

# PROPAGACION «NVIS»: ESTUDIO Y EXPERIENCIAS

Cap. don Julián IRANZO COLLADO  
del Regimiento de Transmisiones Tácticas n.º 21

## 1. OBJETO

El presente trabajo, basado en una recopilación de datos de diversas fuentes y en una experiencia realizada por el BTPC,s. del Regimiento de Transmisiones durante las Escuelas Prácticas de Transmisiones GAMO-87 (noviembre, 1987), tiene por objeto la difusión entre los Oficiales de Transmisiones de nuestro Ejército de la técnica de propagación en HF denominada NVIS (Near-Vertical-Incidence-Skywave = Onda espacial de incidencia cuasivertical) y dar a conocer los resultados de dicha experiencia.

## 2. ANTECEDENTES

Nuestros Ejércitos disponen de un variado parque de estaciones radio de HF entre las que, por lo que al Ejército de Tierra respecta, predominan las siguientes:

- RACAL SYNCAL 100 W, que forma parte de la dotación del MERCURIO-A.
- ELMER SRT-470/S, 400 W, componente del MERCURIO-B.
- AN/GRC-106A, hasta 400 W (p.e.p.) según los modos de trabajo, que constituye el principal componente de las estaciones RATT AN/GRC-142 y AN/GRC-122.

Las referidas estaciones se emplean en las Mallas de OPERACIONES E INFORMACION y LOGISTICA —entre otras—, de las Brigadas, Divisiones y Mandos Operativos Regionales (MOR,s).

La importancia de estas Mallas requiere una organización tal de las mismas que pueda garantizarse el enlace a través de ellas durante las veinticuatro horas del día, máxime si se considera que suponen el único medio disponible, con cobertura suficiente, durante las fases de establecimiento de la red CBH —«esqueleto básico» de las Redes de las GU,s. División y Superiores— y en caso de neutralización o destrucción de los CTZ,s.

En campaña, en fases de gran movimiento —por decisión del Mando propio o imposición del enemigo—, en casos de destrucción de CTZ,s, CTT,s y CTPC,s, o, simplemente en caso de sobrevenir averías en los medios que las dificultades de apoyo logístico no puedan resolver en plazos adecuados, la Red CBH puede sufrir serias convulsiones, precisándose una gestión y una maniobra de enlaces y circuitos extraordinariamente ágil y eficaz —y por ello de difícil ejecución— que permita garantizar una mínima red estable capaz de absorber y procesar la gran cantidad de tráfico operativo, de inteligencia, logístico, etcétera, que generan las operaciones.

Por todo lo anterior es preciso reflexionar e intentar dominar cada vez más las técnicas de propagación en HF que, a mi juicio, están a menudo postergadas en nuestras Unidades, entre otras causas por la complejidad de los procedimientos de cálculo de enlaces y por la dificultad de garantizar con las estaciones, potencias y antenas disponibles, los enlaces du-

rante las veinticuatro horas del día, en todo tipo de terrenos y bajo circunstancias diversas en maniobras y ejercicios —de todos son conocidos los múltiples condicionamientos de la propagación en HF: hora del día o de la noche, épocas del mes y del año, magnetismo terrestre, estados atmosféricos, manchas solares, tipo de terreno, etcétera—.

Tales dificultades inducen frecuentemente a pensar a quien corresponde organizar una red de cierta envergadura, en la imposibilidad de establecer enlaces ininterrumpidos con estaciones HF, prefiriendo la solución más fácil de las Redes de VHF que, pese a la necesidad de desplegar mayor número de equipos, disponer de medios de retransmisión, etcétera, una vez establecidas resultan prácticamente inmunes a las variaciones en las condiciones de propagación.

Y como en definitiva se aprende lo que se practica y todo ejército que practica unos determinados métodos en sus ejercicios y maniobras acaba por creer en ellos como la mejor forma de actuar, terminaremos por pensar que comodidad y eficacia son sinónimas y que el «ocaso» de los equipos de HF es inevitable, en beneficio de los de VHF, aún cuando éstos resulten, en la práctica, mucho más vulnerables a las ESM que los primeros —siempre, claro está, que se exploten adecuadamente—, los cuales además pueden —volviendo a insistir en su adecuada explotación— garantizar enlaces ininterrumpidos, fiables y de gran calidad, en situaciones críticas del combate.

### 3. TEORIA DE LAS TECNICAS NVIS

#### 3.1. Introducción

En la banda de HF utilizada por nuestro Ejército (2-30 MHz) existen dos modos fundamentales de propagación:

- Por Onda de Tierra.
- Por Onda Ionosférica.

Con la primera resultan posibles enlaces entre 0 y 50 km y hasta un máximo de 80 km, en función de la potencia, frecuencia y, sobre todo, del terreno. En un terreno accidentado, como puede ser el español, resulta difícil garantizar enlaces para onda de tierra superiores a 30 ó 40 km, de forma fiable durante las veinticuatro horas del día.

Por onda ionosférica pueden conseguirse enlaces con alcances entre 200 y 2.400 km, e incluso superiores, dependiendo entre otras variables de la frecuencia, potencia, tipo de antena y altura de ésta sobre el suelo, zona terrestre, época del año, hora del día, condiciones de propagación, etcétera.

Existe por tanto una zona entre los 40-50 km y los 200 km —comúnmente denominada «skip zone» = zona de salto— esto es, entre los límites superiores de alcance de la onda de tierra y el punto en el que comienzan a aparecer las primeras reflexiones de la onda ionosférica, cuya cobertura resulta difícil garantizar de forma permanente. Esta zona de salto es mayor aún en terreno montañoso o simplemente compartimentado, cual es el caso del terreno medio español, ya que la onda de tierra apenas permite sobrepasar con total garantía los 25 ó 30 kilómetros. Hemos insistido una vez más en lo de **total garantía** ya que quien planifica despliegues de Transmisiones ha de conseguir enlaces **fiables** entre los puntos requeridos, **durante las veinticuatro horas del día y en cualquier condición**, pues de lo contrario el enlace puede no resultar útil en caso de necesidad.

Por otra parte, el empleo de la onda ionosférica presenta el inconveniente de que las reflexiones pueden alcanzar zonas muy lejanas e indeseadas, con el consiguiente riesgo de interceptación por el enemigo.

En consecuencia, la utilización de las estaciones MERCURIO, AN/GRC-142 y AN/GRC-122 puede verse afectada por serias dificultades si se pretende trabajar con plenas garantías en el rango de alcances de 30 a 200 km, rango que, por otra parte, coincide con el correspondiente a los alcances de un Cuerpo de Ejército o MOR, e incluso de una División u otros tipos de Unidades en condiciones especiales.

### 3.2. Modelo de propagación NVIS

Una posible solución a los problemas anteriormente expuestos es el empleo del modelo de propagación NVIS, adoptado por el ejército USA para los enlaces de determinadas Unidades y particularmente en su Fuerza de Intervención Rápida.

En esencia esta técnica consiste en radiar con grandes ángulos de salida, al objeto de crear unos conos de propagación omnidireccionales de radio variable —función de la frecuencia y de la altura de la antena sobre el suelo— cuya cobertura alcanza lo que hemos dado en denominar «zona de salto» o zona muerta (Figuras 1 y 2).

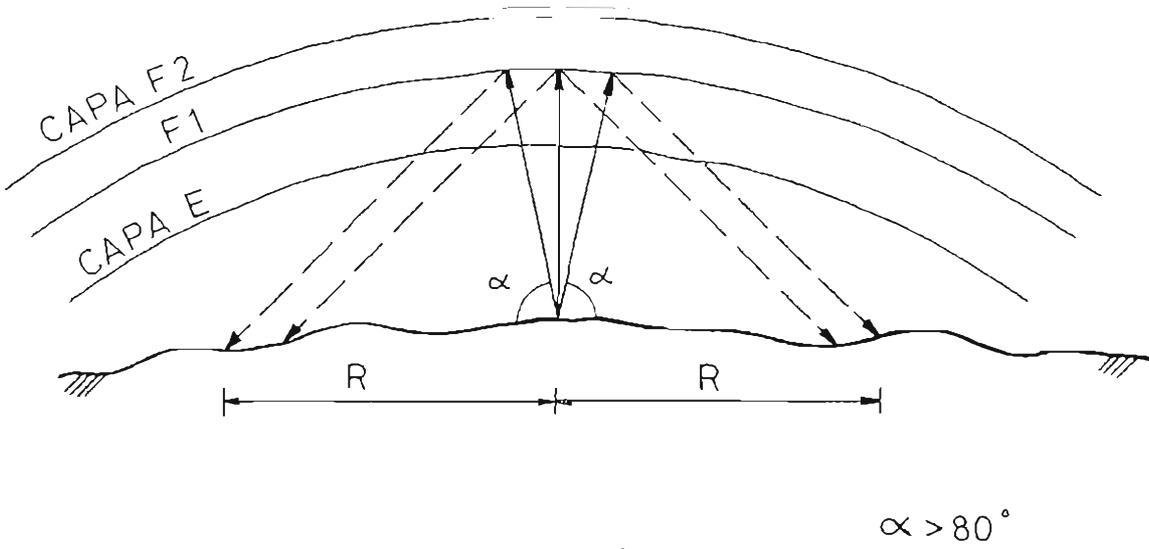


Figura 1.

10.7 CM FLUX = 86	1 JAN 1981 1200Z	SUNSPOT NUMBER = 30
X-RAY FLUX = QUIET		FREQUENCY = 5000 KHZ
MAGNETIC INDEX = 9.0		
FROM: MADR 40.4N 3.7W		TO: ALMER 36.8N 2.5W
ANTENNA: 5 POWER: 100 WATTS		ANTENNA: 5
RANGE = 408 KM		BEARING = 345.7 DEGREES

LAUNCH ANGLES: MIN = 45.0 DEG, MAX = 47.0 DEG, INC = 1.0 DEG

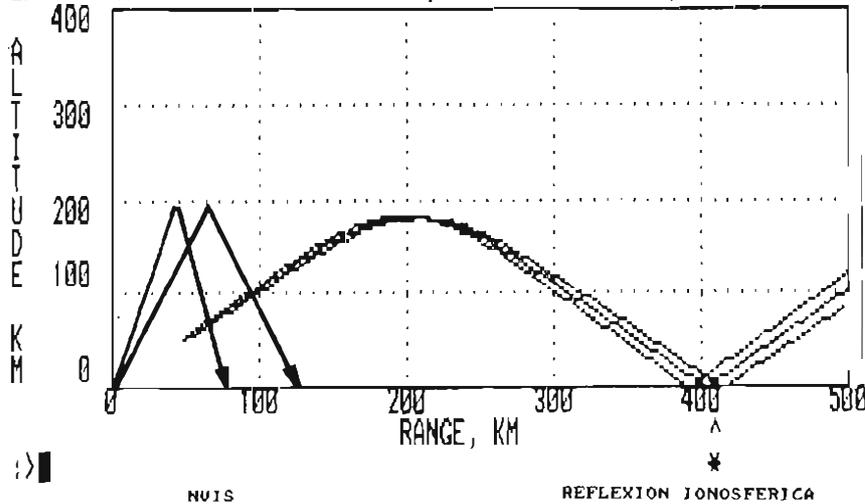


Figura 2.

La obtención de grandes ángulos de salida resulta posible empleando antenas dipolo horizontales de  $\lambda/2$ , situadas a alturas sobre el suelo entre  $\lambda/4$  y  $\lambda/10$ . Así, por ejemplo, para una frecuencia de 6 MHz, cuya longitud de onda es  $\lambda = 50$  m, la altura sobre el suelo a la que debería colocarse el dipolo es de  $h = \lambda/10 = 5$  m (ver Figura 3).

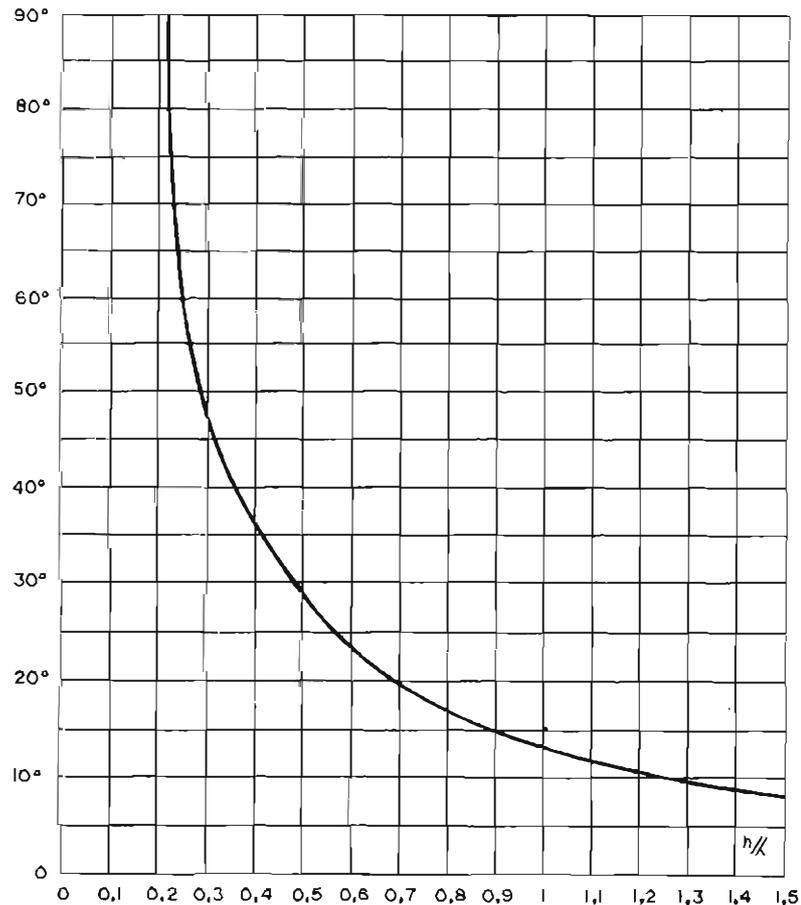


Figura 3. Ángulo de radiación máxima de un dipolo en función de la altura.

El rango de frecuencias utilizables con el modelo NVIS presenta, como ocurre con la propagación ionosférica convencional, un límite superior a partir del cual se produce la «perforación» de la ionosfera y otro inferior por debajo del cual las ondas resultan absorbidas por la capa ionosférica correspondiente. Las frecuencias utilizables están comprendidas entre los 4 y 8 MHz para el día y los 2 a 4 MHz para la noche.

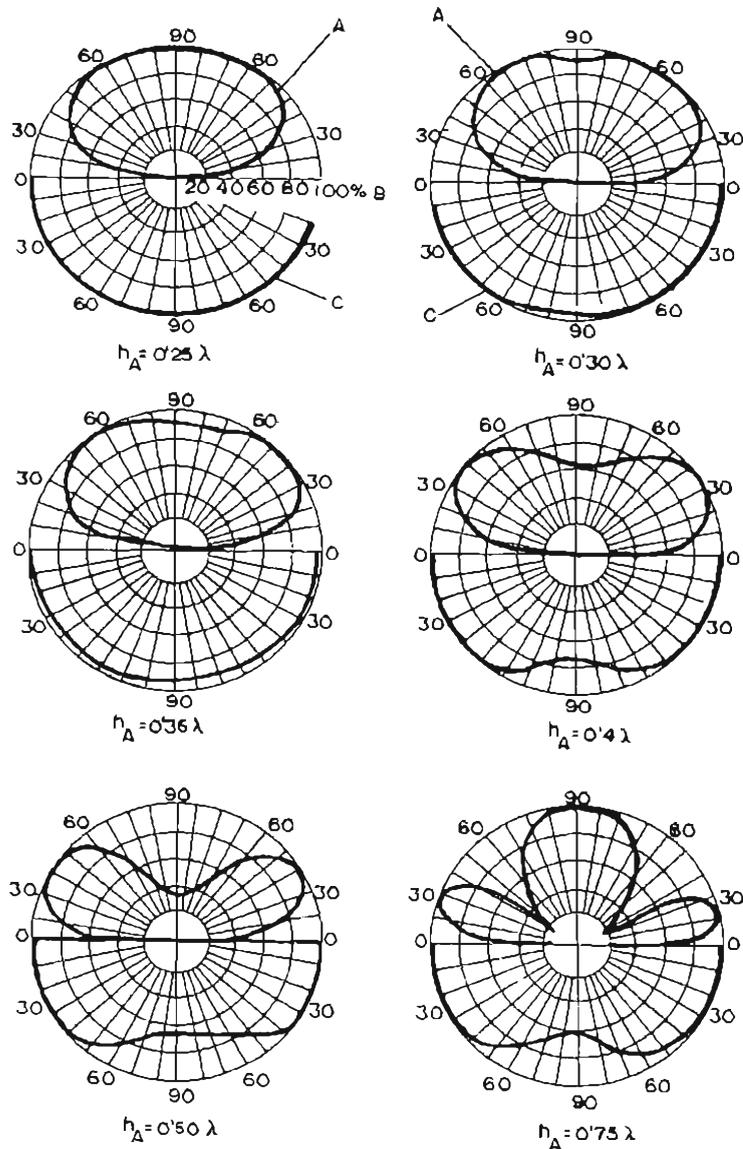
El modelo NVIS es omnidireccional y modifica el diagrama de radiación previsto para un dipolo horizontal de  $\lambda/2$  a mayor altura sobre el suelo (Figura 4).

En base a estas consideraciones podemos ya intuir una serie de ventajas de este modelo, entre las que destacamos las siguientes:

- 1) Pérdidas de propagación constantes, por lo que todas las estaciones desplegadas en el interior del área de cobertura del cono de propagación reciben el mismo nivel de señal.
- 2) Independencia del modo de propagación respecto del terreno, por muy accidentado que éste sea.
- 3) No es necesaria la orientación de las antenas ya que la propagación es omnidireccional.
- 4) Posibilidad de elección de asentamientos para las estaciones en zonas del terreno con poca altura e incluso en depresiones, obviando la necesidad del Mando táctico de dominar las alturas.

5) Grandes ventajas frente a las acciones de EW:

- Menor probabilidad de interceptación consecuencia de los bajos niveles de potencia de emisión requeridos al ser constantes las pérdidas.
- Menor probabilidad de localización (RDF) en base al camino de propagación. Sólo una localización por triangulación vertical puede ser realmente eficaz frente a este modelo.
- Más difícil de perturbar por onda de tierra.



A) Radiación vertical  
 B) Intensidad de campo (%)  
 C) Radiación horizontal

Figura 4. Diagrama de radiación vertical y horizontal de la antena dipolo en función de la altura ( $h_A$ ) sobre el suelo.

#### 4 EJECUCION PRACTICA DE ENLACES POR NVIS.

Para llevar a la práctica cuantas consideraciones se han expuesto se aprovecharon las Escuelas Prácticas GAMO-87, diseñándose una primera prueba consistente en crear una ma-lla en forma de triángulo isósceles de 60 km de base y 50 km en ambos lados, con estacio-nes MERCURIO-A en cada uno de los vértices.

La situación geográfica de cada vértice se escogió de forma que estuvieran obstruidos por terreno muy montañoso en las direcciones de los otros dos vértices, al objeto de elimi-nar la onda de tierra y confirmar que, de existir enlace, éste se conseguiría por onda ionos-férica (Figuras 5, 6, 7 y 8).

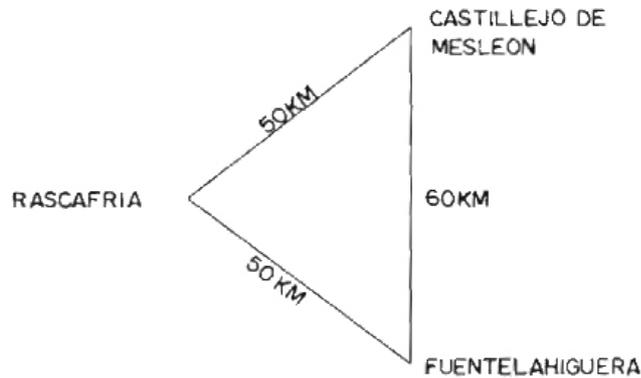


Figura 5. Pruebas NVIS.

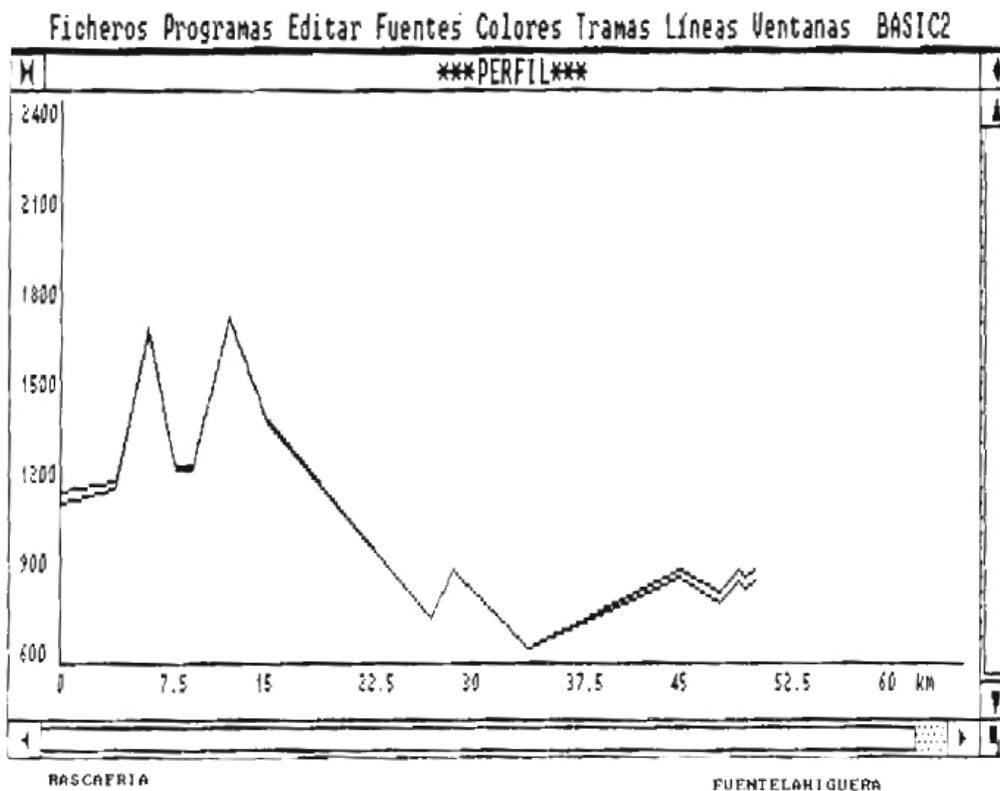


Figura 6.

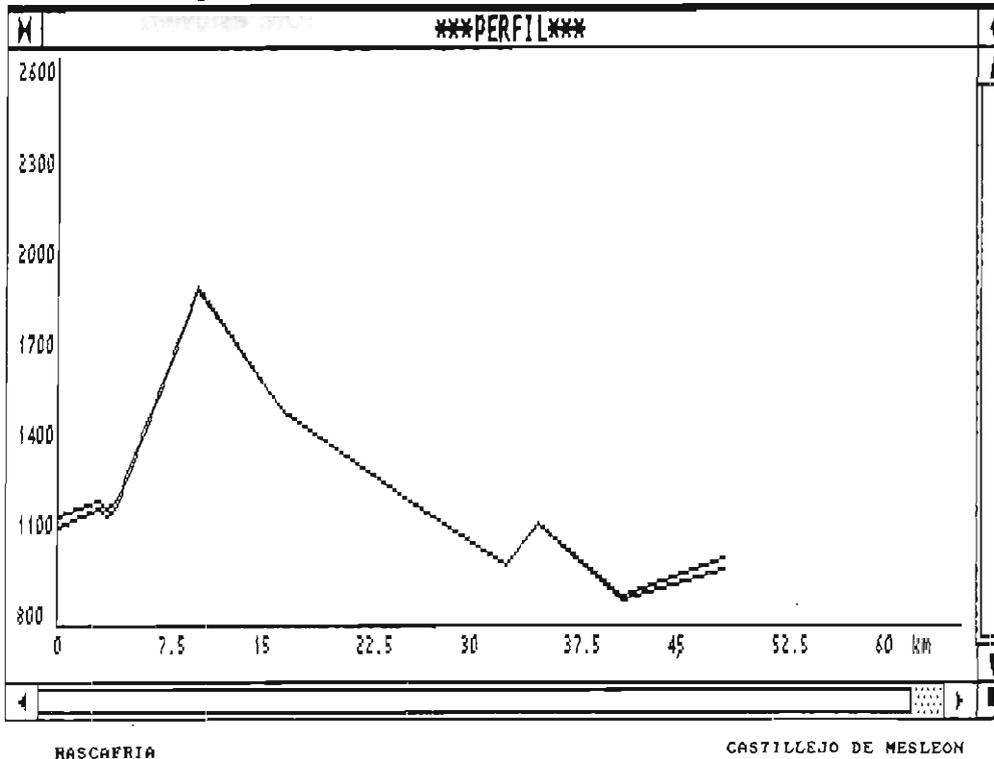


Figura 7.

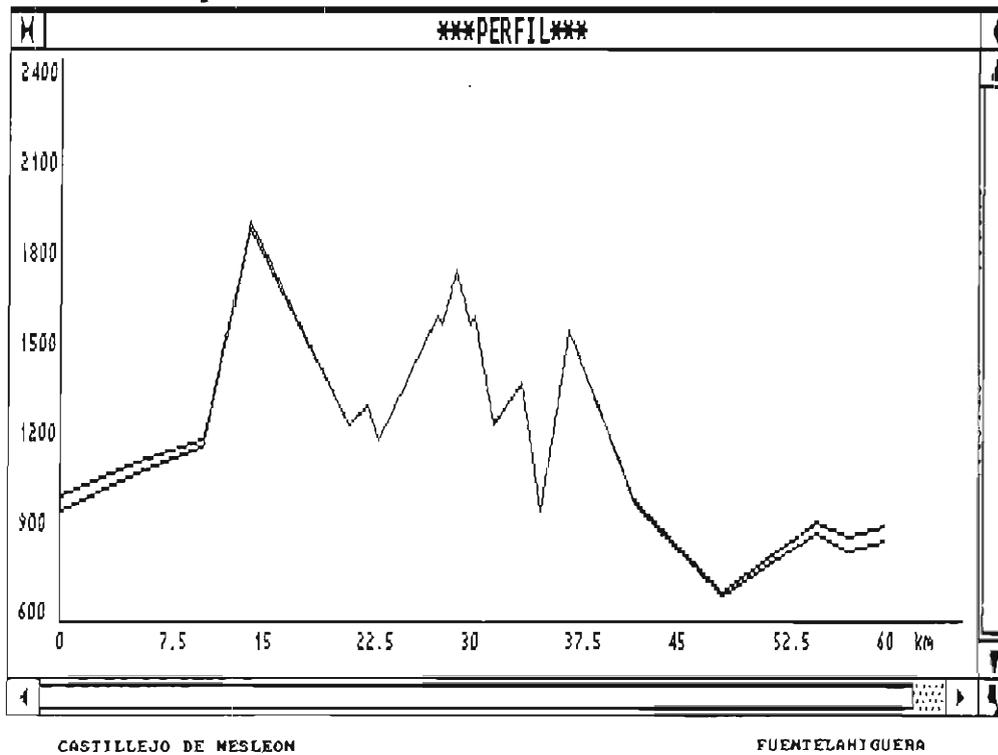


Figura 8.

Además de lo anterior, los mástiles de las dipolos se orientaron de forma que dos de ellas, concretamente las de RASCAFRIA y CASTILLEJO DE MESLEON, estuvieran alineadas longitudinalmente. Se pretendía comprobar así que de lograrse el enlace entre ambas, éste se ajustaría exclusivamente al modelo de propagación NVIS., es decir, radiación omnidireccional ya que si la antena radiase igual que un dipolo de media onda a mayor altura sobre el suelo, se produciría un nulo de radiación entre las dos estaciones que imposibilitaría el enlace.

La situación geográfica de los tres vértices fue la siguiente:

— Rascafría .....	30TVL 260 285
— Castillejo de Mesleón .....	30TVL 495 700
— Fuentelahiguera .....	30TVL 750 160

La prueba, como se comentó con anterioridad, se realizó con antenas dipolo horizontales reglamentarias, las cuales aumentan su ángulo de salida (o ángulo de radiación) vertical conforme menor es la altura del dipolo sobre el suelo. La Figura 3 representa el ángulo de radiación vertical en función de la altura de la dipolo sobre el suelo. Nuestro propósito es precisamente conseguir el máximo ángulo de radiación vertical posible, para eliminar la componente de onda de tierra.

La primera frecuencia de prueba fue de 4,577 MHz. que, según los límites establecidos para considerar una radiación como NVIS. con antena dipolo de  $\lambda/2$ , requiere una altura de ésta sobre el suelo de  $\lambda/10 = 6,6$  m.

Los resultados no pudieron ser más satisfactorios: para alturas entre 6 y 8 m, los controles de los enlaces entre las tres estaciones fueron en todos los casos 5/5/1, esto es:

- Intensidad (5): muy buena.
- Inteligibilidad (5): excelente.
- Interferencia: nula.

Para alturas entre 4 y 6 m y entre 8 y 12 m los resultados fueron, en la práctica totalidad de los casos, idénticos al anterior.

Con posterioridad se realizaron pruebas más completas, encaminadas a confirmar la hipótesis de la escasa probabilidad de localización por RDF en triangulación horizontal, debido al gran ángulo vertical de incidencia en las antenas de los radiogoniómetros. Para ello se estableció una malla con cinco estaciones MERCURIO-A ubicadas en los siguientes asentamientos (1):

— La Granja .....	30TVL 150 280
— Convento de S. Antonio .....	30TVL 470 240
— Cardoso de la Sierra .....	30TVL 610 500
— Fuentelahiguera .....	30TVL 750 160
— Ledanca .....	30TVL 130 240

Sólo pudo disponerse de un radiogoniómetro, ubicado en las proximidades de El Cubillo de Uceda (30VTL 648 181), por lo que no fue posible realizar ninguna triangulación. No obstante, las marcaciones de este único radiogoniómetro se consideraban suficientes para el grado de exactitud requerido en las pruebas. Los resultados son, a nuestro juicio, francamente interesantes y reveladores y vienen a confirmar las hipótesis enunciadas.

Los datos se presentan en forma de tablas que recogen la **frecuencia de trabajo**, la **altura (H) de la dipolo sobre el suelo**, el **número de n-2 marcaciones realizadas**, la **media ( $\bar{x}$ )**, la **desviación típica ( $\sigma$ )** y la **real aproximada ( $\alpha$ )**.

El número de n-2 marcaciones debe entenderse en el sentido siguiente: a efectos de evaluación estadística de los datos proporcionados por el radiogoniómetro se ha considerado el número total de marcaciones menos dos —precisamente los valores más extremos—. Con esos n-2 valores se ha extraído la media ( $\bar{x}$ ) y la desviación típica ( $\sigma$ ), que es una medida estadística de dispersión indicadora del grado de concentración o dispersión de las marcaciones respecto de la media. Valores de  $\sigma$  bajos y próximos al cero (0) indican gran concentración de las marcaciones respecto de la media y hace fiable por tanto el valor de la misma. Por el contrario, valores elevados de  $\sigma$  indican gran dispersión respecto de la media por lo que ésta tiene poca fiabilidad. Veamos un ejemplo:

- Sean 10 marcaciones con los siguientes valores:
  - $n(1) = 103,40$
  - $n(2) = 102,50$
  - $n(3) = 100,60$
  - $n(4) = 98,60$
  - $n(5) = 99,30$
  - $n(6) = 101,20$
  - $n(7) = 97,80$
  - $n(8) = 99,80$
  - $n(9) = 110,40$
  - $n(10) = 89,70$
- Desechando  $n(9)$  y  $n(10)$  por ser los valores mayor y menor respectivamente, quedarían  $n-2 = 8$  marcaciones.
- La media será  $\bar{x} = 100,43$  y la desviación típica  $\sigma = 1,76$ .
- Los datos pueden considerarse concordantes y la media resultará fiable.
- Sean ahora otras 10 marcaciones diferentes a las anteriores, con valores:
  - $n(1) = 62$
  - $n(2) = 13$
  - $n(3) = 190$
  - $n(4) = 78,50$
  - $n(5) = 64,20$
  - $n(6) = 214$
  - $n(7) = 160,40$
  - $n(8) = 153$
  - $n(9) = 48,50$
  - $n(10) = 50,30$
- Eliminando  $n(6)$  y  $n(2)$  por ser respectivamente los valores mayor y menor quedarían  $n-2 = 8$  marcaciones.
- La media será  $\bar{x} = 100,86$  y la desviación típica  $\sigma = 53,46$ .
- El elevado valor de la desviación típica revela una gran dispersión de las marcaciones respecto de la media. Por consiguiente y aunque ésta se hubiera calculado correctamente desde un punto de vista matemático, representará un valor muy aleatorio y de escasa fiabilidad, el radiogoniómetro nunca daría una marcación en la dirección determinada por dicha media y, por todo ello, los datos correspondientes a las diferentes marcaciones deberán ser considerados como irrelevantes.

La columna epigrafiada como  $\alpha$  **Real Aproximada** indica el ángulo correcto que hubiera tenido que dar el radiogoniómetro, esto es, la marcación que correspondería a la dirección real del emisor.

Pasemos a continuación a analizar las tablas. En la primera de ellas, correspondiente al asentamiento del emisor en La Cabrera y para una frecuencia de trabajo de 3,500 MHz., las marcaciones del radiogoniómetro se aproximan bastante a la real, presentando unos valores muy bajos de desviación típica. Aún cuando estos resultados parecen contradecir en principio la teoría NVIS, no debe olvidarse que la frecuencia empleada está fuera del margen de 4 a 8 MHz., considerado como el más apropiado para la aplicación de esta técnica para trabajar lejos de la LUF y por otra parte, al no existir obstáculo entre la estación y el radiogoniómetro, éste recibe una componente de onda de tierra (Figura 9). Veremos posteriormente como, a medida que se aumenta la frecuencia, aparecen los errores deseados en las marcaciones radiogoniométricas.

La Tabla número II se ha confeccionado para un asentamiento del emisor en Fuentelaguna y frecuencia de trabajo de 4 MHz. Las medias siguen siendo en este caso bastante próximas a las reales y las desviaciones típicas muy bajas. La justificación puede ahora explicarse atendiendo a tres posibles factores: no hay obstáculos entre la estación y el radiogoniómetro, la distancia entre ambos es de apenas 10 km y, finalmente, la frecuencia de tra-

bajo está exactamente en el límite inferior de la banda eficaz NVIS (Figura 10) y próxima todavía a la LUF por lo que no se produce una reflexión efectiva en la ionosfera.

FREC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{X}$	REAL $\alpha$ APROX	$\sigma$
3500	12 m	3	293,13°	294°	0,08
..	10 m	4	293,30°	..	0,46
..	8 m	5	293,02°	..	0,55
..	6 m	6	292,83°	..	0,26
..	4 m	5	292,98°	..	0,57
..	2 m	8	293,13°	..	0,50

TABLA I  
La Cabrera

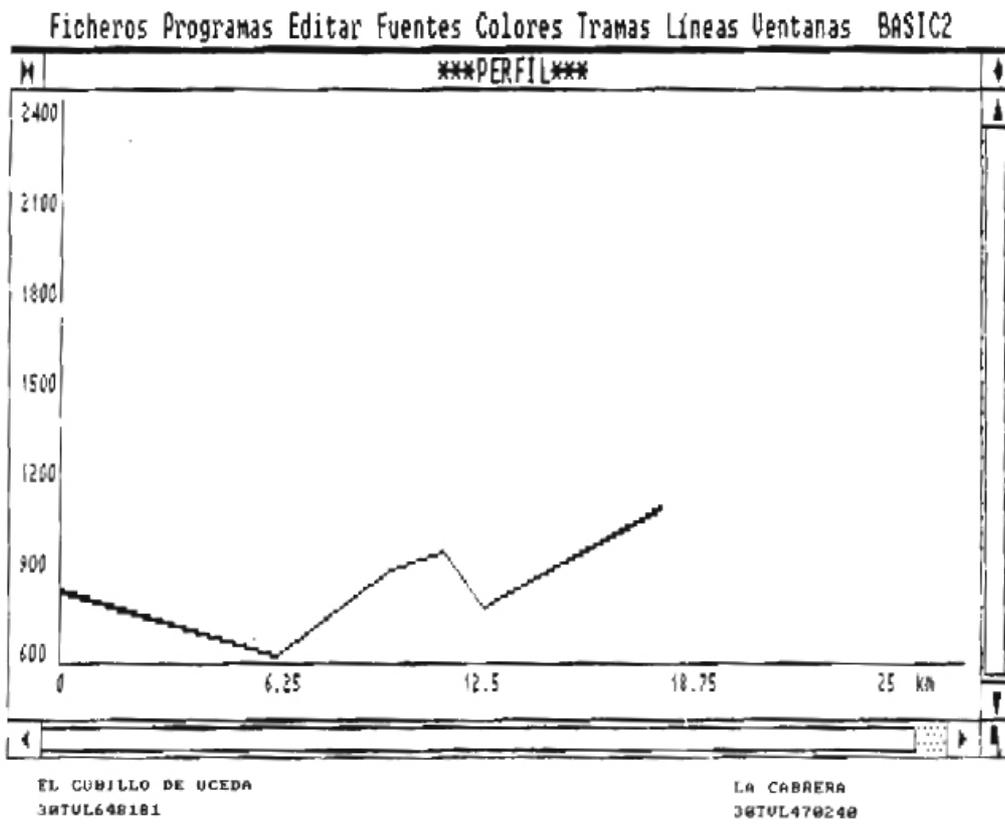


Figura 9.

En las Tablas número III y posteriores se pasa ya a trabajar a 5 MHz. y por tanto dentro de la banda eficaz NVIS. La altura de la dipolo sobre el suelo para esta frecuencia es de  $H = \lambda/10 = 6$  m. Con estas premisas, la Tabla número III proporciona unos resultados más acordes con el modelo NVIS. El asentamiento elegido en este caso para la estación (Cardoso de la Sierra), hace que entre ésta y el radiogoniómetro el terreno presente una obstrucción

considerable (Figura 11). Para  $H = 10$  m las marcaciones siguen resultando fiables, con una media de  $\bar{\alpha} = 353,71$  muy aproximada a la real, y una desviación típica de  $\sigma = 1,09$  que puede considerarse baja. Sin embargo, para  $H = 8$  m y  $H = 6$  m las medias son de  $\bar{\alpha} = 147,66$  y  $\bar{\alpha} = 147,68$  respectivamente y las desviaciones típicas de  $\sigma = 77,8$  y  $\sigma = 46,48$  dando como resultado en ambos casos valores muy alejados de la  $\alpha$  real ( $353^\circ$ ), con errores de orden de los 200 grados.

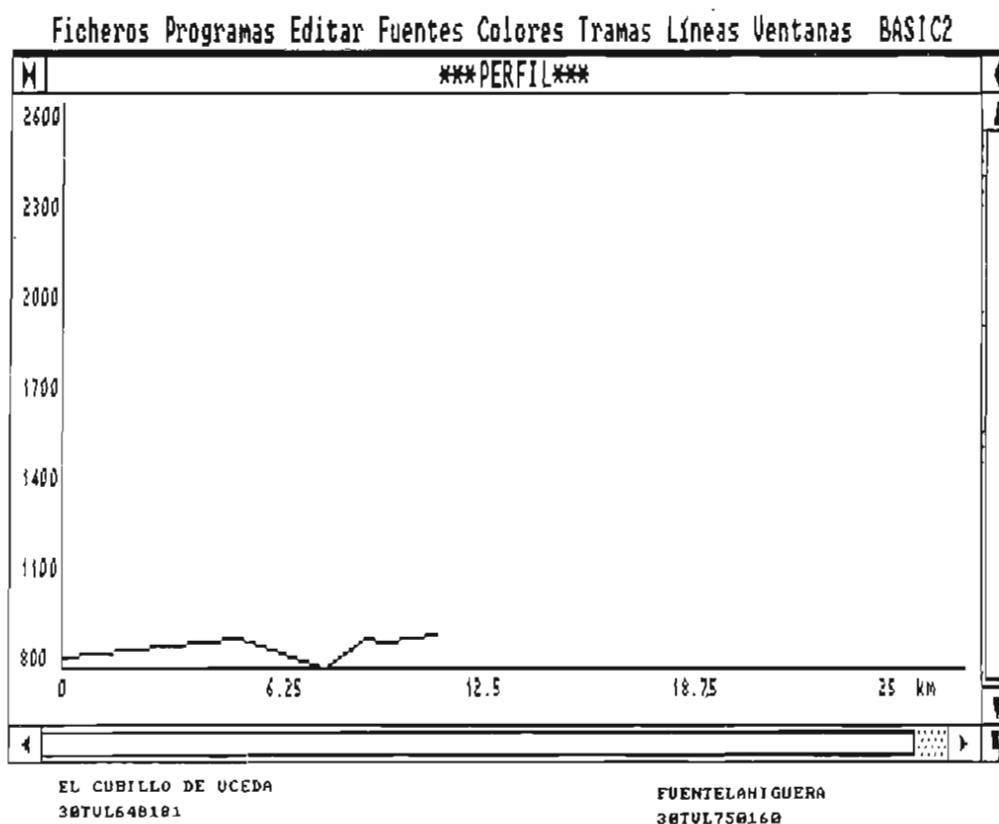


Figura 10.

TABLA II  
Fuentelahiguera

PEEC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{\alpha}$	REAL APROX.	$\sigma$
4000	12m	4	97,35°	100°	0,22
..	10m	4	97,12°	..	0,04
..	8m	5	97,06°	..	0,24
..	6m	7	95°	..	0,72
..	4m	5	96,14°	..	0,43
..	2m	6	96,48°	..	0,27

Una última puntualización respecto de la Tabla número III. El valor  $\bar{x} = 322,08$  obtenido para  $H = 2$  m no significa en modo alguno «mejoría» en las marcaciones del radiogoniómetro. Antes bien, dichas marcaciones presentan una desviación típica de  $\sigma = 67,30$ , valor exageradamente alto, revelador de unas marcaciones totalmente aleatorias y erráticas que han dado como resultado, por pura casualidad, una media aparentemente aproximada (33° de error respecto de la real) pero de todo punto inaceptable a efectos de localización del emisor, tanto por la magnitud del error como —y lo que es más importante— por el valor de la desviación.

FREC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{x}$	REAL APROX.	$\sigma$
5000	12	6	86,31°	353°	77,58
..	10	7	353,71°	..	1,09
..	8	8	147,66°	..	77,78
..	6	5	147,68°	..	46,48
..	2	6	322,08°	..	67,30

TABLA III  
Cardoso de la Sierra

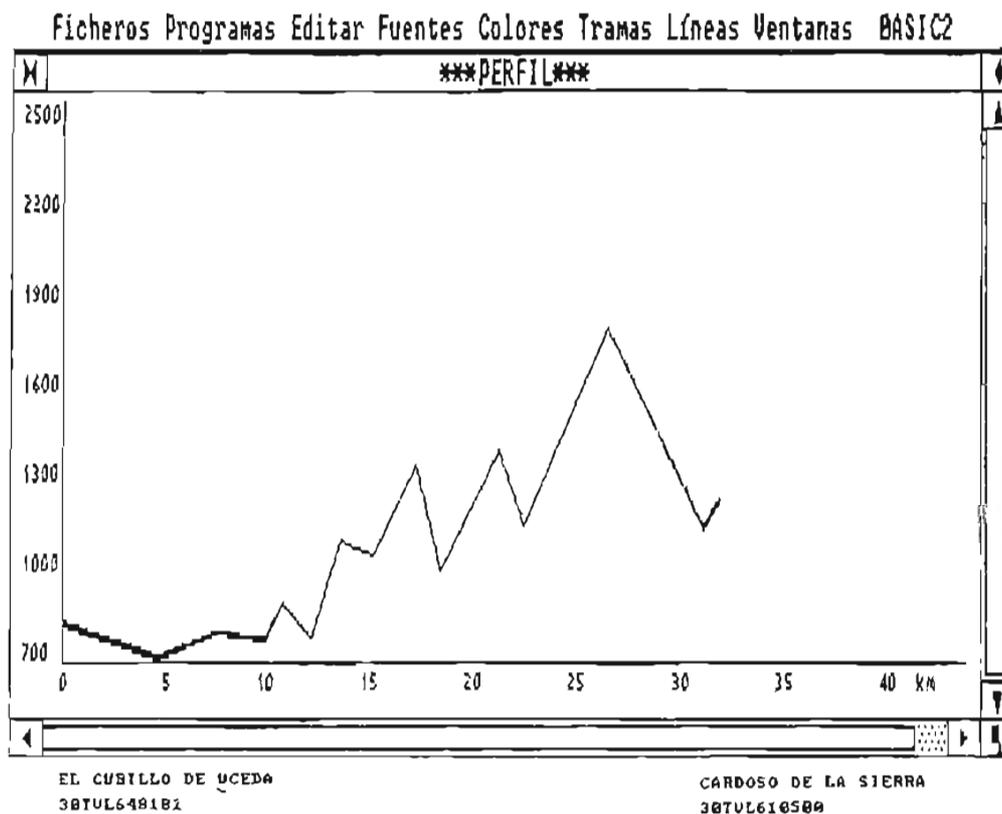


Figura 11.

FREC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{x}$	REAL $\alpha$ APROX	$\sigma$
5000	12 m	7	292,08°	294°	0,81
..	10 m	4	291,75°	..	0,28°
..	8 m	7	291,14°	..	0,87
..	6 m	7	262,38°	..	69,15
..	2 m	5	252,42°	..	77,66

TABLA IV  
La Cabrera

TABLA V  
La Granja

FREC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{x}$	REAL $\alpha$ APROX	$\sigma$
5000	12 m	5	105,84°	282°	74,87
..	10 m	4	242,27°	..	43,65
..	8 m	6	130,46°	..	13,97
..	6 m	4	54,32°	..	2,2°
..	2 m	5	106,94°	..	54,33

La Tabla número IV, con asentamiento en La Cabrera (Convento de San Antonio) y frecuencia de 5 MHz confirma aún más nuestras hipótesis sobre el modelo NVIS. Vemos en ella como para H = 12 m la media es  $\bar{x} = 292,08$  próxima a la  $\alpha$  real, y la desviación típica  $\sigma = 0,81$  es baja, por lo que las marcaciones pueden considerarse aceptables. Para H = 10 m y H = 8 m las medias van alejándose progresivamente de la  $\alpha$  real y con H = 6 m el error en la media supera los 30° y la desviación típica  $\sigma = 69,15$  es ya tan elevada que revela claramente unas marcaciones totalmente erráticas por parte del radiogoniómetro. Lo mismo ocurre para H = 2 m.

También en este caso se requiere una puntualización. Como anteriormente se comentó, no existe aquí obstáculo entre estación y radiogoniómetro, por lo que se supone que este último recibirá tanto la componente de onda ionosférica (NVIS) como la de onda de tierra. Hasta una altura de 8 m predomina la segunda de dichas componentes por lo que parece razonable que el radiogoniómetro proporcione marcaciones aceptables, pero para alturas inferiores predomina la onda ionosférica (NVIS.), por lo que la determinación de la dirección de incidencia no resulta posible por marcaciones azimutales (horizontales).

Respecto de la Tabla número V, preparada para un asentamiento en La Granja y frecuencia una vez más de 5 MHz., puede observarse cómo el radiogoniómetro no proporcionó en ningún caso datos fiables ni próximos a la  $\alpha$  real. Esta circunstancia puede explicarse por el hecho de que entre la estación y el radiogoniómetro se encuentra todo el obstáculo natural

de la Sierra de Guadarrama (Figura 12), que impide la propagación de la onda de tierra, por lo que todas las señales incidentes en el radiogoniómetro habrán seguido el modo de propagación por reflexión ionosférica modelo NVIS.

En la Tabla número VI el asentamiento correspondiente está en Ledanca, y concretamente en una zona muy «encajonada» en el valle del Río Badiel elegida precisamente al objeto de atenuar al máximo la componente de onda de tierra (Figura 13). Para  $H = 12$  m el valor de la media es de  $x = 99,95$  bastante alejado de la real ( $83^\circ$ ) pero con una desviación  $\sigma = 1,82$ , todavía aceptable. Cuando la altura pasa a ser de 10, 8 y 6 m las medias resultan totalmente erróneas y las desviaciones típicas exageradamente elevadas.

FREC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{x}$	REAL $\alpha$ APROX	$\sigma$
5000	12m	4	99,95°	83°	1,82
..	10m	3	171,10°	..	2,92
..	8m	6	173,28°	..	57,10
..	6m	3	179,23°	..	87,14
..	2m	4	196,17°	..	67,42

TABLA VI  
Ledanca

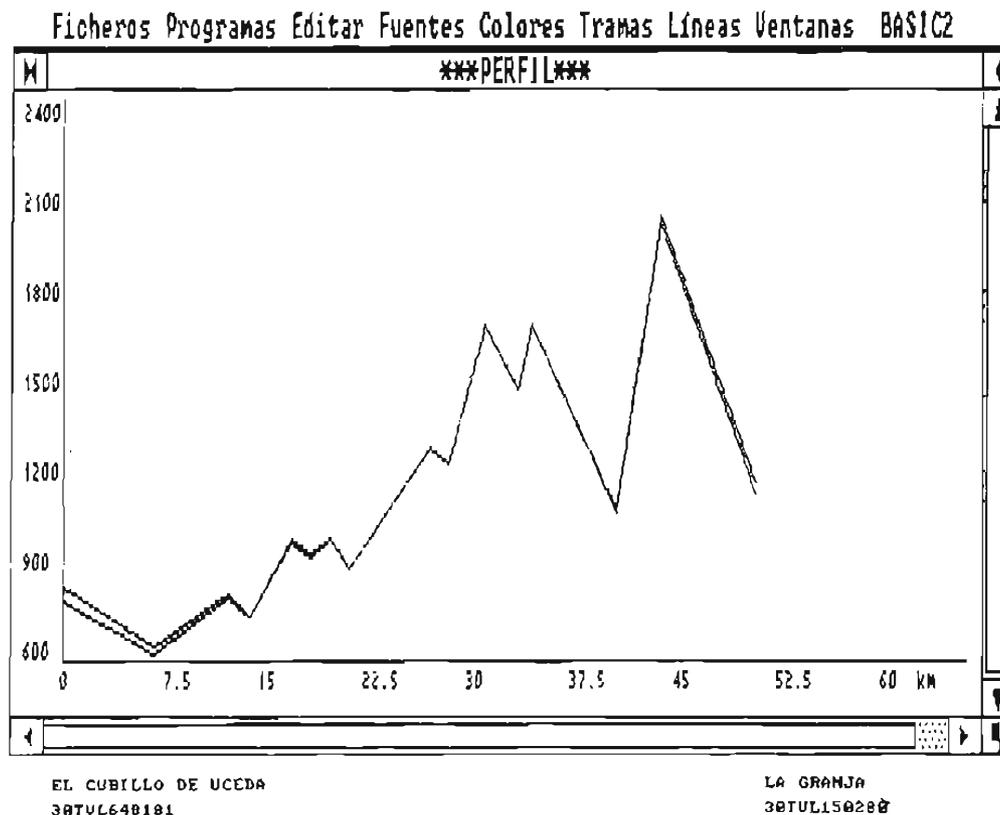
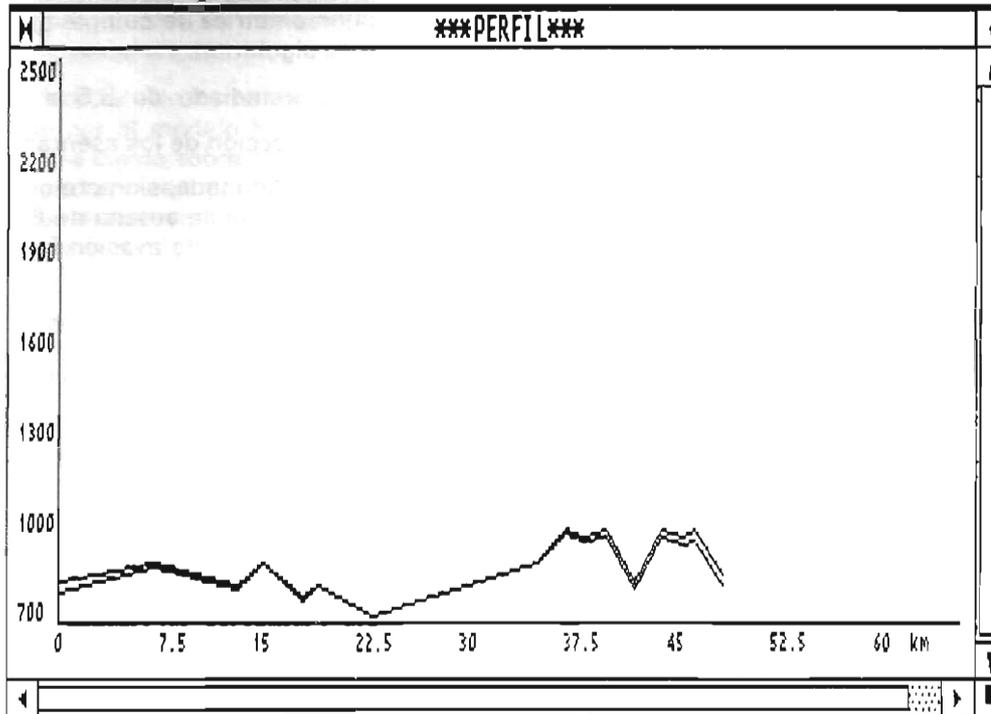


Figura 12.



EL CUBILLO DE UCEDA  
38TUL648181

LEDANCA  
38TUL138248

Figura 13.

TABLA VII  
Fuentelahiguera

FREC	H	MARCACIONES n-2	$\bar{x}$	REAL APROX.	$\sigma$
5000	12m	6	100,70°	100°	1,32
..	10m	7	100,48°	..	2,71
..	8m	8	100,80°	..	0,71
..	6m	7	53,78°	..	15,16
..	4m	8	195,45°	..	96,13

Por último, en la Tabla número VII, con asentamiento en Fuentelahiguera y sin obstáculo entre la estación y el radiogoniómetro —es decir, permitiéndose la propagación tanto por onda de tierra como ionosférica (NVIS)— las medias resultan muy exactas para alturas 12, 10 y 8 m con desviaciones típicas de  $\sigma = 1,32$ ,  $\sigma = 2,71$  y  $\sigma = 0,71$  respectivamente, valores aceptables en todos los casos. Para H = 6 m la media ( $\bar{x} = 53,78$ ) está ya muy alejada de la  $\alpha$  real y la desviación típica es elevada ( $\sigma = 15,16$ ) y para H = 4 m tanto el error en la media como la desviación típica son aún mayores.

A la vista de los datos proporcionados por las tablas y realizando un rápido análisis puede observarse que la teoría NVIS sobre localización radiogoniométrica se cumple tanto más cuanto mayor sea la concurrencia de las dos circunstancias siguientes:

- Aumento de la frecuencia, al menos en el rango estudiado de 3,5 a 5 MHz.
- Eliminación de la onda de tierra mediante la adecuada elección de los asentamientos.
- Ahora bien, aun cuando la onda de tierra no pueda ser eliminada, siempre que la onda ionosférica predomine sobre aquélla —a partir de alturas de antena de 8 m e inferiores— el modelo NVIS. sigue presentando gran capacidad de evasión frente a la localización radiogoniométrica enemiga.

No se pudo, por falta de tiempo, efectuar comprobaciones respecto de las posibilidades de evasión a la radiolocalización en el margen de 5 a 8 ó 9 MHz., como hubiera sido deseable, pero las pruebas realizadas apuntan a una clara confirmación de la teoría NVIS.

Si fue posible realizar pruebas de enlace en todo el margen de 4 a 8 MHz., con saltos de 0,5 MHz y para todas las alturas de antena posibles, desde  $H = 2$  m hasta  $H = 12$  m. La calidad de dichos enlaces puede resumirse en controles 5/5/1 para la práctica totalidad de los casos. El enlace fue positivo asimismo para 8,5 MHz. e imposible ya para 9 y 9,5 MHz., frecuencias estas en las que, entendemos, ya no se produce reflexión en la ionosfera sino una perforación de dicha capa que impide el retorno a tierra de las señales.

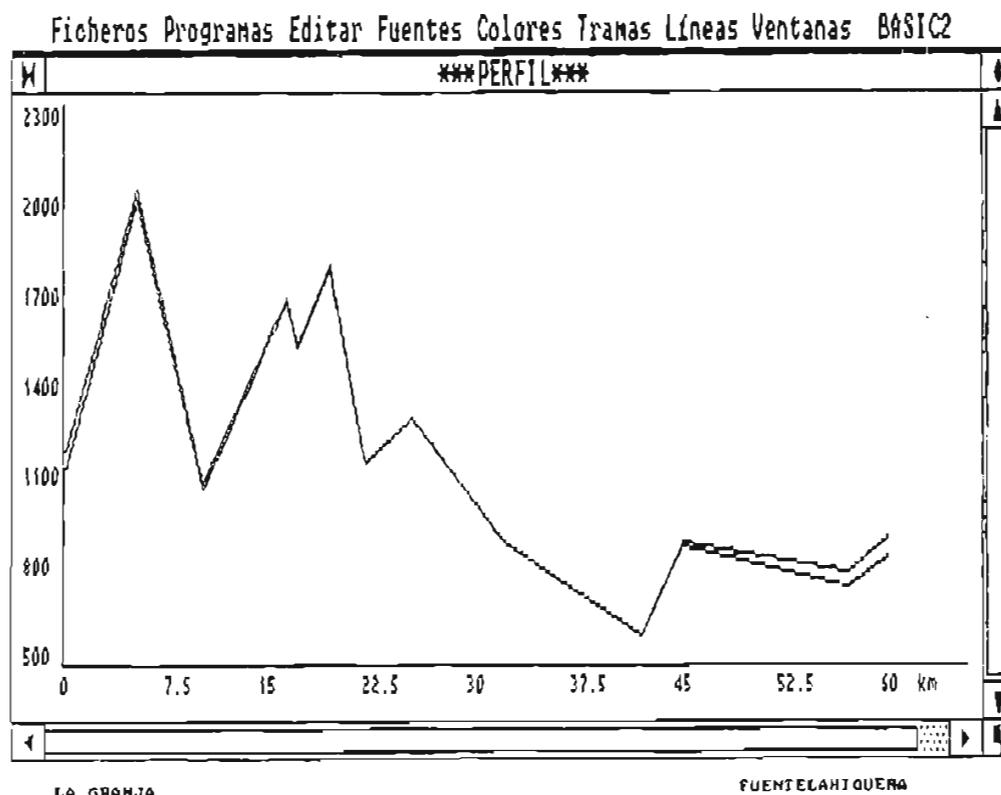


Figura 14.

Queremos añadir, por último, que por diversas circunstancias y principalmente por falta de tiempo, no pudieron llevarse a cabo determinadas pruebas que consideramos del mayor interés y entre las que cabe destacar las siguientes:

- Confirmación de la hipótesis relativa a la ineficacia de la perturbación por onda de tierra frente al modelo NVIS., siempre que existan condiciones favorables de apanta-

Ilamamiento de dicha onda por el terreno y, sólo en el caso de que los perturbadores empleen también el modelo NVIS., puede considerarse que la perturbación constituye una amenaza eficaz.

- Medición, de forma clara, del diámetro eficaz de la base del cono de propagación creado por el modelo NVIS. —diámetro que será función de la frecuencia y de la altura de la dipolo sobre el suelo—, dato este muy interesante ya que, de llegar a resultados concluyentes, podrían crearse en las Zonas de Operaciones conos de propagación, con diámetros tales que permitieran alcanzar la Línea de Contacto (LC.) sin rebasarla, garantizando así comunicaciones de gran calidad y fiabilidad en zonas deseadas y soslayando el riesgo de que dichas comunicaciones pudieran penetrar en zona enemiga.
- Comprobación de la calidad de los enlaces en el margen de 2 a 4 MHz., considerado teóricamente como el más adecuado para el trabajo de noche y estudio de los márgenes de frecuencias apropiados para los períodos de transición día/noche y noche/día.

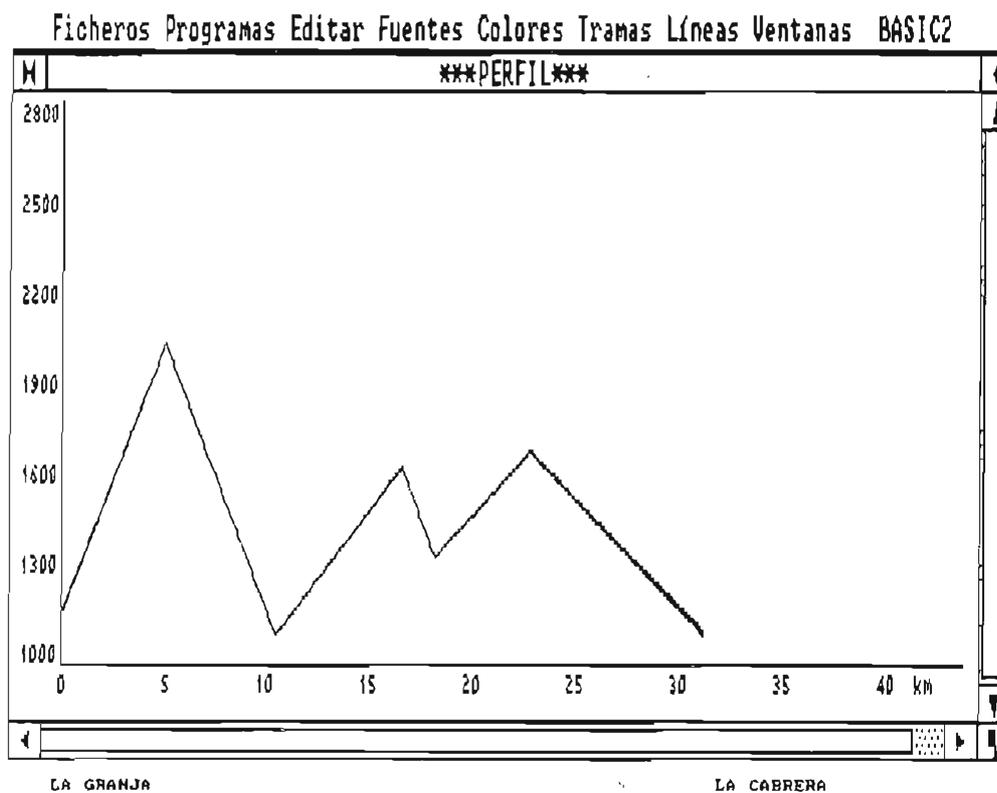


Figura 15.

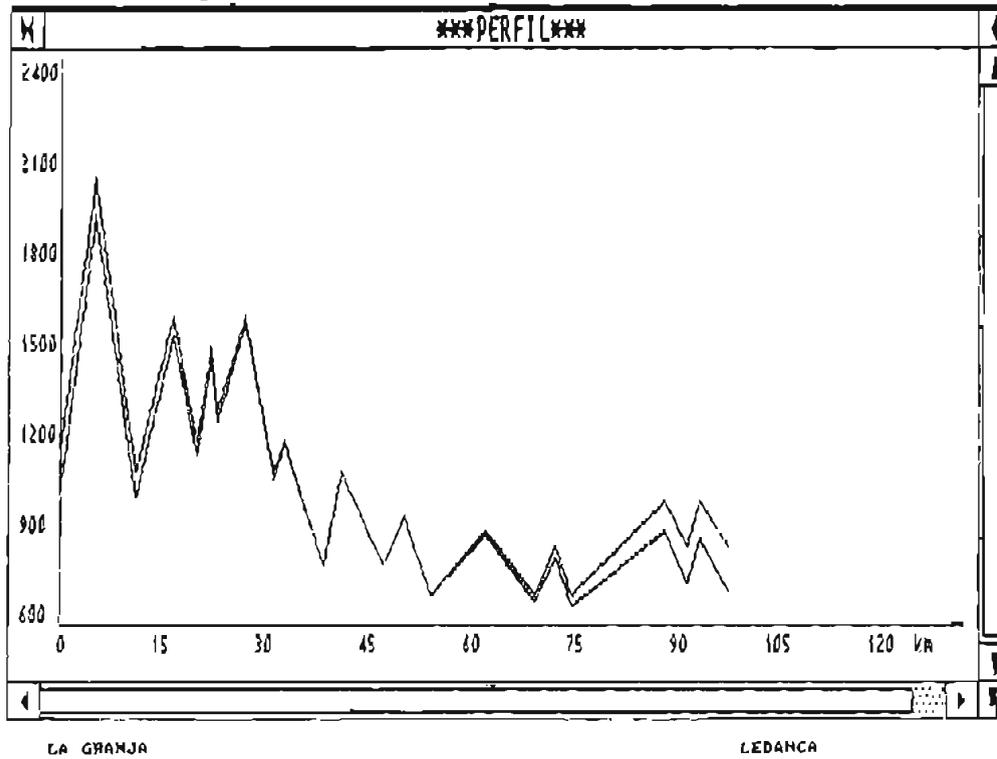


Figura 16.

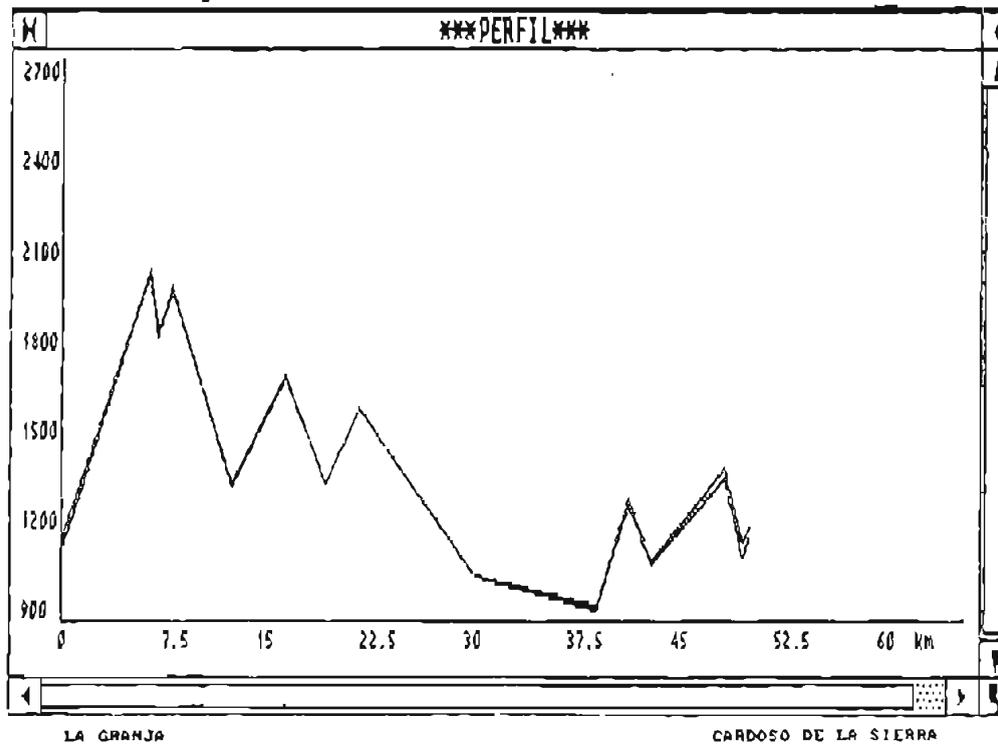


Figura 17.

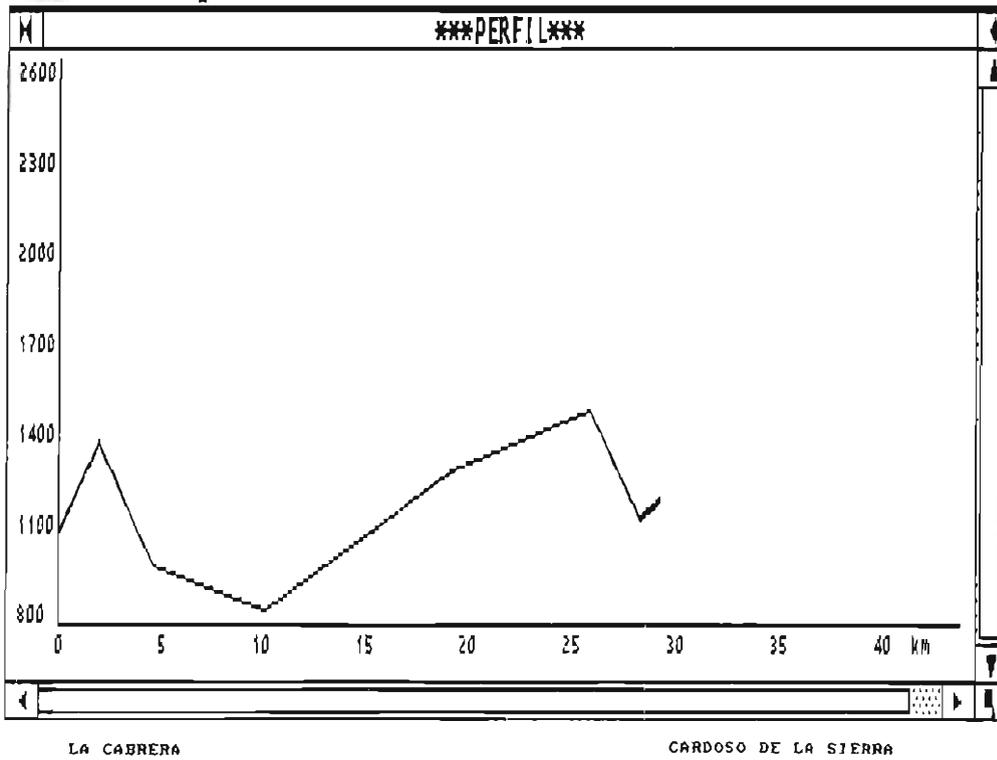


Figura 18.

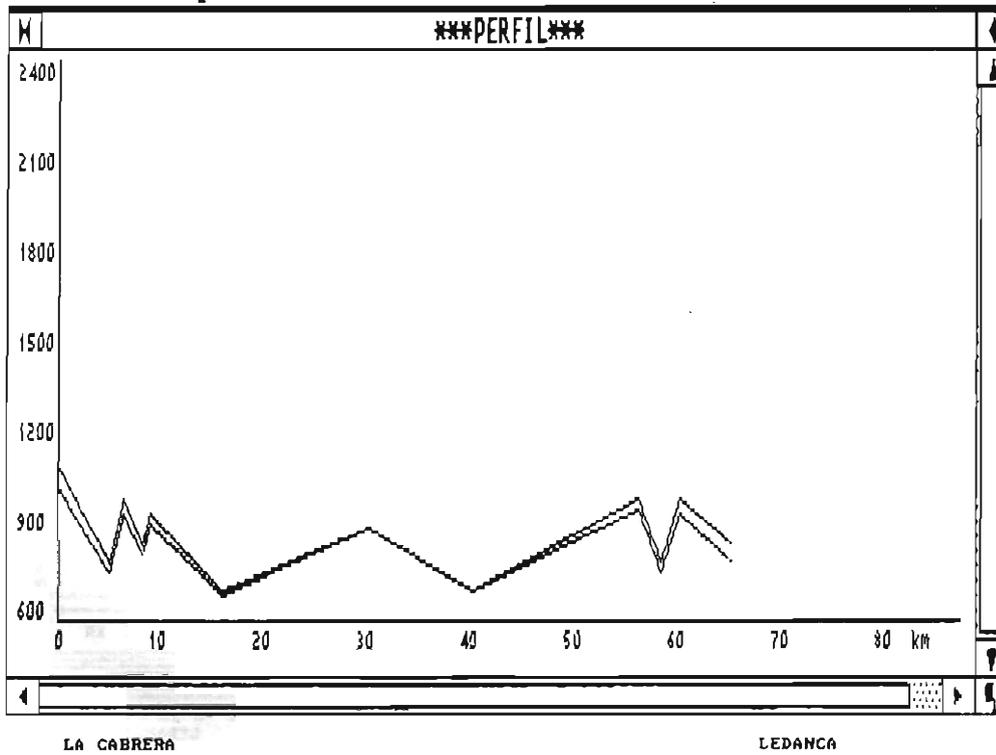


Figura 19.

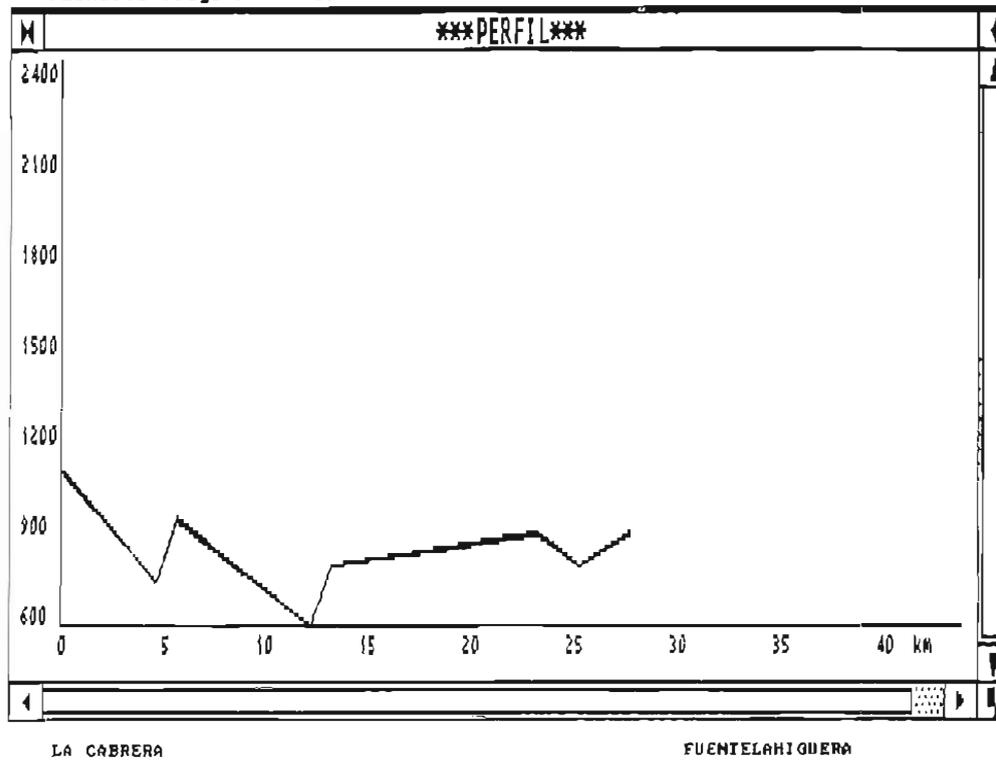


Figura 20.

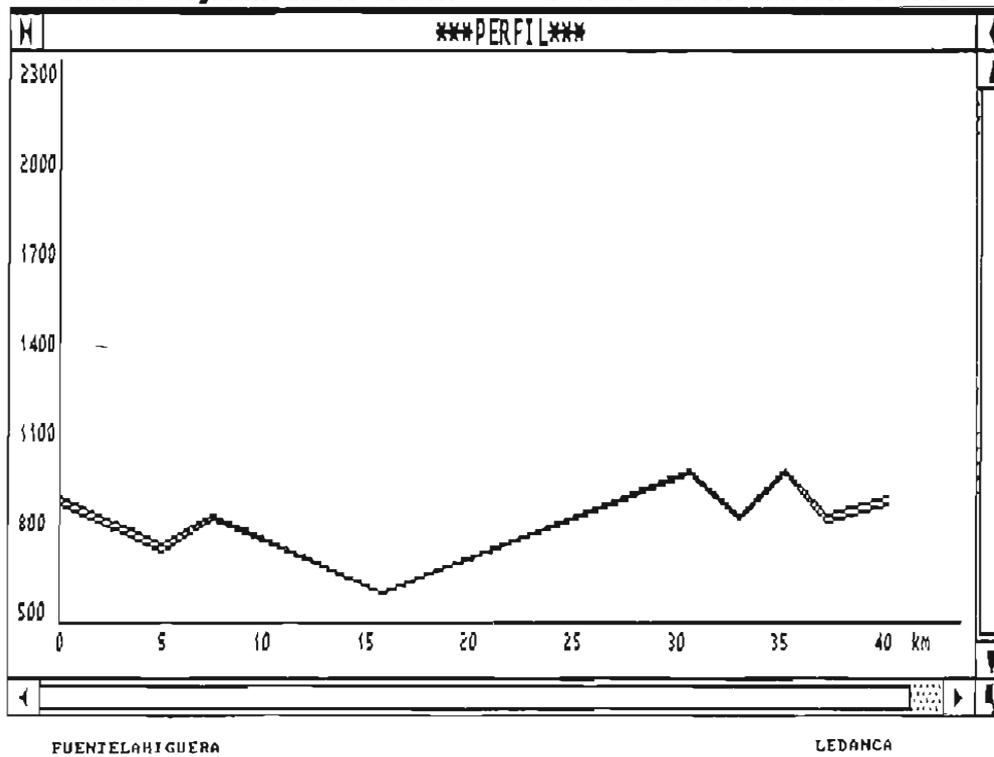


Figura 21.

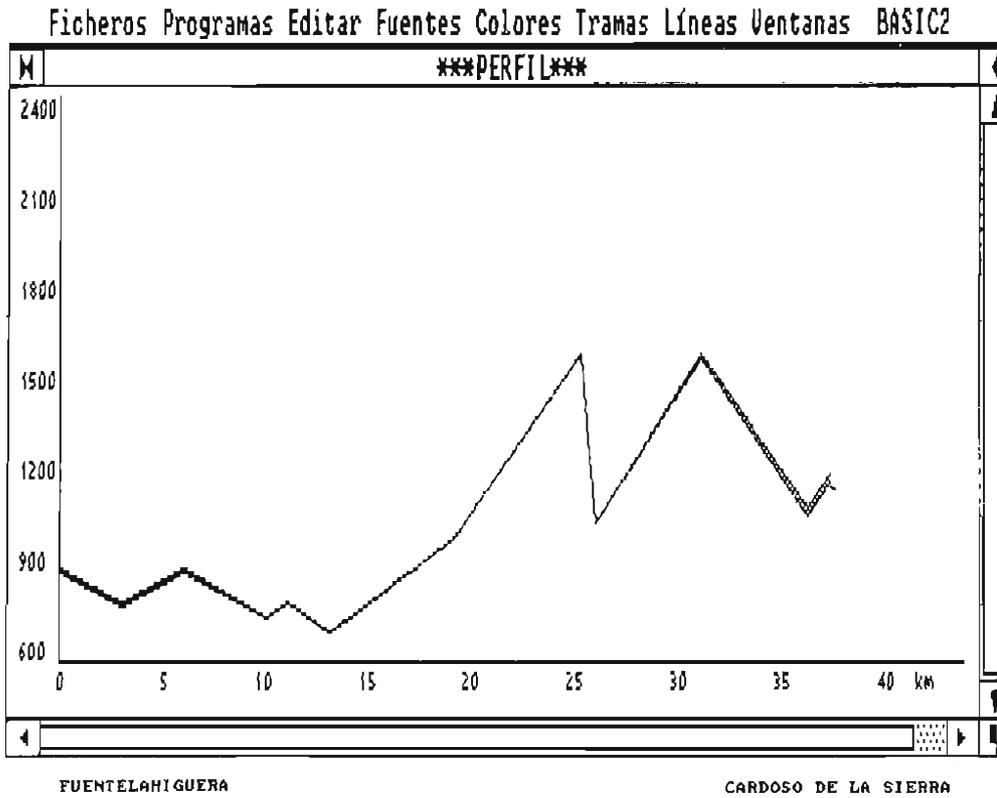


Figura 22.

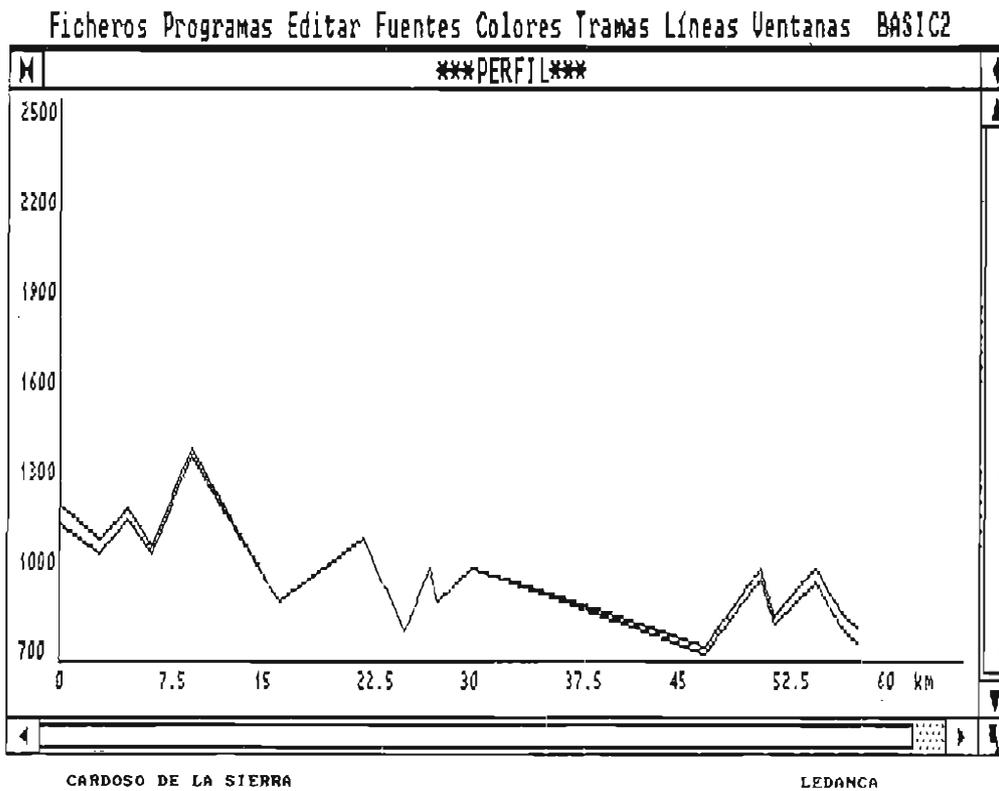


Figura 23.

## 5. CONCLUSIONES

Aun cuando entendemos resulta prematuro establecer conclusiones definitivas, siendo necesario realizar muchas pruebas complementarias, las efectuadas hasta ahora apuntan a una posible confirmación de la teoría NVIS. De resultar así, el NVIS podría constituir un modelo de propagación de gran utilidad para nuestro Ejército.

Repasemos, a modo de resumen, aquellos puntos más relevantes en relación con las experiencias realizadas:

- El rango eficaz de frecuencias utilizables durante el día con el modelo NVIS se ha establecido entre 3,5 y 8,5 MHz, aunque puede ser susceptible de modificaciones cuando se lleven a cabo pruebas más exhaustivas.
- La calidad del enlace es muy elevada. A decir de algunas personas que han participado en las pruebas, dicha calidad resulta máxima para alturas de antena de 8 m y en frecuencias de 4 a 5 MHz, tanto en cuanto respecta a la intensidad e inteligibilidad de las comunicaciones como a la ausencia de ruido. Esta última circunstancia puede atribuirse al hecho de que la trayectoria de propagación está muy alejada del suelo, en cuyas proximidades se genera la mayor parte de los ruidos que habitualmente afectan a los canales de transmisión —ruido industrial, ruido de líneas de transporte de energía, etcétera.
- La capacidad de evasión frente a la radiolocalización puede considerarse también muy aceptable, tanto más cuanto mejor han podido ser eliminadas las componentes de onda de tierra, aprovechando para ello las posibilidades de apantallamiento ofrecidas por el terreno en determinados casos.
- En aquellos otros casos en los que resultó imposible eliminar la onda de tierra, los radiogoniómetros dieron marcaciones bastante correctas, en general, para alturas del dipolo sobre el suelo de 8 m y superiores.
- Esta mejora en las marcaciones puede ser debida a que para las alturas de antena señaladas, el radiogoniómetro recibe las componentes de onda de tierra e ionosférica, con predominio precisamente de la primera. A partir de  $H = 8$  m y hasta  $H = 2$  m, las marcaciones presentaron errores de gran magnitud, medias muy alejadas de la real y desviaciones típicas muy elevadas, denotando por ello grandes dispersiones sobre la media. Cabe pensar que para estas nuevas alturas, la onda ionosférica NVIS predomina sobre la de tierra.
- Las alturas óptimas de los dipolos sobre el suelo experimentadas que presentan las mejores ventajas de calidad de enlace y resistencia a la radiolocalización, están comprendidas entre 4 y 8 m para el margen de frecuencias de 4 a 8 MHz, no siendo la correspondencia lineal.

Este modelo de propagación puede ser muy útil para Unidades de Montaña, en las que para garantizar enlaces entre valles adyacentes o distantes en bandas de frecuencias como las de VHF. (radioteléfonos) y UHF. (equipos de CBH.), se precisan a menudo gran cantidad de medios y concretamente de repetidores, con los consabidos problemas de asignación de frecuencias de retransmisión, elección de asentamientos, etcétera, mientras que aplicando técnicas NVIS. se puede conseguir, con estaciones HF. aisladas, grandes resultados.

En cualquier caso, con el modelo NVIS. se abre un campo nuevo en el empleo de la banda de HF. que puede «revitalizar» su aplicación en el Ejército Español, como viene ya ocurriendo en otros ejércitos de nuestro entorno, los cuales han vuelto otra vez la mirada hacia esta banda, empleando con profusión estaciones de HF e incorporando en las mismas dispositivos de detección/corrección de errores y de COMSEC. (Seguridad de Comunicaciones) que hacen mucho más seguro dicho empleo. Pensemos que, en determinados momentos «críticos» para la Red CBH. de una Gran Unidad —sea Cuerpo de Ejército, Mando Operativo Regional o División—, derivados de la acción enemiga, averías en los equipos o retrasos en la corriente logística de abastecimientos, por ejemplo, el único medio realmente seguro, fiable y razonablemente invulnerable a las ESM. enemigas —siempre que se utilicen asociadas a dispositivos o procedimientos específicos anti-ESM, dentro de los cuales el modelo NVIS. puede suponer un recurso más— de pasar tráfico serían las estaciones HF. ya que en la ban-

da de VHF. los medios de interceptación enemigos serán con toda seguridad de búsqueda automática —scanners—, mientras que en la de HF, debido a la gran «polución» electromagnética inherente a la misma —elevado número de estaciones tanto civiles como militares, ruido en los canales, etcétera—, la búsqueda será manual, y por ello lenta y poco eficaz en la mayor parte de las ocasiones.

Se ha solicitado del Mando la autorización para llevar a cabo las pruebas complementarias ya aludidas que, de resultar satisfactorias, podrán aportar datos más consistentes, los cuales serán objeto de análisis y divulgación en los próximos meses.

No obstante, y a fuer de resultar contumaces, pensamos que con el presente trabajo y la información que en el mismo se acompaña es ya suficiente para que las Unidades interesadas en el tema puedan comenzar, aprovechando Ejercicios, Escuelas Prácticas y Maniobras, a experimentar con esta técnica de propagación que, como se ha dicho en repetidas ocasiones, es utilizada con éxito por otros ejércitos, como ocurre en las Unidades de Intervención Rápida del Ejército USA.

## 6. AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de los trabajos que han dado origen a este artículo no hubiera sido posible sin la entusiasta colaboración de los Oficiales y Suboficiales de los Batallones de Centros de Transmisiones de Puestos de Mando y de Guerra Electrónica del Regimiento de Transmisiones.

Especial mención merece la iniciativa del Capitán, don PEDRO VIVAS GONZALEZ, sin cuyo esfuerzo de recopilación, traducción y divulgación de la bibliografía relacionada con el tema, no hubiera podido sembrarse la inquietud entre quienes hemos participado en este trabajo.

A todos ellos mi más sincero agradecimiento.

El Pardo, 28 de marzo de 1988.

**Julián IRANZO COLLADO**  
*Capitán*

## BIBLIOGRAFIA

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