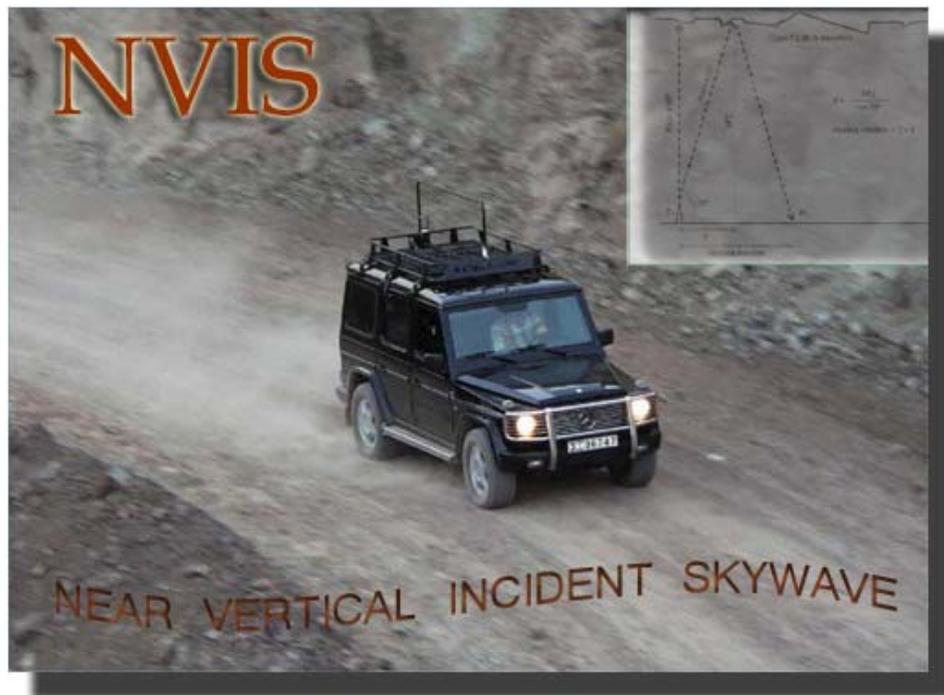


Comunicaciones en HF a corta distancia mediante la onda aérea de incidencia casi vertical (NVIS)

La comisión Tecnológica de FEDERACHI agradece al colega Ismael Pellejero Ibáñez (EA4FSI), autor del presente artículo, por su autorización de permitirnos dejar disponible en nuestro sitio Web la descarga de este documento.

"Comunicaciones NVIS en la banda de HF"



1. Introducción.

Habitualmente, con las radiocomunicaciones en la banda de HF se persigue el establecimiento de enlaces de media o larga distancia (DX), mediante propagación ionosférica. Para ello, se utilizan antenas cuyo diagrama de radiación tiene un ángulo de despegue muy pequeño, del orden de 3° , y frecuencias de cualquier banda inferiores a la MUF (Máxima Frecuencia Utilizable) existente para una distancia determinada.

Los ángulos de despegue reducidos posibilitan que la primera reflexión ionosférica se produzca a una distancia elevada de la estación transmisora, aumentando el alcance de las comunicaciones, con el inconveniente de que esa distancia de salto se convierte en una zona de sombra en la que el

radioenlace no existe, al menos hasta que la onda de tierra se disipe completamente.

Para las radiocomunicaciones a corta distancia normalmente se utilizan frecuencias de las bandas de VHF y UHF, cuya propagación está sujeta principalmente a fenómenos de reflexión, propagación multitrayecto, refracción y difracción, cuyo alcance puede ser desde unos 10 km hasta unos 60 km dependiendo de la orografía, las antenas utilizadas y la potencia de transmisión. Para ampliar el alcance, se utilizan estaciones repetidoras.

Nos encontramos, por tanto, con una zona de sombra que no pueden cubrir los equipos de VHF y UHF por su alcance reducido y que normalmente tampoco pueden cubrir los equipos de HF por las características de sus sistemas radiantes, pensados para el DX. También puede darse el caso del fallo de un repetidor de VHF/UHF que reduzca la cobertura sustancialmente.

Esta zona de sombra puede ser de vital importancia en el caso de las comunicaciones de emergencia, por lo que resulta del máximo interés disponer de sistemas que nos permitan cubrirla. Para ello, podemos emplear un modo de propagación de la banda de HF denominado NVIS (Near Vertical Incidence Skywave, u onda aérea de incidencia casi vertical), profusamente utilizado en entornos militares desde la Segunda Guerra Mundial y generalmente desconocido por gran parte de los usuarios de las bandas de HF.

Para trabajar en NVIS podemos utilizar nuestros equipos de HF estándar.

Como veremos, únicamente deberemos tener en cuenta dos cosas:

- La selección de una frecuencia de trabajo adecuada.
- La utilización de una antena con características NVIS.

2. Fundamentos de la propagación NVIS.

El fundamento de la propagación NVIS se basa en la utilización de antenas que tengan un ángulo de despegue muy elevado, del orden de 70° a 90° , es decir, perpendicular o casi perpendicular al plano de tierra. Al transmitir en HF con una antena de estas características y siempre que la frecuencia seleccionada sea la adecuada, la onda radioeléctrica incidirá en la ionosfera casi verticalmente y se reflejará de vuelta hacia la Tierra con un ángulo de reflexión muy pequeño, permitiendo cubrir esa zona de sombra que tienen los sistemas de HF para DX y los de VHF/UHF.

Para verlo gráficamente con un ejemplo, supongamos que utilizamos una antena NVIS cuyo lóbulo principal de radiación está comprendido entre los 70° y los 90° de elevación sobre el plano de tierra. Nos apoyaremos en la figura 1.

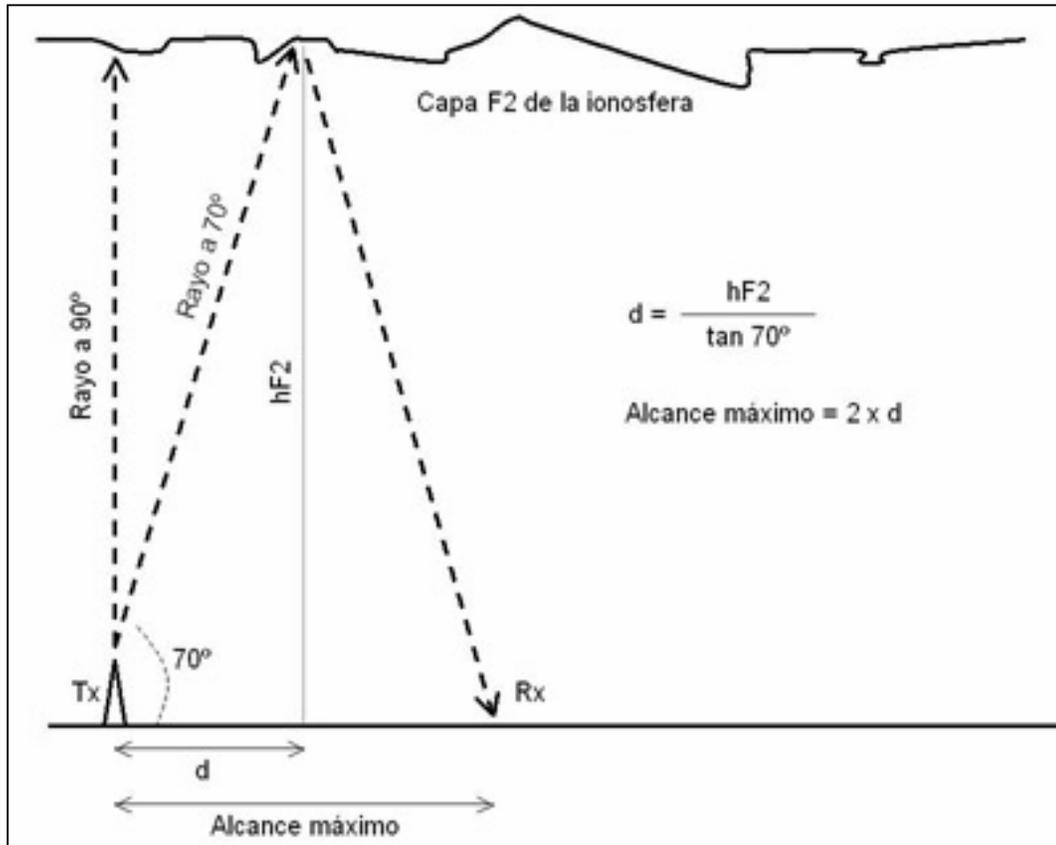


Fig.1. Geometría de un salto ionosférico

La antena NVIS radia en toda la región comprendida entre 70° y 90° de elevación. Por tanto, con la primera reflexión ionosférica, que se produce en la capa F2 de la ionosfera, se cubrirá toda la zona comprendida entre la estación transmisora y un alcance máximo que podemos determinar mediante un sencillo cálculo trigonométrico.

Conocemos el ángulo de elevación del rayo que proporciona el alcance máximo, que es de 70°. Tenemos como incógnita la distancia "d", que es justo la mitad del alcance máximo. Para hacer el cálculo necesitamos un segundo dato, que es la altitud a la que se produce la reflexión en la capa F2. Esta altitud, denominada hF2, está siendo calculada continuamente por estaciones de sondeo ionosférica (ionosondas) ubicadas por todo el planeta y varía principalmente con la hora del día. En la figura 2 se muestran los datos recogidos por el Observatorio del Ebro en Roquetas (Tarragona), durante el día 27 de septiembre de 2008.

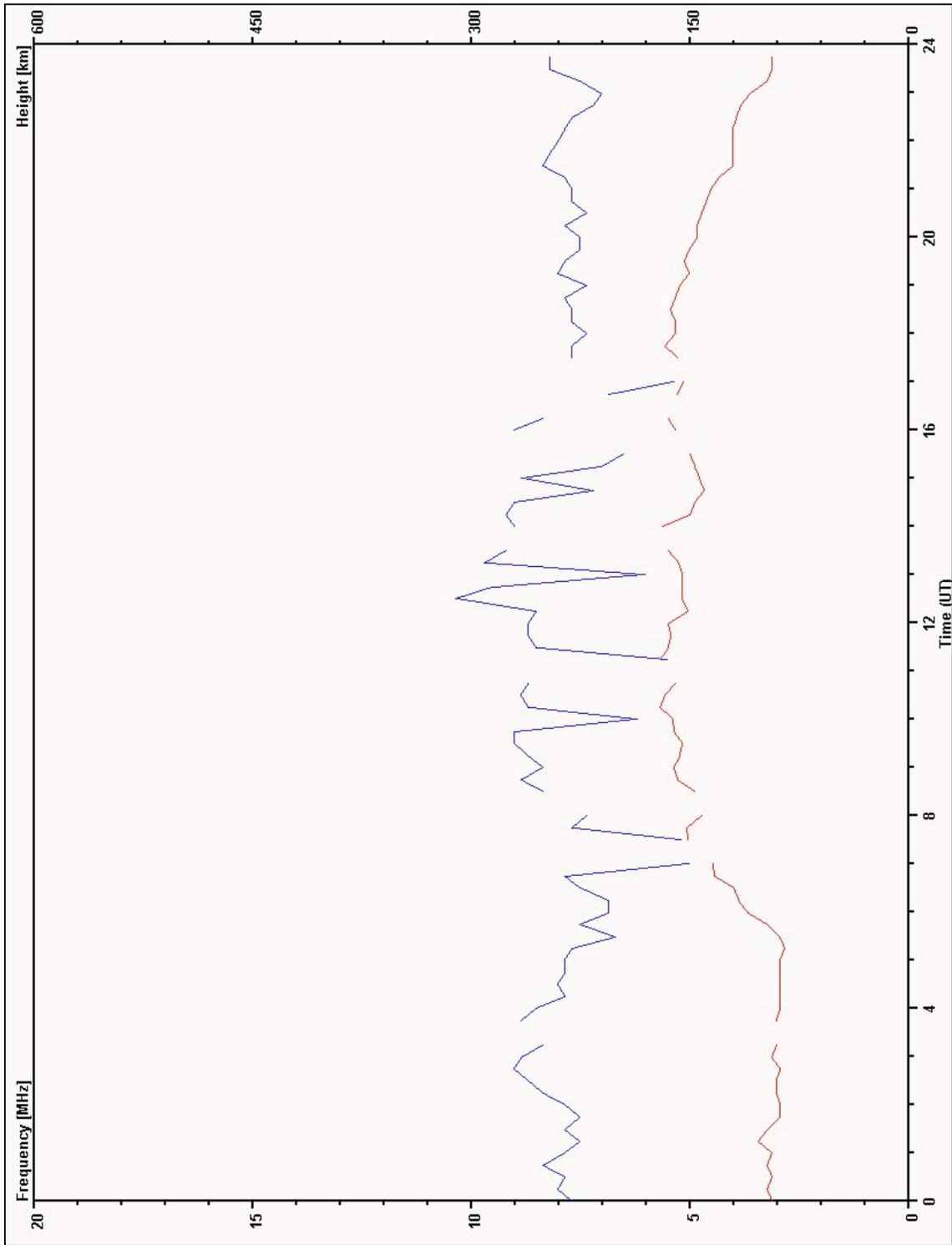


Fig.2. Mediciones de la frecuencia crítica y de la altura de la capa F2.

Para hacernos una idea del alcance, tomaremos los dos valores extremos de hF2 durante esa jornada, a unos 150 km de altitud de noche y 310 km de altitud de día. Durante la noche, las capas F1 y F2 de la ionosfera se fusionan en una única capa F, que también permitirá comunicaciones NVIS.

Llevando estos valores a las fórmulas mostradas en la figura 1, tendríamos alcances máximos comprendidos entre los 110 km y los 225 km. Dependiendo de la época, la hF2 puede llegar a alcanzar hasta los 400 km, lo que nos daría alcances de hasta 300 km con esa elevación del diagrama de radiación de nuestra antena.

Si el diagrama de radiación de nuestra antena NVIS es más ancho y baja, por ejemplo, hasta unos 60° de elevación, el alcance sería aún mayor.

Es decir, nuestro sistema NVIS nos permite establecer comunicaciones en HF en un radio de hasta 300 km alrededor de la estación transmisora, o incluso superior, sin zonas de sombra.

Habitualmente, este tipo de comunicaciones se establecen con un único salto y los niveles de potencia requeridos son mínimos, siendo casi siempre suficiente el empleo de 20W o incluso menos.

3. Selección de la frecuencia de trabajo.

La frecuencia de trabajo es esencial para garantizar una correcta operación en NVIS. Como norma general, deberemos seleccionar una frecuencia un 10% inferior a la frecuencia crítica de la capa F2 de la ionosfera (foF2) en un momento dado.

Es importante no confundir la foF2 con la MUF. La foF2 es la máxima frecuencia que una onda radioeléctrica que incide perpendicularmente en la ionosfera puede tener para que se produzca reflexión. En la MUF se consideran ángulos de incidencia en la ionosfera no perpendiculares, lo que en la práctica significa que existirá una MUF distinta para cada distancia de radioenlace.

Nuestro objetivo será, por tanto, contar con predicciones de la foF2 o, mejor aún, con mediciones en tiempo real de la foF2 realizadas por una ionosonda cercana a la estación transmisora y a una hora también cercana. No olvidemos que la foF2 varía significativamente con la hora del día y que también es distinta dependiendo de la ubicación del transmisor.

Para conseguir este dato, podemos acceder a la página web de Internet del Centro de Investigación Atmosférica de la Universidad de Mass Lowell (Massachusetts, EE.UU.), donde se registran las mediciones de la foF2 (entre otros parámetros) realizadas por ionosondas repartidas por todo el mundo:

<http://ulcar.uml.edu/stationmap.html>

Para el caso particular de España, disponemos de una ionosonda ubicada en el Observatorio del Ebro (Roquetes, Tarragona) y otra ubicada en el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (El Arenosillo, Huelva).

NOTA de la Comisión Tecnológica de FEDERACHI:

Al momento, la única ionosonda cercana que tenemos de la red antes mencionada, y que puede ser consultada vía Internet, es la del Radio Observatorio Jicamarca en Perú (<http://digisonde.igp.gob.pe/cgi-bin/latest.exe?>).

Las estaciones dotadas con ionosondas ofrecen unas gráficas denominadas ionogramas, como el que se muestra en la figura 3.

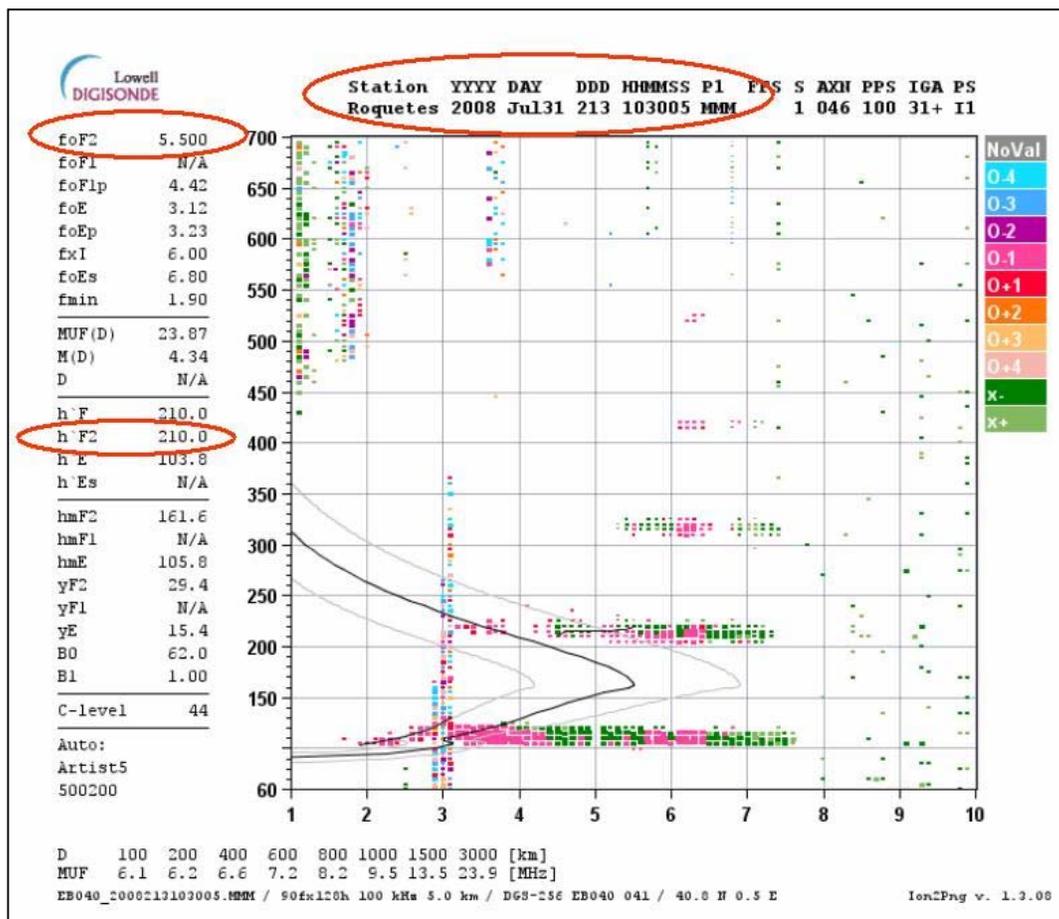


Fig.3. Extracción de la frecuencia crítica foF2 de un ionograma.

En la parte superior del ionograma podemos comprobar la hora de la medición, en este caso “2008 Jul31 213 103005”, es decir, el 31 de julio de 2008 a las 10:30 UTC.

En la parte superior izquierda observamos el valor de la foF2, que en este caso es de 5,500 MHz. Si queremos realizar una predicción del alcance mediante las

fórmulas de la figura 1, también podemos extraer el valor de hF2, que en este caso es de 210 km.

Aplicando la regla del 10%, si la foF2 es de 5,500 MHz nuestra frecuencia de trabajo NVIS óptima sería de 4,950 MHz.

Una vez realizado el cálculo, podemos encontrarnos con el problema de que no tengamos autorización a transmitir en la frecuencia de trabajo NVIS, como puede ser el caso del servicio de radioaficionados, o incluso que esa frecuencia esté ocupada o tenga un nivel alto de ruido o interferencias. En estos casos, seleccionaremos una frecuencia de la primera banda autorizada inmediatamente por debajo de la frecuencia que hemos calculado. En ningún caso deberemos transmitir por encima de la foF2, ya que no se produciría reflexión ionosférica.

4. Antenas NVIS.

Además de seleccionar una frecuencia de trabajo adecuada, el otro punto crítico es disponer de una antena con capacidades NVIS, es decir, que radíe principalmente en la región comprendida entre unos 70° y los 90° de elevación sobre el plano de tierra.

Una opción es adquirir una antena desarrollada expresamente para NVIS, pero hay que tener en cuenta que la mayoría de los fabricantes de este tipo de antenas destinan sus productos a usos militares.

Otra opción es aprovechar algunas de las antenas que utilizamos normalmente en las comunicaciones de HF para DX.

4.1. Antenas para estaciones base.

Existen multitud de diseños de antenas para trabajar en NVIS. Nos centraremos en la antena NVIS para estación base o para operaciones de campo más simple: el dipolo de hilo horizontal (figura 4). El mismo que se utiliza para DX. Como veremos, la clave estará en la distancia a la que debemos instalar el dipolo respecto al plano de tierra.

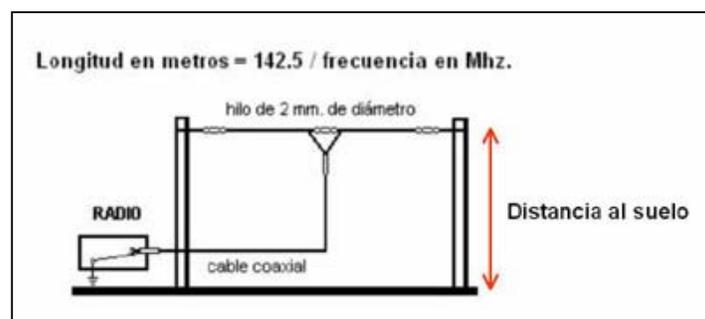


Fig.4.Dipolo de hilo horizontal.

El diagrama de radiación de un dipolo de hilo horizontal es completamente distinto en función de la distancia a la que se instale del plano de tierra, lo que puede comprobarse fácilmente mediante programas informáticos de simulación como NTIA/ITS HF Ant.

En el caso hipotético y teórico de que lo instalásemos a una distancia de una longitud de onda del suelo (nada más y nada menos que a 43 metros si el dipolo es para 7 MHz), el diagrama de radiación en elevación sería como el de la figura 5, presentando dos lóbulos de radiación principales con ángulos de despegue bajos.

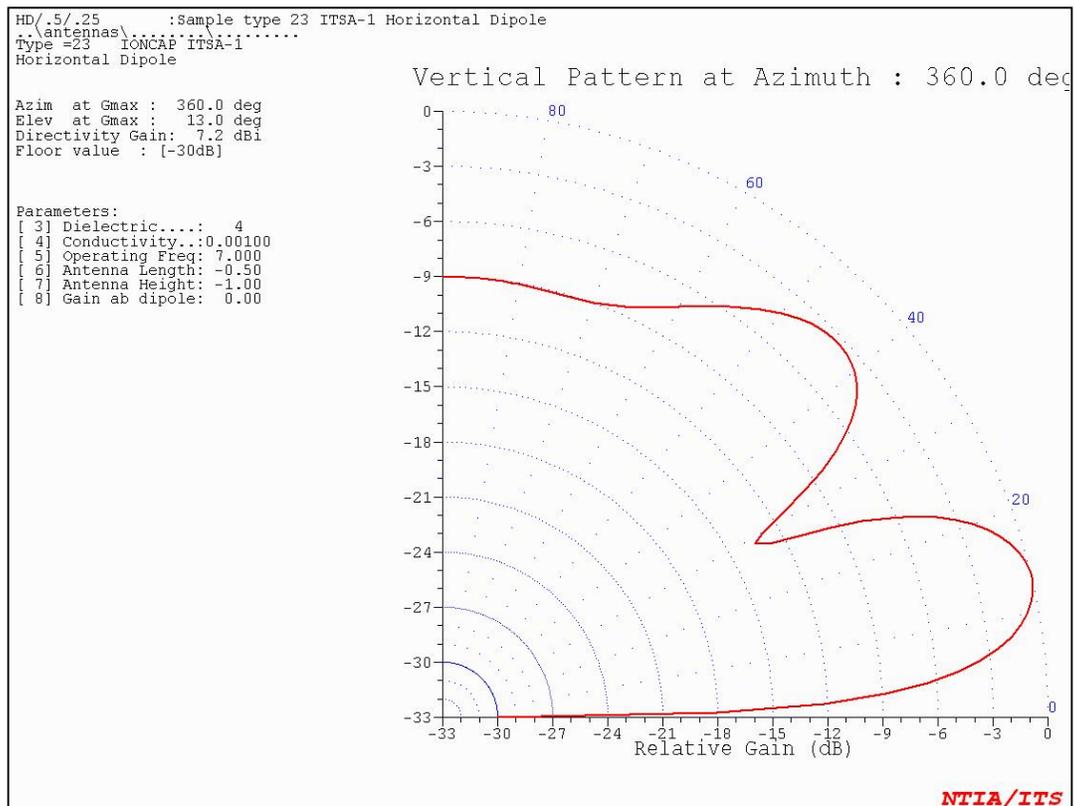


Fig.5. Dipolo horizontal ubicado a una longitud de onda del suelo.

Si bajamos el dipolo a una distancia del suelo más asequible para su instalación, por ejemplo a un cuarto de la longitud de onda de trabajo (10 metros si el dipolo es para 7 MHz), el diagrama de radiación en elevación presenta un lóbulo único con un máximo ubicado a 49°, como se muestra en la figura 6. La radiación perpendicular al plano de tierra también es buena, por lo que esta instalación ya podría usarse para NVIS.

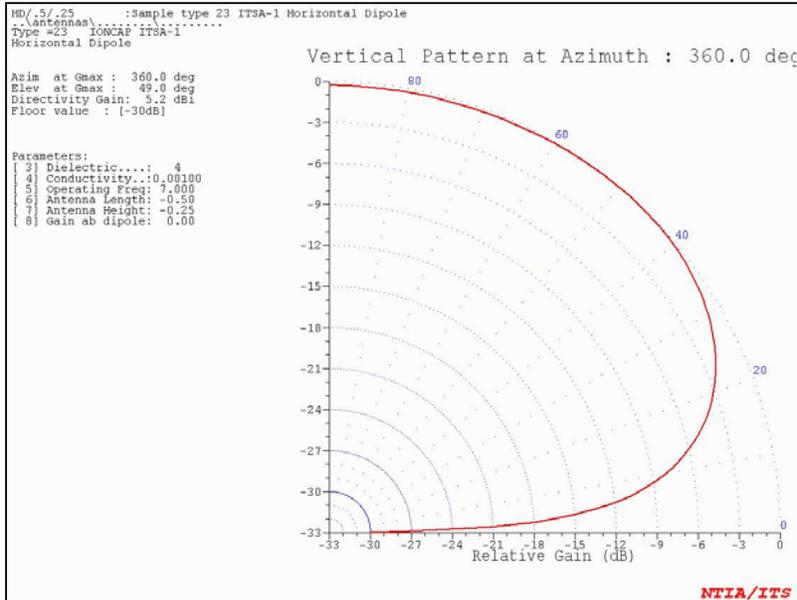


Fig.6. Dipolo horizontal ubicado a un cuarto de longitud de onda del suelo.

Si seguimos haciendo pruebas colocando el dipolo cada vez más bajo, comprobaremos que el diagrama de radiación cada vez se va elevando más, alcanzando un punto, a una distancia exacta de un décimo de la longitud de onda de trabajo (4 metros si el dipolo es para 7 MHz), en el que el máximo de radiación se produce a 90° , de forma completamente perpendicular al suelo, como se muestra en la figura 7.

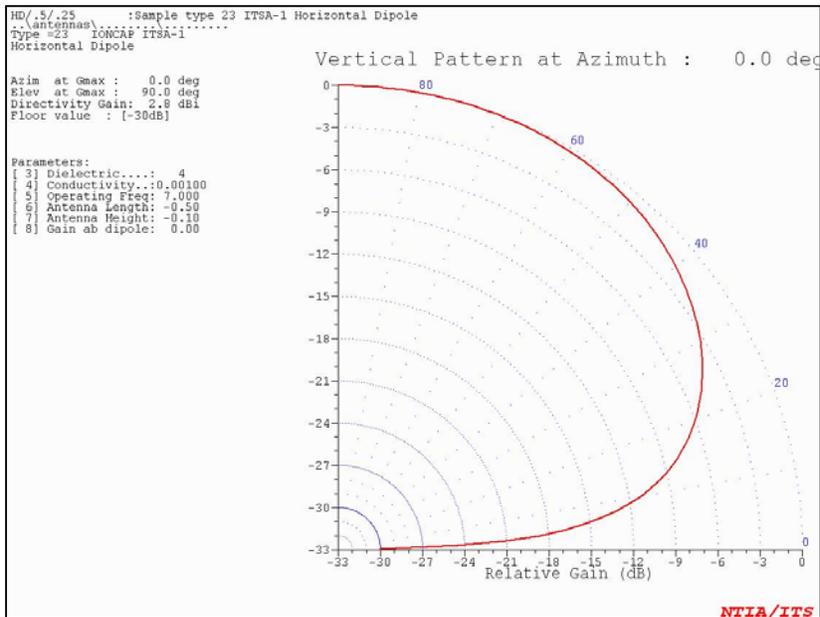


Fig.7. Dipolo horizontal ubicado a un décimo de longitud de onda del suelo.

Si consideramos el ancho de banda a 3 dB, nuestro dipolo estará radiando principalmente entre 30° y 90° de elevación, lo que lo hace óptimo para comunicaciones NVIS.

Si seguimos bajando el dipolo, el efecto es que el diagrama de radiación se haría cada vez más alto y más estrecho, perdiendo efectividad en la dirección perpendicular al plano de tierra. También se producirían pérdidas adicionales como consecuencia de la proximidad a dicho plano. Una posible solución es instalar un segundo hilo conductor cercano al plano de tierra, a modo de reflector.

Evidentemente, la conductividad del terreno también afectará a nuestra antena. Algunos autores citan que la mejor distancia a la que colocar el dipolo oscila entre 0,15 y 0,25 veces la longitud de onda de trabajo.

En el diseño de cualquier antena NVIS deberemos tener en cuenta que, además de radiar lo más verticalmente posible, tenemos que evitar lóbulos de radiación secundarios de escasa elevación, ya que si existieran se generaría una onda de tierra de suficiente intensidad como para interferir a la onda NVIS reflejada en distancias cercanas al transmisor.

4.2. Antenas para comunicaciones móviles.

Para el caso de comunicaciones móviles, es decir, con los equipos de HF instalados en vehículos, tenemos dos opciones.

La opción más rápida es utilizar una antena vertical estándar y abatirla de forma que quede paralela al plano de tierra. Será difícil conseguir la distancia adecuada a dicho plano, pero una aproximación puede proporcionarnos diagramas de radiación suficientes para el trabajo en NVIS.

La otra opción es disponer de una antena NVIS de propósito específico.

Una de las antenas más utilizadas para tales efectos es la antena de medio bucle (half-loop), que puede instalarse en el techo de un vehículo. En la figura 8 se muestra un esquema de este tipo de antenas, elaborado con el programa MMANA-GAL.

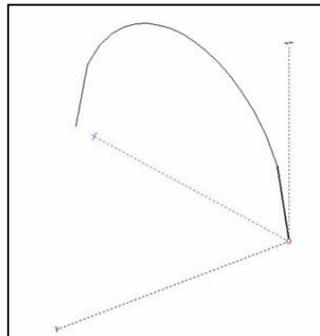


Fig.8. Antena NVIS de medio bucle.

Estas antenas se alimentan desde el transceptor por un extremo y tienen la peculiaridad de que el extremo opuesto ha de estar conectado a tierra. De esta forma, virtualmente se crea un aro de comportamiento principalmente magnético. El arco del bucle suele ser de unos 1,5 metros de radio.

La gran ventaja respecto a otros tipos de antenas NVIS es que la de medio bucle presenta un diagrama de radiación omnidireccional, como se muestra en la figura 9, lo que la convierte en óptima para comunicaciones en movimiento.

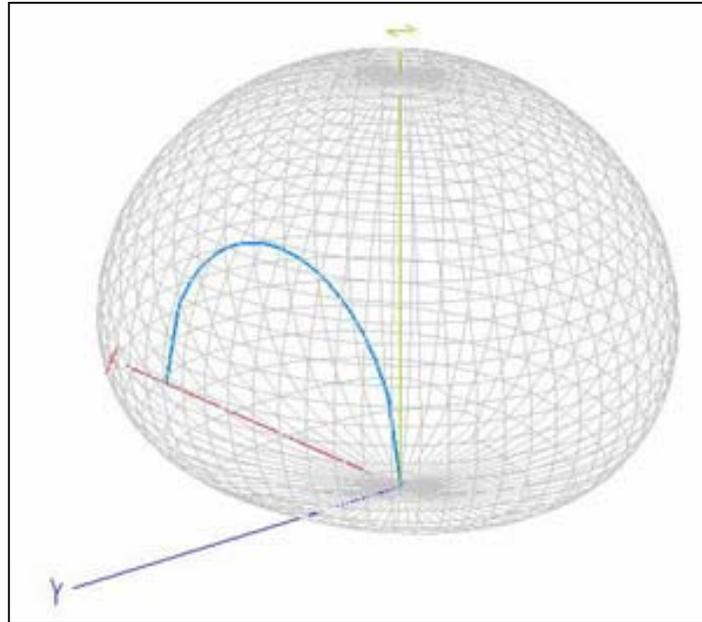


Fig.9. Diagrama de radiación de una antena NVIS de medio bucle.

Otra de sus grandes ventajas es su comportamiento magnético, similar al de las antenas de aro completo, proporcionado un factor Q elevado que minimiza el ruido y las interferencias.

No obstante, este tipo de antenas presentan dos problemas principales: por un lado, el diagrama de radiación deja de ser como el mostrado en la figura cuando instalamos la antena en el techo de un vehículo, distorsionándose principalmente hacia la espalda, y por otro lado comienza a presentar una impedancia capacitiva muy alta que puede llegar a ser difícil de acoplar en algunas frecuencias. Además, la eficiencia de radiación es baja y la antena suele presentar pérdidas.

5. Conclusiones.

Las comunicaciones NVIS permiten establecer enlaces en las bandas de HF con alcances de hasta 300 km sin zonas de sombra, cubriendo el hueco existente entre el alcance máximo de los sistemas de VHF/UHF y la zona de sombra del primer salto en las comunicaciones DX de HF. Este hecho las hace idóneas para operar en situaciones de emergencia, siendo su uso muy extensivo tanto en estos entornos como en los militares.

Para operar en NVIS deberemos tener en cuenta dos premisas fundamentales. Por un lado, la selección de una antena adecuada que presente un diagrama de radiación con elevación suficiente, como puede ser el caso de un dipolo horizontal instalado a una altura sobre el suelo del orden de un décimo de la longitud de onda de trabajo. Por otro lado, la selección de una frecuencia de trabajo adecuada, siempre por debajo de la frecuencia de corte de la capa F2 de la ionosfera (f_oF2) y de forma óptima en torno al 10% por debajo de la misma.

Autor: Ismael Pellejero Ibáñez - EA4FSI