



*La propagación:*

*Funcionamiento y  
modos en la radioafición*

*Hay muchas formas diferentes de propagación de radio que pueden usar los radioaficionados: algunos modos de propagación especializados requieren procedimientos operativos específicos, frecuencias, etc.*

***Fernando Gómez - EA7KJE***

*Hay muchas formas diferentes de propagación de radio que los radioaficionados pueden usar para la realización de sus contactos. Algunos utilizan las formas más normales de propagación de radio, y los procedimientos, frecuencias y similares son bien conocidos. Sin embargo, otras formas de propagación son menos utilizadas, o pueden darse y ocurrir ocasionalmente, por lo que pueden ser necesarios procedimientos más especializados, frecuencias específicas y otros variados requisitos.*

*Estos procedimientos operativos, las frecuencias y las técnicas serán las que se describen en esta serie de páginas.*



Fernando Gómez – [EA7KJE](#)

## Tabla de contenidos

<i>Modos de propagación usados por los radioaficionados</i>	4
<i>Onda superficial</i>	5
<i>Efecto de la frecuencia en la propagación de ondas de superficie</i>	5
<i>Efecto del suelo</i>	5
<i>Polarización y propagación de ondas terrestres</i>	5
<i>Propagación ionosférica (Propagación HF)</i>	6
<i>Aplicaciones de la propagación ionosférica HF</i>	6
<i>Propagación de HF y ondas ionosféricas</i>	6
<i>Propagación HF y regiones ionosféricas</i>	7
<i>Regiones ionosféricas</i>	7
<i>Región D</i>	8
<i>Región E</i>	9
<i>Región F</i>	9
<i>Variaciones ionosféricas</i>	10
<i>Resumen</i>	11
<i>Distancia de salto de propagación de ondas decamétricas y zona de salto</i>	11
<i>Ondas de cielo</i>	12
<i>Distancia de salto</i>	12
<i>Saltar zona</i>	13
<i>Ondas del cielo y frecuencias</i>	14
<i>Propagación HF y selección de frecuencia</i>	14
<i>Frecuencia crítica</i>	15
<i>Frecuencia Máxima Utilizable (MUF)</i>	15
<i>Frecuencia Mínima Utilizable (LUF)</i>	16
<i>Frecuencia Óptima de Trabajo (OWF)</i>	16
<i>Múltiples reflejos</i>	17
<i>Propagación de radio y pérdidas de señal</i>	17
<i>El Sol y la propagación de radio HF</i>	17
<i>La Ionosfera</i>	18
<i>Formación de Iones</i>	18
<i>Efecto de la Ionosfera</i>	19
<i>Variaciones en la Ionosfera</i>	19
<i>Manchas Solares</i>	19
<i>El ciclo de las manchas solares</i>	20
<i>El efecto del ciclo de las manchas solares</i>	20
<i>Llamaradas solares y perturbaciones para la propagación de radio</i>	21
<i>Erupciones solares</i>	21
<i>Eyecciones de Masa Coronal (CME)</i>	22
<i>Agujeros coronales</i>	23
<i>Resumen</i>	23
<i>Perturbación Súbita Ionosférica (SID)</i>	23

<i>Causa de perturbación ionosférica repentina</i>	23
<i>Efectos relacionados con SID</i>	24
<i>Duración de la Perturbación Ionosférica Súbita</i>	24
<i>Propagación Troposférica</i>	25
<i>Comunicaciones por radio de línea de visión</i>	25
<i>Unidades N</i>	26
<i>Condiciones mejoradas</i>	26
<i>Mecanismo detrás de la Propagación Troposférica</i>	26
<i>Desvanecimiento</i>	27
<i>Propagación Esporádica E o Es</i>	27
<i>Conceptos básicos de la Esporádica E</i>	28
<i>Nubes esporádicas E ionizadas</i>	28
<i>Distancias de salto en Esporádicas E</i>	29
<i>Efecto de la Esporádica E en la propagación de HF</i>	29
<i>Ocurrencia de la Esporádica E</i>	29
<i>Mecanismo tras la Esporádica E</i>	30
<i>Predicción de la propagación de radio por Esporádica E</i>	31
<i>Cómo usar la Esporádica E para contactos de radioaficionados</i>	31
<i>Conceptos básicos de las comunicaciones por radio por Ráfagas de Meteoritos</i>	32
<i>Explosión de meteoritos y conceptos básicos de comunicación</i>	33
<i>Aplicaciones de comunicación por Ráfagas de Meteoritos</i>	33
<i>Sistema de comunicaciones por Ráfagas de Meteoritos</i>	33
<i>Radioaficionados y Dispersión por Meteoritos</i>	34
<i>Bandas de frecuencia de radioaficionados para la Dispersión por Meteoritos</i>	35
<i>Modos de radioaficionados para la Dispersión por Meteoritos</i>	35
<i>Equipo de radioaficionados para Dispersión por Meteoritos</i>	35
<i>¿Qué es la propagación de radio auroral?</i>	36
<i>Propagación EME: Cómo usar en la radioafición el Rebote Lunar o Moonbounce</i>	39
<i>Conceptos básicos del Rebote Lunar</i>	39
<i>Consideraciones de equipo para EME-Moonbounce</i>	40
<i>Efectos de Propagación del Rebote Lunar</i>	40
<i>Equipos para radioaficionados EME-Moonbounce</i>	41
<i>Modos para radioaficionados EME-Moonbounce</i>	41

## *Modos de propagación usados por los radioaficionados*

*Uno de los aspectos interesantes de la radioafición es la enorme variedad de diferentes modos de propagación que se pueden utilizar.*

*La banda, la hora del día, la época del año, el clima y la posición en el ciclo de las manchas solares pueden tener un efecto, según el tipo de modo de propagación utilizado.*

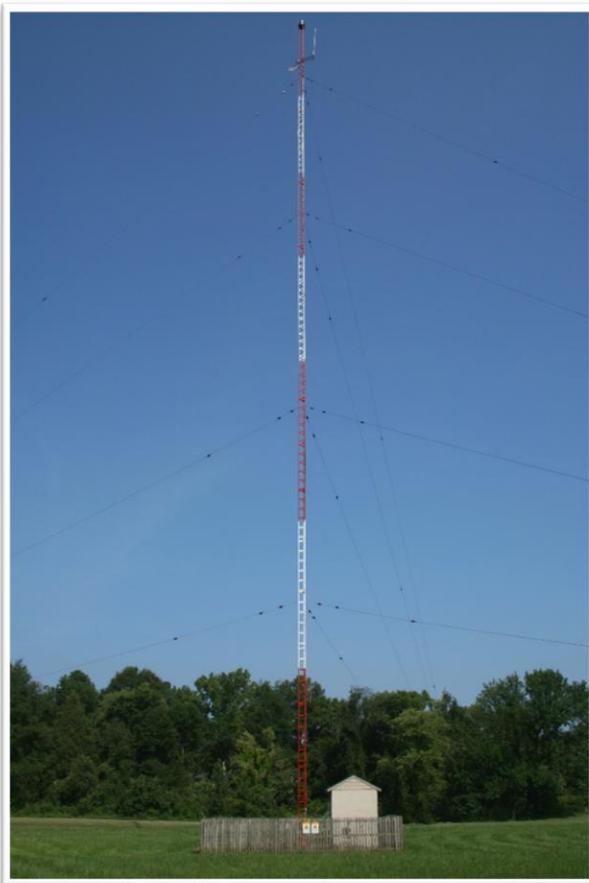
*Saber cómo anticipar las diferentes formas de propagación puede ayudar a garantizar que se presenten las mejores oportunidades. Luego, conocer los diferentes procedimientos operativos junto con las frecuencias y los modos óptimos puede garantizar que se obtenga la mejor oportunidad de hacer contactos.*

*Algunas de las principales formas de propagación se detallan a continuación:*

*Propagación por ondas de superficie: aunque la propagación de ondas de superficie se usa para las bandas de transmisión de onda media y larga, no se usa particularmente para las comunicaciones de radioaficionados. Se utiliza en 160 y 80 metros, pero en vista del hecho de que, con el aumento de la frecuencia, las señales que se propagan a través de este modo se atenúan cada vez más, su uso no es particularmente amplio.*

*La propagación de ondas de superficie se produce cuando las señales siguen el contorno de la Tierra y se doblan para que las señales puedan detectarse más allá del horizonte. Es esta forma de propagación la que utilizan las estaciones de radiodifusión de ondas kilométricas y hectométricas, de onda larga y de banda media.*

*La propagación por onda de superficie es una forma de propagación de la señal en la que esta viaja sobre la superficie del suelo y, como resultado, se utiliza para proporcionar cobertura regional en las bandas de onda larga y media.*



*Una antena transmisora de radiodifusión de onda media utilizada para una cobertura relativamente local mediante la propagación de onda terrestre*

*Este modo de propagación de ondas de superficie, es particularmente importante en la porción LF y MF del espectro de radio. Dicha propagación de radio por ondas terrestres se utiliza para proporcionar una cobertura de radiocomunicaciones relativamente local, especialmente por parte de las estaciones de radiodifusión que requieren cubrir una localidad en particular.*

*La propagación de la señal de radio de onda terrestre, es ideal para la difusión a distancias relativamente cortas en estas frecuencias durante el día. La propagación sobre ondas ionosféricas no es posible durante el día, debido a la atenuación de las señales en estas frecuencias causada por la región D de la ionosfera. En vista de esto, las estaciones de radiocomunicaciones deben depender de la propagación por ondas de superficie para lograr su cobertura.*

*Una señal de radio de onda terrestre se compone de una serie de elementos. Si las antenas están en la línea de visión habrá una onda directa además de una señal reflejada. Como sugieren los nombres, la señal directa es aquella que viaja directamente entre las dos antenas y no se ve afectada por la localidad. También habrá una señal reflejada, ya que la transmisión se reflejará en varios objetos, incluida la superficie de la tierra y cualquier colina o edificio grande, algo que siempre puede estar presente.*

*Además de esta, hay onda de superficie, la cual tiende a seguir la curvatura de la Tierra y permite lograr una cobertura más allá del horizonte. Es la suma de todos estos componentes lo que se conoce como onda de superficie.*

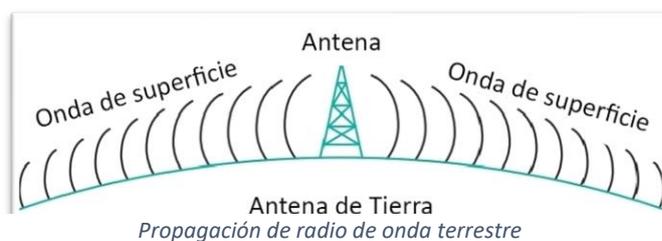
Más allá del horizonte, las ondas directas y reflejadas están bloqueadas por la curvatura de la Tierra, y la señal se compone únicamente de la onda superficial difractada. Es por esta razón que la onda de superficie se denomina comúnmente propagación de onda de superficie.

## Onda superficial

La señal de radio se propaga desde el transmisor a lo largo de la superficie de la Tierra. En lugar de simplemente viajar en línea recta, las señales de radio tienden a seguir la curvatura de la Tierra. Esto se debe a que se inducen corrientes en la superficie de la tierra y esta acción ralentiza el frente de onda en esta región, lo que hace que dicho frente de onda de la señal de radiocomunicaciones se incline hacia la Tierra. Con el frente de onda inclinado en esta dirección, puede curvarse alrededor de la Tierra y recibirse mucho más allá del horizonte.

## Efecto de la frecuencia en la propagación de ondas de superficie

A medida que el frente de onda de la onda terrestre viaja a lo largo de la superficie de la Tierra, se atenúa. El grado de atenuación depende de una variedad de factores. La frecuencia de la señal de radio es uno de los principales factores determinantes, ya que las pérdidas aumentan con el aumento de la frecuencia. Como resultado, hace impracticable esta forma de propagación por encima del extremo inferior de la porción del espectro de ondas decamétricas (3 MHz).



Por lo general, una señal a 3,0 MHz sufrirá una atenuación que puede estar en la región de 20 a 60 dB más que una a 0,5 MHz, dependiendo de una variedad de factores en la ruta de la señal, incluida la distancia. En vista de esto, se puede ver por qué incluso las estaciones de transmisión de radio HF de alta potencia solo pueden ser audibles a unas pocas millas o kilómetros del sitio de transmisión a través de la onda de superficie.

## Efecto del suelo

La onda de superficie también depende mucho de la naturaleza del suelo sobre el que viaja la señal. La conductividad del suelo, la rugosidad del terreno y la constante dieléctrica afectan la atenuación de la señal. Además de esto, la penetración en el suelo varía, volviéndose mayor a frecuencias más bajas, y esto significa que no es solo la conductividad de la superficie lo que interesa. En las frecuencias más altas esto no es de gran importancia, pero en las frecuencias más bajas la penetración significa que los estratos del suelo hasta 100 metros pueden tener un efecto.

A pesar de todas estas variables, se encuentra que el terreno con buena conductividad da el mejor resultado. Por lo tanto, el tipo de suelo y el contenido de humedad son importantes. El agua de mar salada es la mejor, y las tierras ricas en agricultura o pantanosas también son buenas. Los terrenos secos y arenosos y los centros de las ciudades son, con mucho, los peores. Esto significa que las trayectorias marítimas son óptimas, aunque incluso éstas están sujetas a variaciones debido a la agitación del mar, lo que hace que las pérdidas de trayectoria dependan ligeramente del clima. También se debe tener en cuenta que en vista del hecho de que la penetración de la señal tiene un efecto, el nivel freático puede tener un efecto que depende de la frecuencia en uso.

## Polarización y propagación de ondas terrestres

El tipo de antena y su polarización tiene un efecto importante en la propagación de la onda de superficie. La polarización vertical está sujeta a una atenuación considerablemente menor que las señales polarizadas horizontalmente. En algunos casos, la diferencia puede ascender a varias decenas de decibelios. Es por esta razón que las estaciones de radiodifusión de onda media utilizan antenas verticales, incluso si tienen que acortarse físicamente añadiendo carga inductiva. Los barcos que utilizan las bandas marítimas de ondas hectométricas suelen utilizar antenas L invertidas, ya que pueden radiar una proporción significativa de la señal que está polarizada verticalmente.

A distancias que normalmente se encuentran hacia el borde del área de cobertura de la onda de superficie, también puede estar presente alguna señal de onda ionosférica, especialmente durante la noche, cuando se reduce la atenuación de la capa D. Esto puede servir para reforzar o cancelar la señal general, dando como resultado cifras que diferirán de las esperadas.

## Propagación Ionosférica (Propagación HF)

La propagación ionosférica es uno de los principales modos de propagación utilizados en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas, lo que permite alcanzar distancias de miles de kilómetros.

Este es el principal modo de propagación de radio utilizado en las porciones de ondas hectométricas y decamétricas del espectro radioeléctrico.

Los conceptos básicos detrás de la propagación de HF utilizando la ionosfera son fáciles de entender, y su estudio no solo es fascinante, sino también muy útil para cualquier persona involucrada de cualquier manera en las comunicaciones de radio HF.

Usando la propagación de radio ionosférica HF, es posible escuchar y hablar con otras estaciones en todo el mundo pero el conocimiento de los modos de propagación y las formas en que varían, significa que se pueden elegir los momentos correctos para obtener los mejores resultados.

### Aplicaciones de la propagación ionosférica HF

Usando la propagación de HF a través de la ionosfera, las señales de radio se pueden escuchar en todo el mundo. Fue esta forma de comunicación la que primero abrió muchos enlaces globales a regiones inaccesibles y también permitió la transmisión internacional.

La propagación de ondas decamétricas utilizando la ionosfera también se utilizó para las comunicaciones de radio bidireccionales marítimas, aunque ahora se utilizan comunicaciones por vía de satélites.

La radio HF también se utiliza para la radiodifusión, como respaldo para aeronaves, así como para una variedad de otras formas de comunicaciones por radio punto a punto, e incluso para las fuerzas armadas.

Aunque las comunicaciones por radio HF no se utilizan tanto como antes, siguen siendo importantes.

Los radioaficionados también hacen un uso generalizado de la propagación de ondas decamétricas a través de la ionosfera, a menudo estableciendo comunicaciones por radio con puntos distantes del globo con potencias bajas y sistemas de antena modestos.

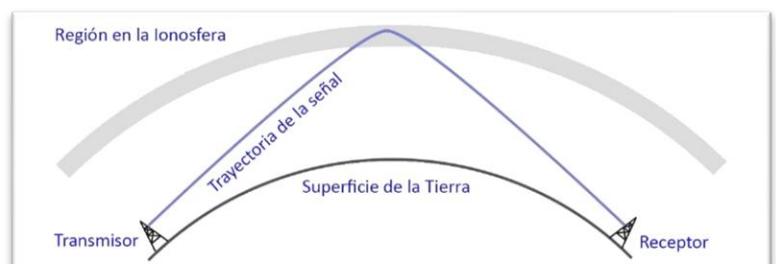


Antena típica utilizada para comunicaciones de radio HF a través de la ionosfera

### Propagación de HF y ondas ionosféricas

Cuando se usa la propagación de HF a través de la ionosfera, las señales de radio dejan la antena de radio transmisora en la superficie de la Tierra y viajan hacia la ionosfera donde algunas de ellas regresan a la Tierra.

Las señales de radio que se alejan de la superficie de la Tierra se denominan ondas celestes, por razones obvias. Si se vuelven a la Tierra entonces la ionosfera puede verse (muy simplemente) como una vasta superficie reflectante que abarca la Tierra y permite que las señales viajen a distancias mucho mayores de lo que sería posible de otro modo.



Concepto básico de propagación de radio ionosférica  
Observe cómo se refracta la señal cuando ingresa a la capa ionosférica

Naturalmente, esta es una gran simplificación porque la frecuencia, la hora del día y muchos otros parámetros gobiernan el reflejo, o más correctamente, la refracción de las señales de regreso a la Tierra.

## Propagación HF y Regiones Ionosféricas

Dentro de la ionosfera, los niveles de ionización que afectan a las ondas de radio varían. Hay algunas áreas donde los niveles de ionización son más altos que otros. Como resultado, comúnmente se afirma que hay varias capas dentro de la ionosfera. Más correctamente, hay una serie de regiones, ya que el nivel de ionización no se reduce a cero, sino que hay varios picos de ionización.

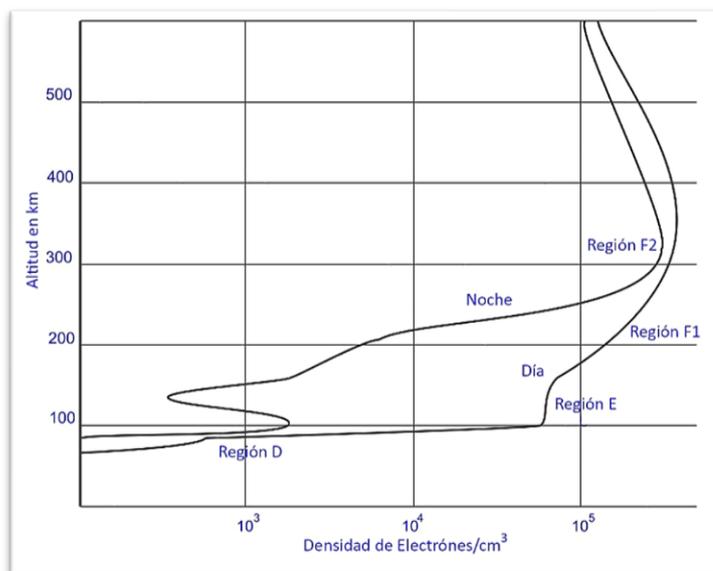
Las principales regiones o capas se detallan a continuación:

- **Región D:** Cuando una onda de cielo sale de la superficie de la Tierra y viaja hacia arriba, la primera región de interés que alcanza en la ionosfera se denomina región D. Esta región atenúa las señales a medida que pasan. El nivel de atenuación depende de la frecuencia. Las frecuencias bajas se atenúan más que las altas.
- **Región E:** Una vez que las señales han pasado por la región D, llegan a la región E. Aunque todavía hay una pequeña atenuación de las señales, esta región refleja, o más correctamente refracta las señales, a veces lo suficiente como para devolverlas a la tierra. El nivel de refracción se reduce con la frecuencia y, por lo tanto, las señales de mayor frecuencia pueden pasar a través de esta región y llegar a la siguiente región. La región E es de gran importancia para la propagación de ondas decamétricas en el extremo inferior del espectro de ondas decamétricas e incluso del espectro de ondas hectométricas.
- **Región F:** La región o capa F, es la que permite la propagación de HF para proporcionar comunicaciones a nivel mundial. Las señales que logran pasar por las regiones D y E llegarán a la región F. Nuevamente, esto actúa para refractar las señales y pueden devolverse a la Tierra. Durante el día, esta región a menudo se divide en dos conocidas como las regiones F1 y F2.

La visión tradicional de la ionosfera indica una serie de capas distintas, cada una de las cuales afecta las comunicaciones de radio HF de formas ligeramente diferentes. De hecho, los primeros descubrimientos de la ionosfera indicaron que había varias capas presentes. Estas capas de la Ionosfera se denominaron D, E y F, y el concepto de capas distintas con estos nombres se ha mantenido durante muchos años.

Al observar la ionosfera y la forma en que afecta las señales de radio, vale la pena observar más de cerca la propagación de la ionización dentro de la ionosfera, y cómo las diferentes regiones de la ionosfera afectan las señales de radiocomunicaciones y cómo se puede usar.

## Regiones Ionosféricas



Distribución típica de electrones en la ionosfera

Si bien el concepto de las distintas capas D, E y F es una forma conveniente de representar la estructura de la ionosfera esto no es exactamente correcto. La ionización existe en toda la ionosfera y su nivel varía con la altitud. Los picos de nivel pueden considerarse como las diferentes capas o, posiblemente, más correctamente, las regiones. Por lo tanto, la terminología regiones D, E y F es más apropiada.

También hay una región C por debajo de las demás, pero el nivel de ionización es tan bajo que no tiene ningún efecto sobre las señales y comunicaciones por radio, y rara vez se menciona.

Las diferentes capas o regiones de la ionosfera tienen diferentes y distintas características y afectan las comunicaciones por radio de diferentes maneras.

También hay diferencias en la forma exacta en que se crean y sostienen. En vista de esto, vale la pena mirar más de cerca cada uno en detalle y la forma en que varían a lo largo del día completo, durante la luz y la oscuridad.

## Región D

Cuando una onda del cielo sale de la superficie de la Tierra y viaja hacia arriba, la primera región de interés que alcanza en la ionosfera se denomina capa D o región D.

Está presente en altitudes de entre 60 y 90 kilómetros y la radiación que contiene solo está presente durante el día, hasta el punto de afectar notablemente a las ondas de radio. Es sostenida por la radiación del Sol y los niveles de ionización caen rápidamente al anochecer cuando se elimina la fuente de radiación.

La capa D se genera principalmente por la acción de una forma de radiación conocida como radiación Lyman que tiene una longitud de onda de 1215 Angstroms e ioniza el gas de óxido nítrico presente en la atmósfera. Los rayos X duros también contribuyen a la ionización, especialmente hacia el pico del ciclo solar.

La capa D o la región D tiene principalmente el efecto de absorber o atenuar las señales de comunicaciones de radio particularmente en las porciones LF y MF del espectro de radio, su efecto se reduce con el aumento de la frecuencia.

Por la noche, la caída en el nivel de ionización significa que tiene poco efecto en la mayoría de las señales de radiocomunicaciones, aunque todavía es suficiente para refractar las señales VLF.

Esta región atenúa las señales a medida que pasan. El nivel de atenuación depende de la frecuencia. Las frecuencias bajas se atenúan más que las altas. De hecho, se encuentra que la atenuación varía como el inverso del cuadrado de la frecuencia, es decir, duplicar la frecuencia reduce el nivel de atenuación por un factor de cuatro. Esto significa que a menudo se impide que las señales de baja frecuencia lleguen a las regiones más altas, excepto por la noche, cuando la región desaparece.

$$\text{Atenuación} = k / F^2$$

Donde:

$k$  = constante

$f$  = frecuencia de operación (Hz)

La región D atenúa las señales porque las señales de radio hacen que los electrones libres en la región vibren. A medida que vibran, los electrones chocan con las moléculas, y en cada colisión hay una pequeña pérdida de energía. Con innumerables millones de electrones vibrando, la cantidad de pérdida de energía se vuelve notable y se manifiesta como una reducción en el nivel general de la señal. La cantidad de pérdida de señal depende de varios factores.

- **Número de moléculas de gas presentes:** Un factor es el número de moléculas de gas que están presentes. Cuanto mayor sea el número de moléculas de gas, mayor será el número de colisiones y, por lo tanto, mayor será la atenuación. A la altitud donde existe la región D, todavía hay un nivel relativamente alto de moléculas de gas y, por lo tanto, hay un número suficientemente grande de colisiones de iones y moléculas para absorber una gran cantidad de energía en muchas circunstancias.
- **Nivel de ionización:** El nivel de ionización también es muy importante. Cuanto mayor sea el nivel de ionización mayor será el número de electrones que vibran y chocan con las moléculas.
- **Frecuencia de la señal:** El tercer factor principal es la frecuencia de la señal. A medida que aumenta la frecuencia la longitud de onda de la vibración se acorta y el número de colisiones entre los electrones libres y las moléculas de gas disminuye. Como resultado, las señales más bajas en el espectro de radiofrecuencia se atenúan mucho más que aquellas que tienen una frecuencia más alta. Aun así, las señales de alta frecuencia todavía sufren alguna reducción en la intensidad de la señal.

En términos prácticos, se encuentra que el nivel de atenuación es suficiente para evitar que las señales en la porción de MF (Frecuencias Medias) del espectro lleguen a las capas superiores. Sin embargo, por la noche, cuando la ionización en la región D disminuye, pueden alcanzar las capas más altas y es posible que se escuchen señales desde más lejos. Esto es evidente en la banda de onda media y frecuencias más altas donde las señales son absorbidas por la región D.

Las señales a frecuencias más altas que son "reflejadas" por las regiones más altas de la ionosfera también se atenuarán hasta cierto punto, aunque esto dependerá de la frecuencia. Vale la pena señalar que, para cada reflexión, la señal deberá pasar dos veces por la región D, siendo atenuada cada vez. Por lo tanto, las señales que se reflejan varias veces pueden sufrir grados significativos de atenuación.

## Región E

La región E o capa E está por encima de la región D. Existe en altitudes entre unos 100 y 125 kilómetros. En lugar de atenuar las señales de radiocomunicaciones, esta capa principalmente las refracta, a menudo hasta el punto de que regresan a la tierra. Como tales, parecen haber sido reflejados por esta capa. Sin embargo, esta capa todavía actúa como un atenuador hasta cierto punto.

A la altitud donde existe la capa E o la región E, la densidad del aire es mucho menor que en la región D. Esto significa que cuando los electrones libres son excitados por señales de radio y vibran, ocurren muchas menos colisiones. Como resultado, la forma en que actúa la capa E o la región E es algo diferente. La señal de radio vuelve a poner en movimiento a los electrones, pero tienden a volver a irradiarla. A medida que la señal viaja en un área donde la densidad de electrones aumenta, cuanto más avanza en la región, la señal se refracta lejos del área de mayor densidad de electrones. En el caso de las señales de HF, esta refracción suele ser suficiente para desviarlas hacia la tierra. En efecto, parece que la región ha "reflejado" la señal.

La tendencia de este "reflejo" depende de la frecuencia y el ángulo de incidencia. A medida que aumenta la frecuencia se encuentra que la cantidad de refracción disminuye hasta que se alcanza una frecuencia en la que las señales pasan a través de la región y llegan a la siguiente. Eventualmente se alcanza un punto donde la señal pasa a través de la capa E a la siguiente capa por encima de ella.

Al igual que la región D, el nivel de ionización cae relativamente rápido después del anochecer a medida que los electrones y los iones se vuelven a combinar y prácticamente desaparece por la noche. Sin embargo, la ionización nocturna residual en la parte inferior de la región E provoca cierta atenuación de las señales en las zonas inferiores de la parte HF del espectro de comunicaciones por radio.

La ionización en esta región resulta de varios tipos de radiación. Los rayos X suaves producen gran parte de la ionización, aunque también contribuyen los rayos ultravioletas extremo (EUV) (luz ultravioleta de longitud de onda muy corta). En términos generales, la radiación que produce la ionización en esta región tiene longitudes de onda entre 10 y 100 Angstroms. El grado en que contribuyen todos los constituyentes depende del estado del Sol y de la latitud en la que se realizan las observaciones.

## Región F

La región más importante de la ionosfera para las comunicaciones de radio HF de larga distancia es la región F. Durante el día, cuando se recibe radiación del Sol, a menudo se divide en dos: la inferior es la región F1 y la superior la región F2. De estas, la región F1 es más un punto de inflexión en la curva de densidad de electrones (vista arriba) y generalmente solo existe en el verano.

Por lo general, la capa F1 se encuentra alrededor de una altitud de 300 kilómetros con la capa F2 por encima de ella a unos 400 kilómetros. La capa F combinada puede entonces centrarse alrededor de 250 a 300 kilómetros. La altitud de todas las capas de la ionosfera varía considerablemente y la capa F es la que más varía. Como resultado, las cifras proporcionadas solo deben tomarse como una guía aproximada. Al ser la más alta de las regiones ionosféricas, se ve muy afectada por el estado del Sol, así como por otros factores, como la hora del día, el año, etc.

La capa F actúa como un "reflector" de señales en la porción de HF del espectro de radio, lo que permite establecer comunicaciones de radio en todo el mundo. Es la principal región asociada con la propagación de la señal HF.

La acción de la capa F sobre las señales de radio es la misma que para la capa E, aunque al ser menor la densidad del aire, hay menos colisiones y se pierde menos energía. Como resultado, las señales reflejadas por la capa F, y en particular la F2 posterior, están sujetas a bajos niveles de atenuación. Como resultado, incluso las señales de baja potencia se pueden escuchar a grandes distancias.

*Al igual que las capas D y E, el nivel de ionización de la región F varía a lo largo del día, cayendo por la noche a medida que desaparece la radiación del Sol. Sin embargo, el nivel de ionización sigue siendo mucho más alto. La densidad de los gases es mucho más baja y, como resultado, la recombinación de los iones y los electrones tiene lugar más lentamente, aproximadamente a una cuarta parte de la velocidad con la que ocurre en la región E. Como resultado de esto, todavía tiene un efecto sobre las señales de radio por la noche, pudiendo devolver muchas a la Tierra, aunque tiene un efecto reducido en algunos aspectos.*

*La región F se encuentra en la zona más alta de la ionosfera y, como tal, experimenta la mayor cantidad de radiación solar. Gran parte de la ionización resulta de la luz ultravioleta en el medio del espectro, así como de aquellas porciones del espectro con longitudes de onda muy cortas. Normalmente, la radiación que provoca la ionización se encuentra entre las longitudes de onda de 100 y 1000 Angstroms, aunque la luz ultravioleta extrema es responsable de cierta ionización en las áreas inferiores de la región F.*

## *Variaciones ionosféricas*

*Ya se ha visto que la hora del día provoca unos cambios muy significativos en el estado de la ionosfera ya que el nivel de ionización desciende por la noche. Sin embargo, hay muchos otros factores que también afectan a la ionosfera. El principal es el Sol mismo, pero otros factores incluyen la estación y la posición en el globo.*

- Cambios estacionales: De la misma manera que la cantidad de calor que reciben los lugares de la Tierra varía con las estaciones, también lo hace la cantidad de radiación recibida por la ionosfera. Esto se debe al hecho de que en verano la radiación recibida se extiende sobre un área más pequeña ya que la superficie de la Tierra está más cerca de estar en ángulo recto con la dirección de la radiación. En invierno, la superficie de la Tierra está en un ángulo mayor y la radiación tiene que extenderse sobre un área más grande. Como resultado, la ionosfera recibe menos radiación en invierno que en verano.*

*Las regiones D y E responden como se esperaba con niveles más bajos de ionización en invierno que en verano, y la región F<sub>1</sub> también sigue un patrón similar. Sin embargo, para la región F2 hay otros factores que influyen y responde de manera diferente.*

*Para la región F2, el efecto de calentamiento del Sol juega un papel crucial en la forma en que responde. La temperatura durante el invierno es mucho menor que en el verano como resultado de que el calor del Sol se distribuye sobre un área más grande porque el sol está más bajo en el cielo. En verano, la temperatura del gas aumenta en la región F2, por lo que aumenta la actividad en el aire y un mayor número de moléculas ascienden a la atmósfera. En invierno, a medida que baja la temperatura, las moléculas más pesadas caen, dejando que los átomos más ligeros suban a la cima.*

*Esto significa que en invierno hay una mayor proporción de átomos a mayor altitud de la región F2. Los átomos son más fáciles de ionizar que las moléculas de gas, por lo que también aumenta el número de objetivos adecuados para que la radiación se ionice. Como resultado, los niveles de ionización diurna son más altos en invierno que en verano. El efecto general es que los niveles máximos de ionización durante el día aumentan más en invierno que en verano, pero disminuyen a un nivel más bajo, ya que la radiación solar está presente durante una menor proporción del tiempo.*

- Variaciones geográficas: Los niveles de ionización también se ven afectados por la posición en el globo. Naturalmente, existen variaciones que surgen de la latitud donde las regiones polares reciben menos radiación y las regiones ecuatoriales disfrutan de niveles de radiación mucho más altos. En términos generales, esto da como resultado niveles más altos de ionización para las regiones D, E y F1 en las áreas ecuatoriales que hacia los polos.*

*La región F2 tiene una serie de otros factores que afectan su nivel de ionización, incluido el campo magnético de la Tierra, y también recibe ionización de otras fuentes. Como resultado de esto, se encuentra que los niveles de ionización son más altos en Asia y Australia que en el hemisferio occidental, incluidos África, Europa y América del Norte.*

## Resumen

La ionosfera es un área de la atmósfera en constante cambio. Extendiéndose desde altitudes de alrededor de 60 kilómetros hasta más de 400 kilómetros, contiene iones y electrones libres. Los electrones libres afectan las formas en que las ondas de radio se propagan en esta región y tienen un efecto significativo en las comunicaciones de radio HF.

La ionosfera se puede clasificar en una serie de regiones correspondientes a picos en la densidad de electrones. Estas regiones se denominan regiones D, E y F. En vista del hecho de que la radiación del Sol se absorbe a medida que penetra en la atmósfera, diferentes formas de radiación dan lugar a la ionización en las diferentes regiones, como se describe en la siguiente tabla de resumen:

Resumen de formas de radiación que causan ionización en las capas o regiones ionosféricas	
Región	Formas primarias de radiación ionizante
C	Cósmica
D	Lyman alfa, rayos X duros
E	Rayos X suaves y algo de ultravioleta extremo
F1	Ultravioleta extremo y algo de ultravioleta
F2	Ultravioleta

La ionosfera es un área en continuo cambio. Obviamente, se ve afectada por la radiación del Sol y, como resultado, cambia aspectos que incluyen la hora del día, el área geográfica del mundo y el estado del Sol. Como resultado, las comunicaciones por radio que utilizan la ionosfera cambian de un día para otro, e incluso de una hora para la siguiente. Predecir cómo serán posibles las comunicaciones de radio y cómo se pueden propagar las señales de radio es de gran interés para una gran variedad de usuarios de comunicaciones de radio, que van desde locutores hasta radioaficionados y usuarios de sistemas de comunicaciones de radio bidireccionales, hasta aquellos con sistemas de comunicaciones de radio móviles marítimos y muchos más.

### Distancia de salto de propagación de ondas decamétricas y zona de salto

Cuando las señales viajan hacia la ionosfera y se alejan de la superficie de la Tierra, se conocen como ondas celestes por razones obvias. A medida que se alejan de la superficie de la Tierra hacia la ionosfera, prácticamente solo se atenúan como resultado de las distancias que recorren hasta llegar a la ionosfera. Sin embargo, las señales que se propagan cerca del suelo sufren algunos niveles de atenuación que dependen de la frecuencia de la transmisión. Pronto se atenúan hasta el punto en que no se pueden escuchar.

A una distancia mayor, las señales se pueden escuchar nuevamente una vez que se han reflejado, o más correctamente refractado de regreso a la Tierra.

Cuando se usa la propagación HF, a menudo es conveniente definir algunas de las distancias involucradas.

- **Distancia de salto:** La distancia de salto para una señal que usa la propagación HF a través de la ionosfera, es la distancia en la superficie de la Tierra entre el punto donde las señales de radio de un transmisor, transmitidas a la ionosfera y refractadas hacia abajo por la ionosfera, hasta el punto donde regresan a tierra y son recibidas.
- **Zona de exclusión:** Cuando las señales se transmiten en la porción de HF del espectro, solo se extenderán por un pequeño radio alrededor del transmisor a través de la onda de superficie. Más allá de esto, no son audibles hasta que la onda de cielo regresa a la tierra. La zona de salto o zona silenciosa es una región donde no se puede recibir una transmisión de radio. La zona está ubicada entre las regiones cubiertas por la onda de superficie y donde la onda del cielo regresa por primera vez a la tierra.

Tres temas clave dentro de la propagación ionosférica de ondas decamétricas y las comunicaciones por radio, son las ondas ionosféricas, la distancia de salto y la zona de salto. Comprender la forma en que las señales de radio HF se propagan realmente, puede ayudar a aprovechar al máximo los efectos de la propagación ionosférica.

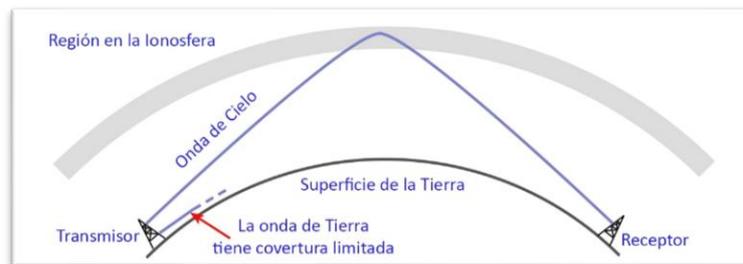
Las ondas aéreas, la zona de salto y las distancias de salto, son tres conceptos clave que muestran por qué las señales de radiocomunicaciones se escuchan en algunos lugares y no en otros.

Para cubrir grandes distancias utilizando la propagación de radio ionosférica, los conceptos de ondas ionosféricas distancia de salto y zona de salto son importantes. Tienen impacto en los aspectos de los enlaces de radiocomunicaciones, incluidos los tiempos y frecuencias elegidas, las antenas utilizadas, los transmisores y receptores empleados y una variedad de otros aspectos.

## Ondas de cielo

La onda del cielo se refiere a la señal que se aleja de la superficie de la Tierra hacia la ionosfera. A diferencia de una onda de superficie, no sigue el contorno del suelo, sino que se dirige hacia la ionosfera.

El ángulo entre la línea de la señal de la onda ionosférica y la superficie de la Tierra en ese punto, puede ser poco profundo o pronunciado.

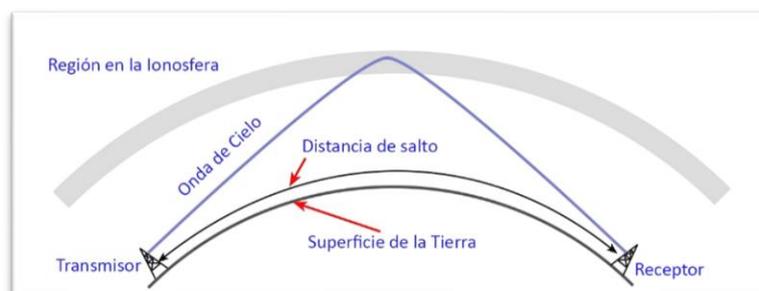


Las ondas de cielo (Skywaves) viajan hacia la ionosfera

## Distancia de salto

La distancia de salto es la distancia sobre la superficie de la Tierra entre el punto donde se transmite una señal de radio y el punto donde se recibe después de haber viajado a la ionosfera y haber sido refractada por la ionosfera.

Las señales salen de la antena y se alejan de ella, llegando finalmente a la ionosfera. Normalmente dejarán la tierra en un ángulo llamado ángulo de radiación. Ya sea bajo, es decir, casi paralelo a la Tierra, o alto, es decir, en un ángulo alto hacia arriba, llegarán a la ionosfera en algún momento.



Distancia de salto

La distancia de salto depende de una variedad de factores:

- **Frecuencia:** La frecuencia de operación tiene una gran influencia en la distancia de salto que se puede lograr. Por lo general, a medida que aumenta la frecuencia, se necesita un ángulo de radiación más bajo para devolver las señales a la Tierra en una distancia más corta. También las frecuencias más altas tienden a ser reflejadas o refractadas por capas o regiones más altas en la ionosfera. Esto significará que las frecuencias más altas tienden a conducirse a distancias de salto más largas.
- **Condiciones ionosféricas:** Las condiciones ionosféricas juegan un papel importante en el control de la distancia de salto. En algunas circunstancias, cuando los niveles de ionización son altos, es posible que las señales alcancen distancias de salto muy cortas.
- **Ángulo de radiación:** El ángulo de radiación de la antena transmisora también tendrá un impacto en la distancia de salto. Un ángulo de radiación más bajo conducirá a distancias de salto más largas como resultado de la geometría. Esto significa que los enlaces de radiocomunicaciones pueden cubrir mayores distancias si se utilizan ángulos de radiación bajos. Sin embargo, para algunas aplicaciones en las que se requiere un área objetivo específica, el ángulo de radiación se puede adaptar para que la región objetivo requerida se cubra junto con la región ionosférica específica.

La distancia de salto depende de una variedad de factores diferentes. Aunque algunos usuarios, como los radioaficionados, a menudo requieren comunicaciones de radio de larga distancia y pueden conectarse con otros en cualquier parte del mundo.

Para otros usuarios, como los organismos de radiodifusión y algunas comunicaciones de radio diplomáticas, es posible que se necesiten áreas objetivo específicas. Aquí, ajustar el ángulo de radiación de la antena junto con el uso de una banda específica de frecuencias y horas del día, etc. permite obtener el mejor rendimiento en términos de distancia de salto.

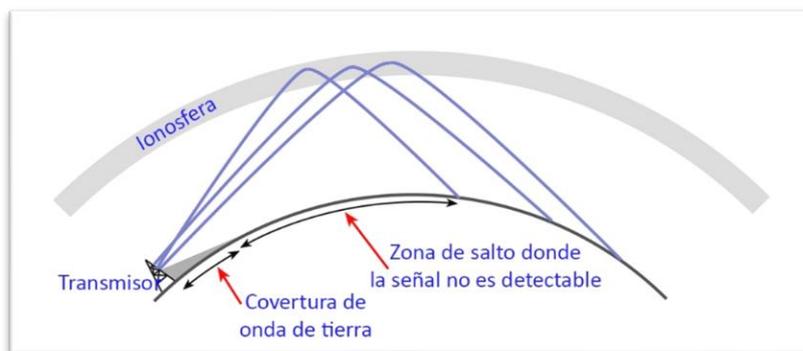
## Saltar zona

La zona de exclusión, que también puede denominarse zona silenciosa o zona muerta, es una región en la que no se puede recibir una transmisión de radio. La zona de salto es la región entre el punto donde las señales de ondas terrestres ya no pueden escucharse y el punto donde la onda ionosférica regresa por primera vez a la Tierra.

La presencia de la zona de salto a veces puede ser beneficiosa y otras veces puede dar problemas.

Si se necesita una cobertura localizada continua, entonces el fenómeno de la zona de salto puede ser un problema. Sin embargo, si no se necesita cobertura local, por ejemplo, para comunicaciones de radio de larga distancia, entonces no hay problema. La zona de salto también puede ayudar a reducir los niveles de interferencia, porque significa que la cantidad de estaciones que se reciben es menor y, por lo tanto, se pueden reducir los niveles de interferencia.

Como uno de los aspectos limitantes clave del cierre de la zona de salto es la atención de la onda de superficie, es útil comprender un poco más al respecto.



Zona de salto o zona muerta

La zona de salto o zona muerta depende de una variedad de factores:

- **Cobertura de onda de superficie:** La cobertura local alrededor del transmisor se rige por la onda de superficie. La extensión de la cobertura y el inicio de la zona de exclusión dependerán de la frecuencia utilizada. La cobertura de onda de superficie será mayor para frecuencias más bajas. En MF, puede extenderse hasta 160 km más o menos, pero para frecuencias más altas, por ejemplo, 10 MHz y superiores, solo puede extenderse 3 o 4 kilómetros. Puede ser sorprendente lo corta que puede ser la cobertura de onda de superficie para señales en HF, incluso cuando se utilizan altas potencias junto con buenas antenas.
- **Distancia mínima de salto de Skywave:** La distancia mínima de salto está influenciada por una serie de factores incluida la frecuencia de funcionamiento; el estado de la ionosfera y el ángulo de radiación.

En algunas circunstancias, las ondas ionosféricas de incidencia casi vertical pueden utilizarse y devolverse desde la ionosfera. Esto normalmente solo ocurre para frecuencias más bajas en el espectro de radio, pero al usar esto la cobertura de onda ionosférica puede estar muy localizada y brindar cobertura local antes de que desaparezca la onda terrestre.

La zona de salto normalmente se experimenta para la mayoría de las frecuencias en la porción HF del espectro. Significa que las estaciones más lejanas se pueden escuchar mucho mejor que las locales.

*Si es necesario reducir la zona de salto para obtener una mejor cobertura más cercana del transmisor y su antena entonces se puede reducir la frecuencia de transmisión. Esto tiene dos efectos, no solo aumenta la cobertura de la onda de superficie porque la atenuación de la onda de superficie se reduce a medida que se reduce la frecuencia, sino que también permite que la radiación de ángulo más alto regrese a la Tierra más fácilmente, aunque también dependerá de las condiciones de propagación de radio predominantes.*

## *Ondas del cielo y frecuencias*

*Para tener una mejor idea de las características de la propagación de HF usando la ionosfera, vale la pena ver lo que sucede con una señal de radiocomunicaciones si la frecuencia aumenta en todo el espectro de frecuencias. Primero comienza con una señal en la banda de transmisión de onda media. Durante el día, las señales en estas frecuencias solo se propagan utilizando la onda de superficie. Cualquier señal que llegue a la región D es absorbida. Sin embargo por la noche, cuando la región D desaparece, las señales llegan a las otras regiones y pueden escucharse a distancias mucho mayores.*

*Si se aumenta la frecuencia de la señal, se llega a un punto en el que la señal comienza a penetrar en la región D y las señales llegan a la región E. Aquí se reflejarán y volverán a pasar por la región D, y regresarán a la tierra a una distancia considerable del transmisor.*

*A medida que la frecuencia aumenta aún más, la señal se refracta cada vez menos en la región E y, finalmente, la atraviesa. Luego llega a la región F1, y aquí puede reflejarse pasando de regreso a través de las regiones D y E para llegar nuevamente a la tierra. Como la región F1 es más alta que la región E, la distancia alcanzada será mayor que la de una reflexión de la región E.*

*Finalmente, a medida que la frecuencia de la señal de radiocomunicaciones aumenta aún más, eventualmente pasará a través de la región F1 hacia la región F2. Esta es la más alta de las regiones de la ionosfera y las distancias alcanzadas usando estas son las más grandes. Como guía aproximada, la distancia máxima de salto para la región E es de alrededor de 2500 km y 5000 km para la región F2.*

*Los conceptos de ondas ionosféricas, distancia de salto y zona de salto están en el centro de la propagación de radio HF. La comprensión de estos conceptos básicos, proporciona una base para otros conceptos asociados con la radiodifusión de HF o formas de comunicaciones de radio bidireccionales de HF, etc. Con distancias de muchos miles de kilómetros que pueden cubrirse utilizando la propagación de radio ionosférica, las ondas de cielo o Skywaves, la distancia de salto y la zona de salto son conceptos que se encuentran todo el tiempo.*

## *Propagación HF y selección de frecuencia*

*Uno de los aspectos clave de la propagación de HF es utilizar la frecuencia adecuada. Puede ser posible que la propagación permita que existan comunicaciones con un área, pero no con otra.*

*Debido a que las señales de mayor frecuencia pueden pasar a través de las regiones más bajas, las señales en diferentes frecuencias viajarán diferentes distancias cuando se utiliza la propagación HF a través de la ionosfera. Como las frecuencias más altas tienden a ser reflejadas por regiones más altas, estas pueden alcanzar distancias mucho mayores como resultado de la geometría.*

*Hay algunas definiciones que se utilizan dentro de los círculos de propagación HF:*

- Frecuencia Mínima Utilizable, LUF: LUF es la frecuencia más baja a la que la intensidad de campo recibida es suficiente para proporcionar la relación señal/ruido requerida en un momento específico del día.*
- Frecuencia Máxima Utilizable MUF: La MUF es la frecuencia de señal más alta que se puede utilizar para la transmisión entre dos puntos a través de la reflexión de la ionosfera en un momento dado.*
- Frecuencia crítica: La frecuencia crítica para una capa o región dada en la ionosfera, es la frecuencia más alta a la que una señal que viaja verticalmente hacia arriba se refleja de regreso al suelo. Esto da una buena indicación del estado de la ionosfera.*
- Frecuencia óptima de trabajo: La frecuencia óptima de trabajo es la frecuencia efectiva más alta que se prevé que se pueda utilizar para una ruta y una hora del día específicas durante el 90 % de los días del mes.*

## Frecuencia mínima y máxima utilizable, frecuencia crítica

Hay una serie de frecuencias que son importantes cuando se trabaja con la propagación de radio ionosférica. Estas frecuencias, incluida la Frecuencia Crítica (Critical Frequency) “ $f_c$ ”, Frecuencia Utilizable más Baja (Lowest Usable Frequency) LUF, Frecuencia Máxima Utilizable (Maximum Usable Frequency) MUF, y la Frecuencia de Trabajo Óptima (Optimum Working Frequency) OWF, son de gran importancia al determinar qué frecuencias proporcionarán el mejor rendimiento para un enlace de comunicaciones de radio HF de onda corta.

Estas frecuencias se mencionan a menudo en las predicciones de propagación de las comunicaciones por radio. Como tal, una descripción general de estos términos es importante para cualquier persona que utilice comunicaciones de radio en HF.

### Frecuencia Crítica

La frecuencia crítica es una cifra importante que da una indicación del estado de la ionosfera y la propagación de ondas decamétricas resultante. Se obtiene enviando un pulso de señal directamente hacia arriba. Esto se refleja y puede ser recibido por un receptor en el mismo lugar de ubicación que el transmisor.

El pulso puede reflejarse de vuelta a la tierra y medirse el tiempo para dar una indicación de la altura de la capa. A medida que aumenta la frecuencia, se alcanza un punto en el que la señal atravesará la capa y pasará a la siguiente, o al espacio exterior. La frecuencia a la que esto ocurre se denomina frecuencia crítica.

El equipo utilizado para medir la frecuencia crítica se llama ionosonda. En muchos aspectos se parece a un pequeño equipo de radar, pero para las bandas de HF. Usando estos conjuntos, se puede generar una gráfica de las reflexiones contra la frecuencia, lo que proporciona una indicación del estado de la ionosfera para esa área del mundo.

### Frecuencia Máxima Utilizable (MUF)

Cuando una señal se transmite utilizando la propagación de HF en un trayecto determinado, existe una frecuencia máxima que se puede utilizar. Esto se debe al hecho de que a medida que aumenta la frecuencia de la señal, pasará a través de más capas y eventualmente viajará al espacio exterior. A medida que pasa a través de una capa, es posible que se pierda la comunicación porque la señal se propaga a una distancia mayor de la requerida. Además, cuando la señal pase por todas las capas, se perderá la comunicación.

La frecuencia en la que las comunicaciones por radio empiezan a fallar se conoce como Frecuencia Máxima Utilizable (MUF). Como regla general, es generalmente de tres (para la región F) a cinco (para la región E) veces la frecuencia crítica, y es cierto para ángulos bajos de incidencia, aunque se dispone de métodos más exactos para determinar esta cifra.

Es posible calcular la relación más exactamente:

$$MUF = CF / \cos \theta$$

Donde:

MUF = Frecuencia máxima utilizable

CF = frecuencia crítica

$\theta$  = el ángulo de incidencia.

El factor  $\sec \theta$  se denomina factor MUF y es una función de la longitud del camino si se conoce la capa de altura. Mediante el uso de cifras típicas para las alturas de las diferentes regiones ionosféricas, se pueden determinar los factores.

Factores MUF para varias distancias suponiendo alturas representativas de las principales regiones ionosféricas				
Región o capa	Distancia			
	1000 km	2000 km	3000 km	4000 km
Esporádica E	4.0	5.2		
E	3.2	4.8		
F1	2.0	3.2	3.9	
F2 Invierno	1.8	3.2	3.7	4.0
F2 Verano	1.5	2.4	3.0	3.3

También se puede ver en ocasiones, un formato "operacional" para la frecuencia máxima utilizable. Esta es la Frecuencia Máxima Utilizable, MUF, que permitiría la operación aceptable de un servicio de radio entre terminales dadas bajo condiciones de trabajo específicas. Esta forma de MUF tiene el énfasis en la aceptabilidad operativa del circuito. Significa que se tienen en cuenta factores como la antena, los niveles de potencia y similares, y da una indicación sobre la posibilidad de una comunicación real en una estación determinada.

### Frecuencia Mínima Utilizable (LUF)

A medida que se reduce la frecuencia de una transmisión, pueden ser necesarias más reflexiones en la ionosfera, y aumentan las pérdidas de la capa D. Estos dos efectos significan que hay una frecuencia por debajo de la cual se perderán las comunicaciones de radio entre dos estaciones. De hecho, la Frecuencia Utilizable más Baja (LUF), se define como la frecuencia por debajo de la cual la señal cae por debajo de la fuerza mínima requerida para una recepción satisfactoria.

De esto, se puede ver que la LUF depende de las estaciones en cada extremo de la ruta. Sus antenas, receptores potencias de transmisión, el nivel de ruido en las inmediaciones, etc., afectan a la LUF. El tipo de modulación utilizada también tiene un efecto, ya que algunos tipos de modulación se pueden copiar con menor intensidad que otros. En otras palabras, la LUF es el límite práctico por debajo del cual, no se puede mantener la comunicación entre dos estaciones de radiocomunicaciones particulares.

Si es necesario utilizar una frecuencia por debajo de la LUF, entonces, como guía aproximada, se debe realizar una ganancia de 10 dB para disminuir la LUF en 2 MHz. Esto se puede lograr mediante métodos que incluyen aumentar las potencias del transmisor, mejorar las antenas, etc.

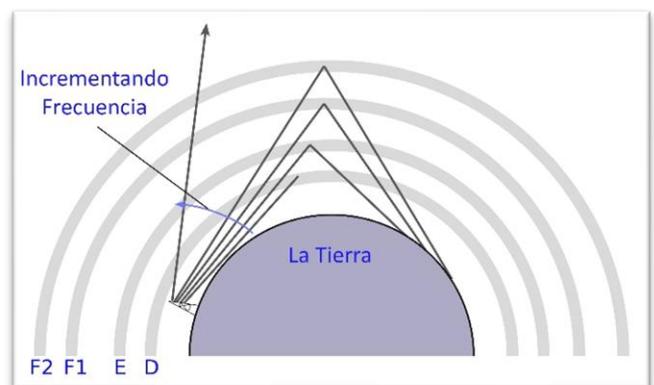
Tenemos que la LUF en realidad aumenta en períodos de alta actividad solar. Esto se debe a los mayores niveles de radiación solar que dan lugar a mayores niveles de ionización en la capa D. Esto a su vez aumenta el nivel de atenuación introducido por esta capa. Esto significa que en el pico del ciclo de manchas solares hay una degradación en el desempeño de las bandas de baja frecuencia para comunicaciones de larga distancia.

### Frecuencia Óptima de Trabajo (OWF)

Para poder enviar señales a una ubicación determinada, es probable que se puedan utilizar varias rutas diferentes. A veces, puede ser posible utilizar las capas E o F y, a veces, una señal puede reflejarse primero en una y luego en la otra. De hecho, la imagen rara vez está tan bien definida como puede parecer en los libros de texto. Sin embargo, aún es posible elegir una frecuencia, entre una variedad de opciones para ayudar a establecer contacto con un área determinada.

En general, cuanto mayor sea la frecuencia, mejor. Esto se debe a que la atenuación provocada por la capa D es menor. Aunque las señales pueden viajar a través de la capa D, aún pueden sufrir niveles significativos de atenuación. Como la atenuación se reduce en un factor de cuatro para duplicar la frecuencia en uso, esto muestra cuán significativo puede ser.

Además, al aumentar la frecuencia, es probable que se utilice una capa más alta en la ionosfera, lo que puede resultar en que se requieran menos reflexiones. Como se incurre en pérdidas en cada reflexión y cada vez que la señal pasa a través de la capa D, el uso de una frecuencia más alta obviamente ayuda. Cuando se utilizan frecuencias más altas, es necesario asegurarse de que las comunicaciones sigan siendo fiables. En vista del estado en constante cambio de la ionosfera, una regla general es usar una frecuencia que esté aproximadamente un 20 % por debajo de la MUF a pesar de los cambios a corto plazo. Sin embargo, debe recordarse que la frecuencia MUF, cambiará significativamente según la hora del día y, por lo tanto, será necesario modificar la frecuencia periódicamente para tener esto en cuenta.



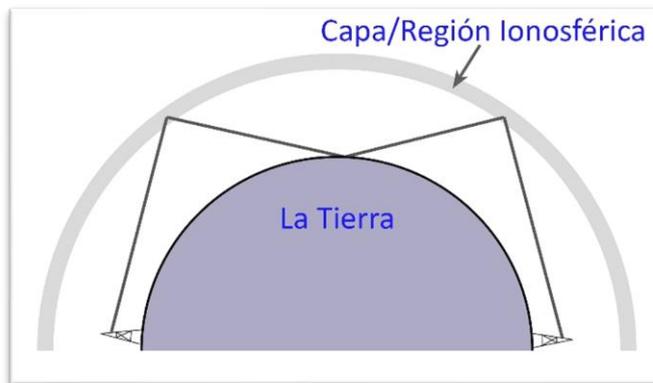
Reflexión ionosférica por capas D, E y F

## Múltiples reflejos

Si bien es posible alcanzar distancias considerables usando la región F como ya se describió, esto por sí solo no explica el hecho de que las señales de radio se escuchen regularmente desde lados opuestos del globo, usando la propagación HF con la ionosfera.

Esto ocurre porque las señales pueden sufrir varios "reflejos". Una vez que las señales regresan a la tierra desde la ionosfera, pueden ser reflejadas hacia arriba por la superficie de la tierra, y nuevamente pueden experimentar otra "reflexión" por parte de la ionosfera. Naturalmente, la señal se reduce en fuerza en cada "reflexión", y también se encuentra que diferentes áreas de la Tierra reflejan señales de radio de manera diferente.

Como se podría anticipar, la superficie del mar es un muy buena reflectora, mientras que las áreas desérticas son muy pobres. Esto significa que las señales que son "reflejadas" de regreso a la ionosfera por los océanos Pacífico o Atlántico serán más fuertes que las que usan el desierto del Sahara o el centro rojo de Australia.



Propagación HF con múltiples reflexiones ionosféricas

En realidad, el estado de la ionosfera no es tan limpio y clínico como nos gustaría, y hay muchas formas en las que las señales pueden reflejarse varias veces para alcanzar distancias muy largas, a veces reflejándose en otro reflejo de la ionosfera, y a veces se pueden canalizar entre las capas o regiones.

## Propagación de radio y pérdidas de señal

No es solo la superficie de la Tierra y los reflejos los que introducen pérdidas en la ruta de la señal. De hecho, la principal causa de pérdida es la región D, incluso para frecuencias altas en la porción HF del espectro.

Una de las razones de que esto ocurra, es que la señal tiene que atravesar la región D dos veces por cada reflejo de la ionosfera. Esto significa que, para obtener las mejores intensidades de señal, es necesario que las rutas de dicha señal permitan utilizar el número mínimo de saltos. Esto generalmente se logra utilizando frecuencias cercanas a las frecuencias máximas que pueden admitir comunicaciones utilizando la propagación ionosférica y, por lo tanto utilizando las regiones más altas de la ionosfera.

Además de esto, también se reduce el nivel de atenuación introducido por la región D. Esto significa que una señal de radio en 20 MHz, por ejemplo, será más fuerte que una en 10 MHz si la propagación puede admitirse en ambas frecuencias. Esto puede ser un factor clave cuando se trata de establecer comunicaciones de radio bidireccionales.

## El Sol y la propagación de radio HF

A medida que viajan las ondas electromagnéticas, y en este caso, las señales de radio, interactúan con los objetos y los medios en los que viajan. Mientras hacen esto, las señales de radio pueden reflejarse, refractarse o difractarse. Estas interacciones hacen que las señales de radio cambien de dirección, y lleguen a áreas que no serían posibles si las señales de radio viajaran en línea directa.

El Sol tiene un enorme impacto en la propagación de radio HF porque afecta la ionosfera, lo que da lugar a la mayoría de los efectos de larga distancia que permiten las comunicaciones de radio de larga distancia en las bandas de HF. Como resultado, afecta en gran medida a muchas formas de comunicaciones por radio, desde los sistemas de comunicaciones por radio típicamente bidireccionales que utilizan muchas organizaciones, y diversas formas de comunicaciones por radio móviles que utilizan las bandas de HF hasta la radiodifusión, las comunicaciones por radio punto a punto y las transmisiones de radioaficionados. Como resultado, el conocimiento de cómo las condiciones en el Sol afectan la propagación de la señal de radio son esenciales para la planificación de radio y la predicción de las condiciones de propagación de HF. El software de predicción de propagación de radio también tiene en cuenta el estado del Sol cuando calcula sus estimaciones de las condiciones de propagación.

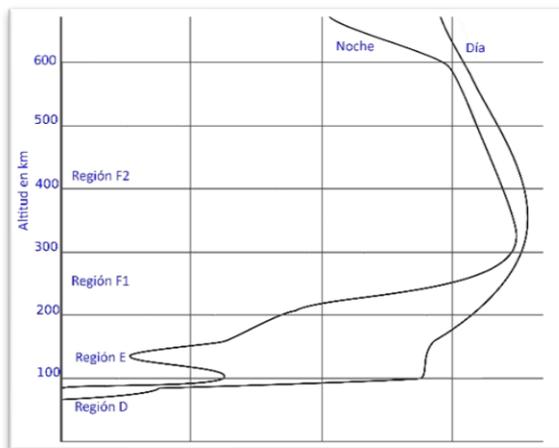
Para ver la forma en que el Sol afecta la ionosfera y las condiciones de propagación de radio, es necesario echar un vistazo rápido a las diversas áreas de la atmósfera para ver qué áreas influyen en la propagación de radio y cómo les afecta el sol. Estos factores son importantes para poder predecir las condiciones de propagación y, cuando se utilizan programas de predicción de la propagación radioeléctrica.

## La Ionosfera

Durante muchos años se ha sabido que hay capas ionizadas en los tramos superiores de la atmósfera, que afectan a diversas formas de comunicaciones por radio. Esta región se conoce como la ionosfera, aunque la existencia de una región ionizada fue propuesta por primera vez justo después del cambio de siglo, por separado, y por dos científicos, a saber, Kennelly en los EE.UU. y Heaviside en el Reino Unido. Desde entonces se ha aprendido mucho más sobre estas capas, especialmente desde que los primeros cohetes lograron atravesar la ionosfera para recopilar datos.

En la mayoría de las regiones de la atmósfera, se encuentra que los gases están en una forma molecular estable. Sin embargo, en ciertas áreas de la atmósfera, algunos de ellos comienzan a ionizarse, dividiéndose en electrones libres e iones positivos. De estos, son los electrones libres los que afectan las señales de radio, aunque la capa donde se encuentran estos iones y electrones todavía se llama ionosfera. Esto generalmente comienza a ocurrir a una altitud de alrededor de 30 km, aunque a esta altura los niveles de ionización son muy pequeños y no tienen efecto en las señales de radio. Sin embargo, a medida que aumenta la altitud, aumenta el número de iones.

Tradicionalmente se piensa que la ionosfera tiene varias capas distintas. Si bien a menudo es conveniente pensar en la ionosfera de esta manera, no es estrictamente cierto. Toda la ionosfera contiene iones y electrones libres, aunque hay una serie de picos, que pueden considerarse como las diferentes capas. Estas capas reciben las designaciones D, E y F. A continuación, se muestra un diagrama de los niveles aproximados de ionización. Esto solo puede ser muy aproximado, porque los niveles de ionización varían como resultado de una serie de factores.

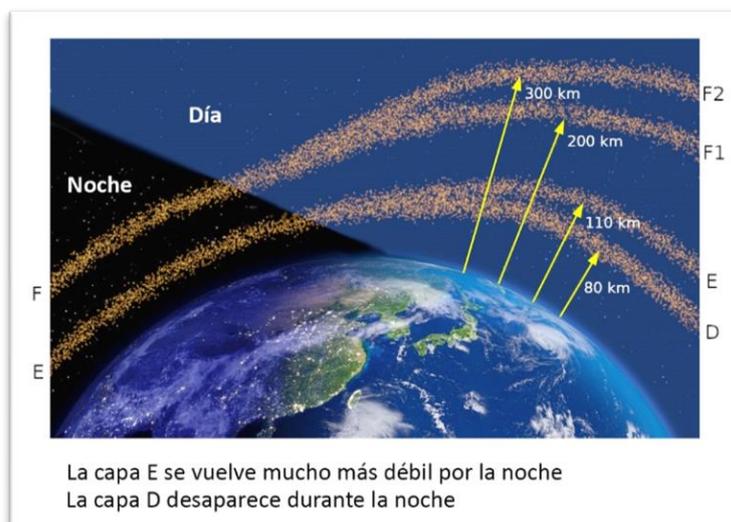


Niveles aproximados de ionización en la ionosfera

La más baja de las capas es la capa D. Se encuentra en altitudes entre 60 y 90 km. Solo existe durante el día cuando está a la vista del sol.

Por encima de esto está la capa E a unos 110 km de altura. Esta existe durante el día, y luego por la noche, cuando no está a la luz del sol, se vuelve mucho más débil.

Finalmente está la capa F. Esta capa varía considerablemente, existiendo normalmente como dos capas durante el día. Estas se denominan capas F1 y F2. Se encuentran en altitudes de alrededor de 300 y 400 km en verano, y luego durante el invierno pueden caer a alrededor de 200 y 300 km. Por la noche, las dos capas generalmente se combinan para formar una sola capa y esta suele estar alrededor de una altitud de 250 a 300 km.



La capa E se vuelve mucho más débil por la noche  
La capa D desaparece durante la noche

Variaciones de la ionosfera durante el día

## Formación de Iones

La ionización en la ionosfera se genera cuando la radiación del sol golpea las moléculas de gas en la atmósfera superior. La radiación que es de suficiente intensidad, le da al electrón en algunas moléculas suficiente energía para salir de la estructura molecular. Esto deja un electrón libre y la molécula de gas, al tener un electrón de menos, se convierte en un ion positivo.

En altitudes muy altas, la atmósfera es muy delgada y, como resultado, los niveles de ionización son muy bajos. A medida que la atmósfera se vuelve más densa, el nivel de ionización comienza a aumentar. Sin embargo, el proceso de ionización consume la energía de la radiación y, después de cierta distancia, la energía de la radiación es tal que no ioniza tantas moléculas de gas como antes, y por tanto el nivel de ionización comienza a disminuir.

También se encuentra que, para las capas superiores, incluidas las capas F y E, la mayor parte de la ionización resulta de la luz ultravioleta. La capa D, que se encuentra a una altitud más baja, se debe principalmente a los rayos X que pueden penetrar más en la atmósfera.

También se encuentra que los electrones libres y los iones positivos se recombinan lentamente. En otras palabras, la radiación hace que se ionicen y luego se recombinan lentamente. En química, este estado de cosas se llama equilibrio dinámico. Significa que, si se elimina la fuente de radiación, los niveles de ionización disminuirán. Como resultado, la capa D desaparece después del anochecer, y la capa E se reduce considerablemente en intensidad. Dados los altos niveles de ionización en las capas F y el hecho de que la densidad del aire es mucho menor, el proceso de recombinación tarda más en producirse y, en consecuencia, permanece durante la noche, aunque su nivel se reduce. Esto se puede ver en la forma en que las comunicaciones por radio varían a lo largo del día.

## Efecto de la Ionosfera

Las diferentes capas de la ionosfera afectan las vías de comunicación por radio de formas ligeramente diferentes. Cuando una señal ingresa a la capa D, hace vibrar los electrones libres. A medida que vibran, chocan con las moléculas cercanas y, después de cada colisión, se pierde algo de energía. Como resultado, las señales de radio que ingresan a la capa D se atenúan. Encontramos que el nivel de atenuación es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. En otras palabras, duplicar la frecuencia reduce la atenuación en un factor de cuatro. Tenemos que las señales de radio de baja frecuencia son completamente absorbidas por ella. Esto se puede demostrar por el hecho de que las estaciones de radio en la banda de transmisión de Onda Media solo se pueden escuchar en distancias cortas durante el día, y luego en la noche, cuando desaparece la capa D, se pueden escuchar en distancias mucho mayores.

El efecto es ligeramente diferente para las capas superiores. Al ser superiores en altitud, la densidad del gas es mucho menor. Como resultado, predomina un efecto diferente. Una vez más, los electrones se ponen en movimiento, pero a medida que se producen menos colisiones, actúan sobre la señal para desviarla del área de mayor ionización, o lo que es lo mismo, la señal se refracta hacia la tierra. También se encuentra que el efecto disminuye con la frecuencia y, como resultado, la señal finalmente pasará de una capa a la siguiente.

## Variaciones en la Ionosfera

El efecto de la ionosfera está muy relacionado con la cantidad de radiación que recibe. Esto varía durante el período del día, y por la noche, cuando la ionosfera no recibe radiación del sol, el nivel de ionización cae, y es posible que la comunicación no sea posible a través de algunas rutas o que se deban usar diferentes frecuencias. Otros cambios también afectan a la ionosfera. De la misma manera que los inviernos son más fríos porque esa parte de la tierra recibe menos calor del sol, la ionosfera recibe menos radiación y los niveles de ionización en la ionosfera caen.

## Manchas Solares

Los cambios en el propio Sol también afectan a la ionosfera. Uno de los cambios más importantes ocurre como resultado de las manchas solares que aparecen en la superficie del Sol.

Si se ve el Sol proyectando su imagen en una pantalla, de vez en cuando se pueden ver varias áreas oscuras. Estos puntos pueden durar desde unas pocas horas hasta días o incluso semanas. Las manchas son áreas donde la superficie del sol es más fría que las áreas circundantes.

*La temperatura de los puntos es de solo unos 3000° C. ¡Esto es bastante frío en comparación con la temperatura del resto de la superficie que es de alrededor de 6000° C! Sin embargo, hace mucho más calor debajo de la superficie, donde las temperaturas superan el millón de grados.*

*Las manchas solares son áreas de intensa actividad magnética. Los campos magnéticos en estas áreas son enormes y, como resultado, la superficie del sol se ve perturbada. Esto provoca que la temperatura de la superficie descienda en estas zonas provocando que se perciba una zona más oscura.*

*Alrededor de la mancha solar misma hay un área que se conoce como “playa”. Esta es ligeramente más brillante que el área circundante, y es una gran difusora de radiación ultravioleta y rayos X. La cantidad de radiación que emana de la playa significa que hay un aumento general en el nivel de radiación del sol. De hecho, se advierte que el nivel de radiación del sol se puede estimar a partir del conocimiento del número de manchas solares que aparecen en la superficie.*

*Como las manchas solares a menudo aparecen en grupos, se ha ideado un método para tratar de estimar su efecto. Se utiliza una cifra conocida como número de manchas solares. Este número no representa el número de manchas en sí pero el nivel de actividad del sol y el número de manchas solares están muy relacionados con la cantidad de radiación recibida del sol.*

*Las lecturas diarias del número de manchas solares fluctúan considerablemente. Para superar esto, las lecturas se suavizan matemáticamente para así eliminar la naturaleza errática de las lecturas y para que se pueda ver la tendencia subyacente. Este número, llamado Número Suavizado de Manchas Solares (SSN, por sus siglas en inglés), a menudo se cita en asociación con los informes de propagación.*

## *El ciclo de las manchas solares*

*El número de manchas solares en la superficie del Sol varía. En algunos días se pueden ver muy pocos, o incluso ninguno, mientras que en otros momentos hay muchos. El número diario varía considerablemente durante un corto período de tiempo a medida que el sol gira, pero si se usa el número suavizado de manchas solares, se puede ver que hay una tendencia a mucho más largo plazo. Esta tendencia muestra que el número de manchas solares aumenta y disminuye durante un período de aproximadamente once años. Este número es solo una guía aproximada, porque hay una cantidad considerable de variaciones en esto.*

*Los registros del número de manchas solares se han mantenido desde mediados del siglo XVIII y, al consultar estos registros, ha sido posible rastrear los ciclos desde entonces. El ciclo 22 comenzó en septiembre de 1986 con un número de 12. Aumentó rápidamente durante los siguientes 33 meses hasta alcanzar un máximo de 158. A partir de entonces, descendió levemente y volvió a aumentar para dar un segundo máximo más pequeño antes de terminar en 1996. Ahora el ciclo 23 ha comenzado y los números fueron en aumento. El ciclo 24 sin embargo, fue muy poco activo además de largo y se considera de los peores en toda la cifra de rastreo, pero desde el pasado 3 de julio de 2021 ya estamos en el 25 que según las mediciones y valoraciones, va a mejorar con creces el rendimiento del anterior ciclo.*

## *El efecto del ciclo de las manchas solares*

*El mayor número de manchas solares significa mayores niveles de radiación. A su vez, esto significa que hay mayores niveles de ionización en la Ionosfera. En consecuencia, esto afecta a la propagación en las bandas de ondas decamétricas, encontrando que las frecuencias máximas que pueden ser reflejadas aumentan.*

*En la mancha solar, normalmente se admiten frecuencias mínimas de alrededor de 15 a 20 MHz durante el día. Sin embargo, como máximo, las frecuencias superiores a 60 MHz pueden verse afectadas. Esto significa que es posible que las bandas de radioaficionados populares como 24 y 28 MHz no admitan comunicaciones a través de los modos normales de la Ionosfera en los mínimos de las manchas solares. A menudo, 28 MHz parece muerto y sin estaciones audibles, sin embargo, durante períodos de alrededor del máximo es una banda excelente. Las estaciones de baja potencia o aquellas con antenas más pobres la encuentran particularmente buena, y como la atenuación de la capa D es mucho menor, incluso las estaciones de baja potencia pueden hacer excelentes contactos.*

El número de manchas solares se puede usar para obtener una guía muy aproximada de cómo pueden ser las condiciones. La cifra tiende a variar desde alrededor de 65 en el mínimo del ciclo hasta más de 300 en el máximo. Para buenas condiciones en las bandas de frecuencias más altas, se encuentra que se requiere una cifra superior a 100. Se puede acceder a las cifras actualizadas desde una variedad de sitios web, incluido <http://www.sunspotcycle.com>

### *Unas palabras de advertencia:*

*En ningún caso se debe mirar directamente al sol, aunque se utilicen gafas oscuras. En el pasado, muchas personas sufrieron daños en la vista al hacer esto.*

## *Llamaradas solares y perturbaciones para la propagación de radio*

*A medida que viajan las ondas electromagnéticas, y en este caso, las señales de radio, interactúan con los objetos y los medios en los que viajan. Mientras hacen esto, las señales de radio pueden reflejarse, refractarse o difractarse. Estas interacciones hacen que las señales de radio cambien de dirección y lleguen a áreas que no serían posibles si las señales de radio viajaran en línea directa.*

*La condición del Sol tiene un gran impacto en la propagación de radio ionosférica. En consecuencia, afecta a una variedad de formas de comunicaciones de radio HF, incluidas las comunicaciones de radio bidireccionales, las comunicaciones de radio móviles marítimas, las comunicaciones de radio móviles generales que utilizan las bandas de HF, las comunicaciones de radio punto a punto, la radiodifusión y las comunicaciones de radioaficionados.*

*Dado que el Sol proporciona la radiación que gobierna el estado de la ionosfera y, por tanto, la propagación de radio HF, cualquier llamarada u otras perturbaciones son de gran importancia. En algunas circunstancias, estos pueden mejorar las comunicaciones por radio y las condiciones de propagación de radio HF. En otras circunstancias, pueden interrumpir las comunicaciones de radio en las bandas de HF y, al mismo tiempo, proporcionar algunas condiciones de propagación de radio que los radioaficionados pueden utilizar en VHF.*

*Hay una serie de tipos de perturbaciones que son de particular interés para las comunicaciones por radio. Las Erupciones Solares son una de las más obvias. Sin embargo, además de las erupciones solares, se producen otras perturbaciones. Una es la eyección de masa coronal, y también están hay agujeros coronales.*

### *Erupciones solares*

*Las erupciones solares son enormes explosiones que ocurren en la superficie del Sol. Resultan en la emisión de colosales cantidades de energía. Además de esto, las erupciones solares más grandes también expulsan grandes cantidades de material, principalmente en forma de protones.*

*Las erupciones solares estallan en solo unos minutos aparentemente sin previo aviso. Cuando ocurren, el material se calienta a millones de grados centígrados y sale de la superficie del Sol en un gran arco, regresando un tiempo después. Las erupciones normalmente ocurren cerca de las manchas solares, a menudo a lo largo de la línea divisoria entre ellas, donde hay fuerzas magnéticas en direcciones opuestas.*



*Llamarada solar  
Imagen cortesía de la NASA*

*Son los campos magnéticos los que parecen ser los responsables de las erupciones solares. Cuando el campo magnético entre las manchas solares se retuerce y corta, las líneas del campo magnético pueden cruzarse y reconectarse con una enorme energía explosiva. Cuando esto ocurre, se produce una erupción de gases a través de la superficie solar, que se extiende varias decenas de miles de kilómetros desde la superficie del Sol, y sigue las líneas de fuerza magnéticas para formar una llamarada solar. Los gases del interior del sol comienzan a elevarse y el área se calienta aún más, lo que hace que aumenten el nivel de radiación visible y otras formas de radiación.*

*Durante las primeras etapas de la llamarada solar, se expulsan protones de alta velocidad. Estos viajan a alrededor de un tercio de la velocidad de la luz.*

*Luego unos cinco minutos después de la erupción solar, siguen partículas de menor energía. Este material sigue el arco de las líneas de fuerza magnética y regresa al Sol, aunque parte del material es expulsado al espacio exterior especialmente durante las erupciones más grandes.*

*Efecto de las erupciones solares: para la mayoría de las erupciones solares, el principal efecto que se siente en la Tierra es un aumento en el nivel de radiación solar. Esta radiación cubre todo el espectro electromagnético y elementos como los ultravioleta. Los rayos X y similares afectarán los niveles de ionización en la ionosfera y, por lo tanto, tienen un efecto sobre las comunicaciones de radio a través de la ionosfera. A menudo se nota una mejora en la propagación ionosférica de ondas decamétricas, a medida que las capas superiores de la ionosfera tienen mayores niveles de ionización. Sin embargo, si dichos niveles de ionización en los niveles más bajos comienzan a aumentar, esto puede resultar en niveles más altos de atenuación de las señales de radiocomunicaciones, y se pueden experimentar malas condiciones. Además, también se puede detectar fácilmente un aumento en el nivel de ruido de fondo en VHF.*

*Las llamaradas generalmente solo duran alrededor de una hora, después de lo cual la superficie del Sol vuelve a la normalidad, aunque algunos bucles posteriores a la llamarada permanecen durante algún tiempo después. Las erupciones afectan la propagación de radio y las comunicaciones de radio en la Tierra y sus efectos pueden notarse durante algún tiempo después.*

*Clasificaciones de llamaradas solares: Las llamaradas se clasifican por su intensidad en longitudes de onda de rayos X, es decir, longitudes de onda entre 1 y 8 Angstroms. La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) monitorea continuamente la intensidad de los rayos X del Sol usando detectores ubicados en algunos de sus satélites. Con estos datos es posible clasificar las llamaradas. Las erupciones más grandes se denominan erupciones Clase X (X-Class). Las erupciones de la Clase M (M-Class), son más pequeñas y tienen una décima parte de la intensidad de rayos X de las de la Clase X. Las erupciones de la Clase C tienen una décima parte de la intensidad de las de la Clase M.*

*Hallamos que la aparición de estos destellos se correlaciona bien con el ciclo de manchas solares, aumentando en número hacia el pico del ciclo de manchas solares.*

## *Eyecciones de Masa Coronal (CME)*

*Las Eyecciones de Masa Coronal, CME, son otra forma de perturbación que puede afectar las comunicaciones por radio. Aunque mucho más grandes que las erupciones en muchos aspectos, las CME no se descubrieron hasta que las naves espaciales pudieron observar el Sol desde el espacio. La razón de esto es que las Eyecciones de Masa Coronal CME, solo se pueden ver mirando la corona del Sol, y hasta la era espacial, esto solo se podía lograr durante un eclipse. Como los eclipses ocurren con muy poca frecuencia y solo duran unos minutos, usando una nave espacial, la corona podría verse cuando se mira a través de un coronógrafo, un telescopio especializado con lo que se denomina un disco de ocultación, que le permite cortar el área principal del Sol y solo ver la corona, es decir, el círculo externo del Sol lo que permitió ver la corona y sus eyecciones.*

*Aunque los coronógrafos terrestres están también disponibles, solo pueden ver el área más interna y muy brillante de la corona. Los basados en el espacio, pueden obtener una vista mucho mejor de la corona, que se extiende a distancias muy grandes del Sol y, de esta manera, ver mucha más actividad en esta región y, por lo tanto, ver las CME.*

*Las Eyecciones de Masa Coronal, CME son enormes burbujas de gas que están entrelazadas con líneas de campo magnético, y estas burbujas se expulsan en el espacio de varias horas. Durante muchos años se pensó que las erupciones solares eran las encargadas de expulsar las masas de partículas que daban lugar a las perturbaciones aurorales que se experimentan en la tierra, pero ahora se entiende que las CME son la causa principal.*

*Ahora se entiende que las CME interrumpen el flujo constante del viento solar produciendo un gran aumento en el flujo. Esto puede resultar en grandes perturbaciones que podrían golpear la Tierra si salen del Sol en dirección a la Tierra.*

*Las eyecciones de masa coronal, las CME, a menudo se asocian con eyecciones de erupciones solares, pero también pueden ocurrir por sí solas. Al igual que las erupciones solares, su frecuencia varía según la posición en el ciclo de las manchas solares, alcanzando su punto máximo alrededor del máximo de manchas solares y cayendo alrededor del mínimo.*

*En el mínimo solar puede haber alrededor de uno por semana, mientras que en el pico se pueden observar dos o tres por día. Afortunadamente no todos afectan a la Tierra. El material es arrojado desde el Sol en una dirección general y solo si está en una trayectoria de intersección afectará a la Tierra.*

*Las CME pueden dar lugar a tormentas ionosféricas. Estas pueden proporcionar una mejora de corta duración a las condiciones de propagación ionosférica de radio, pero en poco tiempo también pueden provocar un apagón en las comunicaciones de radio a través de la ionosfera.*

## *Agujeros Coronales*

*Los agujeros coronales son otra característica importante de la actividad solar. Son regiones donde la corona aparece oscura. Fueron descubiertos por primera vez después de que los telescopios de rayos X se lanzaran por primera vez al espacio y, al estar por encima de la atmósfera terrestre, se pudo estudiar la estructura de la corona a través del disco solar. Los agujeros coronales están asociados con líneas de campo magnético "abiertas" y, a menudo, aunque no exclusivamente, se encuentran en los polos del Sol. Se sabe que el viento solar, de alta velocidad, se origina en ellos, lo cual tiene impacto en las condiciones de propagación de radio ionosférica y, por tanto, en todas las comunicaciones de radio HF.*

## *Resumen*

*Las perturbaciones solares son responsables de muchos de los principales cambios en la ionosfera. Los efectos tanto de las CME como de las erupciones solares, pueden provocar cambios importantes en la propagación de radio ionosférica, a menudo interrumpiéndola durante horas o, a veces, días. Como resultado, el conocimiento de cuándo están ocurriendo y su tamaño puede, ayudar a predecir cómo pueden ser las condiciones de radio ionosféricas.*

## *Perturbación Súbita Ionosférica (SID)*

*A medida que viajan las ondas electromagnéticas, y en este caso, las señales de radio, interactúan con los objetos y los medios en los que viajan. Mientras hacen esto, las señales de radio pueden reflejarse, refractarse o difractarse. Estas interacciones hacen que las señales de radio cambien de dirección y lleguen a áreas que no serían posibles si las señales de radio viajaran en línea directa.*

*Las perturbaciones ionosféricas repentinas o SID, a menudo se experimentan en las bandas de HF o de onda corta donde también pueden denominarse apagones, desvanecimientos de onda corta (SWF) o, a veces, se les conoce también como el efecto Dellinger, en honor a la persona que las notó por primera vez. Como su nombre indica, ocurren repentinamente, y provocan un apagón de la propagación de radio ionosférica durante varias horas. Estas pueden cubrir parte o incluso todo el espectro de radio HF.*

## *Causa de Perturbación Ionosférica Repentina*

*Hay varios tipos de apagones que se pueden experimentar en las bandas de HF. Las perturbaciones ionosféricas repentinas, SID, solo duran unas pocas horas, pero pueden ser precursoras de un apagón más prolongado.*

*Generalmente, un SID es causado por una gran llamarada solar (Clase M o X, como detallamos anteriormente en este el anterior capítulo). Junto con la llamarada, hay un aumento masivo en el nivel de radiación que emite el Sol. La radiación del Sol tarda poco más de 8 minutos en llegar a la Tierra, momento en el que se empiezan a notar los efectos y comienza el SID. Como la luz tarda el mismo tiempo en llegar a la Tierra, no hay aviso previo de que ocurra un evento.*

*La radiación del Sol causada por la llamarada no se limita a una forma de radiación, sino que incluye todas las formas incluido un alto nivel de rayos X. Los rayos X pueden penetrar a través de la capa o región D de la ionosfera y, como resultado, dan lugar a un alto nivel de ionización en la propia región D. Esto da como resultado un aumento muy significativo en el nivel de atenuación de dicha región D.*

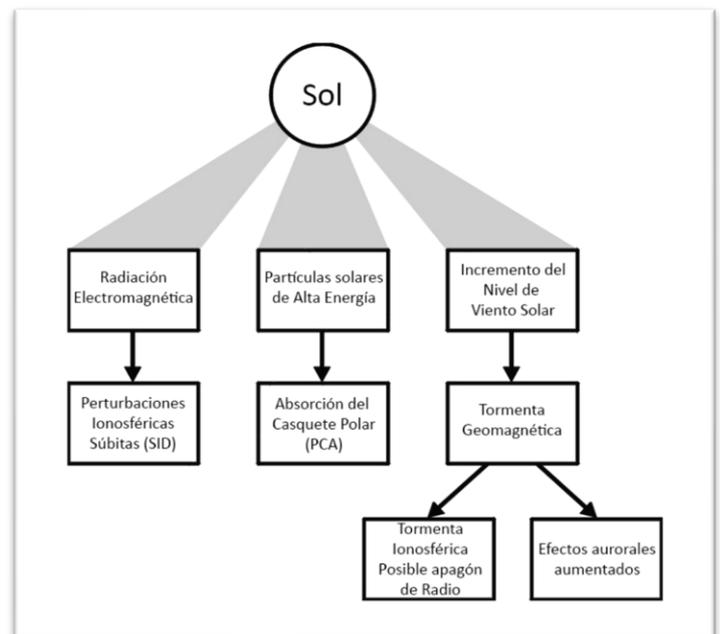
Aunque el aumento del nivel de radiación es rápido, el nivel de ionización tarda en aumentar. Como resultado, las frecuencias más bajas se ven afectadas primero y, a medida que aumenta el grado de ionización, también se ven afectadas las frecuencias más altas. Durante un día normal, la región D normalmente afecta frecuencias de hasta dos o tres MHz, pero el aumento de la radiación de una llamarada, puede causar que se vean afectadas frecuencias mucho más altas. A menudo, puede resultar en un apagón completo de las bandas de HF. En otras ocasiones, un SID puede afectar solo a las frecuencias más bajas.

## Efectos relacionados con SID

Hay una serie de otros efectos secundarios que pueden notarse, especialmente al inicio de una perturbación ionosférica repentina SID. La región D se ve afectada por el gran aumento de los rayos X, pero otras formas de radiación, incluida la ultravioleta, también aumentan en intensidad. Esto da lugar a un aumento del grado de ionización en las regiones superiores de la ionosfera, lo que puede resultar en un aumento en la frecuencia utilizable máxima, especialmente al comienzo de un apagón de radio, cuando la atenuación de la región D no es tan alta.

## Duración de la Perturbación Ionosférica Súbita

Un SID puede durar solo unas pocas horas. Cuando comienza la recuperación, las frecuencias altas se ven afectadas primero. Después de la llamarada, a medida que cae el nivel de radiación, también lo hará la ionización de la región D. A medida que su intensidad cae, afectará menos a las frecuencias más altas, y las condiciones de propagación de HF volverán lentamente a la normalidad a menos que sean parte de una perturbación mayor.



Resumen de los efectos de las perturbaciones solares

También vale la pena señalar que solo el lado de la tierra iluminado por el sol es el que se ve afectado. Cualquier área que estaba a oscuras cuando ocurrió la llamarada escapa a los efectos. Otro efecto de una erupción es que, al mismo tiempo que la radiación de rayos X llega a la Tierra dando lugar a un apagón, se descubre que las ráfagas de ruido de los mayores niveles de radiación de radiofrecuencia pueden monitorearse en VHF.

La propagación de ondas decamétricas utilizando la ionosfera todavía se utiliza ampliamente como forma de comunicaciones por radio. Si bien no es tan confiable como las comunicaciones satelitales, no son tan costosas y pueden proporcionar un respaldo útil en caso de que fallen las comunicaciones satelitales.

La propagación de HF también se usa ampliamente para radiodifusión, militares y muchas otras organizaciones que requieren comunicaciones de larga distancia. La propagación de HF también es ampliamente utilizada por radioaficionados que pueden comunicarse en todo el mundo.

En algunas circunstancias, es posible utilizar niveles de potencia bajos y antenas simples para establecer comunicaciones de radio a largas distancias. Como resultado, es probable que la propagación de ondas decamétricas utilizando la Ionosfera se mantenga en uso indefinidamente como una forma de tecnología de radiocomunicaciones.

### Nota sobre la Propagación Ionosférica:

La ionosfera existe en los tramos superiores de la atmósfera que se extienden a altitudes de 400 km o más. Las diferentes regiones de la ionosfera pueden afectar las señales de radio refractándolas para que regresen a la Tierra. De esta forma, las señales pueden escucharse a distancias que van desde unos pocos cientos de kilómetros hasta el otro lado del globo.

- *Propagación de Línea Gris:* Una forma de propagación que puede producir resultados sorprendentes se llama propagación de línea gris. Si una ruta de señal sigue la línea de sombra entre la oscuridad y la luz solar, recibe mejoras significativas, y se puede usar con mucha ventaja si se usa con un poco de comprensión interna.
- *Propagación Troposférica:* La propagación troposférica está normalmente asociada con las bandas de radioaficionados de VHF y UHF. Ocurre cuando hay un cambio brusco en el índice de refracción del aire al aumentar la altura. Esto se puede asociar con un frente meteorológico y, como tal, un buen ojo en el clima puede ser muy útil.

### *Nota sobre la Propagación Troposférica:*

*La troposfera es la región de la atmósfera más cercana a la tierra. Se encuentra que el índice de refracción del aire se reduce ligeramente al aumentar la altitud. Este efecto también puede verse potenciado y modificado por las condiciones meteorológicas. A medida que las ondas electromagnéticas se doblan hacia las áreas de alto índice de refracción, se encuentra que las señales de radio se ven afectadas por estos cambios y pueden viajar distancias más allá del horizonte.*

## *Propagación Troposférica*

*En frecuencias por encima de 30 MHz, se encuentra que la troposfera tiene un efecto creciente sobre las señales de radio y los sistemas de radiocomunicaciones. Las señales de radio pueden viajar a distancias mayores de lo que sugerirían los cálculos de la línea de visión. A veces, las condiciones cambian, y las señales de radio pueden detectarse en distancias de 500 o incluso 1000 km y más. Normalmente, esto se debe a una forma de mejora troposférica, a menudo llamada "tropo" para abreviar. Ocasionalmente, las señales pueden incluso quedar atrapadas en un conducto elevado en una forma de propagación de señales de radio conocida como conductos troposféricos. Esto puede interrumpir muchos enlaces de radiocomunicaciones (incluidos los enlaces de radiocomunicaciones bidireccionales) porque se pueden encontrar interferencias que normalmente no existen como resultado, al diseñar un enlace o red de comunicaciones por radio,*

*La forma en que las señales viajan en frecuencias de VHF y superiores, es de gran importancia para aquellos que buscan cobertura de radio de sistemas como telecomunicaciones celulares, comunicaciones de radio móvil y otros sistemas inalámbricos, así como para otros usuarios, incluidos los radioaficionados.*

## *Comunicaciones por radio de línea de visión*

*Podría pensarse que la mayoría de los enlaces de radiocomunicaciones en VHF y superiores siguen una ruta de línea de visión. Esto no es estrictamente cierto y se ha descubierto que, incluso en condiciones normales, las señales de radio pueden viajar o propagarse a distancias mayores que las de la propia línea de visión.*

*La razón del aumento de la distancia recorrida por las señales de radio, es que son refractadas por pequeños cambios que existen en la atmósfera terrestre cerca del suelo. Aparece que el índice de refracción del aire cerca del suelo es ligeramente más alto que el que está más arriba. Como resultado, las señales de radio se desvían hacia el área de mayor índice de refracción, que está más cerca del suelo, y de este modo amplía el alcance de las señales de radio.*

*El índice de refracción de la atmósfera varía según una variedad de factores. La temperatura, la presión atmosférica y la presión del vapor de agua influyen en el valor. Incluso pequeños cambios en estas variables pueden marcar una diferencia significativa, porque las señales de radio se pueden refractar en toda la ruta de la señal y esto puede extenderse por muchos kilómetros.*

## Unidades N

Se encuentra que el valor medio del índice de refracción del aire a nivel del suelo es de alrededor de 1.0003, pero puede variar fácilmente de 1.00027 a 1.00035. En vista de los cambios muy pequeños que se observan, se ha introducido un sistema que permite notar más fácilmente estos pequeños cambios. A menudo se utilizan unidades denominadas unidades "N". Estas N-unidades se obtienen restando "1" al índice de refracción, y multiplicando el resto por un millón. De esta forma se obtienen números más manejables:

$$N = (\mu - 1) \times 10^6$$

Donde "mu" es el índice de refracción.

Se encuentra que, como una guía muy aproximada bajo condiciones normales en una zona de temperatura, el índice de refracción del aire cae alrededor de 0.0004 por cada kilómetro de aumento en la altura, es decir, 400 N unidades/km. Esto hace que las señales de radio tiendan a seguir la curvatura de la tierra y viajen más allá del horizonte geométrico. Los valores reales amplían el horizonte de radio en aproximadamente un tercio. Este factor se usa a menudo en la mayoría de los cálculos de cobertura de radiocomunicaciones para aplicaciones tales como transmisores de radiodifusión y otros usuarios de radiocomunicaciones bidireccionales, como comunicaciones de radio móviles telecomunicaciones celulares y similares.

## Condiciones mejoradas

Bajo ciertas circunstancias, las condiciones de propagación de radio proporcionadas por la troposfera son tales, que las señales viajan a distancias aún mayores. Esta forma de "elevación" en condiciones, es menos pronunciada en las porciones más bajas del espectro VHF, pero es más evidente en algunas de las frecuencias más altas. En algunas condiciones, las señales de radio pueden escucharse a distancias de 2000 o más kilómetros, siendo posibles distancias de 3000 kilómetros en raras ocasiones. Esto puede dar lugar a niveles significativos de interferencia durante algunos períodos de tiempo.

Estas distancias extendidas, son el resultado de cambios mucho mayores en los valores del índice de refracción en la ruta de la señal, lo que permite que la señal logre un mayor grado de flexión y, como resultado, siga la curvatura de la Tierra en distancias mayores.

En algunas circunstancias, el cambio en el índice de refracción puede ser lo suficientemente alto como para desviar las señales hacia la superficie de la Tierra, momento en el que dicha superficie de la Tierra las refleja nuevamente hacia arriba. De esta forma, las señales pueden viajar alrededor de la curvatura de la Tierra, siendo reflejadas por su superficie, y esta es una forma de "conducto troposférico" que puede darse y ocurrir.

También es posible que se produzcan conductos troposféricos sobre la superficie de la Tierra. Estos conductos troposféricos elevados ocurren cuando una masa de aire con un alto índice de refracción tiene una masa de aire con un índice de refracción más bajo debajo y arriba como resultado del movimiento de aire que puede ocurrir bajo algunas condiciones. Cuando ocurren estas condiciones, las señales pueden quedar confinadas dentro del área elevada de aire con el alto índice de refracción y no pueden escapar y regresar a la tierra. En consecuencia, pueden viajar varios cientos de kilómetros y recibir niveles de atenuación comparativamente bajos. También pueden no ser audibles para las estaciones debajo del conducto y, de esta manera, crear una zona muerta o de salto similar a la experimentada con la propagación ionosférica de HF.

## Mecanismo tras la Propagación Troposférica

Los efectos de propagación troposférica, ocurren comparativamente cerca de la superficie de la Tierra. Las señales de radio se ven afectadas por la región que está por debajo de una altitud de unos 2 kilómetros. Como estas regiones son las que se ven más afectadas por el clima, existe un fuerte vínculo entre las condiciones climáticas y las condiciones de propagación y cobertura de radio.

*En condiciones normales, hay un gradiente constante del índice de refracción con la altura, siendo el aire más cercano a la superficie de la Tierra el que tiene el índice de refracción más alto. Esto es causado por varios factores. El aire que tiene una mayor densidad y el que contiene una mayor concentración de vapor de agua, conducen a un aumento del índice de refracción. Como el aire más cercano a la superficie de la Tierra es más denso (como resultado de la presión ejercida por los gases sobre él) y tiene una mayor concentración de vapor de agua que el que está más arriba implica que el índice de refracción del aire más cercano a la tierra, tenga su superficie en la zona más alta.*

*Normalmente, la temperatura del aire más cercano a la superficie de la Tierra es más alta que la que se encuentra a mayor altitud. Este efecto tiende a reducir el gradiente de densidad del aire (y, por lo tanto, el gradiente del índice de refracción), ya que el aire con una temperatura más alta es menos denso.*

*Sin embargo, bajo algunas circunstancias, ocurre lo que se denomina una inversión de temperatura. Esto sucede cuando el aire caliente cerca de la tierra se eleva, permitiendo que el aire más frío y denso se acerque a la tierra. Cuando esto ocurre, da lugar a un mayor cambio en el índice de refracción con la altura y esto da como resultado un cambio más significativo en el índice de refracción.*

*Las inversiones de temperatura pueden surgir de varias maneras. Una de las más dramáticas ocurre cuando se presenta un área de alta presión. Un área de alta presión significa que se presentarán condiciones climáticas estables, y durante el verano se asocian con un clima cálido. Las condiciones significan que el aire cerca del suelo se calienta y se eleva. Cuando esto sucede, el aire más frío fluye por debajo causando la inversión de temperatura. Además, se encuentra que las mayores mejoras tienden a ocurrir a medida que el área de alta presión se aleja y la presión comienza a caer.*

*También puede ocurrir una inversión de temperatura durante el paso de un frente frío. Un frente frío ocurre cuando un área de aire frío se encuentra con un área de aire cálido. En estas condiciones el aire caliente se eleva por encima del aire frío creando una inversión de temperatura. Los frentes fríos tienden a moverse con relativa rapidez y, como resultado, la mejora en las condiciones de propagación tiende a ser de corta duración.*

## **Desvanecimiento**

*Cuando las señales se propagan a grandes distancias como resultado de las mejores condiciones de propagación troposférica, las señales normalmente están sujetas a un desvanecimiento lento y profundo. Esto se debe al hecho de que las señales se reciben a través de varias rutas diferentes. A medida que los vientos en la atmósfera mueven el aire ocurre que los diferentes caminos cambiarán durante un período de tiempo. En consecuencia, las señales que aparecen en el receptor se alinearán y desfazarán entre sí como resultado de las diferentes y cambiantes longitudes de camino y por tanto, cambiará la intensidad de la señal global recibida.*

*Cualquier señal terrestre recibida en VHF y superiores, estará sujeta a las condiciones de propagación prevalecientes causadas por la Troposfera. En condiciones normales, se debe esperar que las señales puedan recibirse más allá de la distancia normal de la línea de visión, sin embargo, en algunas circunstancias, estas distancias aumentarán considerablemente, y es posible que se experimenten niveles significativos de interferencia.*

## **Propagación Esporádica E o Es**

*La E esporádica es una forma muy útil de propagación de radio que utilizan los radioaficionados. Permite que se realicen comunicaciones, a menudo a frecuencias relativamente altas, cuando no se dispone de ningún otro modo de propagación a larga distancia.*

*La esporádica E es utilizada por radioaficionados en bandas desde aproximadamente 24 o 28 MHz hasta 144 MHz, y muy ocasionalmente 225 MHz en los EE.UU. Se usa ampliamente en 28 y 50 MHz para producir contactos de larga distancia cuando no hay otras formas de propagación ionosférica disponibles.*

*Como su nombre lo indica, es esporádica por naturaleza, pero conocer los momentos adecuados para buscar y saber cuál es la mejor manera de operarla puede dar buenos resultados.*

*La esporádica E, también conocida como Es (es decir, E esporádica), es una forma de ionización de la Capa E que se produce aleatoriamente en la ionosfera. Puede perjudicar a las frecuencias normalmente afectadas por la propagación ionosférica, pero como los niveles de ionización pueden aumentar mucho, también pueden afectar a frecuencias mucho más altas de lo esperado por la ionización normal de la región E.*

Para los radioaficionados, la esporádica E ofrece la posibilidad de comunicaciones de larga distancia, para los usuarios comerciales, da lugar a niveles muy altos niveles ocasionales de interferencia no deseada cuando se reciben señales que normalmente no se escucharían a través de distancias muy largas y con mucha intensidad.

## Conceptos básicos de la Esporádica E

Como su nombre indica, la propagación Esporádica E ocurre esporádicamente, y es difícil de predecir, pero hay momentos del día y del año en los que es más probable que ocurra.

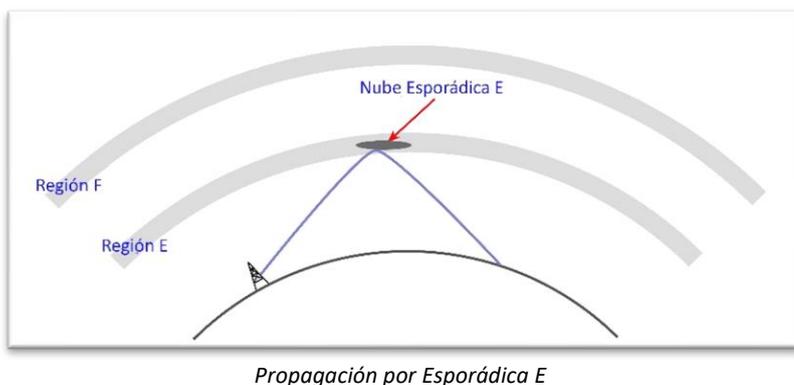
Para el radioaficionado, la Esporádica E ofrece muchas posibilidades, incluida la de la propagación ionosférica en frecuencias de hasta 144 MHz. Como la Esporádica E en estas frecuencias puede durar muy poco, las bandas realmente se animan y operar es muy emocionante.

En bandas con frecuencias más bajas, la Esporádica E tiene una vida más prolongada y es más frecuente, y particularmente en los períodos de mínimos de manchas solares, ofrece propagación ionosférica cuando no hay otras opciones disponibles de contacto a larga distancia para los radioaficionados.

La Esporádica E/Es, surge cuando se forman nubes intensas de ionización en la región E de la ionosfera. El nivel de ionización es hasta cinco veces mayor que los niveles alcanzados durante el pico de un ciclo de manchas solares cuando normalmente estarían en su punto más alto.

Los altos niveles de ionización resultantes de la Esporádica E, permiten que las señales en la región VHF del espectro sean refractadas por estas nubes ionizadas y por tanto, las frecuencias de hasta 150 MHz pueden verse afectadas.

Los niveles de ionización también significan que las pérdidas son particularmente bajas, a menudo, transmisiones de baja potencia pueden escucharse a través de E.



Cuando se forman nubes de ionización esporádicas E, la intensidad aumenta constantemente. Primero, esto afecta las frecuencias en la parte inferior del espectro de radio y luego aumenta. Las frecuencias más altas que pueden verse afectadas dependerán de una serie de factores, incluido el nivel de ionización, que variará de una nube a otra.

Otro factor que se encuentra con las nubes de esporádicas E, es que pueden volverse opacas por debajo de cierta frecuencia, dependiendo del estado de la nube. Además, la frecuencia crítica varía significativamente en el tiempo y el espacio, lo que hace que sea muy difícil utilizarlas para sistemas comerciales de comunicación por radio.

El nivel de ionización de cualquier nube aumentará constantemente, alcanzará su punto máximo y luego volverá a disminuir. Como resultado, pueden afectar las frecuencias más altas solo por un corto periodo de tiempo. En las frecuencias más altas, las señales pueden propagarse durante períodos de unas pocas horas, mientras que en otros momentos las condiciones pueden darse solo durante unos minutos.

## Nubes esporádicas E ionizadas

Las nubes esporádicas E varían mucho en tamaño y también en intensidad de ionización. Algunas nubes pueden tener unos pocos metros de ancho, mientras que otras se ha visto que tienen más de 200 km de ancho.

Por lo general, ocurren en las regiones de altitud entre aproximadamente 90 y 120 km, aunque pueden extenderse mucho más alto que esto.

*Su forma también varía: algunas son aproximadamente circulares y tienen a ojo de buen cubero, las mismas dimensiones en ambas direcciones, mientras que otras son largas y delgadas. Si bien las formas reales no son de gran importancia, explican hasta cierto punto, por qué algunas estaciones pueden experimentar una propagación E esporádica mientras que otras pueden no experimentarla, o que las áreas donde las estaciones pueden escuchar son totalmente diferentes.*

*Las nubes también son notablemente delgadas. La propia región E se extiende a altitudes de varias decenas de kilómetros. Muchas nubes esporádicas E pueden tener solo unas pocas decenas de metros de espesor. Como resultado los reflejos se producen como fruto de un cambio extremadamente brusco en la densidad de electrones. Otras nubes pueden ser mucho más espesas y tener un nivel de ionización mucho más definido, lo que conduce a reflejos de forma normal.*

*La formación de las nubes esporádicas E no solo es casi aleatoria, sino que también se mueven como resultado de los vientos en los tramos superiores de la atmósfera. Los vientos alcanzan velocidades de hasta 400 km por hora. Este movimiento puede provocar que el “salto” de la esporádica E cambie con relativa rapidez: la fuente de las señales escuchadas/la interferencia cambiará en un período de tiempo relativamente corto.*

### *Distancias de salto en Esporádicas E*

*Las nubes de esporádicas E se forman en las áreas más bajas de la Región o Capa E. Como resultado, las distancias máximas en las que normalmente se escuchan las señales son de alrededor de 2000 km. Obviamente, las distancias más cortas son más normales, aunque la distancia mínima se rige por la cantidad de refracción requerida. Para distancias más cortas, se necesitan ángulos de radiación más altos, y estos requieren una mayor cantidad de refracción para que las señales se reflejen de regreso a la Tierra.*

*Aunque las nubes esporádicas E tienden a ser aleatorias y no tan extendidas como la ionización normal de la región E o la región F, se ha detectado propagación de doble salto, especialmente en frecuencias más bajas donde la reflexión de las nubes está más extendida.*

### *Efecto de la Esporádica E en la propagación de HF*

*Aunque la Esporádica E puede parecer que proporciona una mejora en algunas comunicaciones de HF, al mismo tiempo que permite que las comunicaciones/interferencias, se propaguen en frecuencias en la parte VHF del espectro también puede tener el efecto de degradar algunas comunicaciones de HF.*

*Los niveles muy altos de ionización en las nubes, reflejarán cualquier señal en la porción HF del espectro de radio. Esto puede evitar que alcancen las regiones F más altas, lo que les impide alcanzar distancias mucho mayores. En estas circunstancias, se detectarán señales de corto alcance cuando se esperarían señales de mayor alcance. Sin embargo, la naturaleza intermitente de las nubes esporádicas E, y el hecho de que las nubes son muy móviles, significa que es probable que cualquier efecto sea relativamente breve.*

### *Ocurrencia de la Esporádica E*

*La aparición de Esporádica E es muy difícil de predecir. Sin embargo, se ha recopilado una gran cantidad de datos estadísticos sobre su aparición.*

*Encontramos que la ocurrencia de Esporádica E varía según la región del planeta:*

- Regiones templadas: En las regiones templadas, es decir, aquellas en las latitudes medias entre las regiones ecuatoriales, se encuentra que ocurre principalmente en verano. En el hemisferio norte los meses de mayo a agosto dan el mayor número de aperturas con un pico en junio. También se nota un pequeño pico en diciembre, y se observa un patrón similar en los meses equivalentes, de noviembre a febrero en el hemisferio sur. Por lo general las frecuencias que se encuentran en la parte VHF del espectro, solo se ven afectadas en medio de la temporada de esporádica E, es decir, principalmente en junio y julio en el hemisferio norte.*
- Regiones polares: En las regiones polares ocurre lo que a menudo se denomina Esporádica E de la aurora y nuevamente, hay poca diferencia entre las estaciones, ya que generalmente ocurren en la mañana.*

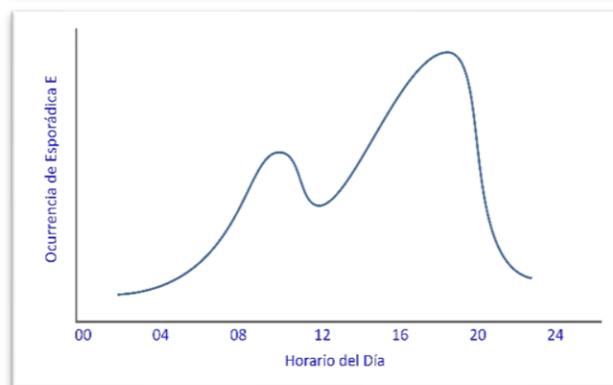
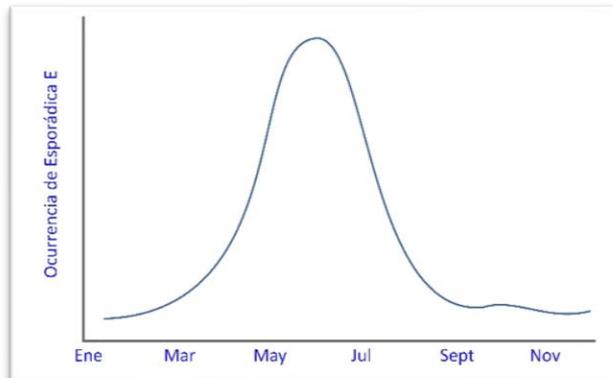
- *Regiones ecuatoriales:* En las regiones ecuatoriales, la aparición de Esporádica E, es principalmente un fenómeno diurno y, como era de esperar debido a la ubicación, hay poca diferencia durante todo el año. Su aparición también es más frecuente que en las regiones templadas, y como resultado, se cree que el mecanismo detrás de su formación puede ser algo diferente.

Es posible trazar una curva muy aproximada para la ocurrencia de Esporádica E en regiones templadas durante el transcurso de un año. Esto debe tomarse como una guía aproximada, solo en vista de los cambios con la ubicación y la naturaleza esporádica del modo de propagación.

La hora del día también tiene un impacto importante en la aparición de Esporádicas E.

Se pueden observar dos picos principales durante el transcurso del día en las zonas templadas. Uno ocurre alrededor del mediodía y el otro alrededor de las 19.00 horas. Por la tarde hay un ligero descenso en el número de aperturas, y por la mañana y por la noche hay muchas menos aperturas.

Los gráficos sirven como ilustración pictórica pero en vista de la naturaleza esporádica y los cambios para diferentes ubicaciones, estos solo deben tomarse como una guía aproximada.



### Mecanismo tras la Esporádica E

El mecanismo detrás de la Esporádica E no se comprende bien. Se piensa que pueden ser varios los fenómenos que dan lugar a su formación:

- *Meteoros:* Existe alguna evidencia para creer que un fenómeno que da lugar a la Esporádica E es la entrada de meteoros a la atmósfera. Por lo general, los meteoros se queman en la región E y podría haber alguna conexión.
- *Tormentas eléctricas:* Pueden extenderse a gran altura, y tienen efectos eléctricos muy por encima de las nubes. Se cree que estas podrían suministrar energía para la formación de nubes de Esporádicas E.
- *Actividad auroral:* Las apariciones de Esporádicas E en invierno por la noche, también se han relacionado con la actividad auroral. Este es ciertamente el caso de la aurora Esporádica E, que es el resultado de electrones energéticos que ingresan a la atmósfera desde la Magnetosfera.
- *Vientos de la atmósfera superior:* Algunas teorías sugieren que las fuerzas de cizallamiento causadas por los vientos que se mueven rápidamente en la atmósfera superior, pueden dar lugar a estas intensas nubes de ionización, particularmente en regiones de mayor temperatura.

Hay muchas teorías sobre la naturaleza de su formación. Lo que es muy posible es que varios fenómenos físicos diferentes provoquen formas muy similares de altos niveles esporádicos de ionización en la región E. En consecuencia puede haber varios tipos de fenómenos de ionización esporádica que se agrupan bajo el mismo título de Esporádica E.

Esta idea está respaldada por el hecho de que la Esporádica E que ocurre cerca del ecuador, es más estable que la Esporádica E que ocurre en latitudes más altas, aunque también hay otras diferencias.

Se están recopilando más datos sobre su ocurrencia, y es probable que esto aumente nuestra comprensión de este fenómeno y permita hacer predicciones con mayor precisión.

Se ha observado un vínculo interesante, ya que parece que el ciclo de las manchas solares tiene algún efecto sobre la zona templada Esporádica E. Se ha visto que el número de aperturas aumenta durante el período de mínimos de las manchas solares.

*La Esporádica E es una forma particularmente interesante de propagación de comunicaciones por radio. Al ser de naturaleza esporádica, es más difícil de estudiar y comprender. Vincular el efecto con la causa no es fácil y, como resultado, la Esporádica E está rodeada de cierto grado de misterio. Siendo un fenómeno de carácter esporádico, es más difícil de estudiar y comprender.*

## *Predicción de la propagación de radio por Esporádica E*

*Uno de los problemas clave para los radioaficionados con la Esporádica E, es tratar de elegir los momentos en que ocurrirá. Al conocer los momentos más probables para que tengan lugar, es posible mantener un oído atento a las posibles bandas y frecuencias de radioaficionados.*

*Desafortunadamente, como sugiere el nombre, la ocurrencia de propagación de radio Esporádica E no es fácil de predecir. Sin embargo, se ha recopilado una gran cantidad de datos estadísticos y, a partir de ellos, es posible juzgar los momentos en que es probable que ocurran.*

*En las regiones templadas, es decir, aquellas en las latitudes medias entre las regiones ecuatoriales y las regiones polares, se encuentra que la Esporádica E ocurre principalmente en verano. En el hemisferio norte los meses de mayo a agosto producen el mayor número de aperturas con un pico en junio, y como resultado se tiene que las aperturas en 2 metros generalmente solo ocurren en junio y julio. Sorprendentemente, también se nota un pequeño pico de ocurrencias esporádicas E en general en diciembre, aunque estas aperturas rara vez afectan las bandas VHF más altas. También se observa un patrón similar en los meses equivalentes, de noviembre a febrero, en el hemisferio sur.*

*La hora del día también tiene un efecto significativo en la Esporádica E. Hay dos picos principales que ocurren. El primero es alrededor del mediodía y hay otro alrededor de las 7 de la tarde. Se encuentra que hay menos ocurrencias en la tarde y particularmente en la mañana, pero también hay muy pocas por la noche.*

*La aparición de Esporádica E es bastante diferente fuera de las regiones templadas. En las regiones ecuatoriales, la su aparición es principalmente un fenómeno diurno y, debido a la proximidad al ecuador, hay poca diferencia a lo largo del año. En las regiones polares ocurre lo que a menudo se denomina Esporádica E auroral y nuevamente hay poca diferencia entre las estaciones, pero se encuentra que la ionización de estas generalmente ocurre en la mañana.*

*Una clave para detectar la presencia de una apertura Esporádica E en las bandas de radioaficionados de mayor frecuencia, es utilizar una radio VHF en FM. Ocasionalmente, las estaciones de lugares lejanos se pueden escuchar a través de dicha esporádica, y esto debería ser un desencadenante para comenzar a monitorear la banda de radioaficionados de dos metros en busca de señales de larga distancia.*

## *Cómo usar la Esporádica E para contactos de radioaficionados*

*La forma en que se utiliza la Esporádica E puede determinar el éxito de un evento. Quien sepa aprovecharlo al máximo podrá disfrutarlo al máximo. Las técnicas reales implicadas dependerán de las frecuencias utilizadas.*

- 50 MHz y menos: Las aperturas esporádicas E en las bandas de radioaficionados de 50 MHz, 70 MHz (para aquellos que tienen acceso a esta banda) y 28 MHz tienden a ser similares a una apertura de capa E normal en esa banda. La ionización Esporádica E, tiende a afectar estas frecuencias durante mucho más tiempo y, por lo tanto, las técnicas operativas tienden a seguir las que se utilizan normalmente para los contactos de las bandas de HF. A veces es mejor no mantener un contacto por mucho tiempo, ya que las condiciones pueden cambiar con relativa rapidez.*
- 144 MHz y superior: Las aperturas por Esporádicas E en la banda de radioaficionados de 144 MHz tienden a ser poco frecuentes y de corta duración. La actividad tiende a aumentar muy rápidamente a medida que la noticia de la apertura se difunde a través de Internet, las redes sociales y otros medios. Normalmente se realizan contactos de estilo concurso, con intercambios que consisten solo en los indicativos, el locator y el informe de señal correspondiente. Además, es probable que se encuentre que el área en la que existe la apertura cambiará a medida que las nubes esporádicas E se desplacen en la atmósfera superior. Los radioaficionados que estén operando deben estar preparados para cambiar los rumbos de sus antenas para seguir ruta de la apertura. Además, algunas estaciones pueden desaparecer muy rápidamente. Cuando esto sucede, es muy poco probable que se vuelva a escuchar.*

También vale la pena tener en cuenta que las estaciones que se pueden escuchar en un área pueden ser inaudibles a solo 10 km de distancia, por lo que esto crea oportunidades para las estaciones que pueden tener niveles de potencia más bajos o antenas más pobres.

Cuando se producen aperturas en la banda de radioaficionados de 144 MHz, la velocidad es clave para el éxito utilizando dicha esporádica para contactos de radioaficionados. Haga la mayor cantidad de contactos lo más rápido posible, porque es probable que la apertura pueda terminar muy rápido.

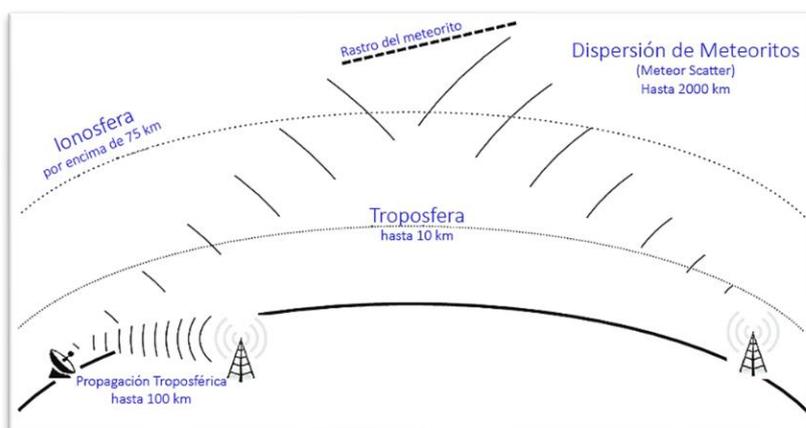
El uso de Esporádica E para la operación de radioaficionados requiere diferentes enfoques dependiendo de la banda de frecuencia en uso. Cuanto mayor sea la frecuencia, más corta será probablemente la apertura.

Las recompensas de operar en las bandas de VHF durante una apertura esporádica pueden ser muy altas. En consecuencia, vale la pena monitorear las condiciones de la banda tanto como sea posible durante los períodos en que las aperturas sean posibles. De esta forma se pueden aprovechar las dichas aperturas esporádicas, dado que se puedan producir y se pueden realizar el máximo número de contactos con otros radioaficionados.

## Comunicaciones por Dispersión por Meteoritos (Meteor Scatter)

Las comunicaciones por dispersión de meteoritos han sido utilizadas por entusiastas radioaficionados de las VHF durante muchos años. El uso de la propagación por dispersión de meteoritos, permite que radioaficionados y también radiocomunicaciones comerciales realicen los contactos a distancias de hasta aproximadamente 2000 km en las bandas de VHF.

La dispersión por meteoritos requiere el uso de estaciones de radioaficionados de alto rendimiento, y algunas técnicas operativas especializadas, pero puede proporcionar contactos interesantes en distancias de hasta alrededor de 2000 km aproximadamente.



La propagación básica por dispersión de meteoritos se utiliza para comunicaciones de radioaficionados.

## Conceptos básicos de las comunicaciones por radio por Ráfagas de Meteoritos

Como sugiere el nombre, la propagación de la dispersión de meteoritos se basa en la gran cantidad de meteoritos que ingresan a la atmósfera terrestre todos los días. La mayoría son muy pequeños, a menudo del tamaño de un guijarro o incluso de un grano de arena. A veces, la cantidad de meteoros aumenta cuando se producen las llamadas lluvias de meteoros, que ocurren en momentos específicos durante el año. Durante estas lluvias, los radioaficionados entusiastas de la dispersión por meteoritos pueden hacer muchos más contactos.

Las comunicaciones por dispersión de meteoritos o de ráfagas de meteoritos, utilizan una forma de sistema de comunicaciones por radio que depende de las propias señales de radio que se dispersan o reflejan en las estelas de meteoritos.

Estas formas de comunicaciones son una forma especializada de propagación, que se puede utilizar con éxito para las comunicaciones por radio en rutas que se extienden hasta 1500 o 2000 km.

La comunicación por dispersión de meteoritos o ráfagas de meteoritos proporciona una forma de propagación de radio que se puede utilizar cuando no hay otra forma de propagación de radio disponible. Si bien los datos deben transmitirse en ráfagas y puede haber demoras, proporciona una forma muy útil de comunicaciones en tiempo no real, que se puede usar en muchas circunstancias.

## Explosión de Meteoritos y conceptos básicos de comunicación

Las comunicaciones por radio por dispersión de meteoritos o de ráfagas de meteoritos, se basan en el hecho de que los meteoritos ingresan continuamente a la atmósfera terrestre. Al hacerlo, se queman y dejan tras de sí un rastro de ionización. Estos rastros, que típicamente ocurren en altitudes entre aproximadamente 85 y 120 km, pueden usarse para "reflejar" señales de radio. En vista del hecho de que estos rastros de ionización que dejan los meteoros son pequeños, solo se reflejan cantidades mínimas de la señal transmitida, y esto significa que a menudo son necesarias altas potencias junto con receptores sensibles.

La propagación por dispersión de meteoritos utiliza el hecho de que un gran número de meteoritos entran en la atmósfera terrestre. Se estima que alrededor de  $10^{12}$  meteoros ingresan a la atmósfera cada día, y estos tienen un peso total de alrededor de  $10^6$  gramos.

Afortunadamente para todos los que vivimos debajo, la gran mayoría de estos meteoros son pequeños y, por lo general solo tienen el tamaño de un grano de arena. Se observa que el número de meteoros que ingresan a la atmósfera es inversamente proporcional a su tamaño. Para una reducción de tamaño de diez veces, hay un aumento de diez veces en el número que ingresa a la atmósfera durante un período de tiempo determinado. Por esta razón, se puede ver que muy pocos grandes entran en la atmósfera. Aunque la mayoría se quema en la atmósfera superior, hay muy pocos que son lo suficientemente grandes como para sobrevivir al entrar en la atmósfera y llegar a la tierra.

### Aplicaciones de comunicación por Ráfagas de Meteoritos

Las comunicaciones por dispersión de meteoritos o de ráfagas de meteoritos, se utilizan para una serie de aplicaciones en frecuencias normalmente entre aproximadamente 40 y 150 MHz.

Se utilizan profesionalmente para una serie de aplicaciones de transferencia de datos, especialmente cuando se transfieren dichos datos desde sitios remotos no tripulados a una base mediante un enlace de comunicaciones por radio. Hoy en día, utilizando sistemas controlados por ordenador, esta forma de radiocomunicaciones puede ofrecer una alternativa eficaz a otros medios, y especialmente cuando sea necesario utilizar satélites debido al coste.

En otras aplicaciones, los radioaficionados utilizan la dispersión de meteoritos como una forma de propagación de señales de radio VHF de larga distancia.

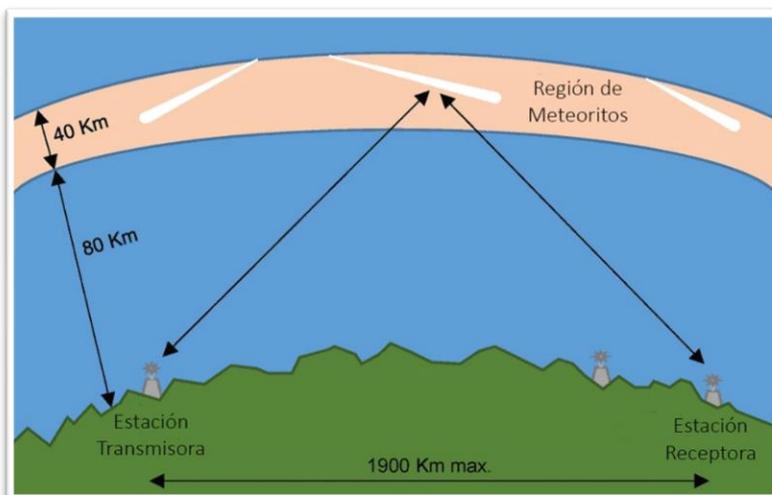
### Sistema de comunicaciones por Ráfagas de Meteoritos

Los rastros de ionización que dejan los meteoritos son de corta duración y, por lo tanto, las comunicaciones utilizadas deben poder detectar cuándo existe un camino y enviar datos de alta velocidad mientras exista dicho camino de radio entre el transmisor y el receptor.

Un sistema típico de comunicaciones por dispersión de meteoritos, o un sistema de comunicaciones de ráfagas de meteoritos, funcionará en varias etapas. Un transmisor o estación maestra enviará una señal de sonda. Por lo general se codifica para garantizar que las comunicaciones sean seguras y no se corrompan.

- 1) El sistema por dispersión de meteoritos (la estación transmisora), envía una señal de sonda.

Aparecerá un rastro de meteorito en algún punto que permitirá que la señal de la sonda transmitida se refleje para que la estación remota la reciba. Cuando esto ocurre, la estación remota decodificará la señal y, a su vez, transmitirá una señal codificada al maestro. Esta señal es a su vez comprobada por el maestro.



2) *El receptor recibe la señal de la sonda del transmisor.*

*Una vez que se ha verificado el enlace, los datos se pueden intercambiar en una o ambas direcciones. Estos datos se transmiten a alta velocidad y también con controles constantes de errores, ya que el enlace solo podrá admitir comunicaciones durante unas décimas de segundo. Después de este punto, la difusión del rastro del meteorito reducirá la densidad de iones hasta un punto en el que no reflejará la señal y se perderá el enlace.*

3) *El receptor recibe la señal de la sonda del transmisor.*

*Cuando se pierde el enlace, la estación maestra comienza a transmitir su señal de sonda codificada en busca del próximo rastro de meteorito que pueda admitir comunicaciones.*

4) *El sistema por dispersión de meteoritos envía una señal de sonda.*

*Aunque el rango máximo normal es de alrededor de 1500 km, para rangos extendidos se puede implementar un sistema de relevos. Aquí, una estación aproximadamente a mitad de camino entre los dos puntos finales puede operar en un modo de almacenamiento y reenvío, almacenando los datos recibidos y reenviándolos a medida que las rutas estén disponibles. El tiempo necesario para que los datos se envíen a través del enlace general, obviamente aumentará, pero para la mayoría de los sistemas que considerarían comunicaciones por ráfagas de meteoritos, esto no debería ser un problema.*

## *Radioaficionados y Dispersión por Meteoritos*

*Los radioaficionados también hacen un uso generalizado de la dispersión de meteoritos como modo de propagación. A menudo, los contactos se programarán de antemano a una hora y frecuencia específicas. Alternativamente, cuando se pronostican lluvias de meteoritos, se utilizarán frecuencias de llamada especiales. Normalmente se utilizan antenas directivas de alta ganancia para permitir una relación señal/ruido suficiente.*

*Frecuentemente se utilizan transmisiones en código Morse de alta velocidad, o también otros modos de datos disponibles.*

*El uso de la Dispersión por Meteoritos permite a los radioaficionados hacer contactos en las bandas de VHF cuando no hay otras formas de comunicación y/o propagación disponible.*

*Hay dos tipos de rastros de meteoritos que se generan:*

- Rastros de meteoritos poco densos: Los senderos de meteoritos poco densos, generalmente alcanzan un pico en unos pocos cientos de microsegundos y luego se desvanecen gradualmente. Es posible que solo duren unas décimas de segundo, mientras que otros pueden durar tan solo unos segundos. Se desvanecen a medida que los electrones se separan de la estela principal y el nivel de ionización disminuye. Los rastros poco densos son mucho más comunes que los demasiado densos, y ocurren al azar, así como dentro de las lluvias de meteoritos. Estos senderos se utilizan más para aplicaciones comerciales de radiocomunicaciones. También se utilizan para comunicaciones de radioaficionados, aunque como los niveles de ionización son menores que los senderos demasiado densos, las frecuencias admitidas generalmente no son tan altas.*
- Rastros de meteoritos demasiado densos: Los rastros duran más que los de poca densidad, y esto hace que sea factible transferir datos utilizando modos como los de WSJT, así como Morse de alta velocidad u ocasionalmente SSB. Sin embargo, las estelas son menos frecuentes que las subdensas, porque requieren meteoros más grandes para producirlas y, por lo general, solo se experimentan en o cerca del pico de las principales lluvias de meteoritos. Además, los reflejos que producen a veces tienen grandes variaciones en la intensidad de la señal, igualmente de producir algunos efectos de trayectos múltiples que pueden causar problemas con algunas formas de transmisión de datos de alta velocidad. Sin embargo, estos senderos son ideales para la operación de radioaficionados.*

*Los rastros de meteoritos están suficientemente ionizados para permitir la dispersión de señales de radio en el rango de aproximadamente 10 MHz hasta incluso 1 GHz en ocasiones.*

*Las ráfagas de señal creadas por tales senderos se conocen comúnmente como "pings", debido a su sonido característico y estos pings pueden durar tan solo una décima de segundo. No obstante, esto es suficiente para transportar cierta información, aunque es posible que se necesiten varios pings para completar un contacto.*

## *Bandas de frecuencia de radioaficionados para la Dispersión por Meteoritos*

*Las comunicaciones por radio por dispersión de meteoritos o de ráfagas de meteoritos se pueden utilizar en una amplia variedad de frecuencias. Para la radioafición, la mayoría de las comunicaciones tienen lugar en la banda de dos metros aunque se realizan algunos contactos en la banda de radioaficionados de 70 centímetros, pero esto está muy cerca del límite superior absoluto para esta forma de propagación de radio.*

*Algunas operaciones por dispersión de meteoritos tienen lugar en la banda de radioaficionados de 50 MHz. Las frecuencias más bajas aquí, significan que los reflejos son más efectivos. Sin embargo, en ocasiones, alrededor del pico del ciclo de las manchas solares, es más probable que la transmisión se produzca como resultado de la propagación ionosférica ordinaria. Este es uno de los factores que determina el límite inferior para las comunicaciones por radio por dispersión de meteoritos.*

## *Modos de radioaficionados para la Dispersión por Meteoritos*

*Las comunicaciones por dispersión de meteoritos pueden ser muy diferentes a lo que se puede denominar como las formas más normales o tradicionales de comunicación por radio utilizadas por los radioaficionados. Las ráfagas de trayectos de señal de corta duración entre las dos estaciones de radioaficionado, significan que se requieren técnicas especiales. Para lograr esto, se desarrollaron protocolos especializados o formas de trabajo que permitieran establecer la comunicación y pasar la información de manera efectiva entre las dos estaciones. Una sola estela de meteoritos solo puede respaldar una serie de pasos necesarios para intercambiar información, y un contacto completo puede requerir el uso de varias estelas de meteoritos durante un período de tiempo dado.*

*Se pueden utilizar una variedad de modos de transmisión con la dispersión de meteoritos. Para los usuarios de radioaficionados en Europa, el uso de Morse de alta velocidad era muy popular. Usando transmisiones Morse se alcanzaron velocidades de hasta 800 palabras por minuto. Originalmente, el Morse se preparaba previamente y se aceleraba con grabadoras de cinta, y se usaba el proceso inverso para poder descifrarlo más tarde. Para los operadores radioaficionados en América del Norte, la banda lateral única fue ampliamente utilizada.*

*La disponibilidad generalizada de computadoras en estos tiempos, significa que se pueden usar para proporcionar niveles mucho mayores de flexibilidad. No solo pueden usarse para la generación y recepción de Morse de alta velocidad, sino que también han permitido la creación de modos de transmisión especializados desarrollados especialmente para la operación por dispersión de meteoritos.*

*Una forma popular de transmisión para uso por radioaficionados con su programa informático asociado se conoce como WSJT. Desarrollado para uso por radioaficionados por K1JT, fue escrito explícitamente para la comunicación por dispersión de meteoritos de radioaficionados. Solo requiere el uso de una tarjeta de sonido de computadora y posiblemente una caja de interfaz para garantizar que se presenten los niveles correctos para cada entrada. Esto lo hace ideal para su uso dentro de la radioafición, ya que se necesita poco equipo nuevo.*

*WSJT incluye varios "submodos" que se pueden utilizar. El primer modo, y el más utilizado, se conoce como FSK441. Emplea modulación por desplazamiento multifrecuencia con cuatro tonos y una velocidad de datos de 441 baudios. El sistema también es autosincronizante, como resultado de los códigos de caracteres utilizados en el protocolo, lo que tiene la ventaja de que no requiere un tono de sincronización explícito. FSK441 se usa generalmente en las bandas de radioaficionados de 2 metros y 70 centímetros.*

*WSJT en los modos FSK441 o JT6M puede utilizar pings muy cortos, y esto implica que la comunicación no depende de los pings más largos que normalmente solo se encuentran durante las lluvias de meteoritos. En consecuencia, se puede utilizar en cualquier momento, es decir, para rastros de meteoritos poco densos y sobredensos.*

## *Equipo de radioaficionados para Dispersión por Meteoritos*

*Es posible utilizar una gran variedad de equipos de radioaficionados para comunicaciones por dispersión de meteoritos. Comprender el modo de propagación y los requisitos permite utilizar muchas estaciones. Afortunadamente el rendimiento de los equipos de radioaficionados modernos es mucho mayor que el de muchos elementos más antiguos y esto conlleva que cumpla mucho mejor con los requisitos para la comunicación por Dispersión de Meteoritos.*

*Algunos de los principales requisitos se resumen a continuación:*

- *Potencia del transmisor: A menudo se requiere un nivel razonable de potencia. En vista de los reflejos que se pueden lograr en 50 MHz, es posible un funcionamiento con menor potencia, pero en 144 MHz se necesitan en el punto de alimentación de la antena potencias superiores a 100 vatios (o más si los requisitos de la licencia lo permiten)*
- *Ganancia de antena: Aunque se necesita menos ganancia en 50 MHz (lo cual es una suerte en vista de los tamaños de antena), en 144 MHz se recomiendan ganancias de 10 - 15 dB. Las antenas directivas de 13 a 17 elementos son populares en 144 MHz. Aunque algunas estaciones de radioaficionados tienen más antenas direccionales con mayor ganancia, esto puede reducir el área sobre la cual se pueden ver y usar los reflejos. Es un equilibrio entre el número de reflejos vistos y ganancia necesaria.*
- *Figura de ruido del sistema: La figura de ruido del sistema en general debe ser baja. Normalmente alrededor de 2,5 dB. Aunque un transceptor puede tener una buena figura de ruido, cualquier pérdida en el coaxial lo degradará en una cantidad igual a la pérdida. Un cable coaxial de baja pérdida es esencial. A menudo, los preamplificadores de antena ayudarán a esto, ya que amplificarán la señal antes de la pérdida del cable y reducirán el impacto de dichas pérdidas. Se debe tener cuidado para asegurarse de que la ganancia del preamplificador no sea demasiado alta, de lo contrario, el extremo frontal del transceptor podría sobrecargarse y reducir el rendimiento.*
- *Configuración de frecuencia: En el pasado, la configuración precisa de la frecuencia era un problema. Se necesitaba una tolerancia de  $\pm 500$  Hz para Morse y  $\pm 200$  Hz para SSB. La estabilidad es aún más importante cuando se usa WSJT. La mayoría de los transceptores de radioaficionados modernos de hoy en día pueden ofrecer suficiente estabilidad, aunque tenga cuidado, la lectura del dial no equivale necesariamente a la precisión real de la señal.*
- *Computadora: La mayor parte de la comunicación por dispersión de meteoritos de radioaficionados de hoy en día es impulsada por computadoras. En consecuencia, se necesita una computadora con el software y las interfaces relevantes para soportar los modos y la operación.*

*Las comunicaciones por Dispersión de Meteoritos, o como a veces se las llama, las comunicaciones de ráfagas de meteoritos, son un modo particularmente interesante de comunicaciones por radio, abiertas a los radioaficionados, y se puede utilizar con muy buenos resultados en VHF. Ofrece una forma de propagación que se puede utilizar para proporcionar contactos a distancias de hasta un máximo de unos 2000 km y, como tal, es un modo único en estas frecuencias.*

## *Propagación Auroral*

*Si bien las auroras pueden interrumpir muchas formas de comunicaciones por radio, los radioaficionados pueden utilizar la propagación de radio de retrodispersión auroral para hacer contactos a distancias de alrededor de 800 km y más.*

*Las auroras visibles son magníficas de ver, pero también dan una indicación de gran actividad en el Sol y pueden resultar en grandes cambios en las condiciones de propagación de radio.*

*Para el operador de HF, estas auroras pueden ser el signo de un apagado completo del espectro de HF a medida que aumentan los niveles de absorción en la ionosfera. Por el contrario, para el DX'er VHF pueden presentar una oportunidad de una forma anormal de propagación.*

### *¿Qué es la propagación de radio auroral?*

*Las auroras visibles dan una indicación de la actividad que está ocurriendo en la atmósfera superior, que se manifiesta como un evento auroral de propagación de radio.*

*La vista de una aurora en el cielo por la noche puede ser impresionante, tomando la forma de hermosos resplandores de colores que cambian con gracia el cielo. Los colores suelen ser verdes y rojos, aunque en ocasiones se aprecian tintes azulados. Para muchas personas, una aurora es un hermoso espectáculo, pero también es una indicación de actividad en los cielos, que también puede resultar en algunos cambios dramáticos en la propagación de radio. Para los radioaficionados, esto podría significar un rendimiento degradado en las bandas de radioaficionados de HF, mientras que en VHF puede brindar la oportunidad de una forma única de propagación de radio.*

*Para que los radioaficionados puedan hacer el mejor uso de estos fenómenos de radio, es útil comprender las razones por las que ocurren y la mecánica de cómo se propagan las señales de radio en estas condiciones. Para hacer esto primero es necesario mirar al Sol. Repasemos algunos conceptos ya mencionados anteriormente y veamos otros nuevos a continuación.*

## *El Sol y su efecto en la propagación de radio*

*El Sol genera una cantidad colosal de energía, parte de la cual nos proporciona luz y calor aquí en la Tierra. También genera luz ultravioleta y rayos X, que tienen un efecto en la propagación de radio. Como resultado, la ionosfera se forma en la atmósfera superior y esto permite que las ondas de radio se reflejen o, más correctamente, se refracten de regreso a la tierra, lo que permite las comunicaciones de radio globales en las bandas de HF o de onda corta.*

*Los niveles de energía que emanan del Sol no siempre son constantes. Esto a su vez afecta la condición de la ionosfera, que a su vez afecta la propagación de radio HF. El monitoreo de la energía del Sol puede brindar una buena indicación del estado de las comunicaciones de radio de onda corta, y esto puede ser utilizado por los usuarios de las bandas de radio HF, incluidos los radioaficionados, las emisoras de onda corta y los usuarios comerciales.*

*A veces hay grandes perturbaciones en el Sol y éstas pueden tener efectos importantes en las condiciones de propagación de radio. Las erupciones solares y otras formas de perturbación conocidas como eyecciones de masa coronal pueden cambiar totalmente la condición de la ionosfera y dar lugar a la actividad de las auroras.*

*De los dos tipos de perturbaciones, ahora se cree que las CME son las principales causas de las auroras. Estas CME consisten en gigantescas erupciones en la superficie del Sol que lanzan grandes cantidades de material al espacio, y junto con esto hay un gran aumento en el nivel de radiación emitida.*

*En condiciones normales el Sol emite materia y esta forma lo que se conoce como viento solar. Cuando ocurren CME el viento solar aumenta significativamente y esto afecta a la Tierra cuando llega.*

## *Efecto de las perturbaciones solares en la propagación de radio*

*La forma en que el viento solar interactúa con la tierra es bastante complicada. Esencialmente, normalmente es desviado por el campo magnético de la Tierra, aunque algo ingresa a través de las áreas alrededor de los polos norte y sur donde el campo ingresa a la Tierra. Esto es normal y no se notan efectos indebidos o indeseados.*

*Cuando hay una perturbación solar y el nivel del viento solar aumenta se producen cambios. La señal más obvia es que se produce una aurora visible que ilumina los cielos del norte o del sur. Esto ocurre porque las partículas de alta energía ingresan a la atmósfera de la Tierra a lo largo de las líneas magnéticas de fuerza que ingresan a la Tierra en los polos. A medida que viajan chocan con moléculas en la atmósfera liberando iones positivos y electrones negativos. Cuando esto ocurre, se genera una pequeña cantidad de luz y es esto lo que provoca las Luces del Norte y del Sur.*

*El aumento del viento solar debido a la perturbación, tiene un efecto significativo en la propagación de radio, y esto naturalmente, es de gran interés para los radioaficionados. Encontramos que las partículas pasan a través de las partes exteriores de la ionosfera con poco efecto. Sin embargo, a medida que la altitud disminuye, alcanzan la capa E. Aquí comienzan a chocar con las moléculas de gas, lo que aumenta en gran medida los niveles de ionización en estas áreas. El resultado de todo esto es que la ionización refleja señales a frecuencias mucho más altas de lo normal. Las comunicaciones se pueden establecer bien en la parte VHF del espectro y, a veces, se han detectado reflejos en frecuencias de hasta aproximadamente 1000 MHz. Esta cifra máxima es un tanto excepcional, aunque el máximo normal para las comunicaciones de radioaficionados ronda los 430 MHz.*

*Desafortunadamente para los entusiastas de la radioafición en HF, muchas de las partículas de plasma viajan hacia abajo a la capa D, donde nuevamente los niveles de ionización aumentan considerablemente. Aquí, el mayor nivel de ionización sirve para absorber ondas de radio a frecuencias mucho más altas de lo que normalmente se vería afectada. De esta forma gran parte de las comunicaciones en la banda de HF pueden quedar bloqueadas.*

*Se hace notar que, durante el curso de un evento auroral normal, las regiones polares se ven afectadas primero y por esta razón la absorción a menudo se denomina Absorción del Casquete Polar (PCA). Por lo general, la absorción del casquete polar se limita a latitudes mayores de 60°, aunque durante algunos de los eventos más grandes, este efecto se extenderá más hacia el ecuador.*

## *Progreso de un Evento Auroral*

*Aunque los diferentes eventos variarán ampliamente de uno a otro, tendrán muchas similitudes. A menudo, el evento comenzará con una serie de pequeñas erupciones solares. Estas hacen que aumente el nivel de radiación solar, lo cual trae consigo una mejora en las condiciones de radio de la banda HF, aunque unido a esto también se eleva el ruido solar.*

*Estas pequeñas erupciones son solo un precursor de la perturbación solar que se produce y causa una perturbación ionosférica repentina o SID. En este punto, las bandas de HF se cierran para las comunicaciones de radio ionosféricas por un corto tiempo. Sin embargo, pronto se recuperan, ya que hay un aumento en el flujo solar. Unas 20 a 30 horas después de la actividad solar, la onda de choque del viento solar golpea la tierra y provoca una tormenta magnética. Las comunicaciones por radio en las bandas de HF fallan y comienza el evento auroral completo. En este punto, se mejora la propagación de radio VHF, y se pueden establecer contactos a distancias de varios cientos de kilómetros. Luego, habiendo alcanzado un pico, la aurora termina y las bandas de HF se recuperan lentamente, y las frecuencias bajas se vuelven utilizables primero.*

*Con un evento auroral, la ionización se concentra alrededor de los polos, la comunicación solo es posible en ciertas latitudes. Por ejemplo, en el Reino Unido, los radioaficionados de Escocia, el norte de Inglaterra e Irlanda del Norte están mejor ubicados, aunque es posible que las estaciones del sur de Inglaterra lo utilicen cuando hay una gran aurora.*

*Curiosamente, se encontró que las estaciones en el sur de Escocia e Irlanda del Norte parecen estar bien ubicadas para hacer algunos de los contactos de mayor distancia, aunque las estaciones más al norte verán más auroras.*

## *Uso de la propagación auroral en las bandas de radioaficionados de VHF*

*Las buenas antenas son esenciales cuando se utiliza la propagación de radio auroral. Se requieren antenas direccionales o de haz y estas deben rotarse hacia la zona auroral, es decir, hacia el norte en el hemisferio norte y hacia el sur en el hemisferio sur. A continuación, las señales se reflejan de nuevo, es decir, utilizando retrodispersión. Esto significa que el rumbo del haz para la señal óptima, no estará en la dirección de la estación que se está contactando.*

*Hallamos que las señales que se han propagado utilizando la propagación de radio auroral están distorsionadas, y esto significa que las transmisiones de voz pueden ser muy difíciles de copiar. Cuanto mayor sea el ancho de banda, mayor será el problema y, por lo tanto, SSB es el mejor modo de voz para usar, aunque la copia será difícil. Naturalmente, el Morse es bueno porque ocupa un ancho de banda muy estrecho y es muy resistente a la distorsión. Sin embargo, incluso este modo se distorsiona y se le superpone un tono muy áspero. Esto puede variar de una aurora a otra, o incluso durante el transcurso de un evento. Por lo general, las señales fluctúan muy rápidamente debido a los cambios que ocurren en la ionosfera. Este "flutter" o fluctuación puede incluso ser tan rápido que aparece como un tono de baja frecuencia o un zumbido de hasta 50 o 60 Hz.*

*Además de la distorsión de la señal, también está sujeta a un cambio de frecuencia Doppler. Esto es causado por millones de partículas de plasma que ingresan a la ionosfera. Cada una es un punto diminuto para la reflexión y tiene una velocidad diferente. Esto significa que el efecto Doppler tiene una variedad de cambios de frecuencia, lo que da como resultado un sonido de silbido muy distintivo. Como regla general, el cambio de frecuencia promedio en la banda de radioaficionados de 145 MHz es de aproximadamente 0,5 kHz.*

## *Resumen de la Propagación Auroral*

*La propagación de las auroras puede ser una forma de propagación fascinante y gratificante para los radioaficionados. Proporciona un medio interesante para establecer contactos de radio y tiene la ventaja de que puede utilizarse en momentos en que las condiciones de propagación en las bandas de radioaficionado de HF probablemente sean malas. Como no se requiere ningún equipo especial, es una forma ideal de establecer contactos por radio de forma ocasional según se presenten las condiciones.*

## Rebote Lunar, Tierra-Luna-Tierra, EME

Una forma inusual de propagación de radio es usar la Luna como reflector. Se necesitan grandes ganancias de antena ya que las pérdidas de trayectoria son enormes, por lo que a menudo se utilizan reflectores parabólicos. Ocasionalmente, se han utilizado múltiples Yagis apiladas, y se necesitan altas potencias y procedimientos especializados.

### Propagación EME: Cómo usar en la radioafición el Rebote Lunar o Moonbounce

Earth-Moon-Earth, EME o Moonbounce, es una forma de propagación de comunicación por radio utilizada por radioaficionados y otros para efectuar comunicaciones globales en frecuencias superiores a 144 MHz.

La propagación Tierra-Luna-Tierra, EME o Moonbounce, es una forma de propagación de radio realmente desafiante pero interesante para los radioaficionados.

La propagación por Moonbounce presenta una serie de desafíos técnicos y operativos importantes, pero esta proporciona una sensación real de logro y disfrute cuando se ha logrado un contacto con éxito.

Usando las bandas de radioaficionado de VHF y UHF, junto con potencias relativamente altas, antenas de alta ganancia y receptores sensibles, no es un modo para todos, pero con la tecnología actual es un modo que está al alcance de una gran cantidad de estaciones de radioaficionados que quieren un desafío.

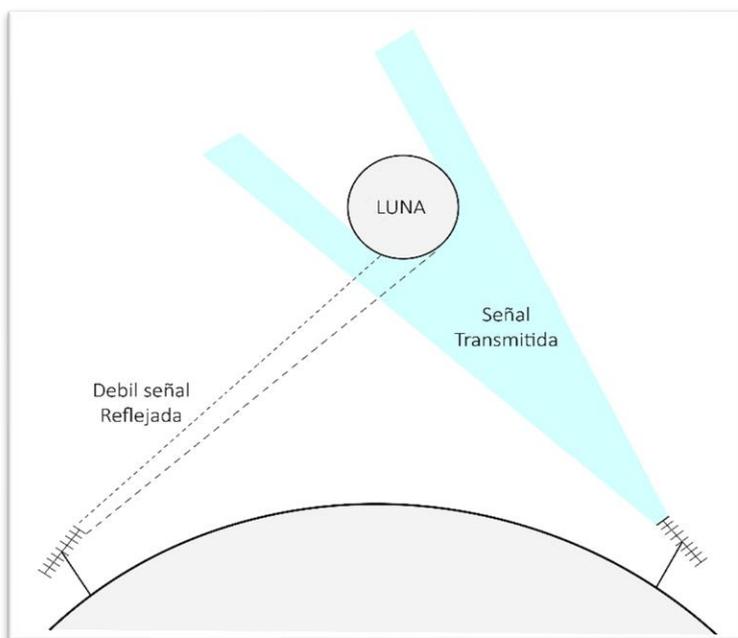


Superficie de la luna

### Conceptos básicos del Rebote Lunar

La base de funcionamiento del Moonbounce o EME, Earth-Moon-Earth, es el uso de la Luna como reflector pasivo. En vista de las grandes distancias involucradas y el hecho de que la superficie de la Luna es un reflector pobre, las pérdidas de trayectoria son colosales, pero, aun así, es una forma de comunicación que es teóricamente posible de usar, y que muchos radioaficionados utilizan regularmente.

Dado que las señales de radio son muy bajas, tenemos que el ruido galáctico se convierte en un factor significativo. Este ruido emana de una variedad de fuentes en la galaxia: planetas, estrellas, etc., emiten ruido en todo el espectro de radio, y los sistemas EME son muy sensibles y podrán escuchar este ruido. El nivel de ruido no es constante en todo el cielo y esto significa que algunas veces el cielo alrededor de la Luna puede ser muy ruidoso, y otras veces puede ser mucho más silencioso.



Concepto de propagación EME del Rebote Lunar

Hallamos que el ruido del cielo es normalmente peor cuando la Luna cruza el plano galáctico (es decir, la Luna aparece en la Vía Láctea), y esto ocurre dos veces al mes. Afortunadamente, el software utilizado por los radioaficionados EME Moonbounce, lo indica y esto ayuda a elegir los momentos óptimos para cualquier actividad.

## Consideraciones de equipo para EME-Moonbounce

Para superar las pérdidas y permitir que se establezcan comunicaciones de radioaficionados utilizando Moonbounce se requieren potencias de transmisor de radio muy altas, antenas directivas y receptores muy sensibles.

Con la distancia de la Luna a la Tierra entre 360 y 405 mil kilómetros, y su diámetro de 3475 kilómetros, subtende un ángulo de solo 0,52 grados para los observadores en la Tierra. Para iluminar la Luna con poca energía desperdiciada en ambos lados, se requieren antenas enormemente directivas. Además, estas antenas deben ser completamente orientables para poder seguir la posición constantemente cambiante de la Luna.

Las frecuencias utilizadas para Moonbounce, generalmente están en la porción VHF o UHF del espectro. Esto permite utilizar antenas con ganancias suficientemente altas para superar las pérdidas de trayecto. Aunque se han utilizado frecuencias tan bajas como 50 MHz, pero es más normal que se empleen las bandas de radioaficionados de 144 MHz, 432 MHz o 1296 MHz.

## Efectos de Propagación del Rebote Lunar

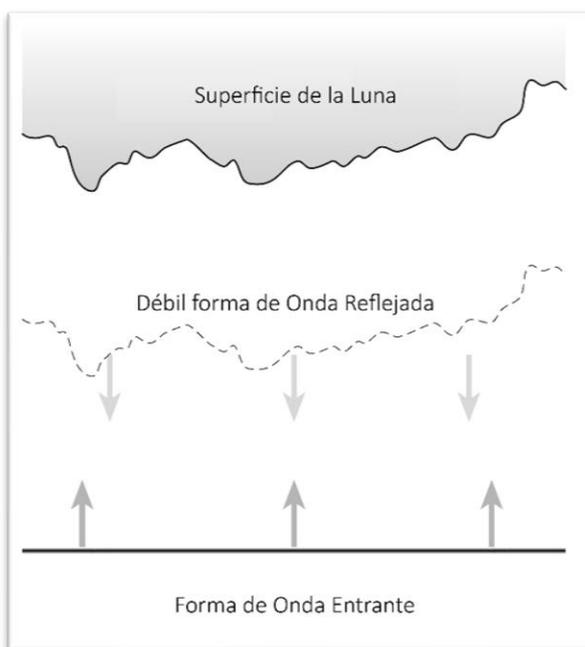
Cualquier señal transmitida para comunicaciones EME-Moonbounce, está sujeta a una serie de efectos de propagación de señal:

- **Enormes pérdidas de trayectoria:** Para cuantificar las pérdidas de trayectoria, se requieren las distancias y la eficiencia de reflexión de la Luna. La Luna está a unos 385.000 kilómetros de distancia de la Tierra. La superficie de la Luna también refleja solo alrededor del 6% de la potencia de la señal de radio que le llega. Sumado a la pérdida de trayectoria para la señal que viaja hacia y desde la Luna, la pérdida de trayectoria general es, en el mejor de los casos, aproximadamente 252 dB en 144 MHz y 271 dB en 1296 MHz.
- **Pérdidas de trayectoria variable:** El nivel de pérdida también varía, porque la distancia entre la Luna y la Tierra no es constante. Hay un "perigeo" cuando la Luna está más cerca de la Tierra, cuando se dice que el Mes es una Luna grande. También hay un "apogeo" cuando la Luna está en su punto más alejado de la Tierra cada mes.

Esta variación de distancia da como resultado una diferencia en la pérdida de trayecto de alrededor de 2 dB entre las posiciones de apogeo y perigeo. Para estaciones pequeñas donde hacer contactos usando Moonbounce puede ser marginal, la elección del momento del mes puede marcar la diferencia.

- **Rotación de Faraday:** En frecuencias de 1296 MHz y superiores no es un problema, pero en 432 MHz se cree que las rotaciones de hasta 360 grados son comunes, y por debajo de esto la señal puede rotar varias vueltas completas. Esto puede resultar en que las estaciones solo puedan comunicarse en una dirección a veces.
- **Desvanecimiento de la libración:** Este efecto ocurre en las señales EME-Moonbounce porque la superficie de la Luna no es plana, y la señal reflejada consiste en una variedad de frentes de onda, cada uno con diferentes fases porque la distancia recorrida por cada uno es ligeramente diferente debido a la rugosa superficie de la Luna. La señal reflejada recibida es, por lo tanto, una suma de todos los frentes de onda. Como la Tierra y la Luna se mueven entre sí, la suma de estos frentes de onda siempre está cambiando y esto da como resultado una señal a la que se superpone un aleteo rápido, así como un desvanecimiento profundo (a veces hasta 20 dB) y algunos picos, aunque estos picos a menudo pueden ser muy útiles para estaciones con menos potencia o antenas más pequeñas.

Después de la reflexión de la Luna, los frentes de onda tienen una variedad de fases que se suman para dar la señal general. Como estos cambian con los movimientos relativos de la Tierra y la Luna, esto da como resultado que la libración se desvanezca.



Reflejos de las señales vistos desde la Luna

- *Desplazamiento Doppler:* El movimiento relativo de la Tierra y la Luna, puede dar como resultado que se añada cierto grado de desplazamiento Doppler a las señales. Esto variará de acuerdo con los movimientos relativos de los dos cuerpos y también con la frecuencia de uso. Como ejemplo de cómo el cambio Doppler afecta una señal de Rebote Lunar/EME, se haya que en "Moonrise", una señal de 2 metros puede cambiar de frecuencia hasta 350 Hz. Luego aparece que esta cifra se reduce, llegando a cero cuando la Luna está pasando la longitud particular en la que se encuentra (debido al sur o debido al rumbo del azimut del norte). Después de esto, el desplazamiento Doppler comienza a moverse en una dirección negativa, alcanzando un desplazamiento de alrededor de 350 Hz LF por "Moonset". Dado que los niveles de señal son bajos con EME-Moonbounce, a menudo se utilizan anchos de banda muy estrechos y, como resultado, los desplazamientos Doppler pueden ser importantes.
- *Cambios en la polarización de la señal:* Otro problema que puede ocurrir con Moonbounce es que, dado que las estaciones están ubicadas en diferentes posiciones alrededor del globo, una señal polarizada horizontalmente en un área del globo estará en ángulo recto con una señal polarizada horizontalmente en una cuarta parte del globo. Este problema de polarización espacial se suma a las dificultades causadas por la rotación de Faraday.

## *Equipos para radioaficionados EME-Moonbounce*

*Comparativamente, se hacen pocos contactos EME-Moonbounce en 50 o 70 MHz en vista del ruido local, además de construir el tipo de antenas que se necesitarían para proporcionar la ganancia requerida.*

*Para 144 MHz, los receptores sensibles y los excitadores transmisores son relativamente comunes. Se necesita un buen preamplificador en la antena y un amplificador lineal de alta potencia para desarrollar la máxima potencia legal. Las antenas son manejables incluso a 144 MHz, pero se requieren altas ganancias. Además, las pérdidas del cable coaxial deben mantenerse en un mínimo absoluto.*

*A medida que la selección de la banda de aficionados relevante avanza hacia la porción UH del espectro, hay una evolución constante de las antenas Yagi a las antenas parabólicas o reflectoras parabólicas, y se vuelve más difícil generar los niveles de potencia necesarios para impulsar la antena.*

*Los cálculos indican que se necesitan ganancias de antena de alrededor de 20dBd en 144 MHz y 23dBd en 432 MHz para lograr contactos Morse. Para obtener estos niveles de ganancia, un arreglo habitual es usar cuatro antenas Yagi largas que enfadasas y unidas. Dado que se requiere una ganancia adicional de 3dB en 432 MHz para cubrir la pérdida de ruta adicional, se requieren ocho Yagis largas.*

*Dicho esto, muchas estaciones pueden hacer contactos con estaciones con antenas enormes, aprovechando efectivamente la ganancia de su antena. Además, al usar los modos de señal baja disponibles ahora, hay reducciones significativas en los requisitos de la antena.*

## *Modos para radioaficionados EME-Moonbounce*

*Aunque la SSB ha sido usada en algunas ocasiones por estaciones que disponen de sistemas de antenas excepcionalmente grandes la mayoría de los contactos solían hacerse usando Morse. Ahora, con la tecnología informática y los modos de datos especializados, son estos los más ampliamente utilizados, y debido a que hay modos de señal baja, esto ha reducido considerablemente los requisitos en el equipo, lo que hace que el Moonbounce esté al alcance de muchos radioaficionados.*

- *Contactos Morse EME:* Cuando se usa Morse, las velocidades generalmente se mantienen entre 12 y 15 palabras por minuto. La razón de esto es que, si las velocidades son demasiado altas, la copia se vuelve difícil en presencia de ruido, mientras que, si las velocidades son demasiado lentas, los caracteres se ven afectados por el desvanecimiento de la libración, lo que nuevamente dificulta la copia. Además, la ponderación de los puntos y rallas individuales a menudo se aumenta ligeramente para facilitar la copia. Normalmente, cuando se hacen contactos en código Morse, los niveles de señal son bajos y, por lo tanto, solo se intercambian los datos de contacto básicos. Para que un contacto se considere completado, se debe intercambiar un mínimo de indicativos e informes con una confirmación de que se ha recibido el dicho informe.

- *WSJT: WSJT es un formato ideal y el más utilizado para contactos de radioaficionados EME-Moonbounce. Normalmente se utiliza la variante JS65 dentro del paquete de software WSJT y esto proporciona algunas ventajas considerables. La pantalla del WSJT ha sido diseñada para radioaficionados Moonbounce, EME y AS, e incluso proporciona información sobre la dirección de la Luna. El funcionamiento de WSJT en 144 MHz suele tener lugar entre 144,100 y 144,150 MHz.*
- *Moonbounce vía SSB: Para estaciones con antenas de muy alta ganancia y niveles de potencia altos, puede ser posible usar banda lateral única. Sin embargo, las características de propagación implican que la copia puede distorsionarse a veces.*

*Al usar cualquier modo, se puede obtener una buena primera verificación de una estación al escuchar los ecos de la propia señal. Si estos se pueden escuchar, entonces hay una buena posibilidad de que otros los escuchen. Pero de igual manera, incluso si no se pueden escuchar los ecos, es posible que otros con antenas de mayor ganancia puedan escuchar.*

*Aunque muchas estaciones llaman CQ, esto solo es viable para estaciones que utilizan antenas de alta potencia y alta ganancia. Para estaciones donde la intensidad de la señal puede ser marginal, los contactos dispuestos producen una posibilidad mucho mejor de un contacto. Estos contactos organizados utilizan períodos de transmisión y recepción cronometrados con precisión, para permitir que las estaciones participantes tengan la mejor oportunidad de comunicarse.*

*El uso de la propagación EME-Moonbounce, es en realidad un desafío para cualquier radioaficionado que desee utilizar este modo de propagación de radio, pero puede generar excelentes resultados. Aquellos con el equipo adecuado pueden hacer contactos con estaciones en muchas áreas diferentes del globo cuando la Luna está en la posición correcta en relación con la Tierra. Por estas razones, es una forma de propagación particularmente interesante de usar.*

*Información y documentación recopilada de distintas fuentes y artículos publicados en Internet.*

*Este documento se puede compartir libremente.*



*Fernando Gómez – [EA7KJE](#)  
06/Junio/2022*