

MODELO DE PROPAGACION NVIS

ESTUDIO DE UN CASO PRACTICO

Julián IRANZO COLLADO

Capitán del Mando de Transmisiones

1. OBJETO

El presente estudio, continuación del artículo que se publicó en el **MEMORIAL N.º 37** del mes de abril de 1989, tiene el objeto de completar aquél en base a las nuevas experiencias que ha seguido realizando el Batallón de Centros de Transmisiones de Puestos de Mando (**BCTPC.**) del Regimiento de Transmisiones Tácticas n.º 21 de El Pardo, y presentar en un caso práctico y real, dentro del contexto de una maniobra concreta, la **CAZADOR-88**, los buenos resultados que pueden obtenerse con el uso adecuado del Modelo de Propagación **NVIS.**; sobre todo cuando como en este caso el utilizar otros medios (VHF o UHF) hubiera resultado muy costoso en equipos, personal y logística.

2. ANTECEDENTES

Al objeto de no extenderme demasiado voy a citar rápidamente las principales características y campo de aplicación del Modelo de Propagación **NVIS.** (Near Vertical Incidence Skywave), aunque una explicación y análisis más exhaustivo se puede extraer del trabajo anteriormente citado.

El Modelo **NVIS.** surge como respuesta para tratar de resolver el problema de los enlaces en HF en las distancias entre 50 y 200 Km., en las que resulta difícil y a veces imposible enlazar con las potencias y antenas disponibles en las Estaciones del Ejército de Tierra (**MERCURIOS A y B, AN/GRC-142 y AN/GRC-122**). En terreno accidentado, caso de España o muy accidentado, con Onda de Tierra y antena de varilla, resulta difícil sobrepasar esos 50 Km., y con Onda Ionosférica es a partir de los 200 Km. cuando empezamos a conseguir buenos resultados con antenas dipolo.

Como es ya sabido, el que planifica un despliegue de Transmisiones tiene que estudiarlo y garantizarlo para las 24 horas del día, pues de lo contrario puede resultar ineficaz en caso de necesidad, pudiendo incidir negativamente en el resultado de las Operaciones.

Así pues, y establecidas estas premisas, la técnica **NVIS.** va a consistir en esencia en conseguir efectuar radiaciones electromagnéticas con grandes ángulos verticales; para ello utilizaremos las antenas reglamentarias de dotación en nuestras Unidades, es decir las antenas dipolo, pero instalándolas a muy baja altura relativa sobre el suelo, normalmente entre $1/4 \lambda$ y $1/10 \lambda$ sobre el suelo, al objeto de que utilizando frecuencias adecuadas, se nos produzca una reflexión ionosférica vertical y próxima que nos cubra esas distancias de «teórica sombra», también llamada «zona de salto», que van desde los 50 a los 200 Km. Naturalmente esto mismo es posible conseguirlo utilizando antenas especiales de gran ganancia en el plano vertical.

Como ya se dijo en el primer trabajo sobre **NVIS.**, éste modelo de enlace presenta unos límites en el rango de frecuencias utilizables que oscilan entre **4 y 8 Mhz.** de día y de **2 a 4 Mhz.** de noche.

Otro punto que es importante resaltar es el hecho de que el diagrama de radiación de una antena dipolo de $\lambda/2$ a una altura sobre el suelo de entre $\lambda/4$ a $\lambda/10$ (Modelo **NVIS**), tiende a ser prácticamente omnidireccional en el plano horizontal tanto más cuanto más nos vamos aproximando al trabajo en $\lambda/10$ de altura sobre el suelo. Todo esto modifica sensiblemente el diagrama de radiación de una antena dipolo estándar de $\lambda/2$ a una altura sobre el suelo de $\lambda/2$, y que como todo el mundo sabe forma dos lóbulos opuestos y perpendiculares cada uno al eje del hilo del dipolo (ver Figura n.º 4 del Memorial n.º 37 «PROPAGACION **NVIS**.»).

Resumiendo, podemos pasar a citar ya algunas de las ventajas del Modelo de Propagación **NVIS**:

1. Pérdidas de propagación constantes, con lo que todos los receptores del área reciben la misma señal.
2. Independencia del terreno, aunque éste sea muy accidentado.
3. Es innecesario orientar las antenas dipolo, porque el modelo de propagación es omnidireccional
4. Capacidad de operación desde zonas muy bajas, eliminando así la necesidad del Mandó Táctico de dominar las zonas altas, en lo referente a enlaces de HF
5. Grandes ventajas frente a la Guerra Electrónica:
 - 5.1. Menor probabilidad de radiolocalización.
 - 5.2. Más difícil de perturbar por Onda de Tierra.
 - 5.3. Debido a sus pérdidas constantes, se pueden utilizar potencias muy pequeñas con lo que se disminuye la posibilidad de detección.

3. EL METODO **NVIS**. EN UN CASO REAL

Recapitulando un poco y con el objeto de centrar el tema, diremos que la primera prueba práctica que realizamos de una manera metódica para estudiar y analizar el modelo **NVIS**, fue en las Escuelas Prácticas **GAMO-87** (octubre-87) desarrolladas en Guadalajara y Madrid por el Regimiento de Transmisiones Tácticas n.º 21. Con las experiencias y datos extraídos en esas Escuelas Prácticas se documentó el artículo sobre el tema, publicado en el Memorial n.º 37 de abril de 1989. Posteriormente y a lo largo de todo el año 1988, el BCTPC, siguió realizando prácticas y experiencias, en Cáceres, a cargo de la 2.ª Cía del BCTPC, y a continuación todo el Batallón en Toledo en junio, dentro de las Escuelas Prácticas **GAMO-88**.

Todas estas pruebas nos habían ido proporcionando más experiencia y más conocimiento del Modelo **NVIS**., pero desde nuestro punto de vista había que intentar seguir dando más pasos para así poder pasar de lo que hasta ese momento era un fenómeno más o menos curioso, a un fenómeno que resultara controlable y predecible y por lo tanto útil para las Unidades.

La ocasión se nos presentó en septiembre de 1988, cuando al BCTPC, se le dio la orden de participar como Unidad de Transmisiones de la Operación **CAZADOR-88**. Esta Operación que tenía un despliegue sobre todo el territorio nacional obligó al BCTPC, a realizar estudios sobre enlaces y redes, unos a corta distancia y otros de hasta más de 1.000 Km., utilizando el material táctico reglamentario de dotación en la Unidad (Mercurios-A y AN/GRC-142), pero de entre las Redes que se planificaron para esa Maniobra sólo vamos a analizar una, aquella que dio servicio de Transmisiones a una serie de Autoridades que por su situación geográfica especial, caían dentro del rango de distancias de entre 50 y 230 Km. entre ellas y presentaban en varios casos considerables obstáculos montañosos entre sus asentamientos.

La situación de los puntos a enlazar eran las siguientes coordenadas aproximadas (ver Figura 1):

- Sierra del Cabrito (30STE710940). Zona de Algeciras.
- Base Aérea de Morón (30STG700150).

- EVA-3 Constantina (30STH720010).
- EVA-9 Motril (30SVF630660).

Las distancias entre esos cuatro asentamientos era las siguiente:

- a) BA. de Morón-EVA-3 (Constantina) 85 km.
- b) BA. de Morón-Sierra del Cabrito 123 km.
- c) BA. de Morón-EVA-9 (Motril) 195 km.
- d) Sierra del Cabrito-EVA-9 (Motril) 197 km.
- e) Sierra del Cabrito-EVA-3 (Constantina) 212 km.
- f) EVA-3 (Constantina)-EVA-9 (Motril) 230 km.

y salvo en los trayectos (a) y (d), en los demás casos las trayectorias estaban obstruidas por terreno fuertemente montañoso (ver Figuras 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).

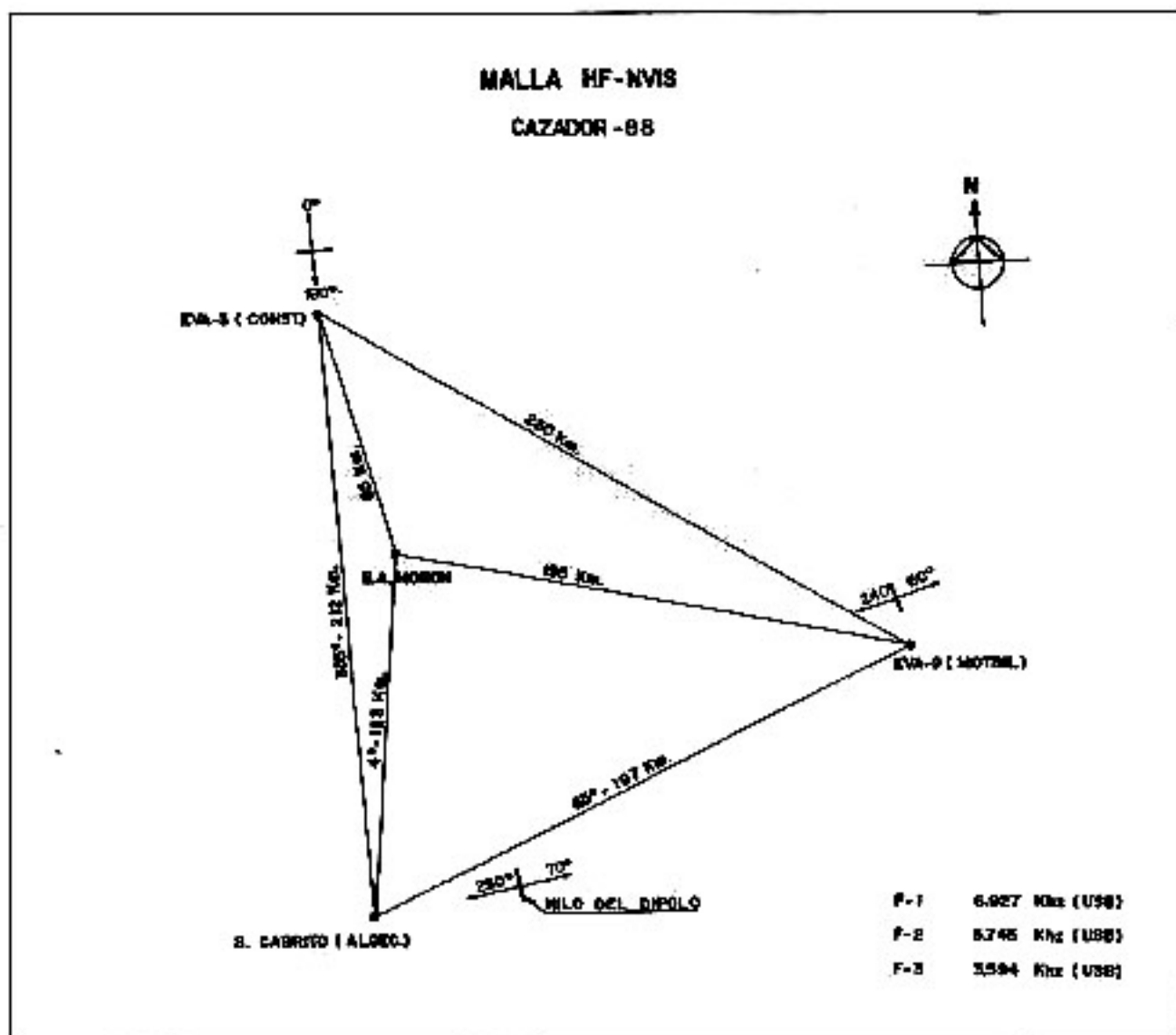


Figura 1.

A la vista de la necesidad de enlazar estos asentamientos se estudiaron varias posibilidades, y dado que el tráfico que se pretendía transmitir era telegráfico, se optó por la solución más económica en personal y material y que a nuestro juicio era la de organizar una Red en HF utilizando el modo de Propagación NVIS.

Ahora bien, como ya se expresó anteriormente, teníamos que planificar la Red para el funcionamiento durante las 24 horas del día.

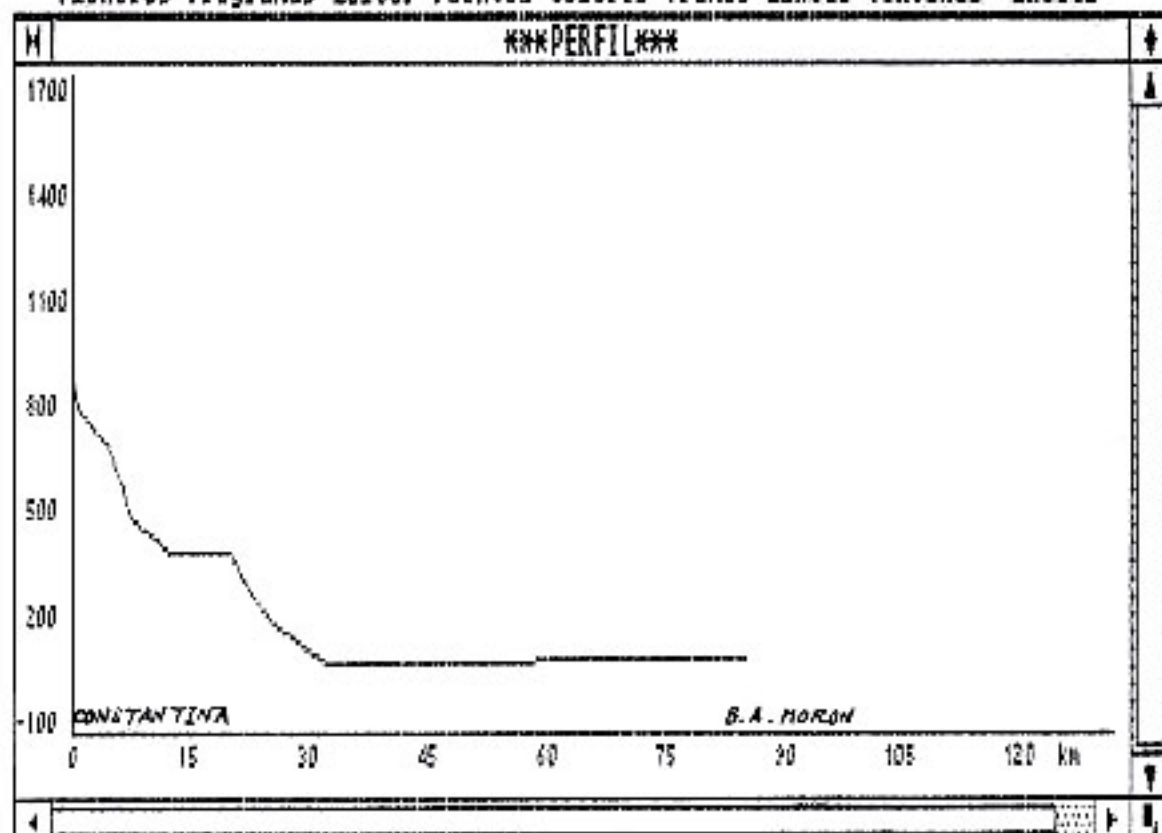


Figura 2.

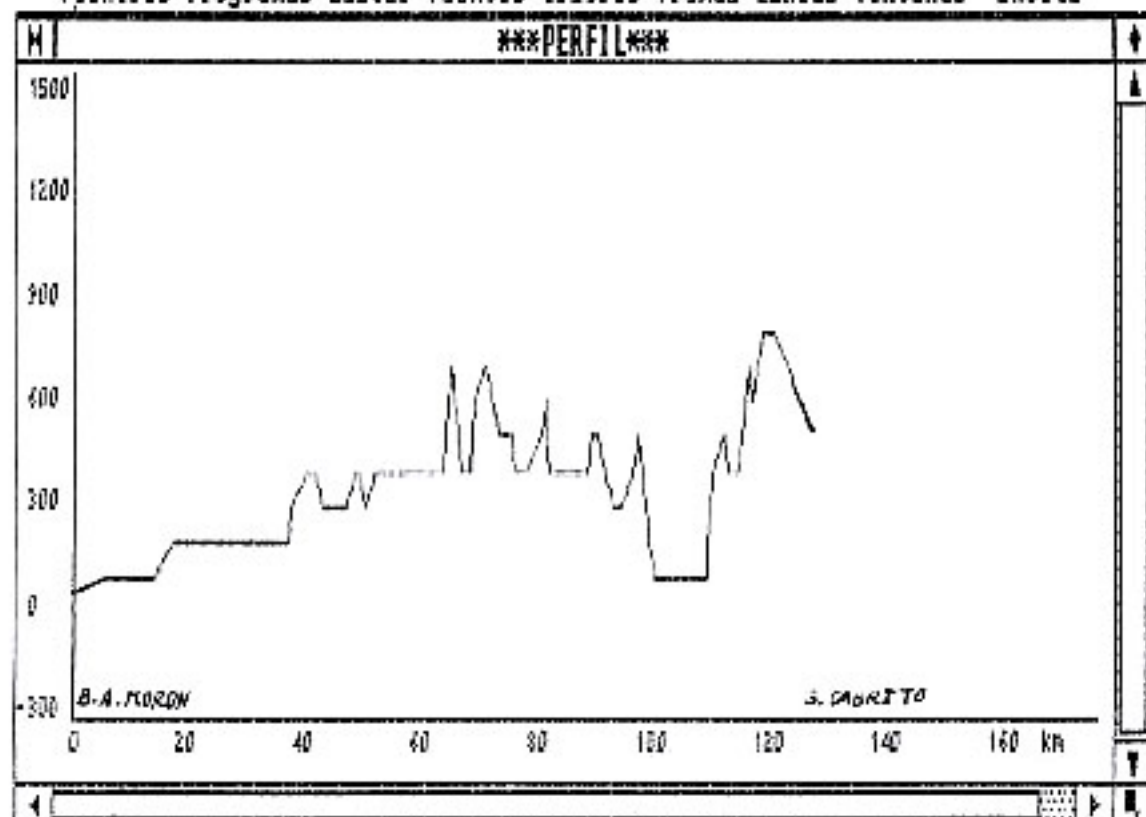


Figura 3.

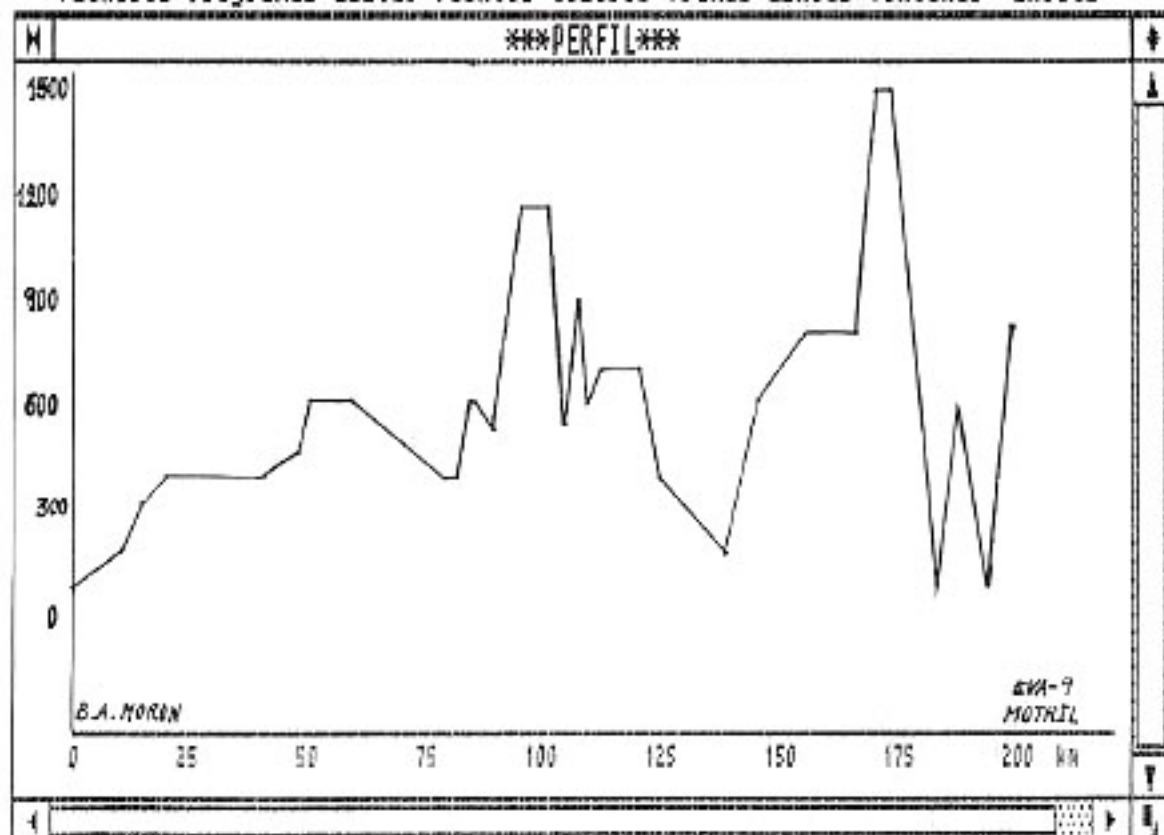


Figura 4.

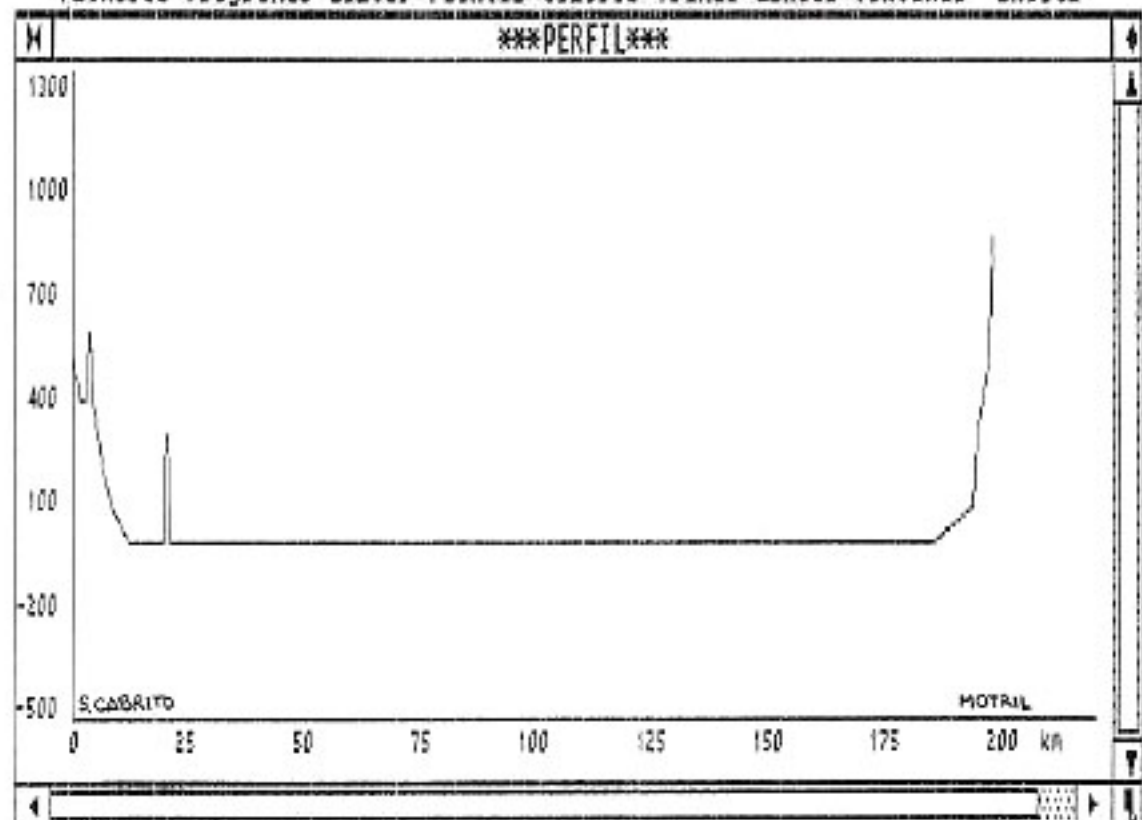


Figura 5.

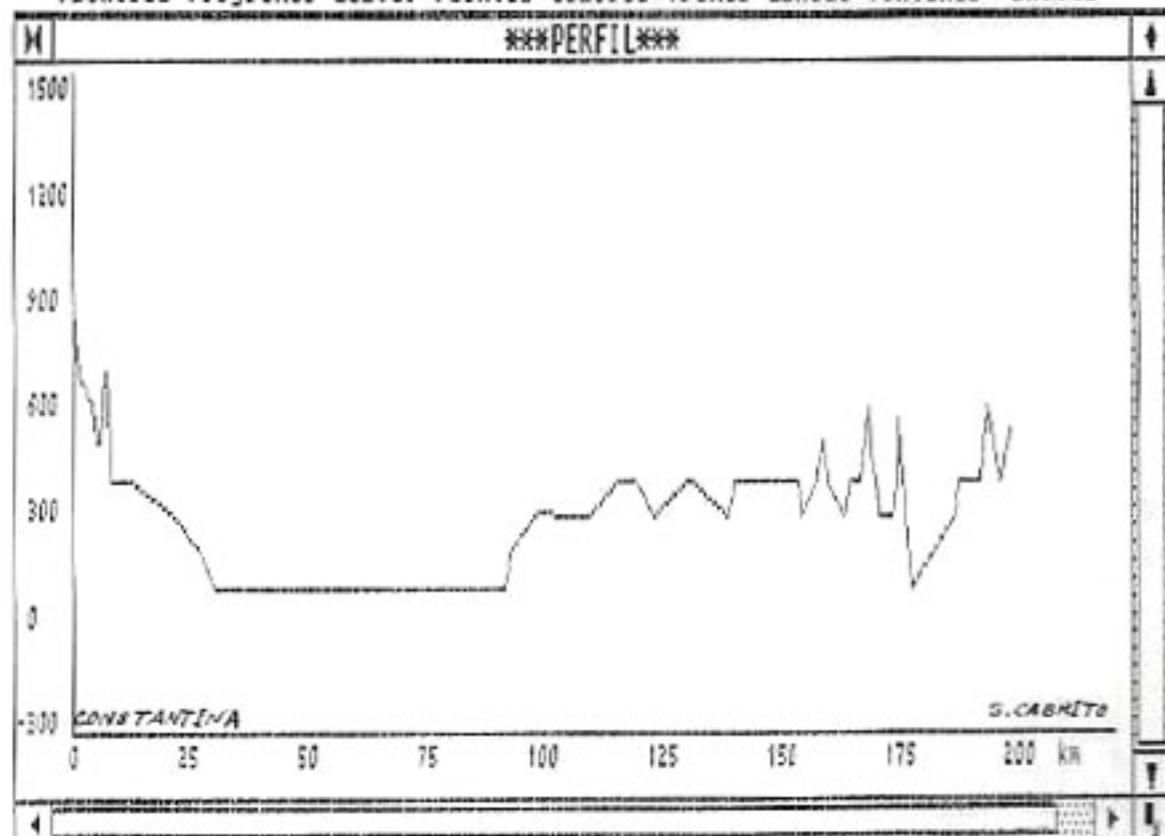


Figura 6.

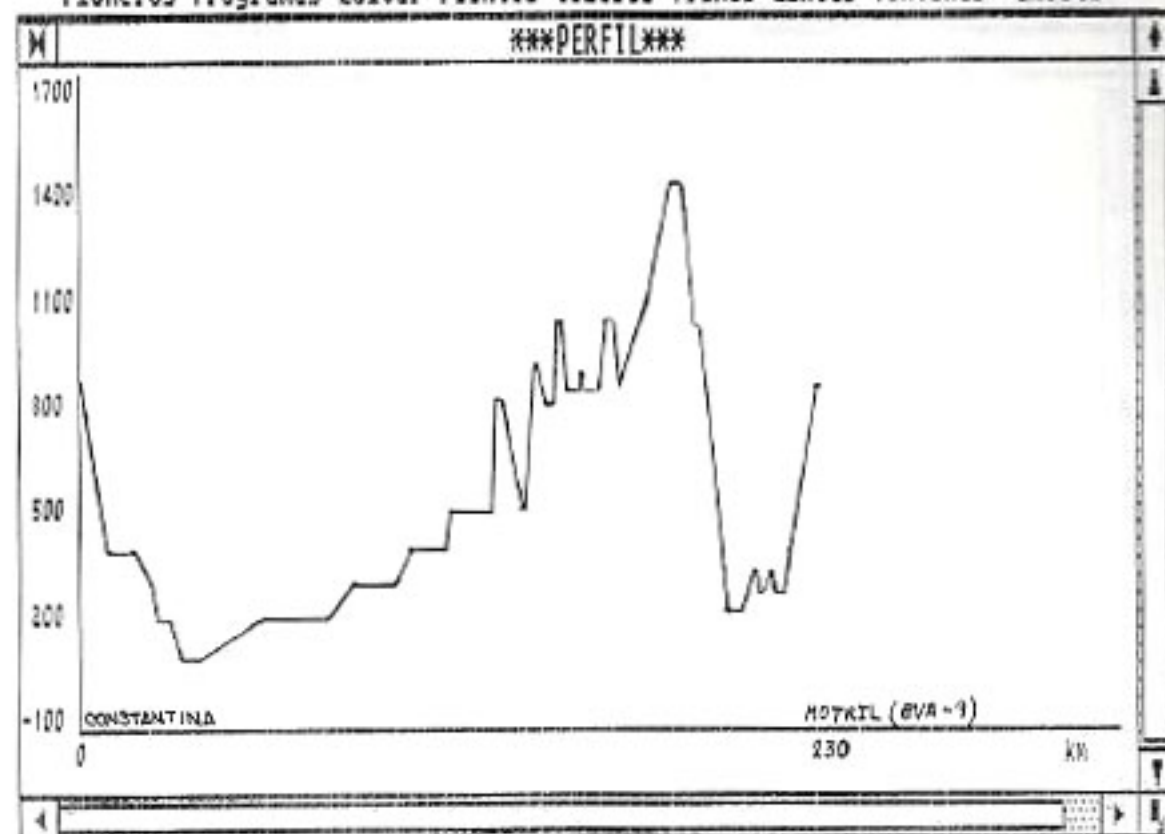


Figura 7.

El siguiente paso fue realizar el cálculo de las frecuencias utilizables para esa zona, distancias y época del año, para lo que nos ayudamos del Programa Informático PROPHET, del que dispone el BCTPC., y cuyos resultados resumidos aparecen en las Figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13, en donde se ven gráficamente y en forma de tablas los valores de la MUF. (Máxima Frecuencia Util), FOT. (Frecuencia Optima de Trabajo), y LUF. (Mínima Frecuencia Util).

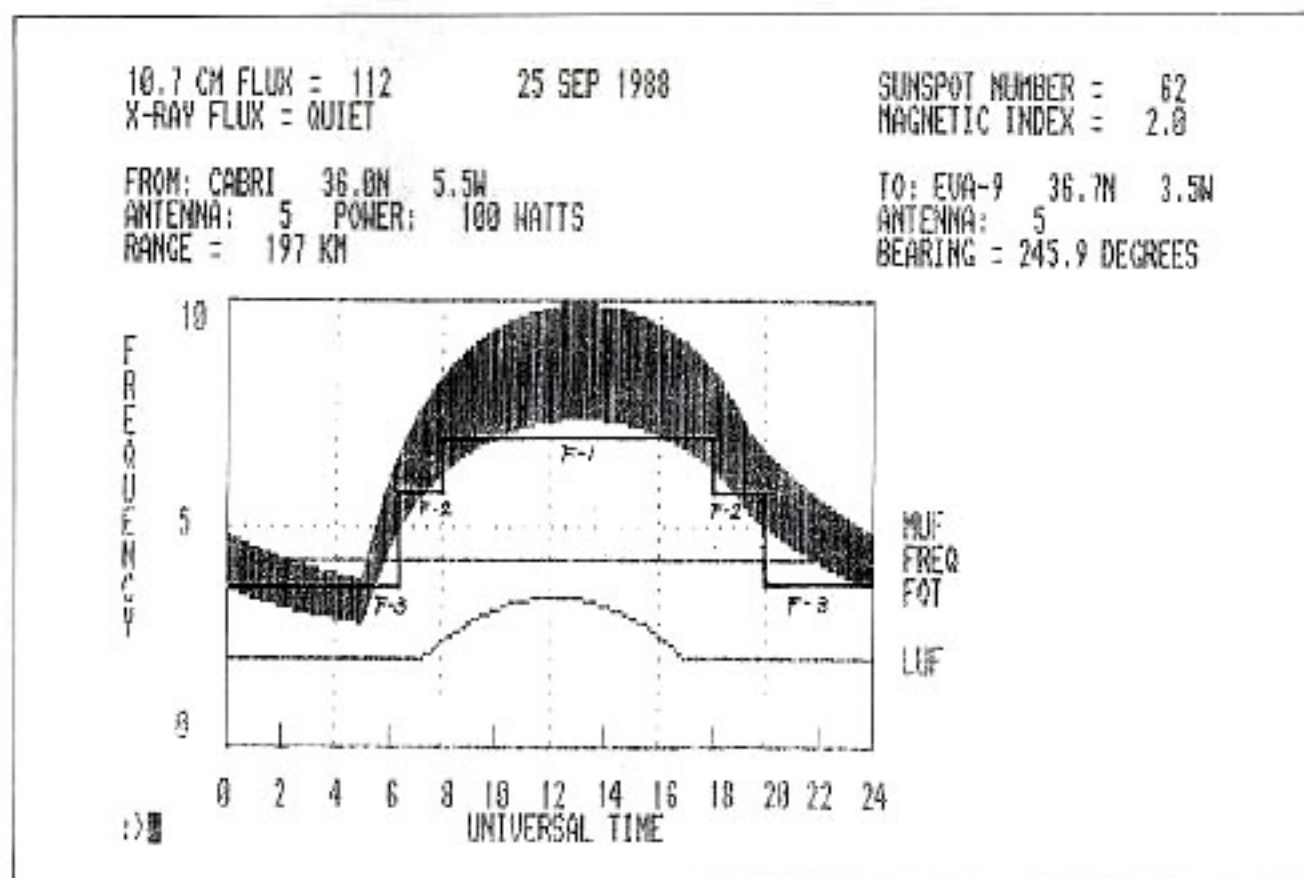


Figura 8.

Del análisis de los gráficos y tablas suministrados por el ordenador (un Amstrad 1512), establecimos que serían necesarias **3** frecuencias de trabajo para garantizar un enlace fiable durante las 24 horas del día. Estas frecuencias escogidas lógicamente de entre las asignadas al RTT-21 serían las siguientes:

- F-1 6,927 Mhz. (USB)
- F-2 5,745 Mhz. (USB)
- F-3 3,594 Mhz. (USB)

naturalmente eran necesarias otras **3** frecuencias de reserva, pero es fácil de entender que deberán ser próximas a las **3** frecuencias de trabajo dadas anteriormente, debido a las condiciones de propagación, pues de lo contrario podrían aparecer dificultades en los enlaces en caso de utilizarlas. Las **3** frecuencias de reserva que se tomaron eran:

- FR-1 6,948 Mhz. (USB)
- FR-2 5,738 Mhz. (USB)
- FR-3 3,620 Mhz. (USB)

Con las **3** frecuencias de trabajo calculadas, hemos conseguido situar a toda la Red, durante las 24 horas del día muy cerca de la Frecuencia Optima de Trabajo, tal como se ve en las líneas rectas que forman una especie de escalera sobre las Figuras 8, 10 y 12, y con ello en principio tendremos este apartado de las Frecuencias resuelto. El cambio de frecuencias y la hora de efectuarlo se ven en las Figuras 8, 10 y 12, teniendo en cuenta que esa hora es la hora solar.

10.7 CM FLUX = 112
X-RAY FLUX = QUIET

25 SEP 1988

SUNSPOT NUMBER = 62
MAGNETIC INDEX = 2.0

FROM: CABRI 36.0N 5.5W
ANTENNA: 5 POWER: 100 WATTS
RANGE = 123 KM

TO: MORON 37.1N 5.4W
ANTENNA: 5
BEARING = 184.1 DEGREES

TIME	LUF	FOT	MUF	TIME	LUF	FOT	MUF
UT	MHz	MHz	MHz	UT	MHz	MHz	MHz
0000	2.0	3.5	4.6	1200	3.0	7.2	9.6
0100	2.0	3.3	4.4	1300	3.0	7.2	9.6
0200	2.0	3.1	4.1	1400	2.9	7.2	9.6
0300	2.0	2.9	3.9	1500	2.7	7.1	9.4
0400	2.0	2.8	3.8	1600	2.3	6.9	9.2
0500	2.0	2.7	3.6	1700	2.0	6.6	8.8
0600	2.0	4.3	5.7	1800	2.0	6.2	8.2
0700	2.0	5.4	7.1	1900	2.0	5.5	7.3
0800	2.1	6.0	8.0	2000	2.0	4.8	6.5
0900	2.5	6.5	8.6	2100	2.0	4.4	5.9
1000	2.8	6.8	9.1	2200	2.0	4.1	5.4
1100	3.0	7.0	9.4	2300	2.0	3.7	5.0

:>E

Figura 9.

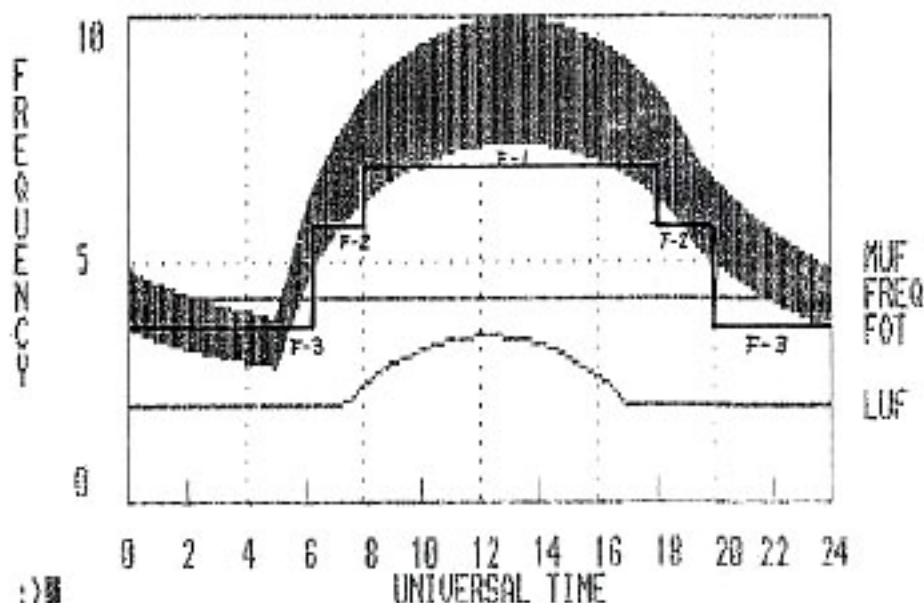
10.7 CM FLUX = 112
X-RAY FLUX = QUIET

25 SEP 1988

SUNSPOT NUMBER = 62
MAGNETIC INDEX = 2.0

FROM: CABRI 36.0N 5.5W
ANTENNA: 5 POWER: 100 WATTS
RANGE = 212 KM

TO: EVA-3 37.9N 5.7W
ANTENNA: 5
BEARING = 175.2 DEGREES



:>E

Figura 10.

10.7 CM FLUX = 112
X-RAY FLUX = QUIET

25 SEP 1988

SUNSPOT NUMBER = 62
MAGNETIC INDEX = 2.0

FROM: CABRI 36.0N 5.5W
ANTENNA: 5 POWER: 100 WATTS
RANGE = 212 KM

TO: EVA-3 37.9N 5.7W
ANTENNA: 5
BEARING = 175.2 DEGREES

TIME	LUF	FOT	MUF	TIME	LUF	FOT	MUF
UT	MHz	MHz	MHz	UT	MHz	MHz	MHz
0000	2.0	3.6	4.8	1200	3.4	7.4	9.9
0100	2.0	3.4	4.5	1300	3.4	7.4	9.9
0200	2.0	3.2	4.2	1400	3.2	7.4	9.9
0300	2.0	3.0	4.0	1500	3.0	7.3	9.7
0400	2.0	2.9	3.9	1600	2.6	7.1	9.5
0500	2.0	2.8	3.7	1700	2.0	6.8	9.1
0600	2.0	4.5	6.0	1800	2.0	6.3	8.5
0700	2.0	5.5	7.4	1900	2.0	5.7	7.5
0800	2.4	6.2	8.3	2000	2.0	5.0	6.6
0900	2.0	6.7	8.9	2100	2.0	4.5	6.0
1000	3.1	7.0	9.4	2200	2.0	4.2	5.5
1100	3.3	7.3	9.7	2300	2.0	3.8	5.1

:>E

Figura 11.

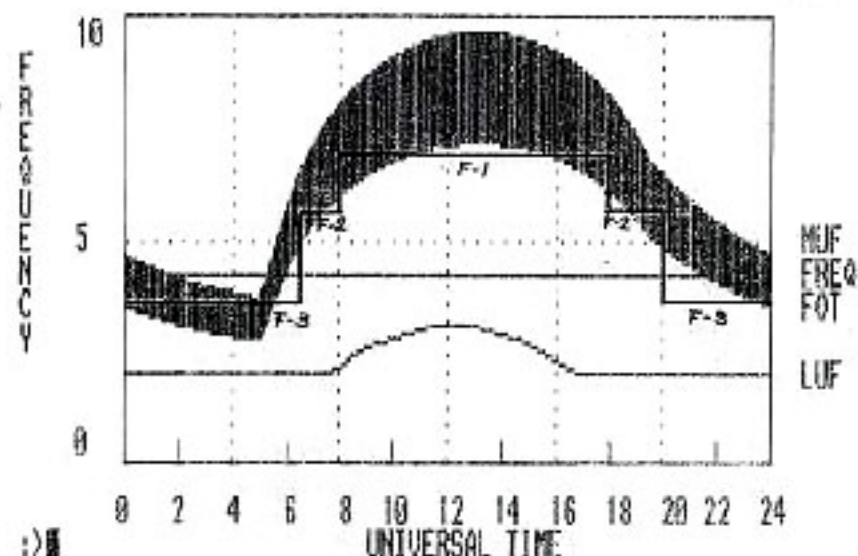
10.7 CM FLUX = 112
X-RAY FLUX = QUIET

25 SEP 1988

SUNSPOT NUMBER = 62
MAGNETIC INDEX = 2.0

FROM: CABRI 36.0N 5.5W
ANTENNA: 5 POWER: 100 WATTS
RANGE = 123 KM

TO: MORON 37.1N 5.4W
ANTENNA: 5
BEARING = 184.1 DEGREES



:>E

Figura 12.

10.7 CH FLUX = 112 25 SEP 1709 SUNSPOT NUMBER = 62
 X-RAY FLUX = QUIET MAGNETIC INDEX = 2.0

FROM: CABRI 36.0N 5.5W TO: EVA-9 36.7N 3.5W
 ANTENNA: 5 POWER: 100 WATTS ANTENNA: 5
 RANGE = 197 KM BEARING = 245.9 DEGREES

TIME	LUF	F01	MUF	TIME	LUF	F01	MUF
UT	MHz	MHz	MHz	UT	MHz	MHz	MHz
0000	2.0	3.6	4.8	1200	3.3	7.4	9.0
0100	2.0	3.3	4.5	1300	3.3	7.4	9.9
0200	2.0	3.2	4.2	1400	3.2	7.4	7.0
0300	2.0	3.0	4.0	1500	2.9	7.3	9.7
0400	2.0	2.9	3.9	1600	2.5	7.1	9.4
0500	2.0	2.8	3.7	1700	2.0	6.8	9.0
0600	2.0	4.5	6.0	1800	2.0	6.3	8.4
0700	2.0	5.5	7.4	1900	2.0	5.6	7.5
0800	2.4	6.2	8.3	2000	2.0	5.0	6.6
0900	2.8	6.7	8.9	2100	2.0	4.5	6.3
1000	3.1	7.0	9.3	2200	2.0	4.2	5.5
1100	3.3	7.2	9.6	2300	2.0	3.8	5.1

Figura 13.

De la observación de las Figuras 8, 10 y 12, que en definitiva no es sino una predicción estadística de frecuencias, se pueden extraer algunas conclusiones, la primera que aparece es que con la filosofía tradicional en nuestro Ejército de dar siempre 2 frecuencias de trabajo, una de día y otra de noche, es bastante difícil conseguir un enlace permanente en HF, porque forzosamente antes y/o después del cambio de frecuencias previsto estaremos muy alejados de la Frecuencia Optima de Trabajo (FOT.), por la naturaleza de la pendiente de la curva de predicción de frecuencias, y ello nos puede llevar a perder el enlace durante periodos de tiempo variables pero que en muchos casos pueden llegar a ser de varias horas. La segunda conclusión que se deriva de la anterior nos podría hacer pensar en dar 6 u 8 frecuencias de trabajo para cada día, de tal manera que los cambios de frecuencia fueran numerosos pero pequeños en magnitud, con lo que evidentemente siempre estaríamos muy próximos a la FOT. Esta segunda idea es difícil de ejecutar en la práctica por la escasez de frecuencias disponibles, por lo que hay que llegar a una solución de compromiso que nos permita garantizar el enlace durante las 24 horas del día, pero nos evite los inconvenientes de un cambio excesivo de frecuencias, y ésta es la razón que nos ha llevado a utilizar esas 3 frecuencias de trabajo.

Estudiado y resuelto el tema de las frecuencias a utilizar, nos queda otro no menos importante, y a menudo capital para obtener unos buenos resultados o un fracaso, éste es el tema del ángulo de salida de la radiación desde la antena. Ya sabemos que el ángulo de salida de la radiación en una antena dipolo es función de la altura de ésta sobre el suelo, así pues tendremos que determinar con qué ángulos de salida necesitamos trabajar para que las reflexiones ionosféricas nos caigan en la zona próxima de entre 50 Km. y los 200 ó 240 Km., que es el margen de distancias sobre los que tenemos a las estaciones de la Red.

Para realizar este estudio y simplificando mucho el problema es necesario realizar unos sencillos cálculos matemáticos, que se acompañan a continuación, y que nos van a dar una idea orientativa del rango de valores del ángulo de salida y que consecuentemente nos implican unas alturas de dipolo de $\lambda/5$ a $\lambda/10$ en consonancia con nuestra experiencia previa.

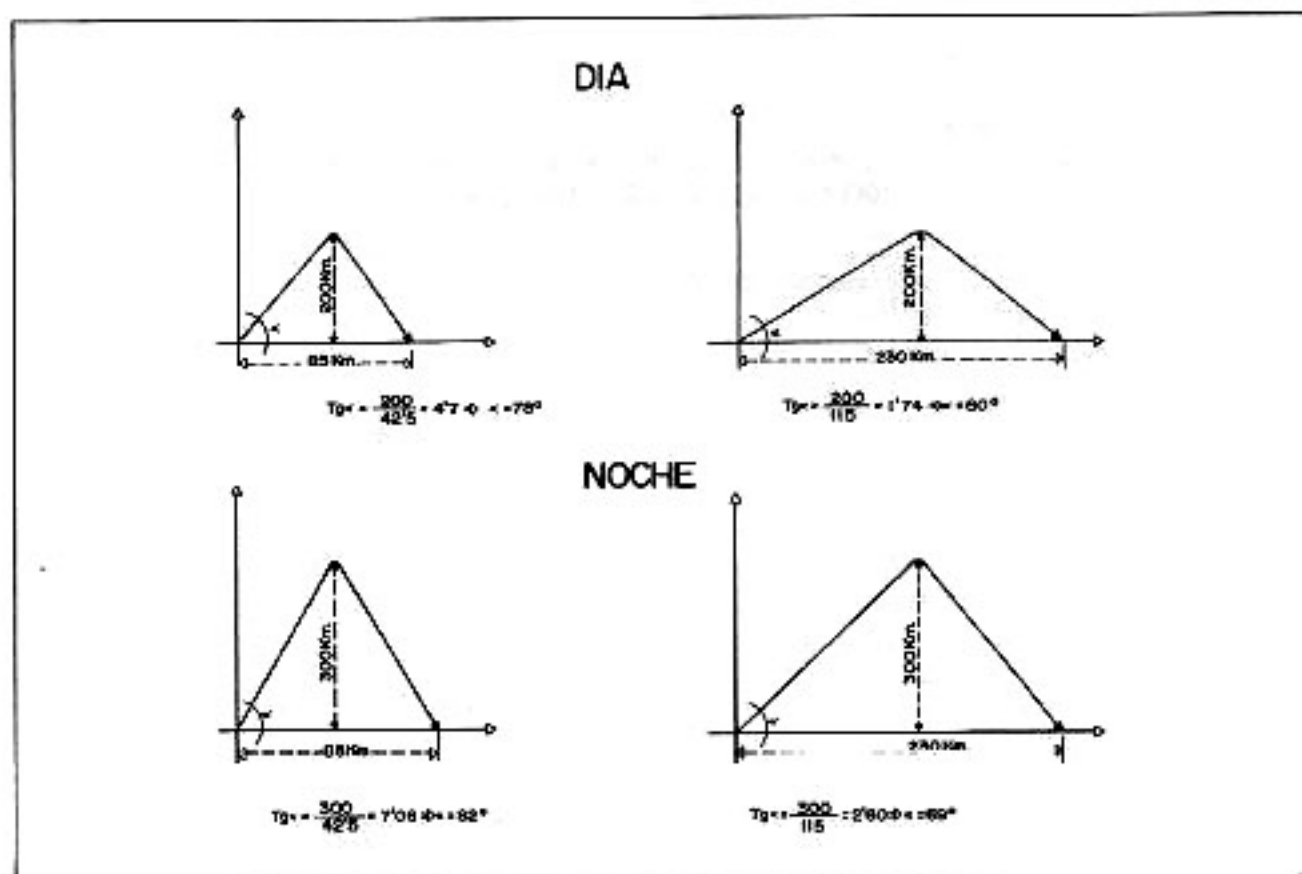
En ellos hemos tomado las distancias más corta y más larga de los enlaces de la Red, que son de 85 Km. y 230 Km. Con estos valores hemos calculado tanto de día como de noche los valores del ángulo de salida necesario para alcanzar a los otros asentamientos, para una altura de la Capa F-1 de la ionosfera de unos 200 Km. de día y unos 300 Km. de noche. Naturalmente estos valores de altura de la Capa Ionizada no serán normalmente conocidos por nosotros puesto que para ello es preciso realizar sondeos ionosféricos que están lógica-

mente fuera de nuestro alcance, pero para efectuar el cálculo nos basta con esta aproximación. El resultado que obtenemos de día varía entre 60° y 78° , y de noche lo hace entre 69° y 82° . Así, pues, un valor intermedio que nos sirva durante el día podría ser el de un ángulo de unos 70° y de noche necesitaríamos un ángulo intermedio de unos 75° . Para poder conseguir estos ángulos de salida tan grandes tenemos que trabajar con alturas sobre el suelo de la antena dipolo de $\lambda/5$ a $\lambda/10$, con los que conseguimos máximos de radiación en ángulos de 70° a 90° , que es el objeto perseguido, para hacer posibles los enlaces en las distancias críticas de 50 Km. a 200 ó 250 Km.

Así veamos cuáles son esos valores de alturas para las distintas frecuencias:

F-1	6,927 Mhz.;	$\lambda = 43 \text{ m.};$	$\lambda/5 = 8,6 \text{ m.}$ $\lambda/10 = 4,3 \text{ m.}$
F-2	5,745 Mhz.;	$\lambda = 52 \text{ m.};$	$\lambda/5 = 10,4 \text{ m.}$ $\lambda/10 = 5,2 \text{ m.}$
F-3	3,594 Mhz.;	$\lambda = 83 \text{ m.};$	$\lambda/5 = 16,6 \text{ m.}$ $\lambda/10 = 8,3 \text{ m.}$

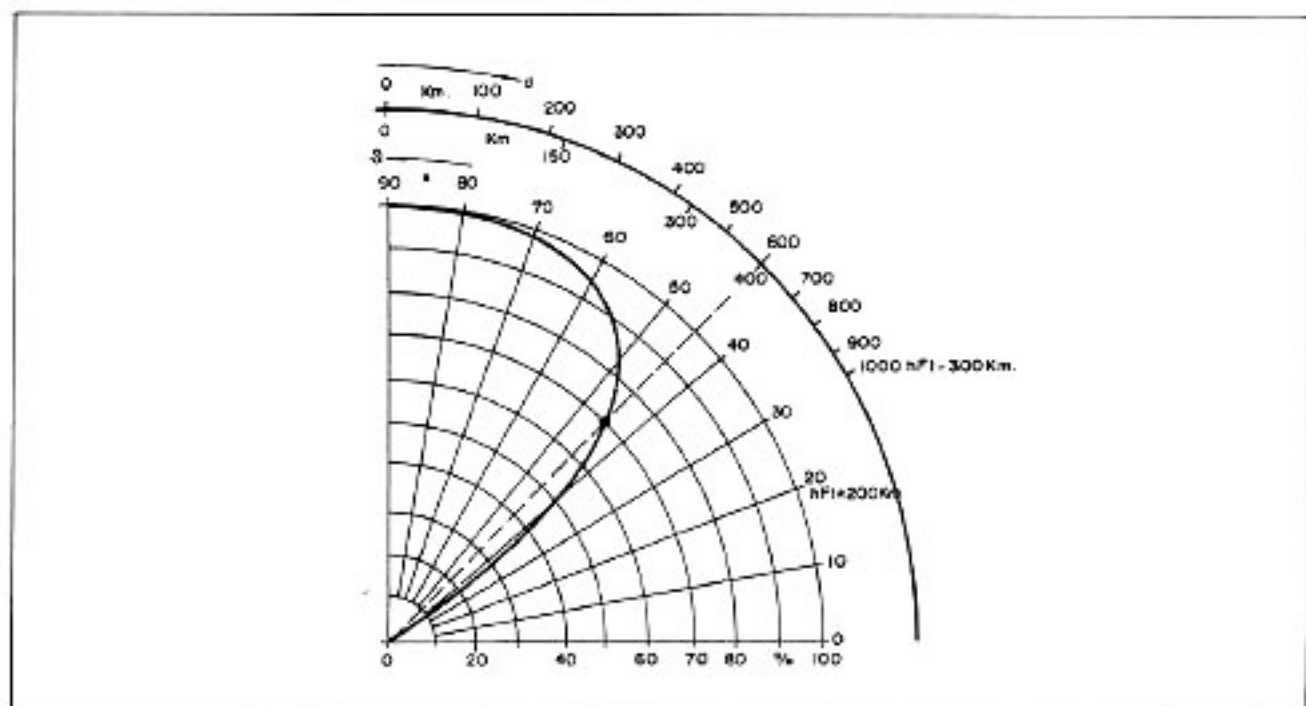
Con estos datos y la experiencia práctica que ya poseíamos se decidió poner en la Orden de Ejecución del BCTPC, la altura de 6 m., como la que deberían de tener las dipolos sobre el suelo; con ello garantizaríamos buenas condiciones de enlace sin necesidad de mover la altura de la dipolo durante el día, y únicamente cambiaríamos esa altura por la noche a otra de 9 m. en caso de necesidad.



Con esa altura de dipolo sobre el suelo de 6 m., estaríamos trabajando a una altura relativa de $\lambda/7$ para F-1, de $\lambda/8,5$ para F-2, y con la altura de 9 m. nocturna estaríamos trabajando a $\lambda/9$ de altura relativa sobre el suelo durante la noche.

En la Figura 14 se presenta un modelo promedio de diagrama de radiación vertical y su alcance en kilómetros si se produce reflexión en la Capa F-1 estando ésta a 300 ó 200 Km. de altura, para alturas de dipolos sobre el suelo de entre $\lambda/5$ y $\lambda/10$. En esta figura vemos

que el ángulo de radiación de -3 db. (0,707 Emax.) es de unos 45° y con este ángulo se consiguen alcances de entre 0 y 400 Km. y 0 y 600 Km. para reflexión en F-1.



Así pues con alturas de la antena dipolo sobre el suelo entre $\lambda/5$ y $\lambda/10$ estaremos batiendo las distancias de entre prácticamente 0 Km. y 400 ó 600 Km. aunque la mayor cantidad de energía radiada la conseguimos para ángulos de entre 60° y 90°, y por tanto, los mayores valores de campo los vamos a tener en las distancias de entre 0 y 350 Km. para una altura de la Capa F-1 de 300 Km. y de 0 a 250 Km. para una altura de la Capa F-1 de 200 Km.

Por último, en cuanto al proceso de planificación, sólo decir que no es necesario realizar ningún cálculo de rumbos de orientación de las antenas puesto que como ya se ha dicho el modelo de propagación **NVIS**, es omnidireccional en el plano horizontal.

Durante la Operación que estamos estudiando y una vez instaladas las antenas en sus asentamientos, los rumbos de la perpendicular al hilo del dipolo se pueden ver en la Figura 1. En ella se ven 2 orientaciones que pueden resultar algo curiosas, y que probaron una vez más el carácter omnidireccional en el plano horizontal del modelo **NVIS**., puesto que el enlace como ya explicaremos más adelante fue perfecto entre todas las estaciones. Estas orientaciones de dipolo «novedosas» eran las de la Estación de Sierra del Cabrito en las proximidades de Algeciras, la cual tenía el hilo de su dipolo orientado con un rumbo de 160°, resultando por tanto sus perpendiculares con rumbos de 70° y de 250° y, por lo tanto, sólo podría enlazar con las Estaciones de Morón y de Constantina si realmente radiaba omnidireccionalmente en la horizontal, cosa que estaba ocurriendo. Lo mismo sucedía con la Estación de Morón que tenía el hilo de la dipolo con un rumbo de 3° y por lo tanto sus perpendiculares a 93° y 273°.

Hasta aquí hemos explicado todo el proceso de cálculo seguido en la resolución de un problema práctico de enlaces en HF por **NVIS**.; en realidad vemos que las únicas diferencias con el cálculo de una Red de HF de larga distancia son las de que no es necesario realizar ningún cálculo de orientación de antenas, y por contra hay que realizar un sencillo cálculo para conseguir la altura adecuada del dipolo sobre el suelo que nos garantiza un ángulo de salida de radiación elevado, necesario para conseguir la reflexión ionosférica próxima, que junto a una acertada elección de las frecuencias óptimas de trabajo nos permitan eliminar esa zona de teórica sombra («zona de salto») que va desde los 50 Km. a los 200 ó 250 Km. En cuanto a la altura de la dipolo sobre el suelo también podemos evitar calcularla, si establecemos la norma práctica de trabajar a una altura de entre $\lambda/7$ y $\lambda/10$ ó $\lambda/12$ que son las que nos han dado excelentes resultados prácticos, y ello es así porque con esas alturas

de dipolo los ángulos de salida de la radiación se encuentran entre 70° y 90° con lo que conseguimos las reflexiones próximas del modelo NVIS.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO EN LA RED

Recordemos que los asentamientos de las Estaciones eran los siguientes:

SIERRA DEL CABRITO (ALGECIRAS)

BASE AEREA DE MORON (SEVILLA)

EVA-3 CONSTANTINA (SEVILLA)

EVA-9 MOTRIL (GRANADA)

y que las 3 frecuencias calculadas y previstas de trabajo eran:

F-1 6,927 Mhz.

F-2 5,745 Mhz.

F-3 3,594 Mhz.

y que se utilizaron Estaciones MERCURIO-A con 100 w. de potencia.

Los resultados fueron muy satisfactorios, pues con esas 3 frecuencias se consiguió mantener un enlace ininterrumpido con controles de 5/5, 4/4, pasando tráfico radioteletipo cifrado perfectamente en horario de trabajo de las 08.00 h. hasta las 01.00 h. que eran las exigencias establecidas para la Operación, llegándose a pasar mensajes en 6 minutos, tomando este tiempo desde la redacción del mensaje por el redactor hasta la recepción en la Estación destinataria, y transmitiéndose cifrado por el procedimiento ON-LINE (CLARO-OSCURO-CLARO), lo que puede dar una idea de la calidad de los enlaces, que de haber tenido controles de 2/2 ó 3/3 con algo de ruido hubiera impedido la transmisión del código de arranque, y consecuentemente la transmisión del mensaje cifrado.

El trabajo de la Red se desarrolló desde el día 21 hasta el 29 de septiembre de 1988. El día 26 tuvimos que cambiar las frecuencias F-1 y F-2, bajando 7 KHz. la F-1 desde 6,927 Mhz. a 6,920 Mhz., y subiendo la F-2 de 5,745 Mhz. a 5,751 Mhz., la razón no fue de propagación, puesto que ese cambio tan pequeño no es afectado por las condiciones de propagación, sino que fue debido a unas interferencias que sufríamos de Estaciones que emitían en inglés, y que nos obligaron a efectuar esos cambios para seguir trabajando. En este caso resultó de extrema importancia el disponer de una Estación de Escucha, de sintonía continua, para realizar una vigilancia permanente del nivel de ruido de las frecuencias utilizadas y de la calidad de los enlaces de una manera directa desde el Centro de Control y Coordinación de la Red (CCCR.), permitiendo así disponer de una gran flexibilidad y poder así tener una respuesta rápida tanto para hacer frente a interferencias, como para realizar cambios de frecuencias y de alturas de dipolo en cada momento, sobre todo durante la fase de instalación y pruebas de los enlaces, y posteriormente para realizar una escucha orientada a vigilar el correcto funcionamiento de las Redes en los aspectos tanto técnicos como de seguridad.

La frecuencia F-1 original de 6,927 Mhz. y su modificada de 6,920 Mhz., se estuvieron utilizando desde las 08.00 h. de la mañana hasta las 19.30 h. por término medio, con alturas de dipolo sobre el suelo de entre 5 y 7 m. y consecuentemente de entre $\lambda/9$ y $\lambda/6$, consiguiéndose en estas condiciones controles de 4/4 y 5/5 durante todo el día, pasando tráfico radioteletipo cifrado perfectamente.

La frecuencia F-2 original de 5,745 Mhz., y su modificada de 5,751 Mhz., se estuvieron utilizando por término medio desde las 19.30 h. hasta las 22.00 h., con alturas de dipolo sobre el suelo de entre 5 y 7 m. y consecuentemente de $h = \lambda/10$ a $h = \lambda/7,5$, consiguiéndose controles igualmente de 5/5 durante estos periodos, pasando tráfico radioteletipo cifrado perfectamente. El tiempo más reducido de utilización de la F-2 es consecuencia de la gran pendiente que presenta la Curva de Predicciones de la FOT. (ver Figuras 8, 10 y 12) en esas horas, y que naturalmente obliga para mantener el enlace a volver a seguir bajando de frecuencia.

De todos es sabido que durante la noche la Capa F-1 de la Ionosfera incrementa su altitud respecto a la tierra, fundiéndose con la F-2 que a su vez disminuye de altitud, ello nos va a ocasionar que al efectuar la reflexión en la Capa F-1 y ésta aumentar en altitud durante la noche, nos aumentará la distancia del salto, con lo que puede tener un efecto negativo sobre nuestros enlaces al llevarnos las reflexiones más allá de los 50 a 200 Km. que deseamos. Para compensar este fenómeno, habrá que bajar la altura de la dipolo y conseguir así un ángulo de salida mayor que nos reduzca el alcance al deseado (ver Figura 15). Este efecto tuvimos ocasión de comprobarlo el día 22, mientras trabajábamos en F-2 (5,745 Mhz.) a las 21,00 h. y los controles que eran hasta ese momento de 5/5 nos bajaron a 3/3. Como era una hora todavía temprana para pasar a F-3, decidimos reducir la altura de la dipolo de 7 m. que tenía en ese momento ($h = \lambda/7,5$) a 5 m. ($h = \lambda/10$) con el objetivo de tratar de compensar el efecto de subida de la Ionosfera; el resultado superó nuestras previsiones, pues se consiguieron unos controles de 5/5 con esta nueva altura de dipolo, mejorándose sustancialmente la calidad del enlace y pasando todo el tráfico radioteletipo cifrado a la perfección.

Por último la frecuencia F-3 de 3,594 Mhz. se utilizó a partir de las 22,00 h. o de las 22,30 h. en adelante, con alturas de la dipolo sobre el suelo de 6 y 7 m. que corresponden a alturas relativas de $h = \lambda/14$ y $h = \lambda/12$ con resultados de controles del orden de 4/4 pasando tráfico radioteletipo cifrado perfectamente, apareciendo errores en la transmisión en ciertos mensajes que no afectaban nada más que a algunas letras (menos del 2 por 100), pero que obligaba en alguna ocasión a repetir el mensaje cuando afectaba a la transmisión de los códigos de arranque de los teletipos lejanos de los corresponsales. La razón era debida al incremento del ruido que se produce durante las horas nocturnas y que es perfectamente audible en los microteléfonos de todos los receptores de HF; en cualquier caso la calidad que conseguíamos era bastante notable y nos permitía pasar todo el tráfico radiotelegráfico cifrado, aunque en algún caso con repeticiones del mensaje. La calidad del enlace para tráfico en fonia era excelente en todos los casos.

Respecto al capítulo del tráfico, aunque no sea éste un dato determinante pues lo realmente importante es mantener el enlace en perfectas condiciones durante todo el día y la noche, ya que luego el tráfico sólo ocupará, en situaciones normales y si está bien diseñada la Red, una fracción del total del tiempo, por razones obvias de agilidad en la gestión del tráfico y de seguridad, en total esta Red, trabajando en NVIS., tuvo un tráfico de 124 mensajes transmitidos y recibidos, siendo todos ellos (el 100 por 100) cifrados, de ellos más del 95 por 100 fueron cifrados con el Generador de Series Finitas FMX-5E, y el resto con Cintas Aleatorias.

Por último, es importante resaltar que para un buen funcionamiento de estas Redes, como en general para el buen funcionamiento de todos los Sistemas de Transmisiones, es necesario primero una planificación correcta y adecuada, pero después, y esto es todavía más importante, un seguimiento continuo y una gran tenacidad, realizando una escucha continuada de las Redes y viendo directamente desde el CCCR. los niveles y el ritmo del tráfico, para actuar rápidamente ante interferencias, cambios de frecuencia, etcétera, puesto que no será suficiente con fijar una hora de cambio de frecuencia y olvidarse de la Red. Los cálculos de HF son sólo predicciones, y lógicamente habrá variaciones de propagación incluso diarias que aconsejarán realizar los cambios de frecuencia antes o después de la hora prevista. Para ello es imprescindible disponer de Estaciones de Escucha y Control que permitan al CCCR. poder realizar este seguimiento de una forma permanente y actuar en consecuencia.

5. CONCLUSIONES

Vamos ahora a realizar un resumen y a establecer unas conclusiones sobre las experiencias y prácticas que durante los años 1987 y 1988 se desarrollaron por parte del Batallón de Centros de Transmisiones de Puestos de Mando del Regimiento de Transmisiones Tácticas número 21, sobre el modelo de propagación NVIS.:

1. Se puede afirmar que queda demostrado que es posible el enlace de una forma permanente en la llamada «zona de salto», de los 50 a los 200 Km., con las antenas dipolo de $\lambda/2$ reglamentarias y potencias menores de 100 w.
2. Queda demostrado el carácter omnidireccional en el plano horizontal trabajando con antenas dipolo de $\lambda/2$ situadas a una altura sobre el suelo de $\lambda/4$ a $\lambda/10$.

3. La calidad de los enlaces es muy buena, y de una gran estabilidad, permitiendo transmitir tráfico radioteletipo cifrado perfectamente.
4. Queda de manifiesto la gran resistencia a las ESM enemigas, puesto que se ha podido comprobar la dificultad de localizar a estaciones que trabajen en modo **NVIS.**, como se vio en el artículo del Memorial n.º 37.
5. Nos permite situarnos en zonas en las que el terreno nos apantalle del enemigo, sin reducirnos las posibilidades de enlace por ello, consiguiendo así impedir o disminuir los efectos de las ECM enemigas (perturbación).
6. La trayectoria de la radiación del modelo **NVIS.** permite trabajar desde zonas muy desenfiladas, y prácticamente es independiente del terreno.
7. Facilita, en consecuencia el movimiento de Unidades por zonas muy bajas y cubiertas, liberando así al Mando Táctico de la necesidad de dominar las zonas altas para facilitar el enlace.
8. Con este modelo de propagación no es necesario orientar las dipolos, lo que facilita el trabajo y la instalación.
9. Asimismo, al estar las dipolos instaladas a relativa baja altura sobre el suelo se simplifica la instalación de mástiles y accesorios.
10. Sería conveniente poder disponer de antenas especiales de menor tamaño que las dipolos y de gran ganancia vertical que se pudieran instalar directamente en los vehículos y permitieran el enlace de una forma rápida e incluso en movimiento. El ancho de banda de estas antenas podría restringirse de 2 a 9 Mhz. que son los límites entre los que podemos conseguir la radiación según el modelo **NVIS.**, lo que facilitaría su construcción. Antenas de estas características ya han sido probadas e instaladas con éxito en vehículos por el Ejército Soviético, y en los años 1986 y 1987 Unidades del Ejército de los Estados Unidos estaban realizando pruebas de campo, con antenas de estas características instaladas sobre vehículos.
11. Las técnicas **NVIS.** pueden resultar de gran utilidad para nuestras Unidades de Montaña por las especiales características del terreno sobre el que tienen que moverse, así como para las Grandes Unidades tipo Mando Operativo Regional (MOR.) o Cuerpo de Ejército y también para las Divisiones en algunos casos especiales.
12. Las Unidades de Paracaidistas y Unidades Especiales que tengan que realizar acciones relativamente lejanas (entre 50 y 300 Km.), y por tanto fuera del alcance de la Onda de Tierra de sus estaciones, pueden obtener buenos resultados con la técnica **NVIS.**
13. Asimismo las Unidades de Helicópteros que tengan que realizar transportes de tropas o acciones de apoyo logístico o tácticas, pueden mediante antenas **NVIS.** especiales adaptadas al fuselaje conseguir buenos resultados de enlace en los instantes de toma de tierra o de vuelo a muy baja cota, en los que pueden existir dificultades de enlace por el efecto de apantallamiento que el terreno puede ocasionar. El Ejército de los Estados Unidos ha instalado en algunos de sus helicópteros UH-1, antenas del tipo **AV-600NVIS.**
14. El rango útil de frecuencias del modelo **NVIS.** se puede establecer entre **4 y 8,5 Mhz.** de día y de **2 a 4,5 Mhz.** de noche. En cualquier caso la Frecuencia Óptima de Trabajo (FOT.) tendrá que ser calculada en cada ocasión y será función de la densidad de ionización de las regiones ionosféricas. En condiciones normales produciríamos reflexiones en la Capa F-1. Como norma práctica podremos establecer que en periodos de gran actividad solar se podrá utilizar la parte más alta de la banda, es decir, de **6 a 8,5 Mhz.** de día y de **3,5 a 4,5 Mhz.** de noche. En periodos de baja actividad solar será preferible trabajar en la parte más baja de la banda, es decir, de **4 a 6 Mhz.** de día y de **2 a 3,5 Mhz.** de noche.
15. Las alturas de antenas sobre el suelo (usando dipolos de media onda) utilizables en **NVIS.** son de entre $\lambda/4$ y $\lambda/10$, recomendándose alturas de entre $\lambda/7$ y $\lambda/10$ pues combinan buenas condiciones de ganancia en el plano vertical, y en consecuencia ángulos máximos de radiación de entre 70° y 90° , con una gran resistencia frente a

las ESM (radiolocalización táctica enemiga). De las tablas de resultados de Radiogoniometría del artículo del Memorial n.º 37 del mes de abril de 1989 se extrae como conclusión inmediata que es precisamente a partir de alturas de $\lambda/7$ cuando los datos de las marcaciones radiogoniométricas daban medias muy alejadas de la real y desviaciones típicas enormes, aun en el caso de que recibieran simultáneamente la Onda de Tierra y la Onda reflejada **NVIS.**, pues para estas alturas de antena la composición de las 2 Ondas da una Onda resultante en la que predomina totalmente la Onda **NVIS.**

16. Por lo general, no será conveniente trabajar a alturas menores de $\lambda/12$ o $\lambda/14$, pues aunque podamos conseguir mayores ganancias relativas o directividad en el eje vertical, sin embargo el efecto del suelo se nos traducirá en una gran absorción de la energía radiada. Así pues, habrá que llegar a un compromiso entre la mayor ganancia relativa en la vertical que se nos produce conforme vamos disminuyendo la altura sobre el suelo, con la menor potencia radiada por el efecto de absorción de energía por el terreno, que será mayor cuanto más nos aproximemos a él, cuando como es el caso estemos trabajando con el dipolo de media onda en polarización horizontal. Como dato aproximado señalar que al pasar de $\lambda/4$ a $\lambda/7$ tenemos pérdidas relativas en la dirección de máxima radiación, que son en la vertical, de unos -2,5 db., valor todavía pequeño y poco significativo frente a las pérdidas totales de un enlace de estas características que pueden ser de 100 a 120 db. e incluso mayores, pero valor que crece casi exponencialmente a partir de $\lambda/15$, empezando ya a ser significativas.
17. El radio de cobertura del modelo **NVIS.** si tomamos el ancho del haz de la antena de -3 db. alrededor de la dirección de máxima radiación de la antena será de entre 0 y 400 Km. y de 0 y 600 Km. tomando como alturas de la capa F-1 las de 200 km. o las de 300 Km. Naturalmente estos valores son valores aproximados y por supuesto variables en función de la actividad solar, época del año, etcétera. Lógicamente si trabajamos a $\lambda/10$ o $\lambda/12$ los ángulos del ancho del haz serán menores y en consecuencia los alcances del círculo de cobertura disminuirán. En todos los casos las máximas Intensidades de Campo las vamos a tener entre los 0 y 250 Km. y entre los 0 y 350 Km. según sea la altura de la Capa F-1, pues en la dirección de -3 db. estamos ya radiando, como todo el mundo sabe, la mitad de potencia.
18. Por último sólo me queda ya animar a todos aquellos Oficiales que estén en disposición de poder trabajar con Estaciones de HF a que realicen pruebas y experiencias en sus Escuelas Prácticas y Ejercicios para poder disponer todos de más datos sobre el tema, que aumenten nuestros conocimientos del fenómeno y nos ayuden a dominar un poco más el campo muchas veces arduo del trabajo en HF, lo cual redundará sin duda en una mejor explotación de nuestros medios y en una mayor operatividad y capacidad real de nuestras Transmisiones.

6. AGRADECIMIENTOS

Es de justicia, citar la gran ayuda, entusiasmo y colaboración que he recibido por parte de los Oficiales y Suboficiales del Batallón de Centros de Transmisión de Puestos de Mando del RTT-21, y en particular la que me han prestado los Tenientes de la 2.ª Compañía del BCTPC. don JESUS ARMISEN BOBO y don RAMON NAVARRETE HERVAS.

Por último, mi agradecimiento al Coronel don FELIX GARCIA DE LAS HIJAS, profesor entre otras muchas, de la XXXV Promoción, que nos abrió las puertas y nos aficionó a este mundo sin fronteras de las Transmisiones.

BIBLIOGRAFIA

- «Beyond-Line-of-Sight Propagation modes and Antennas» (artículo de David M. Fiedler y George H. Hagh publicado en la revista *Army Communicator*, otoño 1983).
- «Mobile NVIS.: The New Jersey Army National Guard Approach» (artículo del Teniente Coronel David M. Fiedler publicado en la revista *Army Communicator*, otoño 1987).
- «Skip the Skip zone: We created it we can eliminate it» (artículo del Teniente Coronel David M. Fiedler publicado en la revista *Army Communicator*, primavera 1986).
- «Planning and engineering of shortwava links» (Gerhard Braun, Siemens).