La protección contra la localización electrónica en las redes militares*

José Luis García Valdivia
Teniente Coronel (Ingenieros)

Una introducción muy breve

Este es un trabajo que podría complementar otros estudios, ya que es un tema un tanto específico, pero no lo excluye para ser tratado independientemente.

Empezaremos revisando algunos conceptos fundamentales, y qué mejor que con el encabezamiento escogido.

La localización de la que hablamos (palabra que empleamos con un sentido general) implica como primer paso la localización de las emisiones en el ESEM (espectro electromagnético), es decir, la detección. A partir de este punto la emisión detectada puede ser:

-*Interceptada.* Es decir, escuchada y grabada si es voz; grabada y analizada, si son datos. O, en otros casos, radiolocalizado su emisor. En general, acciones que impliquen explotación de la información que la señal puede proporcionar. La radiolocalización de los emisores (RDF: Radio Direction Finding) afecta, como ya se comentó, a la red directa y especificamente; la explotación del contenido informativo de las señales afecta, en cambio, sólo de forma genérica e indirecta.

-*Perturbada.* Es decir, electrónicamente destruida la información que transporta.

Evitar, pues, la localización de la red en el ESEM constituye uno de los empeños de mayor importancia para proporcionarle capacidad de supervivencia.

COMO PROTEGER LA RED CONTRA LA LOCALIZACION EN EL ESPECTRO

Algunas generalidades previas

La protección contra la localización en el espectro de sus emisiones (EPM anti-ESM) constituye la segunda característica de la estrategia de ocultación ante la agresión.

Disponer de esta protección significa dificultar las acciones ESM enemigas dirigidas a detectar las emisiones propias, y, una vez detectadas, a interceptarlas; es decir, dificulta a un enemigo, potencial o declarado, la radiolocalización de las instalaciones de la red, y como consecuencia:

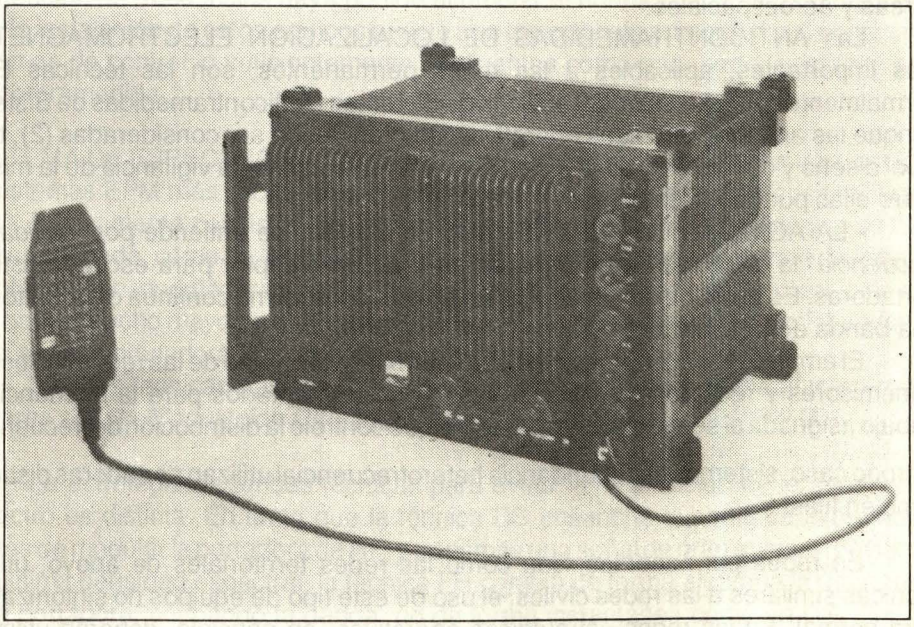
De: EJERCITO, Revista Española, Junio 92, Año LIII, Num. 629

- La destrucción física de la red mediante acciones de cualquier tipo: de guerra convencional, nuclear o irregular.
- La destrucción electrónica de las emisiones detectadas mediante ECM, normalmente perturbación.

La localización en el espectro implica la posibilidad de localizar físicamente los asentamientos e instalaciones de la red y, por lo tanto, las mismas consecuencias que ya se han estudiado. Además, la localización en el espectro (la detección) permite aplicar sobre las emisiones detectadas contramedidas electrónicas (ECM) y, mediante ellas, destruirlas (1).

La protección contra la localización electromagnética debe ser analizada desde el punto de vista de:

- La propagación de las ondas electromagnéticas.
- El tipo de red: permanente o de campaña.
- La importancia relativa:
  * De la red en sí.
  * De cada órgano o elemento concreto dentro de la red.



Radioenlace para redes tácticas en las bandas I, II, III y IV EUROCOM. Se trata posiblemente del más moderno desarrollado hasta la fecha. Emplea como técnica EPM el ensanchamiento de espectro por Secuencia Directa (DS) consiguiendo una protección anti-ESM y anti-ECM de 15 dB. (para 216 Kbps). Pertenece a la firma ALCATEL.

La determinación del grado de amenaza y de la gravedad de sus consecuencias deberá fijar, en cada caso concreto, la intensidad y tipo de las EPM anti- ESM que deberán aplicarse.

De acuerdo con ello, se analizará el problema para redes de campaña por separado, considerando, en cada caso, los tres puntos de vista señalados.

El caso de las redes permanentes

El *"Estado del Arte"* actual de las técnicas de detección e interceptación de señales hace imposible, en la práctica, impedir la radiolocalización de los CTs, de las redes permanentes que por su propio carácter emiten de forma continuada:

- Desde un mismo asentamiento.
- En una misma banda, e incluso muy a menudo, en unas mismas frecuencias.

La instrumentación de dispositivos ESM en satélites artificiales y plataformas aéreas, alejadas miles o decenas de miles de kilómetros del emisor víctima, hace pósible, desde tiempo de paz, confeccionar el mapá del despliegue de las redes permanentes.

Las plataformas terrestres o navales no disponen, en cambio, de la misma facilidad. La atenuación de las señales electromagnéticas en su propagación por el espacio, debido a obstáculos naturales o a la curvatura terrestre, introducen un factor de dificultad para la detección. Factor que no está presente en el caso de la exclusiva atenuación en espacio libre que se produce en la propagación hacia las plataformas aéreas y aeroespaciales.

Las ANTICONTRAMEDIDAS DE LOCALIZACION ELECTROMAGNETICA mas importantes, aplicables a las redes permanentes, son las técnicas EPM, normalmente conocidas como Técnicas de Sistemas (Anticontramedidas de Sistema) aunque las anticontramedidas operativas también deben ser consideradas (2), tanto en el diseño y concepción de la topología de la red como en la vigilancia de la misma. Entre ellas pueden destacarse:

- LA AGILIDAD DE FRECUENCIA. En general, se entiende por *" agilidad de frecuencia"* la capacidad de un transmisor o de un receptor para escoger distintas portadoras. Es decir, de ser un equipo sintonizable, de forma continua o por saltos, en una banda de frecuencias.

El empleo de estos equipos no es lo normal en el campo de las redes civiles. Los transmisores y receptores se suelen instalar instrumentados para la frecuencia de trabajo asignada al servicio por el organismo que controle la distribución de frecuencias.

En todo caso, sistemas de redundancia heterofrecuencial utilizan portadoras distintas, también fijas.

En redes permanentes, que como las redes territoriales de apoyo, utilicen técnicas similares a las redes civiles, el uso de este tipo de equipos no sintonizables, sera normal. En las redes estratégicas operativas, en principio, deberán utilizarse equipos dotados de agilidad de frecuencia instrumentada:

* Mediante técnica *manual* de cambio. En este caso, el operador de un terminal, de acuerdo con el del otro cambian el equipo, sintonizándolo a otra frecuencia.

* Mediante técnica *automática* de cambio. En este caso, el propio equipo, normalmente meidante un uP, se sintoniza a una nueva frecuencia y envía al corresponsal las órdenes para que lleve a cabo el mismo cambio.

La instrumentación de esta técnica EPM como anti-ESM presenta dificultades a la hora de establecer criterios objetivos para la realización de los cambios de

frecuencia. Esto es debido a la naturaleza pasiva de las ESM, que no permiten conocer cuando están siendo aplicadas. Por ello, los cambios deben poder hacerse de una forma contínua y aleatoria.

La agilidad de frecuencia tanto manual como automática, aplicada a la totalidad de una red, exige un complejo sistema de gestión de frecuencias. Su aplicación más simple es en las redes de cobertura o en redes de emergencia y, en general, en despliegues que no supongan acumulación de medios trabajando en una misma banda concentrados en pequeños espacios (3). Por ello, la aplicación a las redes básicas de transporte y distribución de señal exige sistemas de control de redes sofisticados y complejos.

En las redes estratégicas operativas el empleo de equipos dotados de algún tipo de agilidad de frecuencia permite llevar a cabo una de las acciones operativas más importantes en orden a la supervivencia de la red; el cambio de todo el plan de frecuencias de la misma por motivos de entrada en situación de crisis o de conflicto abierto.

De esta forma se convierte en obsoleta toda la información que sobre nuestra distribución de frecuencias haya podido acumular el enemigo en tiempo de paz. Por ello, la instalación de estos equipos reviste una importancia primordial, así como la de sistemas de control lo suficientemente inteligentes como para poder gestionar esta anticontramedida.

-SISTEMA DE ESPECTRO ENSANCHADO. Estos sistemas constituyen las técnicas de sistemas EPM más eficaces entre las utilizadas hoy en día en las redes militares.

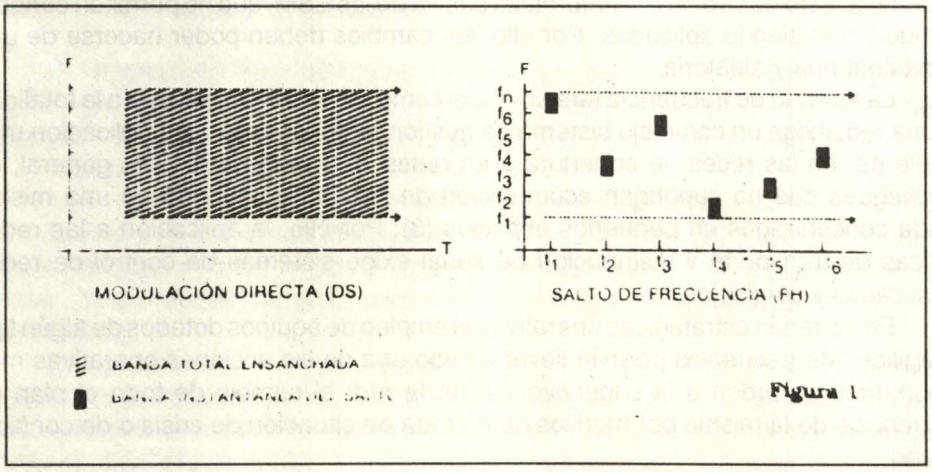
Básicamente consisten en transmitir con una anchura de banda que no está predeterminada, como en los sistemas normales, por la anchura de banda de la señal de información moduladora y por el tipo de modulación que se deba emplear, sino con una banda mucho mayor, obtenida a partir de un código seudoaleatorio independiente de la señal moduladora y de la portadora a modular.

Las dos técnicas básicas de espectro ensanchado más empleadas en redes militares son: la *Modulación Directa (DS)* y el *Salto de Frecuencia (FH)* (4).

La estrategia de ambas técnicas para evitar la localización de la señal en el espectro es distinta. En tanto que la técnica DS ensancha la señal de información anates de modular la portadora de RF, y transmite una señal de gran anchura de banda y bajísima densidad espectral, la técnica FH cambia de forma aleatoria la frecuencia de la portadora, ocupando la banda, no de forma instantánea como en DS, sino en forma secuencial.

La técnica DS, pues, evita la detección gracias a la baja densidad espectral que proporciona a la señal transmitida, que incluso llega a enmascarar en el ruido del enlace, en tanto que la técnica FH huye del receptor de detección moviendo la portadora de transmisión de forma errática por el espectro. En la figura 1 se proporciona un esquema comparativo del procedimiento que ambas técnicas utilizan para ensanchar el espectro de una señal.

Como se ve, la técnica DS ocupa la banda de forma contínua en el tiempo; en cualquier tiempo instantáneo la banda ocupada por la señal es siempre la total. La

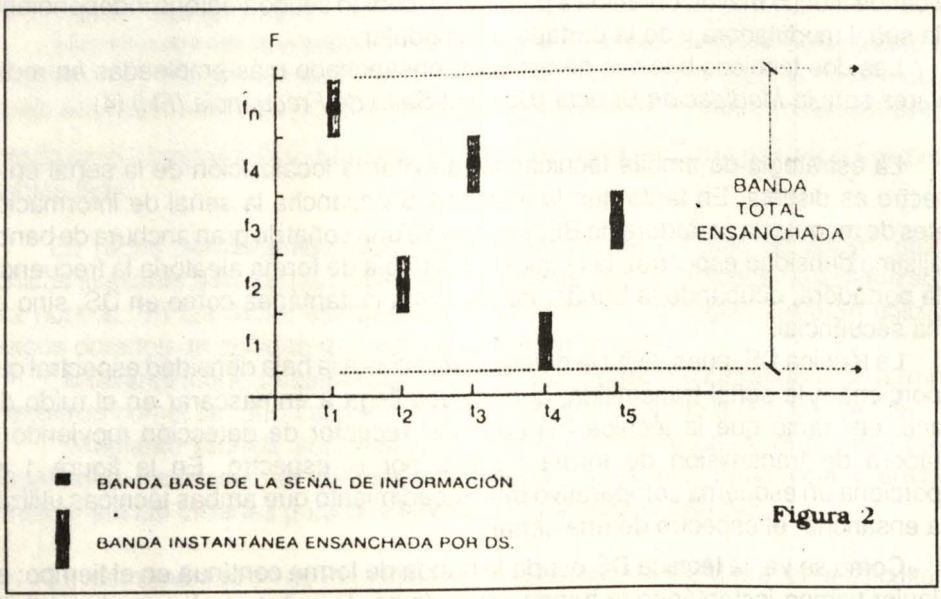


Esquema comparativo de las técnicas DS y FH en coordenadas tiempo / frecuencia.

técnica FH, en cambio, lo hace a lo largo de un periodo de tiempo; de forma determinística, si la secuencia de salto lo es, y aleatoria si la secuencia es aleatoria. En un tiempo instantáneo la banda ocupada por la señal es estrecha, no es la banda total ensanchada como en el otro caso.

Las señales que ofrecen una gran resistencia intrínseca a ser detectadas se denominan señales LPD (5).

La aplicación de técnicas de espectro ensanchado como EPM anti-ESM depende en gran manera de:



Esquema tiempo / frecuencia de la técnica híbrida de espectro ensanchado.

* *El tipo de técnica.* La técnica DS basa su estrategia en ensanchar mucho la señal de información; la técnica FH en saltar rápidamente. Por tanto, el ensanchamiento relativo y la velocidad de salto que puedan conseguirse determinan el tipo de técnica que deberá elegirse.

* *La frecuencia de la portadora de transmisión.* En bandas elevadas (la zona superior de UHF, SHF, EHF, etc.) se puede llegar a grandes ensanchamientos, por lo que, en técnica DS, el nivel de protección contra la detección será grande, ya que el valor de esta resistencia está en función directa del ensanchamiento relativo que se lleve a cabo. En bandas inferiores, donde grandes ensanchamientos directos no son posibles, se empleará técnica FH o técnicas híbridas DS/FH, mediante las que se consiguen prestaciones superiores a las conseguidas con técnica FH pura. (Ver figura 2)

Hasta la fecha, la técnica de espectro ensanchado empleada en redes permanentes ha sido la técnica DS. Su campo de aplicación ha sido el de los enlaces por satélite, ya que es en las bandas altas que estos radioenlaces emplean donde pueden obtenerse grandes ensanchamientos y densidades espectrales menores, incluso, que la del ruido.

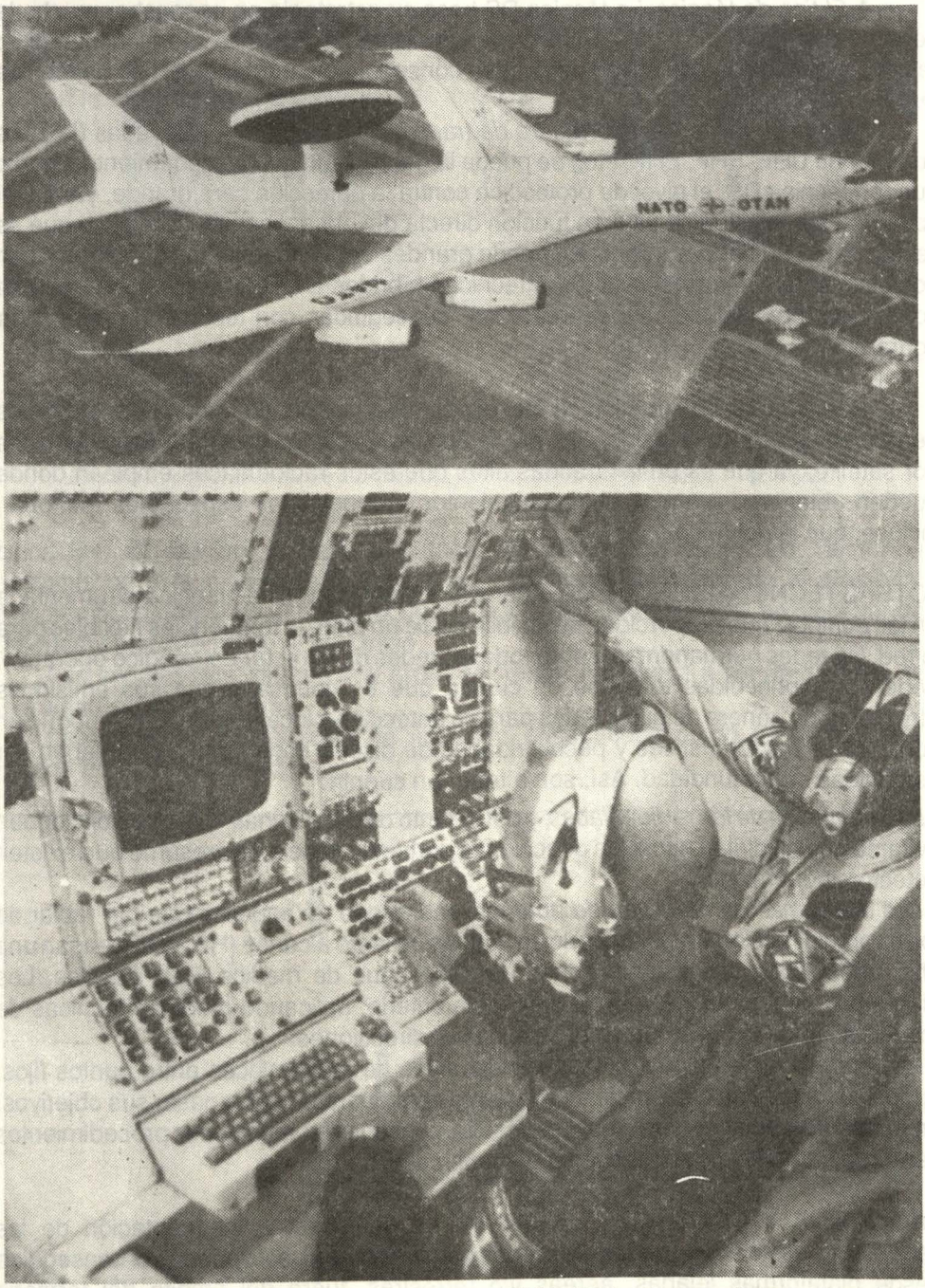
- OTRAS TECNICAS DE SISTEMA. Además de la agilidad de frecuencia instrumentada en los equipos, que proporciona la posibilidad de un plan de frecuencias flexibles para la red, las redes permanentes, sobre todo las redes de carácter estratégico operativo, deben ser concebidas teniendo en cuenta que es necesario que sus emisiones ofrezcan todo género de dificultades para su detección y localización. Esto supone un conjunto de características y peculiaridades de diseño importantes, que deben ser estudiadas en profundidad. Así, son a tener en cuenta:

* *La orientación de los radioenlaces*, y por lo tanto de las antenas. En lo posible, deben evitarse que se dirijan hacia las direcciones donde se sabe o se presume que existen detectores enemigos.

* *Los diagramas de radiación de antenas*, sobre todo de aquellas que por radiar de forma omnidireccional o por hacerlo en bandas de largo alcance (HF, VHF) tengan una alta probabilidad de alcanzar zonas de despliegue de medios ESM hostiles. Los diagramas deben ser estudiados bajo este criterio, aplicando medidas técnicas de modificación de los mismos en determinadas direcciones.

* *La potencia emitida*, que, si bien en los casos de radioenlaces entre puntos fijos, puede ser calculada con precisión suficiente como para no sobrepasar sus objetivos, en el caso de enlaces para móviles resulta conveniente establecer procedimientos para regularla de forma inteligente en cada caso.

-VIGILANCIA Y CONTRAINTELIGENCIA. La detección e interceptación de las señales que se transmiten desde las redes permanentes no sólo puede ser conseguida desde plataformas lejanas, aéreas y/o terrestres, fuera del ámbito del territorio nacional. Mediante el empleo de equipos portátiles y agentes de información pueden detectarse y localizarse señales desde plataformas muy próximas, en la práctica inmediación en algunos casos, del emisor que se desea localizar.



AWACS de la OTAN (1). Constituyen un vector SIGINT y ESM de la mayor importancia en la determinación del Orden de Batalla Electrónico del enemigo. Van operados por una tripulación internacional (2). (DE NATO'S SIXTEEN NATIONS).

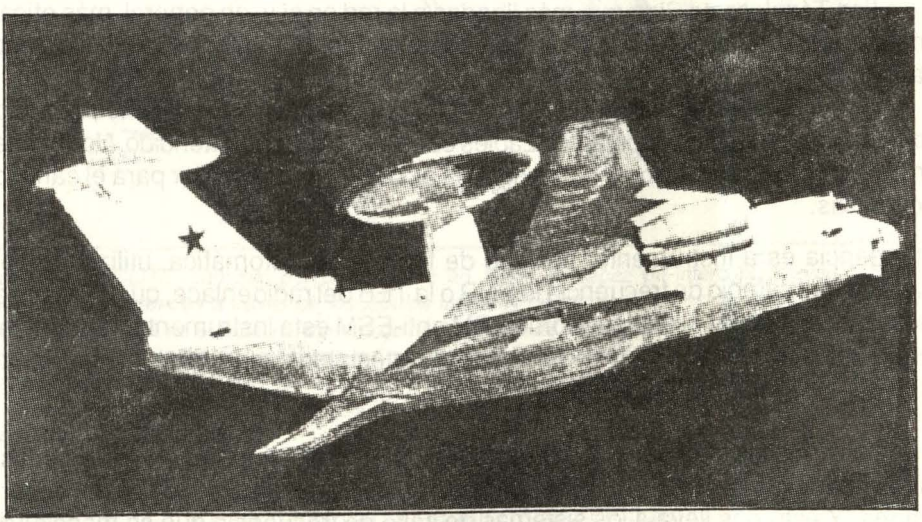
Se hace necesario, por tanto, instrumentar medidas de vigilancia y contrainteligencia dirigidas a evitar la acción de este tipo de agentes; tal como se dijo referente a la localización física.

De acuerdo con los tres puntos de vista enunciados anteriormente para el estudio de las anticontramedidas que se están realizando, los CRITERIOS DE APLICACION DE LAS ANTICONTRAMEDIDAS DE LOCALIZACION ELECTROMAGNETICA (en este caso para las redes permanentes) serán:

- EL ALCANCE DE LA PROPAGACION de la señal. Este criterio, sobre todo cuando la amenaza previsible deba materializarse desde plataformas terrestres, debe decidir la instrumentación o no de anticontramedidas en función de un estudio del alcance de la señal en dirección a los sensores ESM del adversario. El estudio deberá proporcionar la información de si el nivel de señal que se entrega al detector puede o no activar éste y a partir de ahí la necesidad o no de la anticontramedida.

Cuando los sensores actúen desde plataformas aéreas (AWACS) o desde satélites artificiales resultará muy difícil evitar la detección e interceptación de nuestras señales, ya que a la gran sensibilidad de los receptores se une la menor atenuación que se produce en la propagación en el espacio libre. Es necesario, pues, tener en cuenta que si el potencial enemigo cuenta con medios de estas características será muy difícil, practicamente imposible, impedir la radiolocalización de nuestras emisiones.

Por el contrario, para un enemigo potencial que sólo cuente con sistemas ESM desde plataformas terrestres, las anticontramedidas descritas presentan una importante protección contra la localización.



Mainstay AWACS de la Unión Soviética (DE NATO'S SIXTEEN NATIONS).

_ Respecto a los OTROS CRITERIOS, el tipo de red y la importancia relativa, tanto de la red en sí, como de cada órgano o elemento concreto de la misma, puede decirse de ellos lo mismo dicho para las anticontramedidas de localización física.

El caso de las redes de campaña

La principal diferencia que ofrecen las redes de campaña en cuanto a la localización electromagnética de sus emisiones se refiere, radica en el hecho de quelo normal será que desplieguen muy próximas al enemigo y, por tanto, al asentamiento de los medios ESM de éste.

En comparación con las redes permanentes, esto supone una radical desventaja, compensada solamente por la escasa permanencia de las instalaciones en los asentamientos y dè las emisiones en las frecuencias; es decir, por la movilidad de la red, tanto en el espacio físico como en el espectro electromagnético.

No obstante, los criterios de aplicación de anticontramedidas de localización electromagnética e, incluso, anticontramedidas concretas propias de las redes permanentes, deberán ser aplicados en las redes de campaña, en tanto éstas sean establecidas por escalones superiores o constituyan un complemento y adaptación de las redes estratégicas operativas existentes.

Las ANTICONTRAMEDIDAS DE LOCALIZACION ELECTROMAGNETICA (EPM anti-ESM) aplicables en las redes de campaña pueden clasificarse en Técnicas Operativas y Técnicas de Sistema.
Las Técnicas Operativas que pueden emplearse son muy numerosas. Sobrepasan ampliamente la intención de este trabajo su descripción y análisis que, por otra parte, puede encontrarse en los correspondientes Manuales y Reglamentos.

Las Técnicas de Sistema, más ligadas a la red en sí y, en general, más eficaces son: la agilidad de frecuencia, los sistemas de espectro ensanchado y las potencias adaptativas.

- AGILIDAD DE FRECUENCIA. En las redes tácticas y en las redes radio de combate el empleo de equipos sintonizables es de uso general y extendido. Normalmente son de sintonía manual, por lo que exigen la acción de un operador para el cambio de frecuencias.

La tendencia es a instrumentar agilidad de frecuencia automática, utilizando como parámetro del cambio de frecuencia la SNR o la TEB del radioenlace, que es analizada de forma continua por el equipo. Como EPM anti-ESM esta instrumentación carece de interés, ya que las acciones ESM no son detectables mediante los parámetros descritos, como es la perturbación.

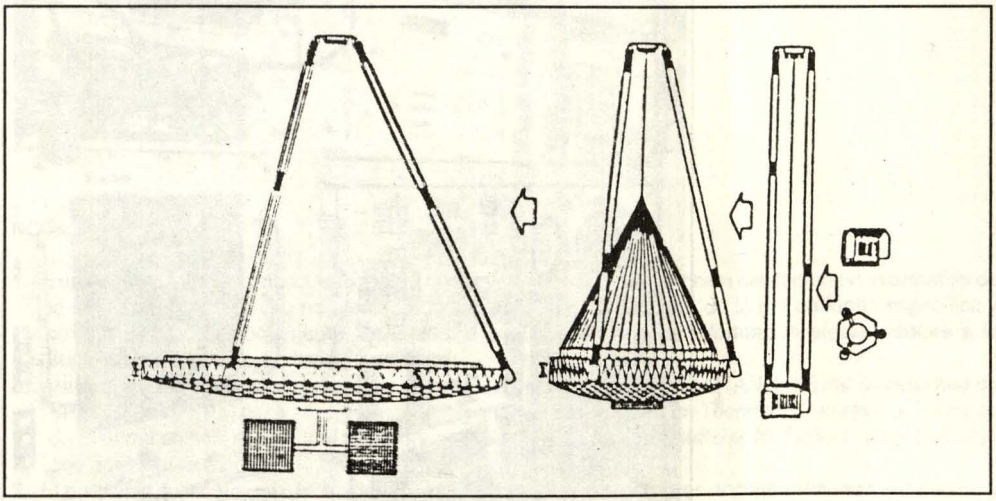
Para ser utilizada como anticontramedida de radiolocalización, los criterios de cambio de frecuencia deben permitir unos cambios frecuentes a ser posible de forma aleatoria. Y ésto nos lleva a los sistemas de salto de frecuencia que se mencionarán posteriormente.

La agilidad automática de frecuencia no es, pues, importante como anticontramedida de localización en el campo táctico. Por el contrario, la agilidad manual reviste importancia en orden a adaptar el plan de frecuencias de la red a cada configuración de ésta; o, en ausencia de sistemas de salto de frecuencia, a permitir cambios manuales de las frecuencias de los radioenlaces con periodicidad.

-SISTEMAS DE ESPECTRO ENSANCHADO. Las técnicas de espectro ensanchado utilizadas en las redes de campaña son:

*La técnica de salto de frecuencia en banda estrecha, o salto de frecuencia puro. Esta técnica, aplicada normalmente a los radioteléfonos de campaña que operan en la banda de VHF de 30 a 88 MHz, utiliza un canal de salto de 25 KHz de anchura, que permite transmitir una señal de información DELTA EUROCOM (6) 16 Kbps.Como EPM anti-ESM presenta la ventaja de su fácil y económica instrumentación, pero su grado de protección está ligado a su velocidad de salto, que actualmente no supera los 200/250 saltos/seg.

Además de los RTFs de campaña, la técnica FH ha comenzado ya a ser utilizada en equipos radio en la banda HF, con un orden de velocidad de salto de 25/ 50 saltos/seg. También se ha aplicado en los radioenlaces multicanal, aunque su empleo no está extendido.



Satélite RHYOLITE. Lanzado por primera vez en 1972, es capaz de interceptar comunicaciones de radioenlaces terrestres a través de los lóbulos laterales de radiación de éstos. Al parecer es capaz de desplegar, una vez en el espacio, antenas de hasta 200 m. de diámetro, mediante membranas controladas por carga electrostática sobre estructuras muy ligeras en forma de rejilla. Orbita a 35,800 Km. de altura. Actualmente existen decenas de satélites de este tipo y similares orbitando sobre la Tierra. (Dibujo e información procedente de la "GUIA ILUSTRADA DE LAS TECNICAS Y EQUIPOS DE EW". De Editorial San Martín. Madrid 1986).

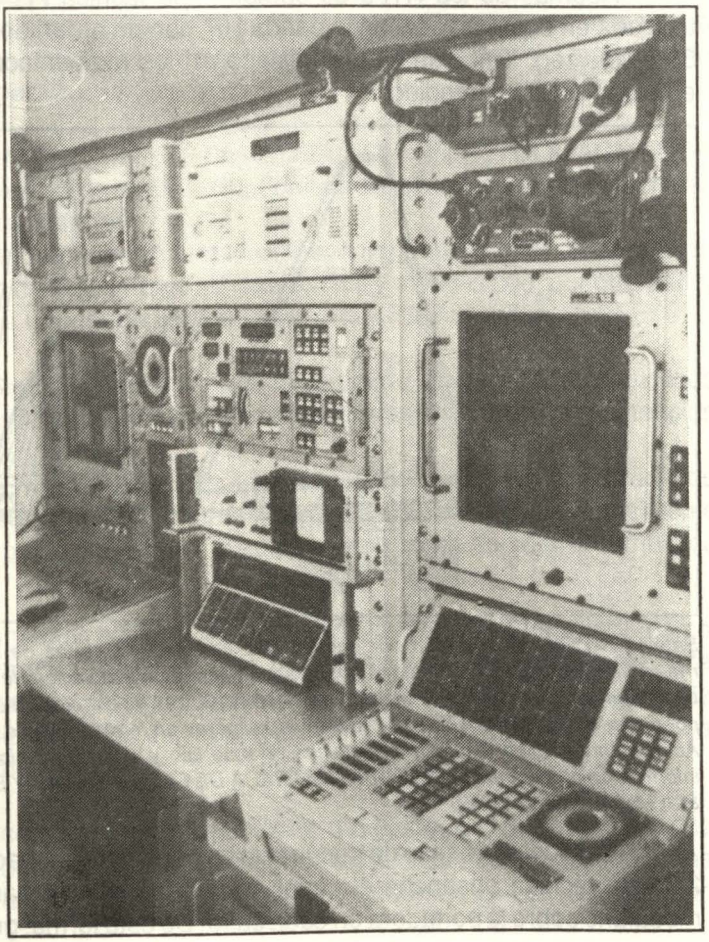
*La técnica de salto de frecuencia en banda ensanchada o técnica hibrida (figura 2). Esta técnica ensancha el canal de información mediante técnica DS antes de modularlo sobre la portadora en cada salto. De esta forma, gracias al ensanchamiento

DS y a su consiguiente disminución de densidad espectral, se obtiene una resistencia intrínseca a la detección independiente de la velocidad de salto.

El salto en banda ensanchada permite mayores velocidades de salto (existen instrumentaciones de 800 saltos/seg. para un canal de salto ensanchado a 256 KHz en la banda 30 – 88 MHz) con lo que se mejora también su capacidad antidetección. El hecho es debido, básicamente, a que la mayor banda instantánea permite instrumentar sintetizadores más veloces.

En las bandas superiores la técnica híbrida es utilizada en sistemas tácticos de distribución de información y de posicionamiento en el campo de batalla (7).

- POTENCIA ADAPTATIVA. En el campo táctico, donde el margen dinámico de las distancias de enlace es muy grande, resulta imposible, en la práctica, evitar los sobrealcances de propagación en dirección al despliegue enemigo.



Vista interior una estación ESM para comunicaciones y radar de ELECTRONICA S.A.

Sólo mediante el empleo de dispositivos que permitan un control de la potencia emitida por los transmisores, para ajustarla a la estrictamente precisa para activar el receptor deseado, pueden reducirse sustancialmente los sobrealcances no deseados.

Estos dispositivos que proporcionan una emisión de potencia de carácter adaptativo funcionan automáticamente mediante un diálogo contínuo transmisor-receptor en el cual, en función de algún parámetro significativo de la señal recibida (campo en recepción, SNR, TEB, etc.) se ajusta en más o menos la potencia transmitida. Esto, dentro de los límites de potencia máxima del transmisor y umbral del receptor, permite regular la potencia de forma contínua, compensando efector de fading e incluso, perturbaciones cuando se trata de radioenlaces multicanal, y de variaciones de distancia, además cuando se trata de enlaces móviles.

Existen también dispositivos que permiten una regulación manual de la potencia de salida, normalmente de forma discreta y no lineal proporcionando,normalmente entre tres y cuatro pasos de potencia distintos entre los que se puede escoger en cualquier momento la más adecuada.

NOTAS

1.- Existe, además, otra consecuencia: la escucha y, en general, la obtención del contenido informativo de la señal. Pero este hecho no afecta, en principio, a la supervivencia de la red de forma específica y directa. Afecta, indirectamente, en cuanto a que la obtención de información afecta siempre a la supervivencia de todo el dispositivo propio.

2.- Aunque en la clasificación de las acciones de EW que ha adoptado la OTAN, las EPM se resumen en EPM activas y EPM pasivas, creemos que la antigua clasificación en Técnicas Operativas y Técnicas de Sistema se adapta mejor al estudio y análisis de las anticontramedidas (o medidas de protección) que estamos realizando.

3.- El problema fundamental que ha de solucionar el sistema de control es encontrar canales suficientes y suficientemente separados unos de otros como para asignar a cada radioenlace una nueva portadora que no interfiera ni sea interferida por las portadoras asignadas a los otros radioenlaces del mismo Centro.

4.- DS: Direct Sequence Modulation y FH: Frecuency Hopping. Para la descripción de las técnicas de espectro ensanchado puede consultarse el clásico libro de R.C. DIXON: SPREAD SPECTRUM SYSTEMS (Wiley Interscience, N. York, 1976).

5.- LPD: Low Probability of Detection. (Baja Probabilidad de Detección).

6.- La modulación Delta que ha normalizado EUROCOM para el canal básico en las redes tácticas y redes radio de combate es del tipo CVSD: Continous Variable Siope Delta (Modulación Delta con variación contínua dependiente) con un régimen binario de 16 kbps.

7.- PLRS: Position Location Reporting System y JTIDS: Joint Tactical Information Distribution System, ambos de las Fuerzas Armadas USA.


Sírvase
Fideos y Harinas
Cogorno
Tradición de Buen Sabor!
EUGENIO COGORNO - MOLINO EXCELSIOR S.A.
VENTAS MOLINO: 29-3600
Mariscal Miller 450 - CALLAO
FABRICA DE FIDEOS COGORNO
VENTAS FIDEOS: 65-3486
AV. VENEZUELA 120 - La Perla