

CURSO DE PROPAGACION DE ONDA CORTALección 1    El SolRecopilador: J. Vastenhoud

Para un observador casual de la Vía Láctea, nuestro Sol aparece como un débil disco amarillento, pero es la estrella más cercana que podemos ver y de suprema importancia para el mantenimiento y propagación de la vida sobre la Tierra, pues nos suministra, además de luz y calor, energía bajo diversas formas sin la cual la vida sería imposible. El Sol es el cuerpo central de nuestro pequeño sistema solar, que también incluye la Tierra y otros planetas bien conocidos como Júpiter, Venus y Marte, que giran alrededor del Sol a distintas distancias.

El diámetro del globo solar es de cerca de 1,5 millón de kilómetros, es decir, unas cien veces el diámetro terrestre. Su distancia media a la Tierra es de 150 millones de kilómetros y ocupamos el tercer lugar en la fila de planetas: Mercurio y Venus están más cerca del Sol, después está Marte que describe una órbita más amplia alrededor del Sol que la de la Tierra.

El Sol es un cuerpo completamente gaseoso que emite continuamente luz así como otras radiaciones. La temperatura superficial es de unos 6000 grados Kelvin (escala Kelvin = escala centígrada más 273). La luz es irradiada en todas las direcciones y su velocidad de propagación es de 300,000 kilómetros por segundo. Pese a esta enorme velocidad, la luz del Sol tarda aproximadamente  $8\frac{1}{2}$  minutos en llegar a la Tierra.

Como usted sabe, la Tierra da una vuelta alrededor de su eje en 24 horas y el lado que queda frente al Sol recibe la luz diurna, en tanto que el lado opuesto queda sumido en la oscuridad.

El Sol gira también alrededor de su eje, aunque aparentemente a menor velocidad, 27 días para una revolución. Esto es importante que lo sepamos, porque podemos esperar que los fenómenos persistentes en la superficie solar se repitan cada 27 días. El Sol constituye también un imán gigantesco, con un potente campo magnético exterior e intensas corrientes magnéticas debajo de su superficie. A veces estas corrientes emergen a la superficie, que entonces se enfría localmente, pareciendo para nosotros en la Tierra como manchas oscuras, que reciben el nombre de manchas solares, cuyo tamaño viene a ser normalmente el de la Tierra. Esto nos proporciona una leve indicación de las ingentes cantidades de energía implicadas cuando el campo magnético interno del Sol atraviesa su superficie. Por las grandes manchas solares, que pueden llegar a ser hasta ocho veces mayores que la Tierra, escapan considerables cantidades de energía, también en la forma de radiaciones violeta y ultravioleta, de las cuales la segunda es de importancia especial para la propagación de onda corta, como explicaremos más adelante.

Las manchas solares ya fueron observadas en el siglo 17, pero fue el astrónomo suizo Wolf quien seleccionó y ordenó los datos recogidos a través de los siglos y descubrió la periodicidad undecenal en la actividad de las manchas solares, es decir, el hecho de que el número de éstas y su tamaño varía desde un mínimo a un máximo y vuelta a un mínimo (el llamado ciclo de las manchas solares).

Durante los períodos de alta actividad, en la superficie del Sol se observan pequeñas manchas en grupo o grandes manchas aisladas, o combinaciones de ambas y, por consiguiente, una gran porción de la masa sobresale y la radiación escapa, influyendo en las comunicaciones de onda corta sobre la Tierra.

Wolf clasificó las manchas solares e introdujo un sistema de recuento, conocido como número relativo de Wolf o de manchas solares. Durante la baja actividad solar, el valor medio puede estar próximo a cero. Durante la alta actividad, el número (R) de manchas solares cabe que llegue a un promedio mensual de 150. Durante el máximo de 1959, la actividad solar fue extremadamente elevada y alcanzó el número 200 en varias ocasiones. El último máximo, en 1968, no llegó mucho más allá de 110. Actualmente (1974) nos hallamos en el extremo inferior de dicho ciclo, con números de manchas solares de alrededor de 30 en enero. El próximo mínimo se espera a finales de 1974 cuando bajará a 5, ó incluso menos. La influencia directa de la actividad de las manchas solares sobre las transmisiones en onda corta en la Tierra será tratada en la lección octava.

## Lección 2      La Tierra y su Ionosfera

La vida terrestre está protegida contra las adversas condiciones del espacio exterior por una capa de aire. Esta capa de aire es relativamente muy delgada: a una altitud de algunos kilómetros ya nos resulta difícil respirar y por esta razón los escaladores del Everest, por ejemplo, tienen que usar máscaras de oxígeno.

Este proceso de rarificación de la atmósfera aumenta a medida de que la altura es mayor y finaliza, como sabemos por los vuelos espaciales tripulados, en un vacío completo. A altitudes de 50 a 400 kilómetros, el aire está tan rarificado que la radiación procedente del espacio exterior, especialmente la radiación solar, puede fácilmente ionizar el gas remanente. Esta región recibe el nombre de ionosfera. En dicho proceso de ionización, los átomos de gas pierden uno o más electrones convirtiéndose así en iones (un ión es un átomo incompleto debido a la pérdida o ganancia de electrones, un proceso por el cual queda cargado positiva o negativamente). Si miramos una gráfica que indique la densidad iónica sobre la tierra a diferentes alturas (figura 1) vemos que varía considerablemente en función de la altura y que, además, su forma es irregular. A ciertas altitudes se hallan claras concentraciones de iones o, si usted quiere, electrones. Con otras palabras, sobre la tierra se hallan diferentes capas ionizadas.

La capa más cercana a nosotros es la capa o región D, que existe entre los 50 y 90 kilómetros aproximadamente. Posee un bajo grado de ionización y es fácilmente penetrada por las frecuencias de onda corta (alta frecuencia = radio frecuencia, abreviada RF). Actúa como un absorbedor para las ondas medias, limitando su alcance durante el día y reflejando las frecuencias muy bajas y bajas. Solamente subsiste durante las horas diurnas cuando está sometida a la radiación directa del Sol. Aunque se dice que es fácilmente penetrada por las señales de radio-frecuencia, estas señales son aún debilitadas por ligera absorción y dispersión. A una altitud de algo más de 100 kilómetros hallamos la llamada capa E (antes llamada de Heaviside). La concentración de electrones hallada aquí depende estrechamente de la incidencia de la luz solar aunque no desaparece completamente después de anochecer.

Las variaciones que experimenta su grado de ionización durante un período de 24 horas se llaman variaciones diurnas y es evidente que para determinadas posiciones terrestres, dependen de factores tales como la hora del día o de la noche y de la temporada, porque el período de luz diurna varía con la estación del año así como también depende de ésta la altitud a la cual el Sol está al mediodía.

Refiriéndonos todavía a la capa E, podríamos destacar que ésta es responsable de la propagación durante el anochecer y durante la noche, de las ondas medias sobre distancias de más de 150 kilómetros aproximadamente y,

frecuentemente, también para la propagación de la banda inferior de onda corta para distancias menores de 1000 kilómetros especialmente durante el día. Desempeña el papel de otro absorbedor para la propagación normal de alta frecuencia, o sea, de las ondas que atraviesan la capa E cuando no hay suficiente ionización, con pérdida parcial de algunas señales por absorción y dispersión. Después de anochecido, sin embargo, declina rápidamente la importancia de esta capa para la propagación de onda corta.

También cabe mencionar la E<sub>s</sub>, o capa E esporádica, formaciones nebulares irregulares de un grado excepcionalmente alto de ionización que a veces se halla a altitudes ligeramente por encima de la capa E. Como tienen un efecto perturbador sobre la propagación de onda corta, nos ocuparemos de ella más adelante.

A una altura de unos 200 km está la capa F<sub>1</sub>, que puede manifestarse durante el día. Tiene en mucho las mismas características que la capa E, pero existe a una mayor altura que emerge con la capa F<sub>2</sub> durante la noche. La importancia de capa F<sub>1</sub> no es muy grande, porque es penetrada por ondas que también pueden atravesar la capa E y porque, así se dice, solamente se manifiesta durante el día.

La capa ionosférica más importante para la propagación de onda corta es la llamada capa F<sub>2</sub> (antes llamada capa Appleton), que existe a altitudes entre 250 y 400 km y a la que dedicaremos la lección siguiente.

Ahora podemos reunir nuestros datos en un diagrama (fig. 2), que muestre las diferentes capas ionizadas sobre la superficie terrestre.

### Lección 3      La capa F<sub>2</sub>

La capa F<sub>2</sub> es la región reflectora principal para la comunicación en alta frecuencia a larga distancia. Su alto gradiente de ionización hace que pueda reflejar las ondas hacia nuestro planeta. La ionización a esta altura (250 - 400 Km, dependiendo de la hora del día, de la estación del año y de la latitud terrestre) se debe primordialmente a la radiación ultravioleta del Sol, pero a causa de la densidad extremadamente baja de la atmósfera, que impide una rápida recombinación de los electrones e iones libres, la capa es capaz de almacenar la energía recibida del Sol durante muchas horas y por esta razón no existe una diferencia tan extrema entre sus propiedades reflectoras durante el día o la noche: de hecho, su grado de ionización decrece lentamente durante la noche y necesita poco tiempo (un par de horas) para evolucionar después de ponerse el Sol.

El conocimiento de esta capa es de suma importancia para la propagación de onda corta y se han realizado extensos estudios durante años con objeto de comprender su comportamiento. Está influenciada por la hora del día, por la temporada, por la actividad de las manchas solares, de tal modo que el gradiente de ionización es incrementado por una gran altitud del Sol y una alta actividad de las manchas solares, porque una gran cantidad de radiación ultravioleta estimula la ionización y las propiedades reflectoras de la capa dependen del gradiente de ionización.

¿Cómo podríamos visualizar este proceso de la reflexión, refracción, de las radio ondas? Bien, una analogía mecánica puede ser útil. Consideremos primeramente las ondas luminosas. Un fenómeno conocido de las ondas luminosas o de la luz, es que se refracta cuando pasa por otro material. Cuando las ondas de luz, que se propagan en el aire, penetran en un material como vidrio o agua, se desvían (refractan). Esto puede comprobarse sumergiendo una varilla en un vaso de agua. Parece como si la varilla estuviese doblada en la superficie del agua. Este efecto se debe a la refracción de la luz.

---

Lo mismo ocurre con la propagación de alta frecuencia. En la capa ionizada la densidad electrónica está cambiando constantemente (véase la fig.1) y con ella el índice de refracción del material sometido a cambio. Esto significa que las propiedades reflectoras aparentes de la capa se deben a un gran número de pequeñas refracciones. La trayectoria que sigue la señal de onda corta a través de la capa  $F_2$  es, en realidad, una curva (fig. 3), cuya curvatura depende del ángulo de incidencia de las ondas, de la intensidad de ionización de la capa ionizada y de la frecuencia de la señal. Uno de estos factores, la intensidad de ionización, se halla fuera de nuestro control, y por lo tanto, la selección de frecuencias para la propagación de onda corta tiene que adaptarse a ella conociendo las propiedades de la antena transmisora (diagrama de radiación) y la frecuencia más alta que todavía es devuelta por la ionosfera.

Con objeto de poder componer predicciones exactas de onda corta para las emisoras correspondientes, existe una red mundial de estaciones de sondeo ionosférico vertical. Básicamente, estas estaciones constan de un transmisor y un receptor combinado con una antena que radia directamente hacia arriba. Por medio de esta disposición es posible determinar la altura de la ionosfera y la frecuencia máxima que todavía es reflejada con incidencia vertical. La frecuencia máxima así hallada para la capa  $F_2$  se llama frecuencia crítica ( $f_c$ ). Partiendo de estos datos es fácil hacer un cómputo de las propiedades reflectoras verdaderas con incidencia oblicua.

Para la comunicación a larga distancia, toda emisora dirigirá siempre su antena transmisora bien paralelamente al suelo o lo menos inclinada posible, porque de esta manera se cubre la mayor distancia con una sola reflexión. La curvatura de la Tierra permite que el haz despegue suavemente, después de lo cual incide en la capa  $F_2$  en un punto, en el mejor caso, a unos 2000 Km del transmisor. Este punto llamado de reflexión o de control, está situado a medio camino entre el transmisor y el punto de "aterrizaje" de la señal. Así, la distancia más grande a cubrir por un solo "salto" es de 4000 Km, y la propagación está determinada por las propiedades reflectoras en el punto de control, a 2000 Km de la emisora.

#### Lección 4    Otro enfoque de la realización práctica de la radiodifusión en onda corta

En la lección anterior terminamos indicando la transmisión ionosférica de un solo salto, que cubre una distancia máxima de, por término medio, 4000 Km, cuando la antena transmisora emite la señal paralelamente a la superficie terrestre o sólo ligeramente hacia arriba. Debido al limitado efecto direccional de la antena en virtud de las dimensiones físicas de las longitudes de onda a utilizar, su haz suele tener una anchura relativamente grande tanto en el plano horizontal como en el vertical (fig.4). Esto nos permite usar la misma antena en igual posición para las distancias entre, digamos, 1500 y 4000 Km. Se necesitan antenas con diferentes diagramas de radiación para cubrir distancias más cercanas y el ángulo cambiante de incidencia también exige una revisión de nuestra frecuencia de transmisión, porque el efecto reflector de la capa ionizada, como se explicó anteriormente, depende también del ángulo de incidencia, que está directamente relacionado con la longitud de la zona cubierta de la capa ionizada. Cuanto mayor es dicha zona, tanto más eficaz puede ser la acción reflectora.

Distancias de más de 4000 Km no pueden ser cubiertas con una transmisión de "simple salto" y aquí aparece la transmisión de "Multi-salto". La señal rebota entre la tierra y la ionosfera (fig. 5) y su alcance no está limitado únicamente por la absorción y difusión a que está sometida mientras es reflejada contra la tierra y mientras penetra en las porciones

inferiores de la ionosfera. La Tierra parece ser un excelente reflector para las ondas cortas y el efecto de difusión queda limitado a cuando la señal toca el mar. Por fortuna, a este respecto tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta son agua.

Si no existiera absorción en la trayectoria seguida por la señal, ésta podría circundar la Tierra eternamente. Sin embargo, esto no es cierto. La absorción se lleva tan grande porción de ella que tenemos dificultades para llevar una señal moderadamente potente (por ejemplo, de un transmisor de 100 kW) al otro lado de la Tierra, a una distancia de 20.000 Km en un vuelo de pájaro. La señal tendría que dar 5 saltos de 4000 Km cada uno ó 7 saltos de 3000 Km, para alcanzar este área y una distancia tan grande no puede ser cubierta en condiciones desfavorables.

Naturalmente, no todas las transmisiones de radio de onda corta están destinadas a áreas situadas a 20.000 Km de distancia. La mitad de dicha distancia es más normal a esta trayectoria se considera como un enlace de tres saltos. Ahora bien, ¿cómo determinamos la frecuencia de onda corta que debe utilizarse para tal trayectoria? Bien, considerando las propiedades reflectoras de la capa F<sub>2</sub> en los puntos de control, y que éstas determinan la frecuencia máxima que podemos utilizar. Esta frecuencia más alta puede recibir el nombre de frecuencia máxima utilizable, abreviada FMU, y vale para las señales radiadas en dirección paralela, o casi paralela, a la superficie terrestre. A veces es definida más rigurosamente como FMU F<sub>2</sub> 4000, indicando la capa para la cual se destina la FMU y la distancia cubierta en un solo salto. También hay una frecuencia mínima utilizable, como puede comprenderse si consideramos la cantidad de absorción producida cuando la señal penetra varias veces en las capas ionosféricas de debajo de la F<sub>2</sub> y, especialmente, durante el día, cuando todas ellas están presentes: D, E y F<sub>1</sub>.

La frecuencia elegida finalmente para llevar las transmisiones a un área determinada se encuentra comprendida entre la frecuencia máxima utilizable y la frecuencia mínima utilizable en los puntos de control. En el presente caso hay tres en nuestro enlace de 10.000 Km. En casos como éste donde el enlace de onda corta no es demasiado largo, basta considerar las condiciones en los dos puntos terminales de control solamente. Para ello se traza la trayectoria sobre un globo terráqueo y se encuentran dos puntos de control, respectivamente a 2000 Km del lugar del transmisor (que es el primer punto de reflexión) y a 2000 Km del área de recepción (que es el último punto de reflexión). Armados de este conocimiento, vamos a explicar algunos ejemplos en la lección siguiente.

#### Preguntas:

Sírvase remitirnos respuestas a las preguntas de más abajo con objeto de poder obtener las cuatro lecciones siguientes. Si tiene usted preguntas propias proceda a escribirlas en una hoja separada de papel, que también deberá llevar su nombre y dirección.

1. Cite las capas ionosféricas por debajo de la capa F<sub>2</sub> que desaparecen después de ponerse el Sol.
2. ¿Qué es una mancha solar?  
¿Qué clase de energía escapa por ella?
3. ¿Entre qué límites está comprendida la frecuencia de trabajo para una trayectoria elegida?
4. ¿Qué sucede cuando se la elige demasiado alta? Y ¿qué cuando se la elige demasiado baja?

Las respuestas correctas a todas las preguntas serán enviadas a quienes completen el curso. Sírvase guardar una copia de sus respuestas, de modo le sea posible comprobarlas más tarde.

---

RADIO NEDERLAND - APARTADO 222 - HILVERSUM - HOLANDA

CURSO DE PROPAGACION DE ONDA CORTA

Lección 5 La rotación de la Tierra y su órbita alrededor del Sol

Recopilador: J. Vastenhou

Es importante conocer los movimientos de la Tierra con respecto al Sol, porque la radiación solar determina las posibilidades de las comunicaciones de onda corta. El grado de ionización depende de la posición del Sol con respecto al punto de control y éste es donde intervienen la estación del año y la hora del día. La actividad solar también tiene su mayor influencia sobre la capa cuando la intensidad de los rayos solares es máxima.

Hablando en general, en una mitad de la Tierra es de día en un momento determinado porque está enfrente del Sol y la otra mitad está en la oscuridad porque está en oposición al Sol (fig. 6). Una estrecha sombra de penumbra existe entremedias, en parte debido a la luz solar difundida en la atmósfera, en parte debido a la baja posición del Sol sobre el horizonte. Como cada 24 horas, la Tierra ha dado una revolución completa alrededor de su eje, todos recibimos nuestra ración de día y noche.

Hay un segundo efecto, sin embargo, que complica la cuestión: la Tierra da una vuelta al Sol en el curso de un año. Como el eje de la Tierra (la recta imaginaria que pasa por los polos norte y sur) no es perpendicular al plano orbital, sino que forma un ángulo de 66,5 grados con él (fig. 7), hay períodos en que el hemisferio septentrional recibe más (y durante más tiempo) la luz solar que el meridional y viceversa. Con otras palabras, a esta circunstancia se deben nuestras estaciones.

Echemos ahora un vistazo a las posiciones relativas de nuestro planeta con respecto al Sol. Durante el período entre el 23 de septiembre y el 21 de marzo, el Sol está perpendicular sobre la zona tropical del sur, que se extiende desde el ecuador hasta 23,5 grados sur. El 22 de diciembre ya ha ocupado su posición más al sur y está a la altura del verano en el hemisferio meridional. El 23 de septiembre y el 21 de marzo, el Sol está perpendicular sobre el ecuador y la estación es primavera para el hemisferio septentrional y otoño para el meridional. El 21 de junio, el Sol alcanza su posición más al norte, estando perpendicular sobre el trópico de Cáncer, y es verano en dicha parte del mundo (fig. 8).

Estos fenómenos no dejan de repercutir en la propagación de onda corta porque el estado de la ionosfera depende del período de tiempo durante el cual esté sometido a radiación y de la intensidad de la radiación, que a su vez depende de la altitud del Sol sobre el horizonte.

Estas consideraciones nos permiten llegar a algunas conclusiones importantes: las frecuencias que usamos para las comunicaciones de onda corta tienen que ser consideradas, por lo menos, cada estación y adaptadas en caso necesario. La tolerancia (desviación debido a condiciones variables) en la elección debe ser suficientemente grande para cubrir toda la estación del año.

Así sucede verdaderamente en la práctica, y los cambios en los horarios de transmisión en las emisoras de onda corta tienen efecto el primer domingo de marzo para el período equinoccial de marzo-abril, el primer domingo de mayo para el período estival que dura 4 meses, en el primer domingo de septiembre el período (equinoccial) de septiembre-octubre, y en el primer domingo de noviembre para el período invernal, que también dura 4 meses. (Verano e invierno de acuerdo con el cómputo del hemisferio septentrional).

---

Una segunda conclusión es que el día y la noche tienen en todos los períodos la misma duración en los lugares que están situados a igual longitud sobre la Tierra (véa su atlas), los días son largos en verano y las noches largas en invierno. Como la Tierra gira alrededor de su eje nort-sur, el período de luz diurna se desplaza del este al oeste. Así, al mediodía donde usted vive, más tarde estará en lugares situados al este de usted y más pronto en los lugares situados al suroeste. Esto es importante de recordar, especialmente en lo que respecta a las comunicaciones este-oeste o oeste-este y sus puntos de control. Tercero: los lugares en la Tierra con poca diferencia de longitudes, situados al norte o al sur uno de otros, tienen la misma hora del día: las 12 del día en Lima (Perú) significa mediodía en Nueva York también. Naturalmente, también pueden darse pequeñas diferencias debido a la elección de la zona horaria que ha sido establecida por el hombre. Esta conclusión no resulta cierta en la proximidad de la línea de cambio de fecha internacional (una línea imaginaria que se extiende aproximadamente de norte a sur y viene a estar situada entre Alaska y la punta oriental extrema de Siberia, dirigiéndose al sur y pasando por el este de Nueva Zelanda).

Lección 6      Predicción práctica de la propagación: cartas de isocurvas del mundo y su interpretación.

Vamos a dedicar esta lección a algunos circuitos prácticos de onda corta y a explicar como se puede predecir el uso de las frecuencias en ellos. Para este objeto le invitamos a que eche un vistazo a la figura 9, que muestra un mapa mundial, aunque sea muy simplificado, y proyectado sobre él hay una llamada carta mundial de isocurvas. Esta carta es, como si dijéramos, una fotografía de la situación ionosférica a la hora indicada, 12 horas GMT, en el mes de enero bajo una actividad media de manchas solares indicada por  $R = 70$ . Es aproximadamente la situación que existió en enero de 1967. Las líneas curvas, o isocurvas, son simplemente las interconexiones de puntos que reflejan señales de incidencia oblicua (aquéllas que alcanzan la ionosfera formando un ángulo) con la misma frecuencia. Por lo tanto, todos los puntos de la tierra en que hay la frecuencia más alta reflejada con incidencia oblicua por ejemplo, 20 MHz, están interconectados; lo mismo ocurre para 25 MHz, 30 MHz etc. De este modo se forma un diagrama completo que permite conocer la distribución iónica de la ionosfera sobre la tierra y, por lo tanto, sus propiedades reflectoras.

Este ejemplo, aunque aproximadamente correcto, es una versión simplificada de los datos que publican algunas acreditadas estaciones de investigación ionosférica. Generalmente las isocurvas están trazadas para intervalos de 2 MHz, en lugar de 5, pero para nuestros fines bastará este ejemplo.

Observémoslas más de cerca. En primer lugar mostrarán que a esta hora del día en condiciones de invierno en el hemisferio septentrional, existe un claro mínimo en las condiciones sobre América del Norte occidental, donde todavía es de noche, y sobre Siberia oriental, donde las condiciones nocturnas son inminentes o ya presentes. En el hemisferio meridional, los días son tan largos en esta época del año que no hay un mínimo claro y la frecuencia mínima es mucho más alta que la hallada en el hemisferio septentrional.

En segundo lugar, vemos un rápido aumento de las frecuencias máximas utilizables sobre el Atlántico occidental y el área del Caribe, donde las isocurvas están más próximas entre sí. El tiempo en esta posición es alrededor de 4 horas más temprano que mediodía y las 8 en la época invernal marcan el amanecer en las latitudes septentrionales y la madrugada en los trópicos (dicho sea de paso, una carta horaria del mundo resultará útil en la predicción de onda corta).

El mismo efecto, aunque en orden contrario, puede observarse en el litoral de la China, donde tiene lugar una disminución relativamente rápida de las frecuencias máximas utilizables. Las 12 horas GMT serán aproximadamente las 7 u 8 de la tarde, hora local, en la parte del litoral chino ahora considerada y así podemos observar esta rápida disminución de las frecuencias máximas utilizables después de la puesta del Sol local.

Como los días se van haciendo más cortos a medida que se viaja más hacia el norte en esta época del año, es evidente que las frecuencias máximas utilizables y el período del día durante el cual ocurren, van siendo menores a medida que las latitudes son más altas, donde el Sol ocupa posiciones cada vez más bajas sobre el horizonte. Una comprobación del mapa nos lo confirmará: existe una diferencia de 10 MHz enteros de FMU-capa F<sub>2</sub>-4000 km entre Europa occidental y la parte más septentrional de Europa: 30 MHz contra 20 MHz al mediodía GMT.

El efecto del período diurno también puede deducirse de esta carta de isocurvas, por lo menos aproximadamente. Como Ud. sabe, el período diurno en el ecuador es siempre más o menos igual a 12 horas, así como el período nocturno. En las latitudes septentrionales, los días son más cortos en esta época del año. La configuración de las isocurvas proporciona una clara indicación. Tomemos por ejemplo la isocurva de 20 MHz, que indica una clara frecuencia diurna. Corta la línea de 50 grados del trópico de Cáncer en dos puntos. El período entre estos dos puntos, el período aproximado de luz diurna, es de unas 8 horas, porque sobre el Atlántico cerca de New Foundland, el tiempo está retrasado 3 horas con respecto al GMT, y sobre Asia, y norte de la India, el tiempo lleva unas 5 horas de adelanto sobre el GMT.

NOTA: un examen detenido de la carta suscitará aún algunas preguntas tales como la explicación de una región de 35 MHz sobre el hemisferio septentrional, en tanto que el sol está perpendicular sobre el hemisferio meridional. Para esclarecer tales fenómenos, se necesita un enfoque más científico del asunto, pero éste se sale del propósito de nuestro curso.

#### Lección 7 Predicción práctica de la propagación: 2 - Resultados.

En la lección anterior hemos visto bien una versión simplificada de una carta de isocurvas del mundo, que nos permitía saber algo de las condiciones ionosféricas en un momento dado. Para otras horas se dispone de otras cartas, que juntas cubren el período entero de 24 horas. Así, pues, si deseamos establecer una comunicación en onda corta en otra hora, habremos de mirar otra carta y si una radiodifusión dura una o varias horas, tenemos que comparar más de una carta, porque la emisión se suele hacer con las mismas frecuencias. Sin embargo, podemos imaginar cómo será la carta para 1400 Hora GMT. No habrá muchos cambios en las propias curvas, pero, ciertamente el diagrama completo se habrá desplazado hacia el oeste debido a la rotación de la Tierra - mejorando las condiciones para el área atlántica gracias al aumento de las frecuencias máximas utilizables. Por otro lado, una mayor parte de Asia se encuentra ahora en la oscuridad y las condiciones corresponderán a las frecuencias máximas utilizables más bajas.

Echemos ahora un vistazo a algunos circuitos verdaderos a las 1200 Hora del Meridiano de Greenwich. En el mapa verá gruesas líneas negras trazadas entre Europa y Australia, Africa, América del Sur y del Norte. Las líneas son curvas, pero siguen la trayectoria llamada de círculo máximo (la línea de unión más corta posible) sobre el mundo. La curvatura se debe al método de proyección elegido para el mapamundi, como puede comprobarse fácilmente con un globo terráqueo.

---

En las líneas del circuito (las líneas curvas que acabamos de describir) hemos marcado los puntos de control (indicados por la letra C); están situados a 2000 km del transmisor y a 2000 km del receptor. Las condiciones ionosféricas en estos puntos de control determinan la frecuencia más alta que puede utilizarse en el circuito. Pasemos a considerar un par de ellos. Primero, un circuito sencillo: de Europa a África. Como puede ver, el punto de control meridional puede reflejar frecuencias hasta 30 MHz y el punto de control septentrional las frecuencias hasta de 34 MHz aprox. No hay inclinaciones importantes entremedias en la FMU, así que cabe decir que, para este circuito puede usarse la banda de frecuencias de onda corta más altas, 25 MHz. Ahora bien, si fuera utilizada a esta hora del día (mediodía), tendría Ud. una mejor probabilidad sintonizándolo a 21 MHz, porque el número de receptores equipados con la banda de 25 MHz (11 metros) no es muy grande (pero esto es un asunto completamente distinto). El enlace de Europa a América del Norte o viceversa es más complicado. El punto de control "europeo" puede reflejar 25 MHz, el "americano" sólo 15 MHz. Por lo tanto, tenemos que elegir nuestra frecuencia de trabajo por debajo de 15 MHz. ¡12 MHz convendrían muy bien!

Para América del Sur las condiciones son mucho mejores, gracias a la mayor duración del día en esta región. Como verá, el circuito entero se halla en el hemisferio diurno y puede usarse la frecuencia de 25 MHz.

El enlace Europa-Australia o Australia-Europa es el más largo de la serie. Un vistazo a los puntos de control deja ver que ambos pueden reflejar convenientemente los 21 MHz (13 metros) pero una observación más detenida de este (largo) circuito permite ver que éste toca, en alguna parte sobre Asia, a la isocurva de 20 MHz.

Aquí tenemos un ejemplo donde las condiciones en los puntos terminales de control no son suficientes para determinar la frecuencia de trabajo. Tenemos también que considerar los otros puntos de reflexión del circuito y tener en cuenta que las propiedades reflectoras del punto con la FMU más baja determinan la frecuencia que podemos utilizar en el circuito.

Volvamos a la figura 10, que muestra las propiedades del circuito completo para tres de los circuitos tratados hasta ahora. La frecuencia aparece indicada en el eje vertical y el tiempo en el horizontal. Aunque los resultados publicados aquí están deducidos de predicciones puestas al día, las diferencias con nuestra carta simplificada de isocurvas al mediodía son notablemente pequeñas. Mire la intersección de la gráfica de Australia con la línea para 12 GMT y encontrará la frecuencia de 22 MHz como la más alta a utilizar, pero una hora más tarde (13 GMT) la frecuencia máxima utilizable ya ha decaído a 18 MHz a causa de los cambios en las condiciones sobre Asia.

Para Nueva York (costa oriental de América del Norte) observamos un aumento brusco de la FMU, por ejemplo, entre 10 y 12 GMT, y una "cresta" relativamente aguda con un máximo en 14 GMT, que decae rápidamente después de las 17 GMT debido al período de luz diurna más corto.

Estas gráficas se pueden confeccionar utilizando las cartas de isocurvas para diferentes horas y nos dan las frecuencias máximas utilizables. Hasta aquí no habíamos definido la frecuencia máxima utilizable, pero es necesario hacerlo porque es la frecuencia que proporciona comunicación satisfactoria durante (solamente) el 50% del tiempo. Normalmente, las emisoras de onda corta quieren incorporar un mayor factor de seguridad para la recepción y seleccionan una frecuencia de trabajo que está claramente por debajo de la FMU (es decir, el 85% de la FMU, la llamada "frecuencia óptima de trabajo"). Así, si la FMU es de 22 MHz, la primera banda "segura" para la radio-difusión de onda corta es la primera por debajo de  $0.85 \times 22$  MHz. Esta resulta ser la banda de 17 MHz.

Lección 8    Predicción de usted mismo

En nuestras lecciones anteriores hemos explicado varias trayectorias de transmisión con ayuda de una carta de isocurvas. Esta fue útil para explicar las cosas, pero para la determinación práctica del circuito tenemos necesidad de un nuevo juego actualizado cada mes, lo que resultaría costoso. Sin embargo, para que pueda efectuar Ud. su propia predicción, basta utilizar el conocimiento adquirido en las lecciones anteriores, de preferencia en combinación con un mapa horario mundial y un globo terráqueo.

Para hallar la banda de frecuencias en que funciona más probablemente una emisora, debemos tener presente lo que sigue:

1. Sobre el globo debemos unir las posiciones geográficas del transmisor y del receptor con un trozo de cinta o cordón. Determinaremos los puntos de control, situados en la trayectoria a 2000 km tanto del transmisor como del receptor. Las propiedades reflectoras de estos puntos determinarán ahora (si la trayectoria no es demasiado larga) la frecuencia máxima utilizable.
2. Para hallar la frecuencia más alta todavía reflejada en los puntos de control con incidencia oblicua, debemos determinar ahora la hora del día o de la noche para los mismos mientras dura la transmisión. Básicamente tenemos tres posibilidades:
  - a) La totalidad de la trayectoria está en el hemisferio diurno. En este caso, la frecuencia pronosticada será más bien alta, porque la ionosfera está sometida a la radiación directa del Sol.
  - b) La trayectoria entera (de punto de control a punto de control) está en el hemisferio nocturno. En este caso la frecuencia pronosticada será más baja.
  - c) Uno de los puntos de control está en el hemisferio diurno, y el otro en el nocturno.
3. La estación prevaleciente desempeña un papel importante, porque determina los períodos de día y de noche. Como hemos visto, la influencia de la temporada sobre la duración del período diurno aumenta con las latitudes más altas.
4. La actividad de las manchas solares. El mejor método es comenzar desde una actividad media en manchas solares ( $R = 70$ ), y añadir 2,5 MHz al final del cálculo cuando la actividad solar es alta (1968-1969) o substraer 2,5 MHz cuando dicha actividad solar es baja (1973-1976).

Veamos ahora algunos ejemplos prácticos. Primeramente la trayectoria Sydney-Wellington (Australia-Nueva Zelanda). Sólo hay un punto de control, situado sobre el Océano Pacífico precisamente a medio camino.

Hora del día: 12 GMT, enero. A esta hora, en el punto de control serán las 11 p.m. hora local. Por lo tanto, condiciones nocturnas. A enero le corresponde el verano en el hemisferio meridional. Los días son largos y las noches son cortas, así que el grado de ionización de la capa F<sub>2</sub> es todavía bastante alto, tanto más porque el período de oscuridad no ha durado más que pocas horas. Teniendo estos factores en consideración, podemos predecir con seguridad una FMU-F<sub>2</sub>-4000 km de algo más de 20 MHz. Como la longitud de la trayectoria es de unos 3000 km - lo que significa que el ángulo de incidencia tiene que ser un poco mayor que para un salto de 4000 km - es seguro predecir el uso de 17 MHz a esta hora. Quedará claro que esta frecuencia no durará durante toda la noche, puesto que la ionización de la capa F<sub>2</sub> tiende a deteriorarse lentamente. A las 3 de la mañana, los 15 u 11 MHz valdrán para la actividad media de manchas solares en esta baja latitud (sur) de 37 grados, pero durante el invierno y durante los números más bajos de manchas solares, la FMU decaerá bien por debajo de 11 MHz.

---

Nuestro segundo ejemplo se refiere a una trayectoria norte-sur que cruza el ecuador: de Nueva York ( $41^{\circ}\text{N}$ ) a Buenos Aires ( $35^{\circ}\text{S}$ ). Suponemos una baja actividad de manchas solares y que establecemos las comunicaciones a las 02 GMT en junio. Primeramente determinaremos los puntos de control. La hora del día para ellos es aproximadamente las 9 p.m. y es verano en el hemisferio septentrional. Era de esperar que la FMU sería determinada por el punto de control meridional, que sería el más bajo, pero debido a la baja latitud del punto de control meridional, que es aproximadamente  $16^{\circ}$  sur sobre Brasil, donde cayó la noche hace unas 4 horas, existe cierta esperanza de que servirán los 20 MHz. En razón del bajo número de manchas solares, substraemos 2,5 MHz, quedando 17,5. Después de tener en cuenta el nivel de seguridad, predecimos 15 MHz como máximo, u 11 MHz para este enlace.

Para dar una idea del deterioro ulterior de la FMU para esta trayectoria: a las 0400 GMT será de unos 14 MHz y a las 0600 GMT se habrá reducido a 12 MHz. (Por lo tanto una frecuencia óptima de trabajo de 9 MHz.)

Un ejemplo final: de Marruecos ( $34^{\circ}\text{N}$ ,  $7^{\circ}\text{O}$ ) a Singapore ( $2^{\circ}\text{N}$ ,  $104^{\circ}\text{E}$ ). La hora se elige de modo que hay un transitorio día/noche entre los puntos de control.

Hora: 1800 GMT

Estación: equinoccio (Marzo/Abril o Septiembre/Octubre).

Número de manchas solares: 70 (valor medio).

Punto de control septentrional: 35 MHz aprox.

Punto de control meridional: 26 MHz aprox.

#### Preguntas:

Sírvase remitirnos sus respuestas a las siguientes preguntas con objeto de obtener las siguientes cuatro lecciones. Si tuviera alguna pregunta que hacer por sí mismo, escríbala en una hoja aparte de papel, que debe llevar también su nombre y dirección.

1. ¿Cuál es la influencia de la rotación de la propia Tierra y qué fenómenos periódicos son causados por la órbita terrestre alrededor del Sol?
2. ¿Qué sería más útil desde el punto de vista de la propagación: un transmisor de onda corta en los trópicos o uno en el polo Sur? Sírvase explicarlo brevemente.
3. Véa la figura 9. Indique sus predicciones para las trayectorias: Bonaire-San Francisco y Bonaire-Nueva York como muestran las líneas de puntos al mediodía GMT, en Enero ( $R = 70$ ) por lo tanto de acuerdo con el diagrama de distribución de la figura. También señale las predicciones para las 1400 GMT.
4. Haga la predicción para la trayectoria Marruecos-Singapore a las 1800 GMT, en Diciembre, la actividad de las manchas solares es baja ( $R = 5$ ).

Las respuestas correctas a todas las preguntas serán enviadas a quienes completan el curso. Sírvase guardar una copia de sus respuestas para poderlas comprobar.

CURSO DE PROPAGACION DE ONDA CORTA

Lección 9 Pérdidas de señal entre transmisor y receptor

Recopilador: J. Vastenhoud

Hasta ahora hemos concentrado nuestros esfuerzos en determinar la frecuencia más alta posible para un circuito: la FMU (frecuencia máxima utilizable), que proporciona comunicación segura durante el 50% del tiempo, y la FOT (frecuencia óptima de trabajo), que se dice que lo es durante el 90% del tiempo.

Ahora bien, ¿por qué esforzarse tanto por las altas frecuencias de onda corta? El observador casual podrá percatarse de que cualquier frecuencia de onda corta bien por debajo de la frecuencia máxima utilizable podrá servir y que tendrá la ventaja adicional de proporcionar comunicación segura durante todas las estaciones y actividades de manchas solares. Eso resultaría demasiado optimista. La selección de frecuencias no está limitada en el lado superior del espectro de onda corta, sino también en el lado inferior. No sólo hay una frecuencia máxima utilizable, sino también una frecuencia mínima utilizable que es característica para cada trayectoria y cada estación del año. Examinemos esta cuestión con más detalle.

Aparte de las pérdidas de señal, tienen lugar en los extremos transmisor y receptor debidas a falta de adaptación, pérdidas en la antena, etc. se produce una considerable pérdida de energía en el espacio en su camino desde el transmisor al receptor. La señal total que llega a la antena receptora, después de reflejarse contra la ionosfera, está compuesta de señales individuales que han seguido diferentes trayectorias. Durante su viaje, ha estado sometida a diferentes clases de pérdidas de trayectoria. Primeramente, existe lo que se llama dispersión en proporción inversa al cuadrado de la distancia, causada simplemente por la dispersión de energía desde un punto (la antena transmisora). Para limitar la dispersión innecesaria, la mayoría de las emisoras de onda corta usan antenas de haz, que tienen la propiedad de dirigir la energía dentro de un ángulo horizontal relativamente pequeño (20 a 30 grados), justamente suficiente para cubrir el área objetivo. El uso de una antena direccional proporciona ganancia de señal en la dirección preferida, pero no afecta al efecto de difusión: simplemente la misma cantidad de energía "llena" un área más amplia a medida que llega más lejos del transmisor (véase la fig.11).

La segunda fuente importante de pérdida de señal es la absorción en la ionosfera. Esta absorción tiene lugar principalmente en la región D a alturas entre 50 y 80 km, y la cantidad es proporcional a la longitud de la trayectoria en la capa: cuanto más larga es la trayectoria, tanto mayor es la absorción. Esto significa que la absorción aumenta en función del número de saltos y, por lo tanto, también con la distancia que media entre el transmisor y el receptor. En las latitudes medianas (40° - 70°), podemos añadir que la cantidad de absorción por salto depende de factores tales como el número de manchas solares, el ángulo de elevación del haz (que depende de las características de la antena transmisora), de la frecuencia, y de la hora del día. Para ser más exactos: la absorción aumenta con el grado de ionización de la región D y con la actividad creciente de las manchas solares; las frecuencias bajas son más susceptibles a ello que las frecuencias altas, y cuanto mayor es el salto, más absorción puede esperarse debido a una baja elevación de la señal. En las regiones tropicales, la influencia de la absorción tiende a ser mayor que en las latitudes más altas. La absorción en esa región está influida también por la variabilidad del perfil de la capa F y otros factores.

---

En tercer lugar: las reflexiones terrestres que ocurren cuando la señal está tocando la tierra entre reflexiones ionosféricas toman unos 2 dB, es decir, el 20% por reflexión.

Y, como cuarta causa de la pérdida de señal, existe siempre la dispersión de la señal, que tiene lugar al penetrar en las capas ionosféricas. La cantidad de dispersión dependerá del grado de ionización de las capas penetradas y será inversamente proporcional a la frecuencia utilizada (cuanto más alta es la frecuencia, tanta menos dispersión se produce).

Estos factores determinan lo que recibe el nombre de frecuencia mínima utilizable para un circuito. Es posible disponer de una representación gráfica de esta frecuencia en el diagrama de FMU (fig. 12), para un circuito determinado y también ciertas disposiciones referentes a la potencia efectiva radiada de la antena transmisora. Sin embargo, la condición de que la absorción decrece al aumentar la frecuencia es importante para las emisoras de media y baja potencias, porque cuanto más alta es la frecuencia, tanta más señal puede situarse en el área de recepción con la misma PER (potencia efectiva radiada). Obsérvese que la FMU para este circuito en pleno verano no alcanza el mismo alto valor que tiene en invierno. La explicación de esto es que en invierno (noviembre-febrero), el Sol está unos 5 millones de kilómetros más cerca de la Tierra que en el verano.

En condiciones favorables la frecuencia mínima utilizable puede llegar a ser tan alta que toque o sobrepase la frecuencia máxima utilizable. En estas condiciones no es posible la comunicación en onda corta. Dichas condiciones pueden presentarse en algunas largas trayectorias, donde los transitorios día-noche reducen la FMU, en tanto que en largas partes de la trayectoria en el hemisferio diurno aumenta la frecuencia mínima utilizable.

#### Lección 10      Desvanecimiento y ruido

Nos consta que todo oyente de onda corta ha experimentado el efecto llamado "fading" (desvanecimiento): el reforzamiento y debilitamiento de las señales de onda corta debido a cambios en la intensidad de campo instantánea en el extremo receptor. Esto puede ser causado por varios fenómenos ionosféricos, algunos de los cuales son bastante difíciles de explicar y otros que son prontamente comprendidos. El tipo de perturbación se suele posponer a la palabra "fading" con objeto de indicar la fuente o el efecto y, así hablamos de fading por interferencia, fading por absorción, fading por salto, fading por polarización, fading por trémolo y fading selectivo.

Nos ocuparemos seguidamente de las causas y características más importantes.

Hablando en términos generales, el fading depende de la frecuencia: es más rápido en las frecuencias altas que en las bajas. A veces, este efecto es tan fuerte que la banda lateral inferior de una señal de onda corta se desvanece más lentamente que la banda lateral superior. Esto provoca una distorsión del sonido que generalmente se conoce como "fading selectivo". Naturalmente, puede ocurrir solamente en el caso de las emisoras con doble banda lateral (una de las ventajas de la banda lateral única sobre AM normal), como prácticamente son todas las emisoras de radio-difusión en onda corta. El fading por salto puede ocurrir cuando la frecuencia máxima utilizable disminuye en función del tiempo, como ocurrirá cuando hay un transitorio día/noche durante el tiempo de transmisión. En un momento dado, las propiedades reflectoras disminuyen tanto que la señal queda estable, comienza a desvanecerse y se vuelve errática, una situación susceptible de continuar por corto tiempo, después de lo cual las señales desaparecen enteramente.

El fading por interferencia es bastante general y es causado por señales que son radiadas en el mismo momento y que llegan a la antena receptora en momentos ligeramente diferentes (diferencias de fase). Como la impresión de la señal en la antena es el resultado de muchas ondas, es evidente que -debido a la diferencia de tiempo- se pueden amplificar o debilitar unas a otras, y el efecto es una señal fluctuante.

Este tipo de desvanecimiento es causado por pequeñas irregularidades en la densidad electrónica de la capa reflectora y puede comprenderse más fácilmente si tenemos presente que un haz de radio-ondas no se refleja en un solo punto de la ionosfera, sino sobre una extensa región. Después de la reflexión, se mezclan las ondas de alto y bajo ángulo, pero se conservan las ondas individuales, que producen señales individuales de antena.

El fading por interferencia y el fading por polarización tienen un ciclo de desvanecimiento relativamente rápido: puede variar entre una fracción de segundo y varios segundos. Llegará a ser grave cuando las ondas terrestre y ionosférica sean comparables.

El fading por trémolo, el tipo mencionado en último lugar, se le llama así debido a la alta velocidad de fluctuación de la señal: entre 10 y 100 Hz (períodos por segundo). Es observado con mayor frecuencia cerca de las regiones polares (zonas aurorales) y también en las señales que han cruzado el ecuador.

En la propagación de las ondas ionosféricas hay siempre presente fading en un grado mayor o menor. De acuerdo con el estado de la ionosfera, puede ser profundo o superficial, rápido o lento. El fading profundo ocurre especialmente cuando la frecuencia está demasiado cerca de la FMU de la trayectoria. El fading tiene entonces una influencia adversa sobre la calidad de la recepción y, por consiguiente, se especifica en los informes de recepción.

#### Ruido

Para concluir esta lección algunas palabras sobre el ruido y, por supuesto, nos referimos al tipo de ruido de radio que es de consideración importante en la propagación de onda corta: el ruido radio-atmosférico, que se debe principalmente a las descargas eléctricas durante tormentas, cuyas radio-emisiones se propagan a lo largo de las líneas descritas en lecciones anteriores. Como las tormentas ocurren más frecuentemente sobre zonas terrestres, aquí hallamos los niveles más altos de ruido. Además, la distribución del ruido sobre la superficie de la tierra depende de la hora del día, de la temporada y de la radio-frecuencia de trabajo. Los valores de ruido son más altos en las áreas terrestres tropicales, pero varían con la estación.

#### Ruido radio-solar (Una forma de ruido radio-galáctico)

El Sol (en calma), que es un cuerpo gaseoso a temperatura muy elevada, radia cierta cantidad de energía en todas las frecuencias que experimentamos como ruido (generado en oscilaciones arbitrarias de los electrones). En condiciones normales, el efecto de esta radiación térmica no es muy grande, pero se suma al nivel general de ruido de la Tierra, especialmente en aquellas regiones donde la radiación solar se deja sentir más fuertemente (el punto subsolar). Cuando se ha puesto el Sol, varias constelaciones del firmamento se suman al nivel de ruido, especialmente a frecuencias por encima de 10 MHz. Este ruido radio-galáctico, junto con el ruido atmosférico, determina el nivel de ruido en lugares más alejados de las áreas edificadas.

NOTA: Se salen del propósito de este curso los ruidos industriales (tráfico, aparatos domésticos) y el producido por el propio equipo de recepción (movimientos de electrones).

---

Lección 11      Las erupciones solares y sus efectos asociados sobre la propagación de onda corta.

Algunos fenómenos asociados con las manchas del Sol tienen una influencia perturbadora sobre la propagación de la radio frecuencia. El más importante de éstos es la erupción cromosférica solar, una "fulguración" que a veces se observa en el Sol en la proximidad de una mancha solar. Se cree que las erupciones solares son creadas por reajustes súbitos del campo magnético en una mancha solar. La energía así generada desprende calor, que puede llegar a verse como un abrillantamiento de los detalles cromosféricos. La erupción solar está asociada con las radio-emisiones de ruido en el margen de frecuencias por debajo de 300 MHz y, además, por las emisiones ultravioletas, de microondas y de rayos X así como de rayos cósmicos, en tanto que el reajuste súbito del campo magnético de la mancha solar provoca la eyección de una nube de materia (partículas).

Sus efectos terrestres pueden interrumpir gravemente la recepción de onda corta. Como la radiación ultravioleta y los rayos X viajan a la velocidad de la luz, así como las radio-ondas emitidas, el efecto directo (simultáneo) es un aumento en la ionización de la capa E y región D que produce una considerable absorción en las señales de RF pasantes y un aumento ocasional en la ionización de la capa F. Las partículas de radiación cósmica son retardadas un poco y caen siguiendo las líneas de fuerza del campo magnético terrestre, causando graves perturbaciones ionosféricas en las regiones polares. El retardo varía de 15 minutos a varias horas. Las partículas más lentas, principalmente protones y electrones, que llegan a la tierra entre 20 y 35 horas después de haberse producido la erupción, causan tormentas magnéticas ionosféricas, siendo las más sentidas en la propagación de RF de todos los efectos provocados por las erupciones solares. En resumen, las dos consecuencias principales de una erupción solar para la propagación de onda corta fuera de las zonas aurorales (polares) son:

perturbaciones ionosféricas súbitas (el efecto directo), y  
tormentas ionosféricas (el efecto retardado).

Primeramente algunas palabras acerca de las perturbaciones ionosféricas súbitas. A veces, las señales de onda corta que pasan por la luz diurna son bloqueadas bruscamente por una absorción anormalmente elevada de la capa D. Esta situación puede durar desde minutos a varias horas y es provocada por un fuerte aumento en la ionización de la región D. La iniciación de esta súbita perturbación ionosférica (SPI) es frecuentemente muy repentina y desaparece gradualmente a medida que la situación ionosférica normal recobra su influencia. El grado anormalmente elevado de ionización de la capa D se debe principalmente a los rayos X blandos. Cuando la SPI está asociada con la actividad solar, es evidente que la probabilidad de que ocurra es mayor al aumentar la actividad de las manchas solares.

La tormenta ionosférica que tiene un grave efecto bloqueante sobre las comunicaciones de onda corta, pudiendo durar desde varias horas a varios días, está relacionada estrechamente con la tormenta magnética. Las tormentas magnéticas son perturbaciones del campo magnético de la tierra y pueden detectarse porque sus componentes varían sobre límites mucho más amplios de lo que suelen hacerlo. Las tormentas magnéticas violentas van acompañadas de uno o varios fenómenos ionosféricos, tales como una depresión de las propiedades reflectoras de la capa F<sub>2</sub>, absorción incrementada de la región D y, ocasionalmente, manifestación de la capa E esporádica.

---

El desvanecimiento de la FMU causado por una reducción de las propiedades reflectoras de la capa F<sub>2</sub> es responsable de la pérdida de señal y así también lo es la absorción incrementada de la región D. Tanto la tormenta ionosférica como la tormenta magnética (y auroras boreales) son resultado del flujo de partículas que llega entre 20 y 35 horas después de la erupción solar.

Para concluir algo acerca del efecto de la radiación cósmica emitida por una erupción solar. Atraídas por el campo magnético de la tierra, dichas partículas se desplazan siguiendo sus líneas de fuerza y, así, tienen su mayor impacto en las zonas aurorales, donde estas líneas de fuerza son perpendiculares a la superficie terrestre. Las señales que viajan a través de estas zonas, que están aproximadamente centradas sobre los polos magnéticos y pueden extenderse hasta 60 grados norte o sur, son muy debilitadas o absorbidas enteramente. Esto recibe el nombre de absorción del casquete polar (ACP). Como la propagación en las regiones polares está sujeta a bastantes complicaciones, y las emisoras de onda corta la evitan dondequiera que sea posible, carece de importancia tratarlas extensivamente. Sin embargo, las ACP son de significado especial para los oyentes en la región norte del continente americano (compruebe algunos circuitos con auxilio de su globo terráqueo).

#### Lección 12 Propagación sobre frecuencias de más de 30 MHz

Durante el período máximo del ciclo de manchas solares que mostró su cúspide en 1959, la actividad solar alcanzó el número "R" de 200, y en estas condiciones extremas las señales procedentes de Europa en 45 MHz pudieron ser identificadas a veces durante el día en Africa del Sur donde, en condiciones normales, la frecuencia máxima utilizable no excede de 35 MHz, incluso durante el período diurno, a excepción de cuando prevalecen condiciones extraordinarias de propagación. En el curso de esta lección nos ocuparemos de algunas de ellas que permiten la comunicación a larga distancia en la banda de frecuencia muy alta (VHF = very high frequency, 30 - 300 MHz).

Las comunicaciones en VHF suelen estar limitadas a la visual. Esto significa que el alcance de una emisora está determinado por la altura de su antena transmisora. Visto desde el mástil de antena, el área de servicio está limitada al horizonte óptico, porque la señal no se refleja en la ionosfera y no sigue la curvatura de la Tierra. (Nota: la distancia cubierta en millas es aproximadamente igual a la raíz cuadrada del doble de la altura de la antena medida en pies  $d = \sqrt{2h}$ ).

A veces, sin embargo, pueden observarse intensas reflexiones de la capa F<sub>2</sub> para las frecuencias muy por encima de la frecuencia máxima utilizable, especialmente en el caso de enlaces que crucen el ecuador. Esta llamada difusión F ecuatorial es causada por irregularidades en la densidad electrónica de la región y su origen es todavía desconocido. El fenómeno fue descubierto por aficionados y se refiere a frecuencias hasta unos 50 MHz.

A altitudes menores se encuentra una forma más regular de difusión ionosférica. Debido a la turbulencia y a los vientos en la región E, irregularidades en la distribución electrónica de esta capa alteran las propiedades reflectoras momentáneas de la misma a una altura de 90 - 100 km aproximadamente, en el hemisferio diurno y a una altura ligeramente mayor durante la noche. Esta condición nos permite establecer un llamado enlace de difusión hacia delante que proporcionará un funcionamiento bastante seguro en las frecuencias comprendidas entre 30 y 60 MHz para distancias hasta de unos 2000 km. El nivel de la señal recibida en los enlaces de difusión suele ser muy bajo, unos 100 dB menos que una radioseñal normal.

El enlace se establece apuntando dos antenas direccionales hacia el mismo punto medio, situado a la altura indicada donde la difusión tiene lugar. (Difusión ionosférica es diferente de ionización troposférica, que se manifiesta principalmente en las frecuencias entre 500 y 4000 MHz).

La capa E esporádica es otro medio para la propagación extraordinaria. Esta capa, que raramente se extiende sobre un área grande, se encuentra a veces a alturas entre 90 y 120 km. Puede ser reconocida por su capacidad para reflejar frecuencias mucho más altas que la capa E normal. Su densidad iónica permite reflejar señales hasta unos 100 MHz. En la proximidad del ecuador, la capa E esporádica aparece generalmente durante el día y en las zonas aurorales suele manifestarse principalmente a la noche. Cuando aparece, posibilita la propagación de las señales de VHF hasta 2000 km. La mayor parte de los manuales sobre propagación dan poca información acerca del origen de estas nubes E<sub>s</sub>, pero se especula acerca de huellas de meteoros, inversiones térmicas y turbulencias en la distribución electrónica (o iónica) a dicha altitud. Naturalmente, el paso de meteoros y meteoritos a través de la atmósfera producen huellas ionizadas a alturas comprendidas entre 80 y 120 km, pero solamente pueden causar reflexiones intermitentes de las señales de VHF, que se extiende de 30 a unos 100 MHz. Se estima que más de un billón de pequeños meteoros entran en nuestra atmósfera a diario, pero sus huellas apenas duran una fracción de segundo. Los meteoros mayores pueden formar huellas ionizadas que duran hasta un minuto, pero son mucho más raros.

Existe cierta periodicidad en la cantidad de incidencia de meteoros a lo largo del año. El número máximo se observa en el mes de junio y en febrero la frecuencia de incidencia es la más baja. Aparte de estos llamados meteoros "esporádicos", también tenemos lluvias de meteoros, que ocurren en fechas fijas, cuando la tierra cruza su órbita (solar) o es alcanzada por ello. Los mejor conocidos son los Arietides y los Perseides en junio, los Acuarides a finales de julio, los Perseides en agosto y los Geminides en diciembre. Los nombres de estas lluvias se derivan de las constelaciones de las cuales parecen manar, por ejemplo, los Geminides parecen venir de la constelación estelar de Géminis, los Leonides de Leo, etc.

La propagación de las señales de VHF por debajo de la frecuencia de 100 MHz aprox. posibilita la recepción a larga distancia de TV y de FM hasta a distancias de unos 2000 km y depende principalmente de las reflexiones de la capa E esporádica que parecen prevalecer poco después de la puesta del Sol en las regiones templadas.

#### Preguntas:

1. ¿Qué factores determinan la frecuencia mínima utilizable?  
¿Qué situación se crea cuando la frecuencia mínima utilizable sobrepasa a la frecuencia máxima utilizable?
2. Cite algunos tipos de fading. ¿Cuál es el tipo más frecuente?
3. Cite algunas causas de perturbación de la propagación de onda corta relacionadas con las erupciones solares.
4. ¿Cuál es la diferencia, desde el punto de vista del oyente, entre las recepciones de la capa E difusora y esporádica?

Al recibo de sus respuestas a estas preguntas recibirá Ud. la lección final (Propagación de las frecuencias de más de 100 MHz), junto con las respuestas correctas a todas las preguntas formuladas en el curso.

---

RADIO NEDERLAND - APARTADO 222 - HILVERSUM - HOLANDA

CURSO DE PROPAGACION DE ONDA CORTA

Lección 13 Propagación de las frecuencias de más de 100 MHz

Recopilador: J. Vastenhoud

En la región de VHF (Very High Frequency = frecuencia muy alta) entre 100 y 300 MHz y en el margen de UHF (Ultra High Frequency = frecuencia ultra alta) entre 300 y 3000 MHz, la propagación de las radio-ondas está limitada principalmente a la línea recta. También al aumentar la frecuencia, aumenta el llamado efecto de sombra: los obstáculos que impiden la visión directa de la antena transmisora desde la antena receptora tienden a causar un debilitamiento considerable de la señal en tanto que, por otro lado, el efecto de reflexiones por estructuras fuera de la visual directa tienden a inducir potentes señales en la antena receptora.

En vista de lo anterior se consideró necesario alterar el carácter de la antena receptora. Hasta 100 MHz se usa generalmente un simple dipolo plegado, pero particularmente en el margen de UHF, las antenas tienen que estar diseñadas para alta ganancia en la dirección hacia delante y una atenuación relativamente rápida de las señales que llegan con ángulos relativamente agudos desviadas del eje principal, porque éstas introducen reflexiones que a su vez provocan las molestas "imágenes falsas" en la pantalla de televisión. La mayor ganancia de la antena de UHF (inherente a la mayor direccionalidad) es una característica favorable ya que las intensidades de señal pueden estar sometidas a considerable desviación de un punto a otro, debido a las reflexiones de irregularidades existentes a lo largo de la trayectoria de transmisión, elevaciones del terreno, árboles, edificios, etc.

Aunque la visual no está limitada necesariamente por el horizonte óptico, el receptor debe ser capaz de "ver" la antena transmisora claramente sobre el horizonte. La razón de esto es que las condiciones atmosféricas variables pueden causar un efecto de flexión en las microondas y porque las reflexiones de las señales que tocan la superficie terrestre pueden provocar considerable fading (el llamado efecto Fresnel). Con las frecuencias ultra altas la distancia al suelo es generalmente una cuestión de decímetros.

A veces, sin embargo, la naturaleza presenta condiciones en que las frecuencias entre 100 y 1000 MHz pueden refractarse en la atmósfera y existen ciertas indicaciones de que las condiciones atmosféricas (tiempo anticiclónico) influyen grandemente en este tipo de propagación extraordinaria. El aficionado a la recepción de las emisoras de TV a gran distancia haría muy bien en adquirir conocimiento práctico de tan importante fenómeno ensayando la recepción de las emisoras de TV más allá del horizonte óptico, que emiten en frecuencias de la banda de VHF muy por encima de los 100 MHz o en las bandas de televisión cuatro y cinco en el margen de UHF. La superrefracción, como se la denomina, predomina cuando el índice de refracción de la atmósfera disminuye mucho más rápidamente al aumentar la altura de lo que es normal. Esto puede causar un llamado túnel atmosférico en que la onda queda atrapada, dando por resultado una extensión de la cobertura a lo largo de la superficie terrestre.

Aparte de la propagación de onda ordinaria en VHF y UHF, también se puede establecer propagación de onda extraordinaria sobre el horizonte óptico en los enlaces de difusión troposférica. En este caso, las intensidades de campo recibidas hasta desde varios centenares de kilómetros más allá del horizonte óptico son muy débiles, pero seguras y relativamente independientes de la frecuencia y de la altura de la antena, aunque pueden ser influenciadas considerablemente por la refracción atmosférica. La propagación por difusión, como se la llama tiene poco valor para el aficionado a la recepción a gran distancia, porque no suele proporcionar suficiente intensidad de señal.

Y con esto hemos llegado al final de nuestro Curso de Propagación de Onda Corta. Esperamos que le haya gustado y que, aparte de la materia adicional tratada en esta última lección haya adquirido usted un conocimiento suficiente de la propagación de onda corta en general, de modo que su actividad de recepción a larga distancia le resulte más fascinante.

NOTA

Más literatura puede encontrarse en muchos libros para radio-oyentes, aficionados y profesionales, por ejemplo:

Ionospheric Radio Propagation, por Kenneth Devis, US Government Printing Office, Washington DC 20402, USA. (Precio aproximado: \$ 3,50).

Radio Amateur's Handbook  
ARRL Newington, Conn. USA (\$5)

Radio Communication Handbook  
RSGB, Doughty St. Londres (24)

RADIO NEDERLAND

Sección Española Iberoamericana

Espacio DX-ista

---

CURSO DE PROPAGACION DE ONDA CORTA

A continuación nos es grato darle las respuestas correctas a las preguntas que le formulamos después de cada cuarta lección. Sírvase comparar estas respuestas con las de la copia que le rogamos guardar, porque ésta es la única manera en que podemos despachar las numerosísimas respuestas recibidas.

Preguntas formuladas al final de la lección 4

- P.1 Cite las capas ionosféricas por debajo de la capa  $F_2$  que desaparecen después de ponerse el sol.
- R.1 Son las capas D y  $F_1$ . La capa E no desaparece completamente.
- P.2 ¿Qué es una mancha solar?  
¿Qué clase de energía escapa por ella?
- R.2 Una mancha solar es visible como un área oscura en el disco solar. Parece oscura, porque su temperatura es más baja que su ambiente, y la caída de la temperatura es ocasionada por fuertes campos magnéticos que penetran en la superficie del sol.
- P.3 ¿Entre qué límites está comprendida la frecuencia de trabajo para una trayectoria elegida?
- R.3 La frecuencia de trabajo se elige normalmente entre la frecuencia máxima utilizable (FMU) y la frecuencia mínima utilizable. La llamada frecuencia óptima de trabajo se define en un 85% del valor de la FMU.
- P.4 ¿Qué sucede cuando se la elige demasiado alta? Y ¿qué, cuando se la elige demasiado baja?
- R.4 En ambos casos no se obtendrá recepción. Si la frecuencia elegida es demasiado alta, la energía penetra en la capa  $F_2$  y escapa en el espacio. Si es demasiado baja, la energía es absorbida a lo largo del trayecto de transmisión.

Preguntas al final de la lección 8

- P.1 ¿Cuál es la influencia de la rotación de la propia tierra y qué fenómenos periódicos son causados por la órbita terrestre alrededor del sol?
- R.1 Las variaciones diurnas (o:diarias) en el uso de la frecuencia son ocasionadas por la rotación de la tierra. Debido al cambio del día en noche y viceversa, cambian también el patrón de las capas ionosféricas y los grados de ionización de estas capas. El uso de las frecuencias de emisoras de onda corta ha de ser adaptado en muchos casos, p.e., cuando la diferencia entre las frecuencias del día y de la noche es grande. La rotación de la tierra alrededor del sol (una revolución al año) es responsable de nuestras temporadas y los cambios de temporada, como pueden observar los asiduos oyentes de onda corta.
- P.2 ¿Qué sería más útil desde el punto de vista de la propagación: un transmisor de onda corta en los trópicos o uno en el polo sur? Sírvase explicarlo brevemente.
- R.2 Un transmisor de onda corta en los trópicos es mucho mejor, porque allí la radiación solar es más constante y más intensa que en las regiones polares. Esta circunstancia es ventajosa para el funcionario de propagación porque puede planificar frecuencias más altas y muchas de ellas pueden ser utilizadas durante todo el año. Otra ventaja de un transmisor situado cerca del ecuador es el hecho de que está más próximo a la mayoría de las áreas a las que van dirigidas las emisiones, que p.e. un transmisor situado en el polo sur.
-

- P.3 Vea la figura 9. Indique sus predicciones para las trayectorias: Bonaire-San Francisco y Bonaire-Nueva York como muestran las líneas de puntos al mediodía GMT, en Enero (R=70) por lo tanto de acuerdo con el diagrama de distribución de la figura. También señale las predicciones para las 14.00 GMT.
- R.3 Bonaire-San Francisco: Ambos puntos de control son capaces de reflejar frecuencias entre 10 y 15 MHz en el 50% del tiempo. Sería correcto predecir y utilizar 9 MHz como la banda de onda corta más apropiada para esta hora, tomando asimismo en consideración un movimiento gradual hacia la izquierda del patrón rojo durante la transmisión. A las 14.00 GMT el gradiente de ionización en los puntos de reflexión ya ha subido algo, debido a la rotación de la tierra alrededor de su eje. Esto se puede controlar más o menos, imaginándose el patrón de líneas rojas de contorno movido un poco hacia la izquierda (fig.9). Una predicción práctica será pues 11 MHz.  
Dos horas más tarde la FMU para este circuito será la misma que para Bonaire-Nueva York.

Bonaire Nueva York: El punto de control mutuo es capaz de reflejar frecuencias de aproximadamente 17 MHz. De nuevo tenemos un acelerado incremento en frecuencias máximas utilizables mientras va avanzando la hora. Consideramos que 15 MHz sería una buena banda, pero también sirve la de 11 MHz, aunque pueda tener la desventaja de ser más sensible a ruido (solar) si la frecuencia permanece por debajo de la FMU.  
A las 14.00 GMT la situación es mucho más favorable. Debido a la rotación de la tierra, el patrón de líneas de contorno se mueve otra vez hacia la izquierda (fig.9) y, - como es de día - queda probablemente sólo algo deformado. En este caso el movimiento de dos horas es  $1/12$  de la circunferencia de la tierra, y por consiguiente  $1/12$  de la anchura de la figura. El punto de control C para la trayectoria Bonaire-Nueva York será entonces por encima de los 25 MHz y la frecuencia pronosticada de 21 MHz.

- P.4 Haga la predicción para la trayectoria Marruecos-Singapore a las 18.00 GMT, en diciembre, la actividad de las manchas solares es baja (R=5).
- R.4 Vea su último ejemplo para la trayectoria Marruecos-Singapore durante la estación de equinoccio con mediana actividad de las manchas solares. En nuestra pregunta la actividad de las manchas solares es mínima y la estación tampoco es favorable: ambos puntos de control se encuentran en la oscuridad. Por consiguiente nuestra predicción será: 6 ó 7 MHz.

#### Preguntas al final de la lección 12.

- P.1 ¿Qué factores determinan la frecuencia mínima utilizable?  
¿Qué situación se crea cuando la frecuencia mínima utilizable sobrepasa a la frecuencia máxima utilizable?
- R.1 La frecuencia mínima utilizable se determina por la absorción en el trayecto desde el transmisor al receptor. La absorción puede evitarse con el uso de transmisores más potentes, pero no siempre. La absorción tiende a incrementar con la longitud del trayecto de transmisión, y cuando la trayectoria tenga lugar (parcialmente) durante el día. La actividad elevada de manchas solares también tiende a incrementar la frecuencia mínima utilizable, igual que el enfoque y el desenfoque. Si la frecuencia mínima utilizable sobrepasa la frecuencia máxima utilizable, para cierta trayectoria no es posible la recepción de onda corta en el extremo de la recepción.
- P.2 Cite algunos tipos de fading. ¿Cuál es el tipo más frecuente?
- R.2 El tipo más frecuente de fading es el fading por interferencia. Otros tipos de fading son: fading selectivo, el fading por salto y fading por trémolo.

- P.3 Cite algunas causas de perturbación de la propagación de onda corta relacionadas con las erupciones solares.
- R.3 Tormentas ionosféricas y perturbaciones ionosféricas súbitas. Las tormentas ionosféricas pueden durar desde algunas horas a varios días, las perturbaciones ionosféricas súbitas desde minutos a varias horas.
- P.4 Cuál es la diferencia, desde el punto de vista del oyente, entre las recepciones de la capa E difusora y esporádica?
- R.4 La propagación difusora tiene por resultado señales extremadamente débiles, mientras que la propagación esporádica de la Capa E no está sujeta a una extraordinaria pérdida de señal. Las señales recibidas a través de propagación de la capa E esporádica son de una potencia normal, distintamente que las señales a través de difusión.

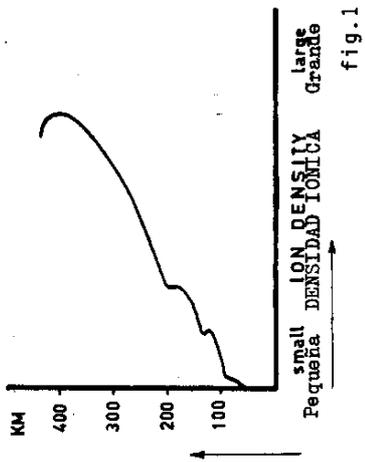


fig.1

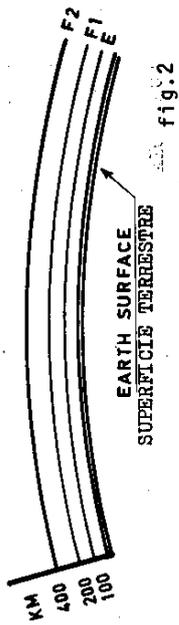


fig.2

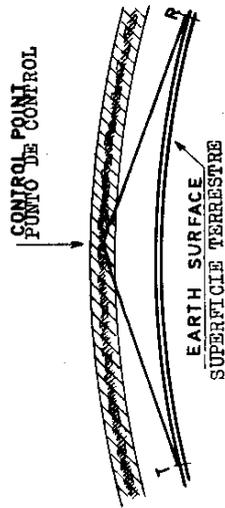


fig.3

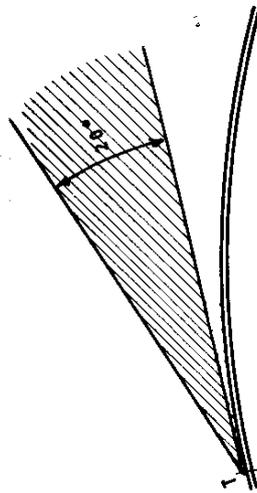


fig.4

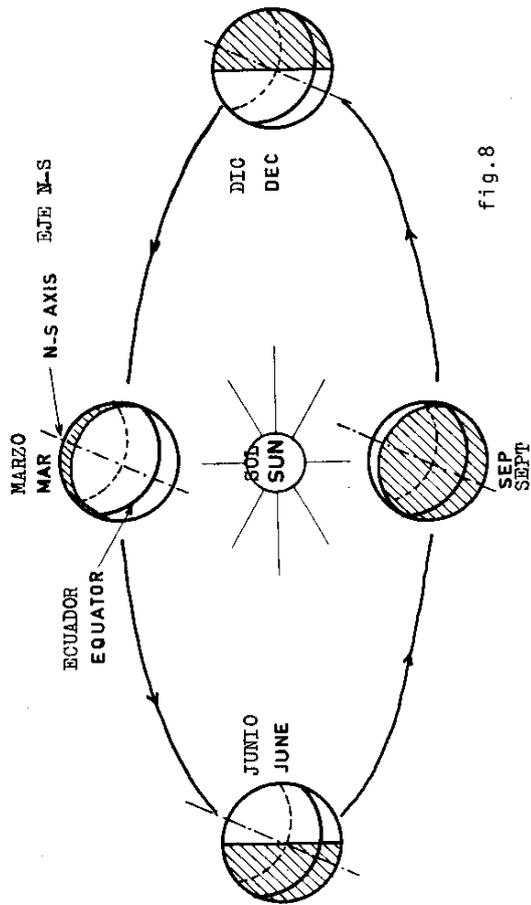


fig.8

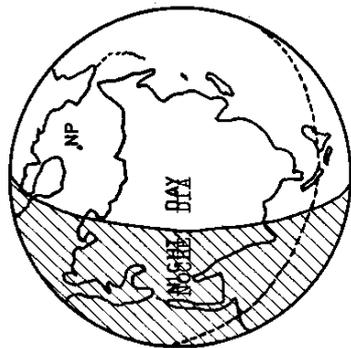


fig.6

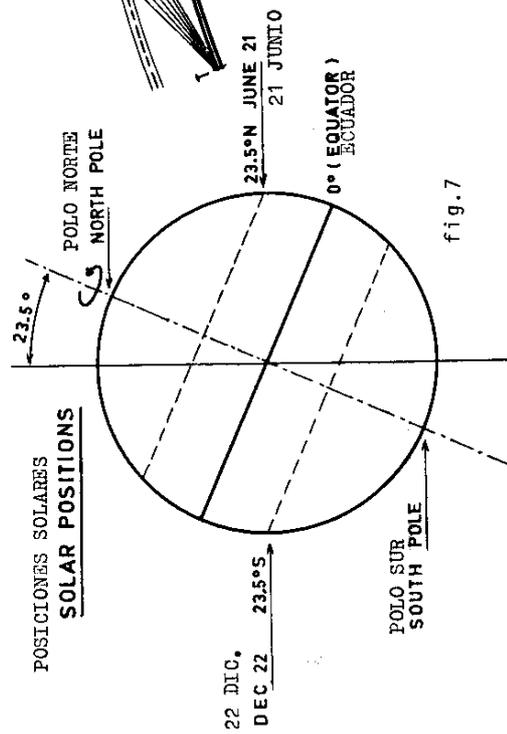


fig.7

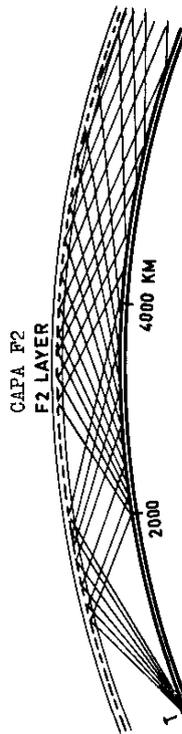
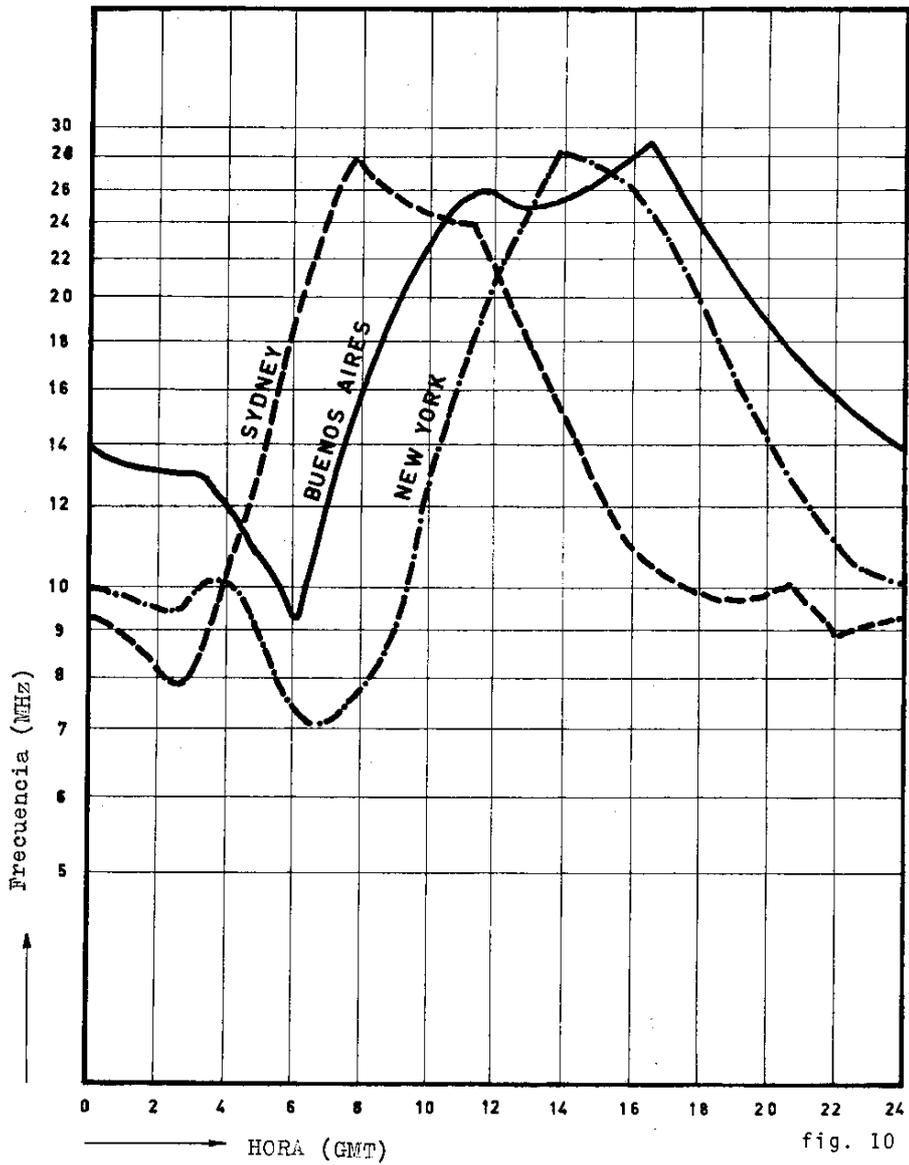


fig.5

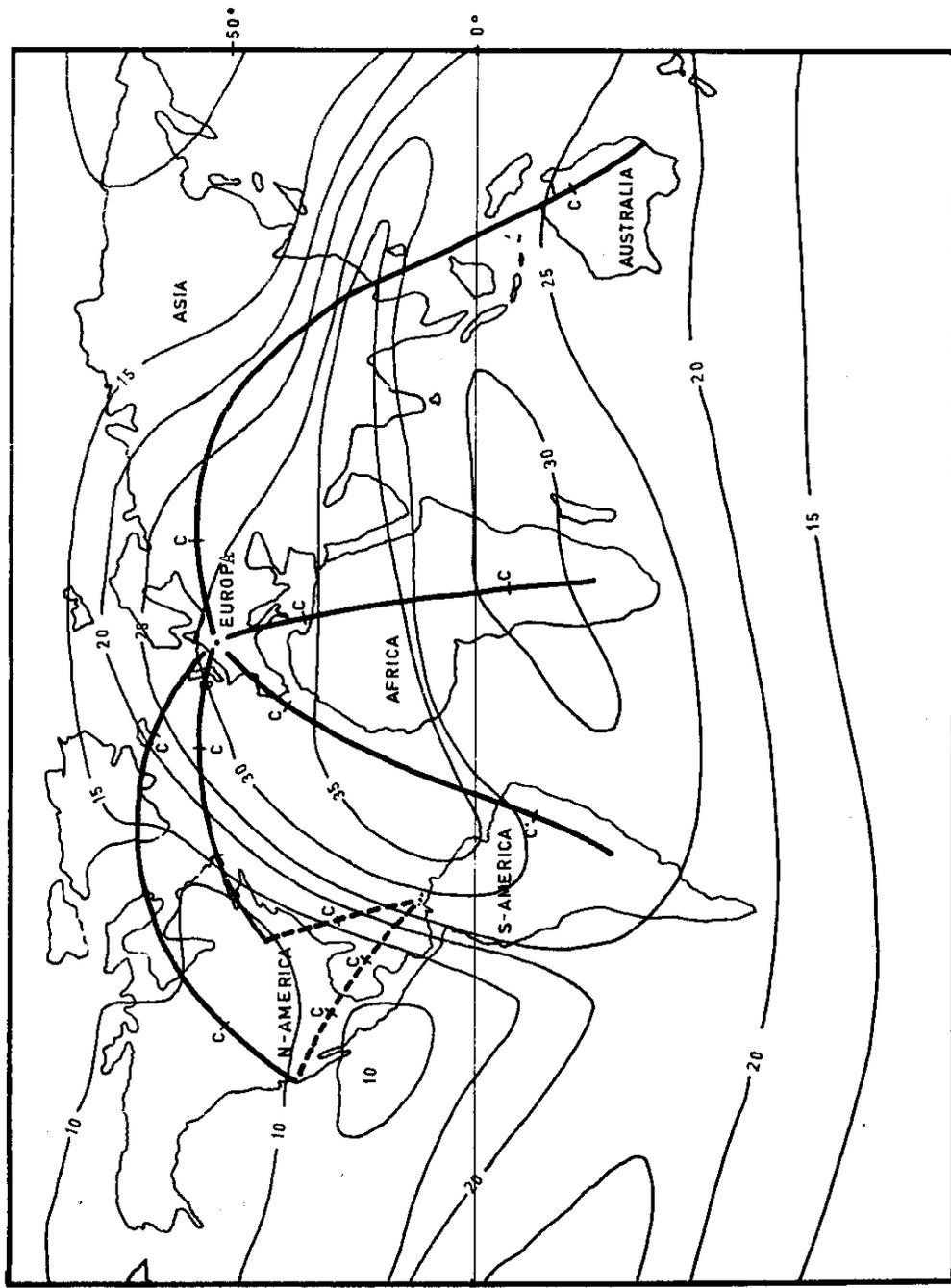
Radio Nederland  
Curso de Propagación  
de Onda Corta

Radio Nederland  
Curso de Propagación  
de Onda Corta

Circuito : Amsterdam - Sydney  
          : Buenos Aires  
          : Nueva York  
No.manchas sol. : 70  
Mes : Enero



Mapa de Isocurvas F<sub>2</sub> 4000 km. MUF en MHz , 12 00 GMT , Enero , No. de manchas solares: 70



Radio Nederland Curso de Propagación de Onda Corta

fig. 9

Radio Nederland  
 Curso de Propagación  
 de Onda Corta

Circuito : Amsterdam - Nueva York  
 Longitud : 5900 Km  
 Número de manchas solares : 80  
 Mes : Junio

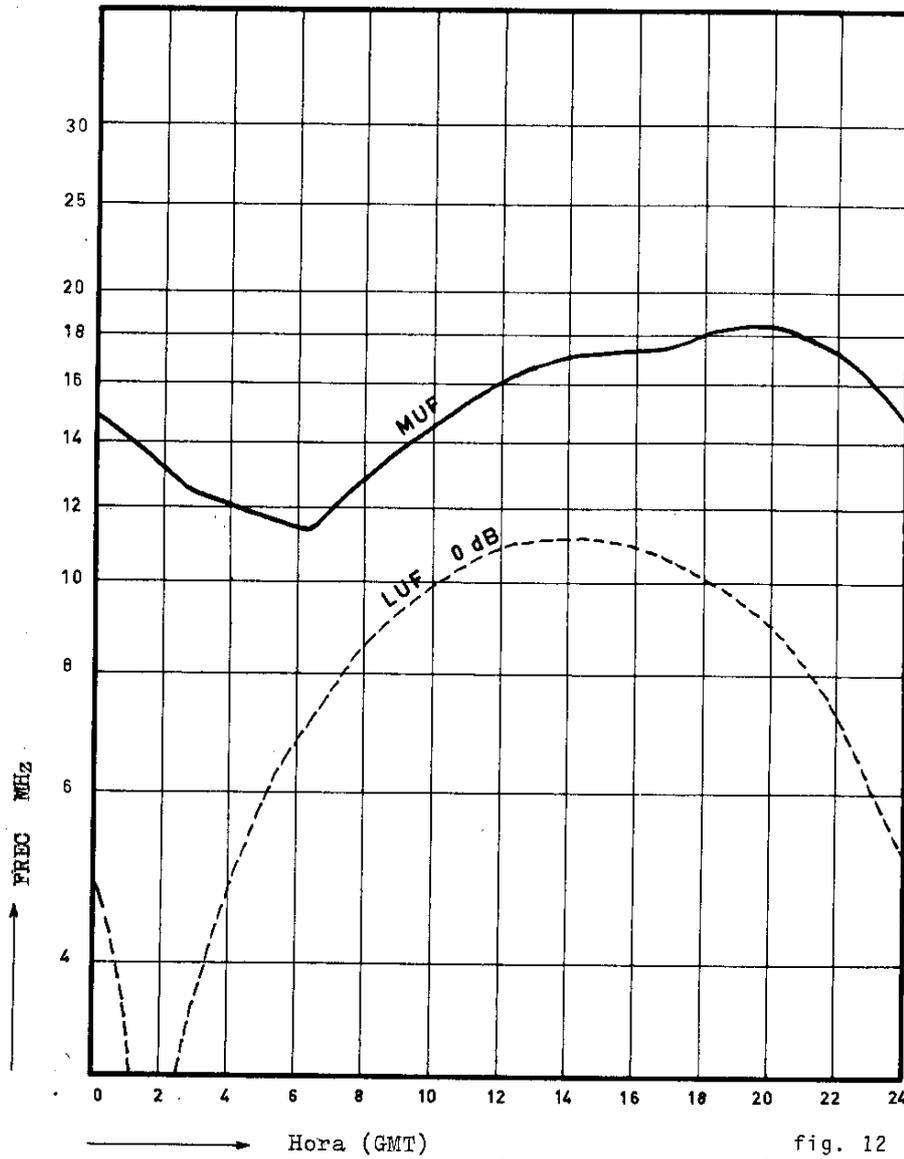
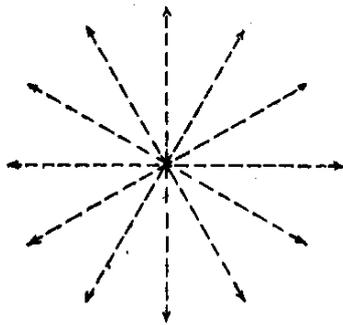


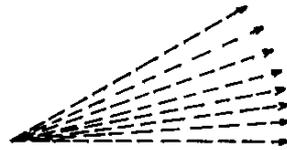
fig. 12

MUF = Frecuencia máx. utilizable  
 LUF = " min. "



Antena omnidireccional

DIFUSION



Antena direccional

fig. 11

Radio Nederland  
Curso de Propagación  
de Onda Corta

---