruido exterior captado también por la antena es muy bajo, por lo que el único ruido que nos debe preocupar es el ruido térmico propio del sistema de recepción.

Para que tengáis una idea de dificultades de la comunicación, ponemos un ejemplo numérico con las potencias empleadas y antenas necesarias para una estación de EME en 432 MHz:

Transmisor de potencia 750 W

Línea de transmisión con pérdida de 1 dB

Antena emisora de 25 dBi

Antena receptora de 26,5 dBi

Receptor con preamplificador en antena de NF de 1,2 dB

Potencia de ruido en el receptor de -185,7 dBW

Resultado: un margen de 3 dB para la recepción de la señal

Actualmente se están perfeccionando métodos de modulación digitales que permiten los contactos con señales muy por debajo del ruido (-24 dB), lo que está permitiendo realizar contactos a estaciones equipadas con potencias inferiores y antenas de mucha menor ganancia y dimensiones, que ponen las comunicaciones por rebote lunar al alcance de muchos más radioaficionados.

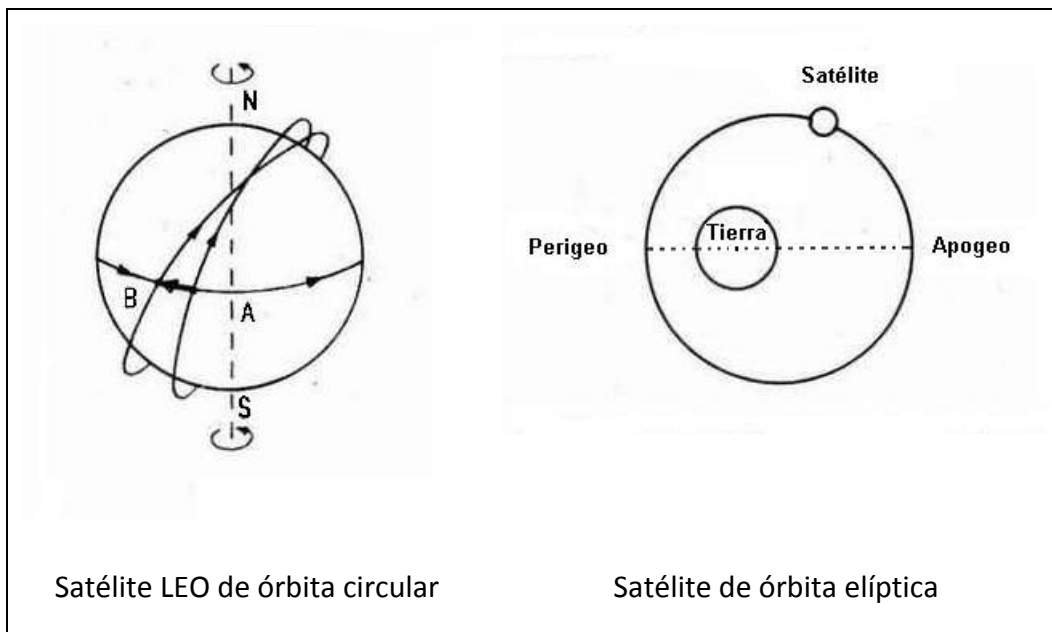
7.5.2 Satélites de radioaficionados

Desde el lanzamiento del primer satélite ruso Sputnik 1 en 1957, los radioaficionados han conseguido que les fueran puestos en órbita muchos satélites experimentales a través de los cuales se pudieran comunicar entre ellos.

Entre los satélites más destacados, tenemos los satélites de órbita muy elíptica, entre los que destacan el Oscar Fase III y los rusos de órbitas circulares LEO (Low Earth Orbiting Satellites) de la serie RS, de los cuales actualmente circula el RS-30 y los satélites Cubesat, también de tipo LEO, que continuamente se están lanzando como “polizones” de las puestas en órbita de otros satélites experimentales y de los que actualmente ya han sido lanzados cerca de 70.

Para conseguir su lanzamiento de un Cubesat, basta ceñirse en su construcción al estándar establecido por Calpoly (*Californian Polytechnical Institute*), que impone que los Cubesats tengan un peso inferior a un 1 kilo y forma de cubo con unas medidas de 10x10x10 cm.

Normalmente estos satélites equipan siempre una baliza que emite la telemetría básica y también algún tipo de transponedor lineal que recibe señales recibidas en UHF (70 cm) y las devuelve repetidas en VHF (2m), en incluso otras veces contienen transpondedores que son auténticos repetidores de FM y que pueden ser recibidos con pequeñas antenas directivas de mano y equipos portátiles de mano.



Los pasos de los satélites por encima de nuestro QTH son muy cortos, pues los satélites están colocados a alturas entre 300 y 1000, por lo que no duran más que minutos en las órbitas que pasan sobre nuestro QTH y sus horarios de paso se averiguan por medio de programas de ordenador que nos indican a dónde apuntar las antenas y en qué momento pasarán, basados en los parámetros orbitales que facilita la AMSAT (Amateur Satellite Corporation) y que, a su vez, ha recibido de los radares de seguimiento de la NASA. Entre los programas que podemos descargarlos gratuitamente de la red, destaquemos el programa Orbitrón.

Buscarlo en la web: <http://www.stoff.pl/>

Vocabulario de satélites

Actitud: Orientación del satélite en relación a la Tierra.

Apogeo: Punto más alejado de la Tierra de la órbita de un satélite.

Excentricidad de la órbita: Cociente entre la semidistancia entre los focos y el semieje mayor. En los satélites LEO (casi circulares) es casi la unidad.

Inclinación: Ángulo que forma el plano de la órbita con el ecuador terrestre.

Nodo ascendente: Longitud del punto por el que cruza el ecuador en dirección al hemisferio norte.

Nodo descendente: Longitud del punto por el que cruza el ecuador en dirección al hemisferio sur.

Perigeo: Punto más cercano a la Tierra de la órbita de un satélite.

Período nodal: Tiempo que tarda entre dos cruces ascendentes sobre el ecuador terrestre. Normalmente para cada satélite se da una cifra diferente que es el movimiento medio y consiste número de órbitas en 24 horas.

Punto suborbital: Proyección vertical del satélite sobre la superficie.

Si queréis saber más sobre las órbitas de los satélites, podéis mirar el artículo:

<http://www.sallesat.org/pdfs/ParametrosKeplerianos.pdf>

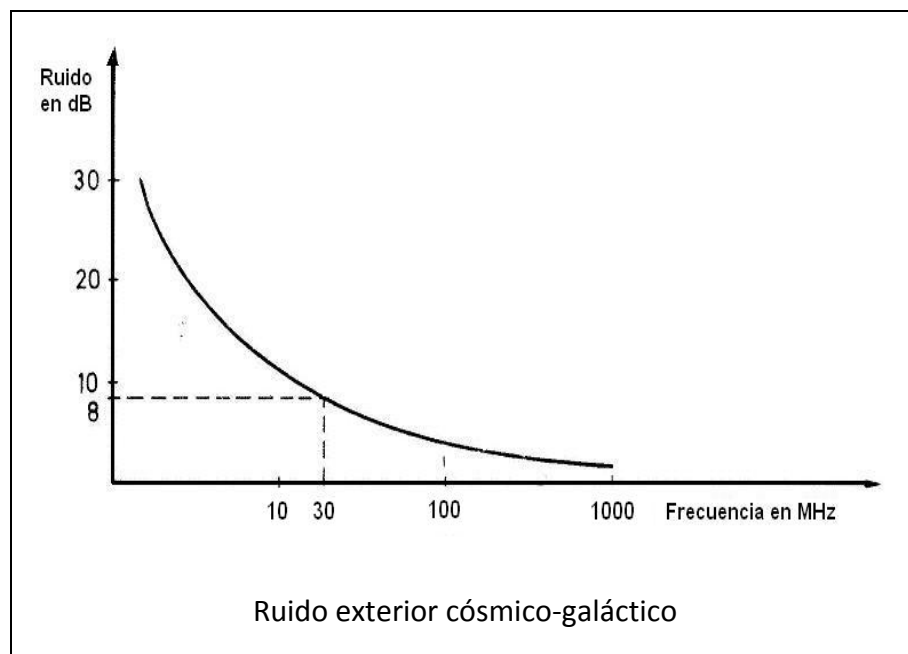
7.6 Ruido exterior

7.6.1 Ruido atmosférico (tormentas distantes)

En las frecuencias inferiores a 30 MHz, el ruido atmosférico es considerable y tiene varios componentes. Tenemos que tener en cuenta que este ruido procede de todas direcciones y de las descargas de los rayos de tormentas distantes, de las que siempre hay incontables y que están produciendo en todo el mundo infinidad de rayos por segundo, lo que produce intensas emisiones electromagnéticas en un amplísimo espectro de frecuencias.

7.6.2 Ruido cósmico galáctico

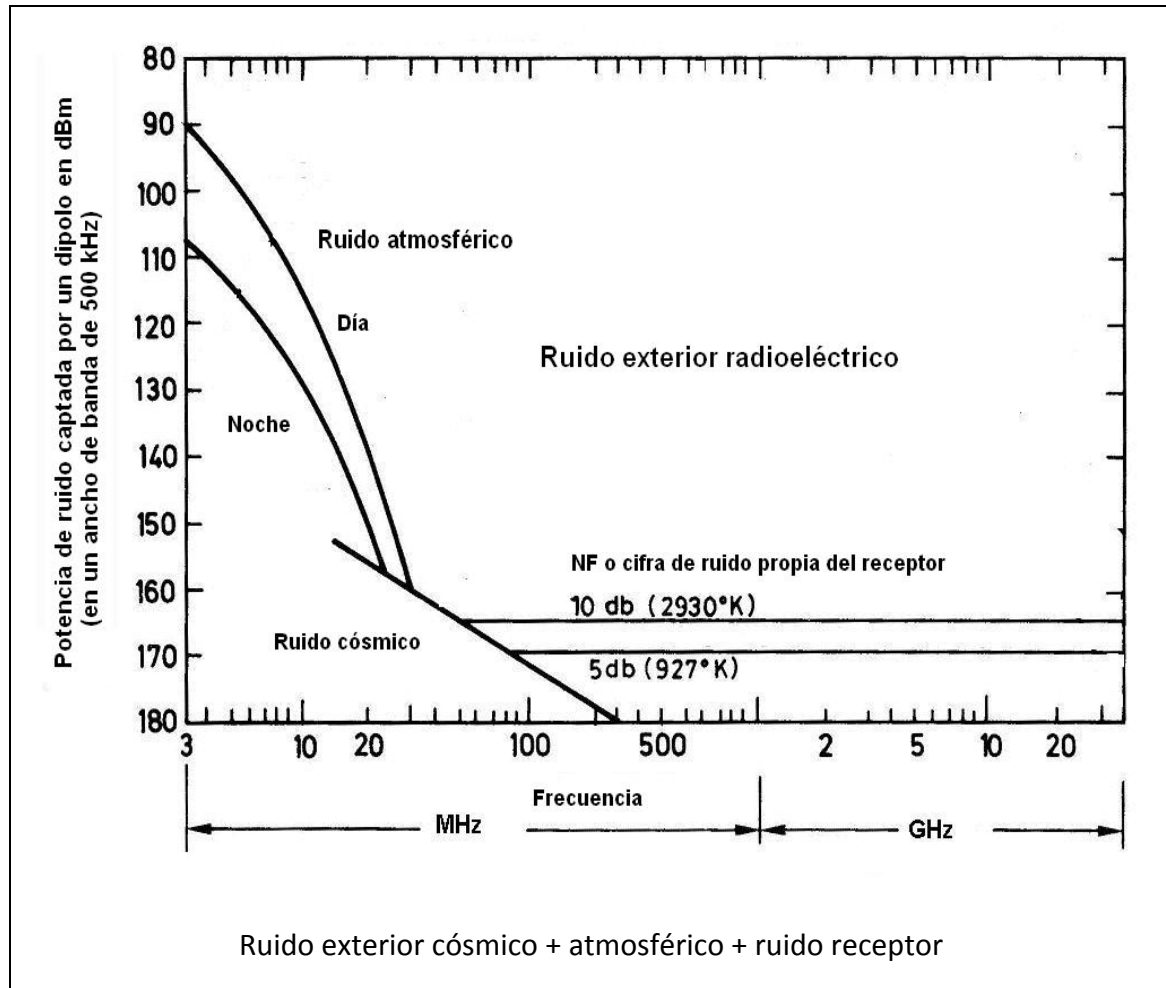
Es el ruido procedente principalmente de todo el cosmos y que nos llega en forma de emisiones electromagnéticas, no sólo procedente de nuestro sol, sino también procedente del planeta Júpiter, así como de estrellas, galaxias y quásares (los objetos más luminosos del Universo), pero especialmente, procede del centro de nuestra propia galaxia, de la que nos llega una intensa emisión de ruido electromagnético que es más apreciable por encima de los 15 MHz.



7.6.3 Ruido exterior total

Es la suma de todos estos ruidos y podemos contemplarlos en la figura que viene a continuación como la suma del ruido atmosférico y el ruido cósmico galáctico.

Para obtener el ruido total que limita nuestra recepción, debemos sumarle finalmente el ruido generado en todo el sistema de recepción formado por nuestra antena, la línea de transmisión y finalmente nuestro receptor.



En las bandas de HF, el ruido que limita nuestra recepción podemos valorarlo mucho más exactamente, mediante la tabla en que se describe el ruido exterior total captado normalmente por un dipolo en un ancho de banda de 500 Hz, el ancho de banda más utilizado para recibir la CW y que en HF es muy superior normalmente al ruido propio del sistema receptor.

Este ruido está siempre presente y es un límite inferior a nuestra recepción, de forma que no sirve de nada que nuestro receptor sea supersensible y tenga una sensibilidad inferior aún, de forma que podemos asegurar que cualquier receptor de HF que tenga una MDS (Minimun Detectable Signal) superior a -131 dBm, en un ancho de banda de 500 Hz, no mejora la recepción, si no se dispone de una antena directiva que no sólo aumente el nivel de la señal y pueda reducir el ruido exterior captado porque proceda de otras direcciones del espacio a las que no apunta.

RUIDO EXTERIOR EN HF	Frecuencia	dbm/Hz	dbm/500Hz	Noise Figure
160 m	1,6 MHz	-128	-101	46
80 m	3,5 MHz	-136	-109	38
40 m	7 MHz	-144	-117	30
30 m	10 MHz	-146	-119	28
20 m	14 MHz	-146	-119	28
17 m	18 MHz	-152	-125	22
15 m	21 MHz	-152	-125	22
12 m	24 MHz	-154	-127	20
10 m	28 MHz	-158	-131	18
6 m	50 MHz	-162	-135	12

7.6.4 Ruido de fondo (térmico)

Hay siempre un ruido de fondo inevitable que procede de la agitación de los átomos en toda materia que no se encuentre a la temperatura del cero absoluto y de los choques que experimentan los electrones con ellos y entre sí, lo cual produce por ejemplo que la corriente aparentemente más constante no lo sea realmente en términos absolutos.

La potencia del ruido generada depende sólo de la temperatura del objeto que lo genera y, por lo tanto, la potencia de ruido se puede expresar tanto en grados como en decibelios.

$$T \text{ (dB)} = 10 \times \log(1+K/120)$$

En el caso de las comunicaciones de radio, el ruido de fondo depende de la temperatura de nuestra propia antena, de la línea de transmisión y de la temperatura equivalente de todos los circuitos del receptor, de forma que todos añaden un ruido propio que ya hemos visto en el capítulo de receptores y que en los receptores se mide por la llamada Cifra de Ruido o **NF** del inglés *Noise Figure*.

7.7 Predicción de la propagación

No es posible predecir exactamente el estado de ionosfera y la propagación **en cada momento de** cada día, pues no dominamos todos los factores implicados, especialmente las emisiones de flujo solar producidas por la actividad solar, pero estadísticamente hablando solo podemos hacer predicciones (con una elevada probabilidad de cumplimiento) de las máximas frecuencias utilizables a cada hora del

día de cada día del año, lo cual se realiza actualmente entrando todos los factores conocidos en un programa de ordenador.

Estos datos que son principalmente el Flujo Solar Medio y el estado de las perturbaciones geomagnéticas se introducen en los programas de predicción y nos permiten calcular la MUF y la FOT para cada hora del día y para cada banda de frecuencias para cada circuito de comunicaciones que sea de nuestro interés.

De todos modos, por medio de sondeadores ionosféricos, se explora continuamente el estado de la ionosfera emitiendo impulsos en todas direcciones y frecuencias de HF para comprobar las reflexiones obtenidas inmediatamente en varias antenas receptoras, para conocer así la densidad de ionización y la altura de cada capa de la ionosfera en cada instante del día, información que se encuentra disponible en Internet y que permite decidir inmediatamente la Frecuencia Óptima Utilizable para realizar una comunicación con la máxima probabilidad.