

Capítulo Tercero

LAS CONTRA - CONTRAMEDIDAS  
ELECTRONICAS

## I — INTRODUCCIÓN

Cuando los aviones de bombardeo se aproximan a las fronteras enemigas, deben tomar todos los recaudos posibles para penetrar las defensas, alcanzar sus blancos, lanzar sus armas, y regresar a territorio propio.

El mejor método para poder realizar esto es evadiendo o destruyendo las redes de defensa. Desde un punto de vista práctico, la evasión raramente es posible más allá de cierto tiempo. La destrucción de las defensas es limitada, debido al número y dispersión de los radares y sistemas de guiado que constituyen amenazas.

Esto nos lleva a la conclusión de que se deben buscar otras medidas que hagan que la penetración sea exitosa, y esta búsqueda nos lleva a las CME.

En el otro extremo, una red de defensa aérea tiene la responsabilidad de negarle a la fuerza atacante la oportunidad de que alcance sus blancos. Para que la defensa aérea pueda realizar esto, debe ser capaz de detectar a la fuerza atacante tan pronto como sea posible.

Al considerar este punto, si la fuerza atacante vuela a una altitud y velocidad óptimas, y no emplea CME, la red de radares podrá detectar fácilmente al enemigo, con la suficiente anticipación como para poder efectuar una oportuna selección de las armas con las cuales interceptar a los incursores.

Pero si la fuerza atacante utiliza CME contra la red de defensa, ésta tendrá ahora el problema de detectar a los incursores y seguirlos a través de la interferencia que generan para ocultarse. Para realizar esto, los operadores de radar deberán utilizar Contra-Contra medidas Electrónicas.

Las CCME, aplicadas a las operaciones de defensa aérea, son aquella división de la Guerra Electrónica que comprende las acciones tomadas por la red de defensa, con la intención de mantener la capacidad operativa de sus equipos electrónicos, a pesar del uso que la fuerza atacante haga de CME.

## II — TÉCNICAS Y CIRCUITOS DE CCME

En las descripciones siguientes se procurará no introducirnos en conceptos sumamente específicos o técnicos, a fin de procurar mantener las explicaciones en su formato lo más simple posible, sin necesidad de recurrir a conocimientos de radar.

Un consideración importante antes de comenzar el análisis de los distintos circuitos, es el claro concepto de que todos estos circuitos deben poseer el máximo rango dinámico posible.

Esto es debido a que cualquier característica no lineal indeseada, tiende a anular los efectos del circuito, o incluso a producir nuevas señales indeseadas. Por ello, también, el circuito debe haber sido diseñado para tener características de rápida recuperación luego de la saturación, ya que en el límite de máxima interferencia puede ocurrir que el rango dinámico sea excedido, lo que dejaría al sistema momentáneamente paralizado.

A continuación realizaremos una descripción, lo más sencilla posible, de las CCME más comunes.

### 1. Agilidad de frecuencia

Si la fuerza incursora está interfiriendo a un radar, una CCME simple consiste en cambiar la frecuencia de operación del radar. Esta habilidad del radar para ser rápidamente sintonizado pasando de una frecuencia a otra, es lo que se denomina **Agilidad de Frecuencia**.

Esa sintonía se puede realizar de diversas maneras. Puede ser realizada manualmente, o el radar puede tener incorporado un circuito de cambio programado de frecuencias.

El cambio programado de frecuencias puede efectuarse automáticamente a intervalos predeterminados, o hacerlo en forma aleatoria. También se puede hacer que el radar opere en la frecuencia menos interferida; es decir, el equipo cuenta con un receptor especial que efectúa el barrido de toda la banda de operación, sintonizando el transmisor a la frecuencia donde recibe menos interferencia.

## 2. Diplexing

Consiste en el uso de dos transmisores y dos receptores separados (normalmente, un radar de doble canal), operando en diferentes frecuencias, pero utilizando un sistema de antena común. Así, los ecos provenientes de una fuerza incursora son procesados por circuitos correlativos, en forma de utilizar el canal con menos interferencia, para el proceso posterior de la información.

Esta CCME puede resultar muy efectiva contra la interferencia puntual o de desplazamiento lento, ya que la interferencia debería afectar a ambas frecuencias simultáneamente para ser efectiva.

## 3. FRP ondulante

Uno de los tipos de interferencia utilizados por las fuerzas incursoras es el de pulso sincrónico: este tipo de interferencia se enclava sobre la FRP del radar víctima, y cada vez que el receptor del interferidor capta un pulso proveniente del radar, envía un pulso o tren de pulsos en múltiplos de la FRP del radar. Esto hará que el operador vea una serie de blancos.

Si el interferidor es pulsado continuamente, y la señal penetra por todos los lóbulos del radar, el operador verá una serie de círculos concéntricos en su pantalla. Mediante la FRP ondulante (**staggered**) se puede contraatacar a esta CME.

Normalmente, el intrapulso (intervalo entre pulsos transmitidos) es constante en los radares comunes, y con el FRP ondulante no habrá dos intrapulsos adyacentes que sean similares. De esta forma, el interferidor de pulso sincrónico emitirá señales que en realidad resultarán asincrónicas respecto a la FRP, lo que permitirá su eliminación a través de adecuados circuitos.

## 4. FRP parpadeante

Esta técnica es similar a la recientemente descrita, con la diferencia de que la amplitud de variación de la FRP es mucho menor. Al igual que la técnica de FRP ondulante, se la utiliza para combatir interferencias de pulsos sincrónicos.

Su mayor desventaja estriba en que no puede ser utilizada en conjunción con MTI (indicador de blancos móviles), y que consiste en un receptor especial que elimina el empastamiento terrestre.

### 5. Discriminador de FRP

Este sistema de CCME rechaza todos aquellos pulsos que no son coincidentes en rango (dentro de los límites del ancho de pulso) durante períodos consecutivos de radar.

Es utilizado para remover los picos producidos por los interferidores de desplazamiento que tienen un ancho de banda de modulación bajo, y, en conjunción con un FRP ondulante, elimina los pulsos de los repetidores, excepto que éstos sean de un tipo muy sofisticado, o que los pulsos ocurran por primera vez.

Para su proceso, las señales pasan a través de dos canales receptores, uno de los cuales les introduce a los pulsos un retraso igual a la FRP. La salida de ambos canales se compara luego en una compuerta de coincidencia, con lo cual se obtendrá un pulso a la salida del receptor, sólo si hay coincidencia entre ambos canales.

Si el interferidor no se enclavó en la FRP del radar, existe una gran probabilidad de que los pulsos de interferencia no coincidan a la salida de los dos canales, y por lo tanto serán suprimidos.

Es necesario hacer notar que en el caso de ecos reales, el primer pulso también va a ser rechazado, como si fuera un pulso de interferencia.

### 6. Compresión de pulso

Se sabe que al incrementar el ancho de pulso de un radar, se incrementa su potencia media, con lo que se obtiene mayor potencia para impactar en el blanco, lo que a su vez se traduce en un refuerzo del eco a la entrada del receptor.

Pero también se sabe que lo recientemente descrito se puede realizar sólo a expensas de la resolución en distancia, ya que ésta decrece al aumentar el ancho de pulso.

A fin de incrementar el ancho de pulso, y seguir manteniendo una buena resolución en distancia, se ha desarrollado la técnica denominada **compresión de pulso**.

Para aplicar esta técnica en un radar que la tiene incorporada, el pulso que se genera es corto, pero luego es estirado durante el tiempo de trasmisión; y cuando el pulso regresa como eco, es restaurado a su ancho originario. Si bien esta explicación de la técnica no es la correcta, permite, a fin de mantener la simplicidad de los conceptos, imaginar gráficamente cómo es el proceso.

El proceso de **estirar** el pulso es denominado **codificado del pulso**. Hay diversas maneras de codificar el pulso a transmitir, todas con el mismo objetivo.

La gran ventaja de un radar con compresión de pulso, sólo se aprecia cuando el eco es decodificado y restaurado a su ancho original.

Supongamos, por ejemplo, un radar que utiliza un pulso de un usec, y que lo **estira** a 5 usec (relación de compresión de 5:1). Para todos los propósitos, podemos considerar que el radar transmite el pulso de un usec cinco veces seguidas sin detenerse.

Al recibirse el eco de 5 usec, es dividido en cinco pulsos de un usec, los que son retrasados y ajustados para que ocurran al mismo tiempo. Luego se suman, y así el receptor recibe un pulso de un usec, pero de cinco veces la amplitud originaria del eco.

La compresión de pulso no fue desarrollada originariamente como CCME; pero, no obstante, tiene efectos sobre las señales de interferencia, ya que si un avión incursor está interfiriendo al radar, el eco producido por el mismo es multiplicado por la relación de compresión, mientras que no sucede lo mismo con la señal de interferencia.

Asimismo, si el operador de CME de a bordo ha medido el ancho del pulso transmitido, y transmite un pulso similar para interferir al radar, pero no sabe que el pulso ha sido estirado; cuando la interferencia es decodificada y sumada a la entrada del receptor de radar, los circuitos van a detectar que ese pulso no corresponde a un eco. Para que esa interferencia sea efectiva, debe contener las mismas características que el pulso del radar antes de ser estirado.

La compresión de pulso es efectiva contra muchos tipos de CME, debido, principalmente, a que refuerza el eco del blanco, pero nunca el pulso de interferencia, salvo que éste esté adecuadamente codificado.

## **7. Discriminador del ancho de pulso**

Si el ancho del pulso de interferencia es mayor que el del radar víctima, existe otra forma de CCME que puede ser aplicada: la discriminación del ancho del pulso.

Esta técnica permite que el receptor del radar rechace aquellos pulsos que son de mayor duración que los que transmite.

El circuito consiste en una forma especial de filtro, que permite el paso sólo de aquellos pulsos que son del mismo largo o menor que el transmitido, y atenúa o rechaza los de un largo mayor.

El sistema procesa cada señal recibida a través de dos caminos: uno es el normal a través del receptor; el otro consiste en circuitos que miden la duración de la señal, y generan señales de control para suprimir aquellos pulsos cuyo largo no es el correcto.

En algunos equipos, este sistema puede suprimir tanto los pulsos más largos como los más cortos que el transmitido por el radar.

Como este circuito genera en algunos radares una compuerta que corta la señal del receptor cuando el pulso no es del largo correcto, existe el riesgo de pérdida de blancos reales.

#### 8. Constante de tiempo rápida

Esta técnica de CCME es utilizada en ambientes de fuerte **clutter** o interferencia, para mejorar la detección de los blancos. Consiste en un diferenciador de video que posee una constante de tiempo corta.

Un circuito típico de este tipo usa una constante de tiempo que es apenas mayor (a veces, sólo un 50 por ciento) que el largo del pulso transmitido. Esto asegura que los ecos normales pasarán con poca o ninguna distorsión, mientras que los ecos más largos, formados por el **clutter** o pulsos de interferencia largos, son reducidos.

Para que su funcionamiento sea adecuado, es condición que el receptor no se sature en presencia de **clutter** o interferencia, ya que si esto ocurre, tanto sea en las etapas de FI o de video —es decir, antes del circuito que analizamos—, la información de los blancos no podrá ser recuperada.

Para prevenir la saturación, se suele utilizar un circuito de CAG instantáneo, asegurando así el funcionamiento del sistema.

Con este tipo de CCME, el tipo de receptor que más conviene utilizar es el logarítmico o el Ling-log.

#### 9. Receptor logarítmico

Este receptor se caracteriza por tener una respuesta logarítmica a las señales de entrada; es decir que cuando el nivel de la señal de entrada crece, la ganancia del receptor decrece. De esta forma, las señales pequeñas, tales como el eco de un avión, reciben una gran amplificación, mientras que las señales grandes, tales como las de interferencia, reciben poca amplificación.

La capacidad de manipulación de señal, o rango dinámico del receptor logarítmico, es mayor que la de los receptores lineales o Ling-log.

#### 10. Receptor Ling - log

Este receptor combina las ventajas de los receptores lineales y logarítmicos. Su operación es lineal para las señales pequeñas, hasta un cierto nivel de señal de entrada, llamado **punto de cruce**, y las se-

ñales por arriba de este nivel son amplificadas logarítmicamente. De esta forma, la señales pequeñas reciben una gran amplificación, mientras que las señales grandes reciben una baja amplificación.

El rango dinámico de este receptor es superior al del receptor lineal.

Tanto el receptor Ling-log como el logarítmico, previenen su saturación, excepto en caso de interferencias extremadamente potentes.

### **11. Receptor Dicke - fix**

Para el ruido y las interferencias en forma de repiqueteo, es necesario procesar la FI de una manera diferente de lo que hasta aquí vimos, donde controlábamos la ganancia.

Para estos casos se utiliza el receptor Dicke - fix, que consiste en un amplificador de banda ancha, un limitador y un amplificador de banda angosta.

En el proceso, la señal de interferencia es amplificada junto con el eco del blanco, en el amplificador de banda ancha. Este amplificador está especialmente diseñado para reducir los efectos de repiqueteo.

Una vez que las señales han sido amplificadas, son limitadas; es decir, tanto el eco como la interferencia son reducidos a la misma amplitud. A continuación, las señales son amplificadas por el amplificador de banda angosta.

Este amplificador está sintonizado en la frecuencia central del pulso radar recibido, y de esta forma el ruido aleatorio o la interferencia que no están exactamente en la frecuencia, son menos amplificados que los ecos.

El receptor Dicke-fix resulta así apto para reducir los efectos de ruido, interferencia por barrido rápido, y pulsos angostos en frecuencias marginales.

### **12. Control de ganancia manual**

Es posible que aunque el receptor sea saturado, aún halle un eco de blanco que sea más fuerte que la señal de interferencia. En este caso, una simple reducción en la ganancia del receptor puede llevarlo fuera de la saturación.

Con este procedimiento, tanto el blanco como la interferencia son atenuados por igual; pero como el eco del blanco es más fuerte que la interferencia, aquél puede ser visualizado en pantalla.

### **13. Control automático instantáneo de ganancia (IAGC)**

Este sistema, al igual que todos los otros sistemas de control automático de ganancia, funcionan de la misma manera. Para ello, el CAG toma muestras del nivel de ruido promedio a la salida del receptor, y, subiendo o bajando la ganancia de FI, mantiene constante este nivel de salida.

Muchos circuitos de CAG actúan demasiado lentamente como para ser aptos en CCME. El IAGC es el único que tiene posibilidades de aplicación en esta área, ya que su tiempo de respuesta es aproximadamente de 50 usec.

En un ambiente de ruido o de interferencia de CW, el IAGC puede ser utilizado para reducir la posibilidad de saturación del receptor. Pero mejor que esto, para ese tipo de ambientes, es el uso de receptores Log o Dicke-fix.

### **14. Nivelación automática del ruido de video (AVNL)**

Éste es un sistema de CAG utilizado para mantener un nivel de ruido constante, a la salida de los amplificadores de video. Su propósito es variar la ganancia de las etapas amplificadoras de video, cada vez que el nivel de ruido aumenta o disminuye.

Como todo CAG, es un circuito de constante de tiempo relativamente larga, pues toma aproximadamente 10 msec para responder en forma completa a los cambios en el nivel de entrada.

Normalmente, este circuito opera tomando muestras del nivel de ruido, en algunos pequeños intervalos de distancia, próximos al alcance máximo del radar, utilizando este nivel para determinar el ajuste de ganancia requerido.

### **15. Amplificador de ganancia de desplazamiento inversa (RSG)**

En algunos casos, a pesar de todos los sistemas de CCME que se empleen, puede que no resulte posible detectar al avión interferidor en medio de la perturbación. Bajo estas condiciones, resulta posible al menos determinar el azimut del interferidor, y esto se logra en base al RSG.

Este sistema consiste en un amplificador lineal, en el cual la ganancia es reducida proporcionalmente con el rango durante cada período intrapulso. La ganancia mínima es tal, que el mayor nivel de interferencia que se espera recibir, es reducido por debajo del nivel de ruido. De esta forma, cuando la salida del receptor se visualiza

en una IPP, lo que se verá es el diagrama polar horizontal de radiación de la antena, con el lóbulo principal orientado en dirección al interferidor.

Este circuito es apto contra interferidores de desplazamiento modulados por ruido, pudiendo suplementar al sistema SJSJ cuando el interferidor está dentro de su rango de autoocultamiento.

#### 16. Discriminador de señal bajo interferencia (SJSJ)

Este sistema nos permitirá una visibilidad por debajo de la interferencia, contra interferidores de desplazamiento modulados por ruido; y su valor depende del nivel de la interferencia y de las características del interferidor.

Éste es el único sistema de CCME que nos brinda posibilidades de visualización bajo interferencia.

Este circuito está basado en el hecho de que los efectos de los impulsos fuertes producidos fuera de frecuencia, y las interferencias del tipo de pulso, que tienen suficiente intensidad como para afectar seriamente a la normal recepción, pueden ser aliviados si los amplificadores de FI del receptor son precedidos por un amplificador de banda ancha y un limitador.

Aplicado a un receptor utilizado para CCME, si la interferencia es del tipo modulada en frecuencia, el amplificador de banda ancha producirá pulsos angostos a partir de la interferencia por desplazamiento de frecuencia.

Estos picos de interferencia resultantes serán de corta duración, salvo que sean estirados por alguna sección de banda angosta del receptor. Al pasar luego por el limitador, estos picos son recortados, quitándoles gran parte de su energía.

Cuando las señales y el ruido —todos ahora de la misma amplitud— pasan a través del amplificador de banda angosta, se logra que las señales pasen sin pérdidas de amplitud, mientras que el ruido, debido a la falta de sus componentes de alta frecuencia, se ve atenuado.

Tiene el inconveniente de que las señales coincidentes con los picos de ruido, no serán detectadas; pero esto no afecta grandemente, ya que el **ruido** influirá en el receptor sólo durante el tiempo en el cual esté presente; es decir, no más allá del tiempo que duran los picos de interferencia.

La técnica descrita se utiliza para mejorar las performances del receptor, o para reducir la potencia efectiva de interferencia, en aquellos casos de interferencia de desplazamiento modulada por ruido.

### **17. Detección de interferencia y cambio de canal**

Los sistemas de radar actuales tienden a presentar sólo salidas de canales receptores Log/discriminador de ancho de pulso, o similares, a veces combinados con MTI sobre ciertas áreas.

El amplificador logarítmico, por diseño, brinda una salida de nivel de ruido constante para variaciones del nivel de ruido de entrada que se mantengan dentro de su rango de operación. Por otra parte, un sistema de MTI necesariamente tendrá algún tipo de CAG para mantener constante su nivel de ruido en las etapas anteriores a sus circuitos de cancelación.

Lo recién explicado nos indica que en ninguno de los casos será visible el incremento en el nivel de ruido que produzca un interferidor de desplazamiento modulado por ruido. Por lo tanto, resulta necesario contar con algún medio que nos alerte de la presencia de ese tipo de interferencia, de forma que podamos así seleccionar el canal SJSD.

Por otro lado, se puede visualizar un amplificador lineal con cambio a RSG cuando sea requerido, o éste puede dejarse conectado en forma permanente, si los otros usos de la pantalla lo permiten.

No siempre es conveniente o posible disponer de una pantalla sólo para este propósito. Una alternativa para ello es presentar el canal lineal o RSG en los bordes de pantalla, cambiando a este tipo de video la presentación normal que utiliza la consola del operador.

Pero aun esto puede resultar inaceptable, y por lo tanto surge la necesidad de contar con un dispositivo que detecte la presencia de la interferencia y de la alarma.

Esto se puede realizar incluyendo una llave de FI, la que proveerá el cambio automático del canal normal a SJSD, cada vez que la interferencia exceda un cierto nivel.

Como en ausencia de interferencia el SJSD introduce una pérdida de aproximadamente 2 dB en comparación con un receptor normal, y en presencia de interferencia su relación señal/ruido es comparable a la del receptor normal sin interferencia, habrá un punto de cruce donde se deberá pasar de un receptor a otro. El detector de interferencia se puede ajustar de forma que al alcanzar este punto, realice el cambio automático de canal, manteniendo así una óptima detectabilidad para todos los niveles de interferencia.

### **18. Cancelación/eliminación de lóbulos laterales (SLC/SLB)**

Éstas son dos técnicas que minimizan los efectos de los lóbulos laterales de antena.

Todas las antenas tienen lóbulos laterales de distinto valor, siendo la mayor ganancia que se encuentra en los lóbulos laterales principales, del orden de 15 a 30 dB por debajo de la ganancia del lóbulo principal.

Consecuentemente, un interferidor de moderada potencia podrá introducir su señal a través de alguno de los lóbulos laterales, además de hacerlo en el principal. Si nos encontramos con un ambiente de alta interferencia, puede ocurrir que el radar reciba interferencia en los 360°.

El receptor de radar no puede discriminar entre la energía que recibe del lóbulo principal, y la que recibe de los lóbulos laterales. Por lo tanto, cualquier energía que entre al receptor, va a ser presentada en pantalla como si proviniese del lóbulo principal, lo que confundiría al operador:

1º) Haciendo difícil, si no imposible, localizar el interferidor en su correcto azimut;

2º) Permitiendo que el interferidor oculte otros blancos que se encuentran en otros azimutes.

El sistema de cancelación (SLC) utiliza una antena omnidireccional y otro receptor separados, pero que trabajan en conjunción con la antena y el receptor principales del radar. Como su nombre lo indica, en este sistema las señales indeseables provenientes de los lóbulos laterales son canceladas, mediante una técnica que se aplica a nivel de FI o de video.

El procedimiento consiste en ajustar la ganancia combinada de la antena omnidireccional y su receptor, de manera que sea apenas superior a la ganancia combinada de la antena principal en su lóbulo lateral más significativo y el receptor del radar.

Por ejemplo, si el lóbulo lateral inyecta una señal que está 24 dB por debajo del lóbulo principal, la antena omnidireccional y su receptor se deben ajustar en forma de entregar una señal que esté sólo 23 o 22 dB por debajo del lóbulo principal, lo que le dará al canal omnidireccional una ganancia neta de 1 o 2 dB, con lo que se asegura la cancelación de la señal proveniente del lóbulo secundario.

Aunque el SLC cancela la interferencia de los lóbulos laterales, la recibida por el lóbulo principal será visualizada, debiendo emplearse otras técnicas para su supresión.

En la práctica, el SLC es útil contra un solo interferidor. Con más de uno, comienza a perder su efectividad, debido a que no puede separar las señales de interferencia provenientes de distintas fuentes para realizar un adecuado proceso de cancelación.

La técnica de eliminación (SLB) emplea los mismos principios básicos, con la excepción de que elimina las señales indeseadas de los lóbulos laterales con una técnica de supresión de señal en lugar de cancelación. Esto quiere decir que cuando a la salida del circuito de supresión hay indicación de interferencia, se habilita una compuerta que apaga al receptor principal, y así no hay salida de ningún tipo, ni aun la proveniente del lóbulo principal, con lo cual se puede perder información de blancos reales.

Si la interferencia es del tipo de pulso, el SLB puede ser efectivo, ya que anula al receptor del radar por pequeños períodos; pero si la interferencia es de otro tipo, o muy intensa, no resulta efectivo, ya que también elimina los ecos reales.

### III — QUÉ CCME APLICAR SEGÚN EL INTERFERIDOR

Las CCME arriba descritas, son sólo algunas (las más comunes) de las factibles de aplicar, y que superan a las 200 técnicas o circuitos diversos. No hemos considerado CCME aquellos equipos tales como el TWS, LORO, Monopulso, etcétera, donde el sistema ha sido diseñado específicamente como CCME en un todo.

Recordando algunas de las CME que fueron descritas oportunamente, veremos cómo se puede reaccionar ante ellas con efectivas CCME.

#### A) CCME PARA INTERFERIDORES POR ENGAÑO

Veamos en primer término los interferidores por engaño.

##### 1. Transponder de baja potencia

Normalmente, este tipo de interferidor sólo causa interferencias en el lóbulo principal de la antena. El interferidor se enclava en la FRP del radar víctima; pero retrasa el pulso que retransmite en un valor de tiempo fijo, de forma que el falso eco aparezca en el próximo período de radar.

Además, normalmente estará ajustado de forma que suceda a una distancia menor desde el radar, que la que tiene el avión interferidor, de forma que el falso eco sea investigado primero.

El **transponder** puede, asimismo, producir falsos ecos adicionales a otras distancias, lo que aun distraerá más al sistema de intercepción.

La mejor CCME para este caso es la FRP ondulante (**staggered** o desplazable), asociada con un discriminador de FRP de simple cancelación. No obstante, si el corrimiento de la FRP es simple, no se contará con protección ante un interferidor que tenga un retraso que pueda ajustarse para compensar los cambios en el intrapulso del radar. Por ello, es deseable que el radar posea una FRP de múltiple corrimiento y un discriminador de múltiple retraso.

Si el múltiple corrimiento sigue un programa simple, es probable que el interferidor esté pronto en capacidad de seguirlo, y por ello lo ideal es que la FRP sea de corrimiento múltiple y aleatorio, con un gran número de posibilidades de cambio.

Aun así, si el interferidor se ajusta a un programa también aleatorio alrededor de la FRP media del radar víctima, sucederá que una cierta cantidad de interferencia —desde ya, pequeña— entrará al receptor por coincidencias fortuitas de ambos programas.

Mientras más complicado se vuelve el sistema, más costoso y voluminoso se torna. Esto no sólo vale para los equipos de CCME, sino para los de CME, teniendo estos últimos en contra las limitaciones de todo equipo de a bordo.

En general, podemos estimar que para la mayoría de los interferidores existentes, el uso de una FRP con corrimiento simple asociada con un discriminador de FRP y una doble cancelación, resultarán adecuados.

## 2. Transponder de alta potencia

En este caso, el tipo de interferidor es más sofisticado. La finalidad de este interferidor es producir señales del mismo orden de potencia a la entrada del receptor, y provenientes tanto del lóbulo principal como de los laterales, con lo cual produce numerosos ecos falsos en pantalla.

Para este tipo de interferidor —el cual, al igual que el anterior, se enclava en la FRP transmitida por el radar víctima— son válidos los mismos argumentos y técnicas aplicados a aquél, teniendo en cuenta que los falsos ecos aparecerán en el próximo o subsecuentes períodos de radar.

Pero si el interferidor produce una serie de ecos falsos que son generados por primera vez, el eco real correspondiente al avión interferidor resultará difícil de localizar, y las técnicas descritas ayudarán muy poco.

A fin de evitar esto, se debe utilizar una de las técnicas de supresión de lóbulos laterales, la SLC. Pero debemos recordar que esta

técnica tiene dos desventajas: por un lado, se requiere una fuente de señal local para ajustar la ganancia del receptor auxiliar, y por otro, es inevitable la pérdida de al menos 3 dB en la performance total, cuando se habilita la supresión de los lóbulos laterales.

### **3. Transmisor de pulso de alta potencia**

En este caso, se puede aplicar como CCME el discriminador de FRP, con o sin supresión de lóbulos laterales, al igual que lo descrito en los casos anteriores.

### **B) CCME PARA INTERFERIDORES POR RUIDO**

Es necesario aclarar aquí, aun cuando no intentamos entrar en descripciones o conceptos demasiado específicos, que si el sistema receptor de radar tiene un amplificador de tubo de onda progresiva, existe el peligro —ya que éstos normalmente tienen un rango dinámico de 60 a 70 dB cuando operan en una frecuencia simple— de que una señal fuerte, fuera de la banda del radar, cause la saturación del TWT, e incluso en el límite convierta al TWT en sí mismo, en un generador de ruido de banda ancha.

La protección contra las interferencias de borde de banda o fuera de banda, se puede realizar mediante el uso de un filtro de entrada de banda angosta, colocado en el receptor del radar. Las limitaciones al ancho de banda de este filtro estarán dadas por la estabilidad de frecuencia del transmisor, y por los requerimientos del sistema receptor.

Contra los interferidores que produzcan CW, ya sea simple, modulada en amplitud o modulada en frecuencia, hay dos CCME simples a aplicar.

La primera de estas CCME consiste en un receptor lineal de gran rango dinámico seguido de un filtro pasa altos, a fin de eliminar las componentes de modulación del interferidor.

Se debe tener en cuenta que si existen limitaciones en el sistema receptor, se perderán las señales esperadas, y por ello es necesario asegurar que el rango dinámico a través del filtro es igual o mayor que la interferencia que se espera tener. Como los interferidores pueden producir niveles de 60 a 70 dB sobre el ruido térmico, éstos pueden llegar a limitar la utilidad de un receptor lineal.

Una ayuda a ello la brinda el receptor logarítmico de gran rango dinámico. Este sistema prevendrá el empastamiento de la pantalla, debido a la interferencia; pero tiene la desventaja de que la sensibili-

dad del receptor se reduce en forma proporcional al nivel de entrada de la interferencia.

La mayor amenaza para el radar es, sin duda, la interferencia modulada en frecuencia de banda ancha (carcinotróon, etcétera), con valores de 50 a 100 MHz. Para su análisis, es necesario realizar una subdivisión acorde con el tipo de modulación:

1º) Frecuencia de interferencia modulada con ruido, cuya banda es pequeña, comparada con el ancho de banda del receptor de radar;

2º) El mismo caso, pero donde la banda del interferidor es aproximadamente igual al ancho de banda del receptor de radar;

3º) Similar a los anteriores; pero la banda del interferidor es grande, comparada con la del receptor de radar.

En todos los casos, la interferencia es más efectiva cuando la banda de barrido está centrada en la frecuencia del radar.

La interferencia del tipo descrito en el punto 1º aparecerá como interferencia de pulsos, con una pequeña cantidad de picos motivados por la interferencia, en comparación con el ruido de fondo del receptor.

La mejor CCME de que se dispone, consiste en la combinación de discriminadores de ancho de pulso y de FRP, ya que pueden proveer una muy buena protección.

En el caso expresado en el punto 2º, el interferidor producirá aproximadamente tantos pulsos como los producidos por el mismo receptor, por lo cual el discriminador de FRP sólo dará un mejoramiento marginal.

En los casos 2º y 3º, la CCME más efectiva consiste en el uso de SJSD, que fue anteriormente descrito. Este sistema brinda mejores performances que un receptor normal, para valores de interferencia por desplazamiento que van desde la CW rápida hasta el ruido de banda ancha.

Las mejoras en performance varían a través del rango; pero para la mayoría de los casos, donde el interferidor ha sido optimizado para cubrir un amplio rango de frecuencias, el SJSD brindará una mejora en detectabilidad, o visibilidad bajo interferencia, respecto a un sistema normal, la que será de varios dB.

Una gran ventaja del sistema SJSD consiste en que provee un régimen de falsa alarma constante, para interferencias por desplazamiento moduladas por ruido.

Debemos recordar que bajo interferencias de tipo de CW, CW modulada en frecuencia o CW modulada en amplitud, el SJSD brinda peor performance que un receptor normal.

#### **IV — QUÉ CCME APLICAR SEGÚN EL SISTEMA DE GUIADO DE MSA**

A continuación veremos, en base al tipo de guiado que se utiliza para los misiles, cuáles son las CME que es posible esperar, y cuáles son las CCME más adecuadas para cada caso.

##### **A) GUIADO POR COMANDO**

En este tipo de guiado, el corazón del sistema es el procesador, que debe ser continuamente alimentado con información sobre la distancia, ángulo (azimut) y altura, tanto del blanco como del misil, de modo de calcular continuamente el punto de impacto.

El interferidor procurará actuar sobre los distintos componentes del sistema, para lo cual interferirá al radar de búsqueda, o al de seguimiento del blanco o del misil; y en aquellos casos en que las órdenes al misil se transmitan por un canal separado, también a este canal.

##### **1. Interferencia sobre el radar de búsqueda**

Una interferencia selectiva y continua sobre este radar bloqueará las informaciones sobre la distancia del blanco, y, por lo tanto, complicará el problema de llevar el estrecho haz del radar de seguimiento sobre el blanco.

Técnicamente, esto puede ser superado con la diversidad de frecuencia, cosa complicada y costosa. Se puede recurrir también a la agilidad de frecuencia, pero con mucha discreción, puesto que se cae en el inconveniente de indicar con ello al interferidor que la CME que aplica resulta efectiva.

Aun sin sofisticaciones de los radares, se pueden utilizar técnicas operativas que conservan parte de la operatividad del sistema. En estos tipos de sistemas, normalmente el radar de búsqueda y el de seguimiento están situados muy próximos, y por lo tanto, el ángulo del radar de búsqueda es válido también para el de seguimiento.

De esta forma, si la amenaza está representada por un interferidor aislado, o incluso si las interferencias son provocadas por varios interferidores en formación —es decir, ubicados en el mismo azimut—, se pueden individualizar sobre la pantalla del radar aquellos sectores de interferencia muy estrechos, lo que da una cierta aproximación.

En este caso, el radar de seguimiento puede ser orientado según el azimut y la altura dados por el sector individualizado, para luego explorar en distancia.

Si la incursión consiste en un complejo de blancos, algunos con interferidores, y otros sin ellos, será desde ya difícil realizar una defensa completa.

El simple acto de reducir la ganancia para obtener la señal azimutal (**strobe**) aislada de los blancos interferidores, reducirá el eco de los blancos silenciosos.

Cuando se pueden obtener indicaciones azimutales aisladas, la táctica consistirá en enganchar los blancos con interferidores, y tratar de destruirlos a la máxima distancia posible, con la esperanza de que haya aún tiempo para enganchar los blancos silenciosos, al aparecer éstos luego de la remoción de la interferencia.

Aun cuando el empastamiento de las pantallas del radar de búsqueda bloquearía la información sobre la distancia, según la potencia de emisión del interferidor, se podría lograr el punto de autoocultamiento (distancia a la cual el blanco comienza a ser transparente a través del disturbio) a una distancia tal, que permitiera emplazar el radar de seguimiento sobre el blanco, y efectuar la intercepción.

Una interferencia intermitente permitiría un flujo también intermitente de información sobre la distancia, y esto podría ser suficiente para el radar de seguimiento.

## **2. Interferencia sobre el radar de seguimiento del blanco**

La interferencia sobre este radar bloquearía la información de distancia al blanco. Dado que éste es uno de los parámetros esenciales que debe poseer el procesador para hacer los cálculos de previsión del punto de impacto, el sistema entra en crisis al faltarle, ya que aun cuando el blanco esté en el haz del radar, el procesador debe saber a qué distancia se encuentra.

Una interferencia intermitente del radar de seguimiento del blanco permitiría, aunque en forma esporádica, la obtención de la distancia del blanco, compensándose la limitación mediante el uso de una memoria en el sistema de seguimiento automático, o mediante métodos de extrapolación del procesador.

Si el período de intermitencia es largo, y el blanco está maniobrando, la necesidad de evolucionar del misil se vuelve importante y también inmediata, ya que la falta de información introduciría errores de distancia demasiado elevados.

## **3. Interferencia sobre el radar de seguimiento del misil**

Sería muy difícil interferir este tipo de radar; pero de lograrse, esto anularía completamente al sistema, aun cuando fuera sólo en for-

ma temporaria, ya sea por el ruido de la interferencia, o por el hecho de que el radar enganchó al interferidor en lugar de al misil. La probabilidad de que esto último ocurra no es muy elevada.

#### **4. Interferencia sobre el enlace de comando independiente del misil**

Si para la transmisión de datos al misil se utiliza un canal de comunicación independiente del haz del radar de seguimiento, como ocurre en algunos equipos de este tipo de sistema de guiado, existe la posibilidad de interferir este canal.

Debemos recordar, no obstante, que esta información llega al misil mediante una antena colocada en su parte posterior, lo que por sí mismo complica el problema de la interferencia.

En la mayoría de los sistemas, las señales de control son enviadas mediante datos numéricos sobreimpuestos en el haz del radar de seguimiento del misil, haciendo uso de la codificación de los impulsos.

Resumiendo lo hasta aquí analizado respecto a este sistema de guiado por comando, hemos visto que el negar la información de distancia en cualquier parte del sistema, provocará la anulación o al menos degradación del sistema.

Por ello, la mejor CCME a aplicar sería el empleo de diversidad de frecuencia, que, por otro lado, resulta complicada y costosa, si se aspira a que sea automática. En cambio, no existen problemas de potencia o dimensiones, ya que los equipos son terrestres.

#### **B) GUIADO POR HAZ CABALGADO**

Se recordará que cuando vimos este tipo de guiado, el mismo consistía en establecer una línea con el blanco, enganchándolo con el haz de radar, y constriñendo al misil a volar dentro de este haz.

Si consideramos los distintos tipos de interferencias que se pueden aplicar a este sistema, veremos que los efectos de la interferencia puntual o de cortina serían los mismos que para el sistema de guiado por comando que acabamos de describir, en su área de radar de búsqueda.

Estamos así nuevamente ante el problema de poder orientar un sutil haz de radar sobre el blanco.

En ausencia de cualquier dato útil de los radares de búsqueda, resulta necesario recurrir al empleo del radar de seguimiento para intentar la búsqueda, con la esperanza de adquirir blancos que resulten útiles.

En este sistema, dado que el misil está volando en una trayectoria baja, con los consecuentes errores de alcance, resulta posible a los interferidores mantenerse fuera del alcance, permitiendo al mismo tiempo que los blancos silenciosos se enmascaren dentro de la interferencia.

Si la interferencia es intermitente, la esporádica información sobre distancia que se puede obtener, resulta a veces suficiente como para orientar el radar de seguimiento sobre el blanco.

Por la forma en que actúa este sistema de seguimiento, una vez que el radar de seguimiento ha adquirido el blanco, y tiene la fuerza de señal suficiente como para mantenerse enganchado sobre el mismo, es difícil que la interferencia logre sus efectos.

Incluso puede suceder que la transmisión de interferencia que realiza el blanco en la frecuencia del radar, sólo sirva para reforzar el enganche que sobre el blanco ya poseía el radar.

Recordemos que el misil posee la antena captora ubicada en su cola, lo que le da la posibilidad de sentir su posición dentro del haz del radar, y maniobrar en consecuencia para mantenerse en el centro. Cualquier intento de interferir sobre el receptor del misil debe vencer esta situación; pero como la antena se encuentra en posición opuesta a la emisión de interferencia, esto resulta harto difícil.

Si resumimos lo hasta aquí considerado, veremos que el problema sigue siendo siempre la distancia al blanco; pero en este tipo de guiado, ello no lleva a la ineficacia del sistema, y por lo tanto no resulta crítico. No obstante, impone algunas restricciones, una de las cuales aún no considerada es que sin datos de la distancia al blanco, resulta difícil determinar cuándo debe ser lanzado el misil.

Esta limitación no es tan seria, ya que puede estimarse la altura del incursor, y en base al ángulo de elevación obtener una indicación aproximada de la distancia, lo que permitiría determinar el momento de lanzamiento del misil.

### **C) SISTEMA DE AUTOGUÍA O HOMING**

Recordemos que en este tipo de guiado el misil debe recibir energía del blanco para el guiado, y que una vez enganchado sobre la señal, se está en condiciones de calcular la ruta de colisión.

Al igual que en los casos anteriores, consideremos en primer término la interferencia al radar de búsqueda. Ella tendría el mismo efecto que el ya expresado en los casos anteriores; y nuevamente nos encontramos ante el problema de colocar el blanco dentro del estrecho haz del radar de iluminación.

Como estamos privados de hacer uso del radar de búsqueda, al que suponemos interferido, debemos desarrollar una técnica que permita al radar de iluminación funcionar en forma autónoma.

Esta técnica consiste en usar el radar de iluminación en un ciclo de búsqueda y ataque. Para ello, se sistematizan los radares a un valor predeterminado de elevación, con lo que explora un arco de cielo, formando una especie de red que el incursor debe atravesar, y de esta forma, el avión puede ser detectado e interceptado.

Si la interferencia fuera intermitente, se podría obtener información en forma aleatoria sobre la distancia al blanco, lo que probablemente resultaría suficiente para emplazar el radar de iluminación.

Debemos recordar que la función del radar de iluminación consiste en proveer una fuente de energía, la que es reflejada por el blanco y captada por el misil para determinar su posición relativa en cuanto al blanco, y así fijar su trayectoria de colisión.

En general, el misil no distingue si la energía que utiliza para su guiado proviene del blanco, o si es reflejada por éste, aun cuando sea una señal que el misil está en capacidad de reconocer.

Cuando la energía es reflejada por el blanco, se dice que el misil está operando en modo semiactivo. Éste es el modo de operar normal en ambientes sin interferencia, o en ambientes con interferencia, pero con blancos silenciosos (que no irradian).

En cambio, si el blanco produce interferencias sobre la frecuencia del radar de iluminación, el misil lo mismo realiza su misión, ya que el blanco sigue constituido en una fuente radiante de energía. En este caso, se dice que el misil opera en modo pasivo.

En los primeros modelos de misiles que operaban con autoguiado, se debía determinar antes de su lanzamiento si el guiado sería semiactivo o pasivo, ya que el misil estaba preparado para que una vez lanzado, operase siempre en uno de los modos.

En los modelos recientes, el misil tiene la posibilidad de cambiar su modo de funcionamiento durante el vuelo.

En cuanto a la interferencia intermitente se refiere, o incluso cuando el espaciamiento es lento, en algunos casos el misil puede perder su guiado por falta de información. Esto era común en los modelos preliminares, mientras que en los modelos más recientes la posibilidad de cambio en el modo de operación obviará este problema.

Por lo que hemos visto, el inconveniente de la falta de información de distancia no impone restricciones insuperables al sistema; pero requiere la aplicación de tácticas especiales (uso del radar de

iluminación para búsqueda), que permiten superar el problema de determinar el punto de lanzamiento.

#### **D) RESUMEN SOBRE CCME**

Por todo lo que hemos considerado, se aprecia que aparentemente no existe un dispositivo único que pueda lidiar con todos los tipos de interferencias que se espera encontrar. Por ello, es necesario diseñar un sistema receptor completo, concebido cuidadosamente desde un principio, y teniendo en cuenta todas las facilidades de CCME.

Puede suceder que un radar militar, sea cual fuere su uso, esté llamado a operar seriamente; a lo mejor, una sola vez en su vida útil, y probablemente en esa oportunidad deberá recurrir a todos sus recursos para combatir las CME.

Aun cuando parezca un poco oneroso en un principio el incorporar todos estos dispositivos en un radar, el costo resulta insignificante, si se lo compara con el que el enemigo debe pagar, a fin de tener una probabilidad de vencer las defensas.

Capítulo Cuarto

LAS MEDIDAS DE APOYO A LA  
GUERRA ELECTRONICA

## I — INTRODUCCIÓN

Hemos visto que todo equipamiento electrónico que utilice el espectro EM puede ser interferido, y para ello, la clave consiste en detectar rápidamente las frecuencias de operación, técnicas de modulación y demás características explotables del equipamiento enemigo, a fin de poder atacarlo en la forma más adecuada, y así anular o degradar su efectividad.

Esto nos indica que el punto de partida de la GE lo constituyen la información y el reconocimiento electrónico. Estas funciones constituyen lo que se define como Medidas de Apoyo a la Guerra Electrónica (MAGE) (ESM), conformando la división de la Guerra Electrónica que comprende las acciones de búsqueda, interceptación, localización, grabado y análisis de la energía EM radiada, con el propósito de explotar tales radiaciones en apoyo de operaciones militares.

Las MAGE son esencialmente una actividad de producción de información, la que es provista en forma oportuna, y de manera que pueda ser rápidamente utilizable por aquellas actividades a las que soporta.

Los usuarios primarios de las MAGE son los órganos destinados a otras actividades de GE; es decir, CME y CCME. No obstante, los datos de MAGE también son utilizados para otros propósitos, ya que la información puede ser utilizada como base o elemento de juicio para decisiones operativas u operaciones al margen de la GE, comprendiendo un amplio rango de actividades, tales como detección de la amenaza, alarma, esquite de la amenaza, adquisición de blancos y **homing**.

Una nueva aplicación de las MAGE que resulta de sumo interés es su uso en defensa pasiva, como elemento de detección de alerta temprana mediante la interceptación de las emisiones del equipo de navegación enemigo; especialmente, en vuelos a baja altura.

Pero la mayor función de las MAGE es la interceptación y localización de las emisiones enemigas, radiadas o no intencionalmente por su equipamiento durante el curso de las operaciones, constituyéndose así en la fuente de información de GE necesaria para realizar tanto CME como CCME.

Sus actividades informativas deben determinar, desde tiempo de paz, la capacidad del potencial enemigo en el área electrónica (detección, seguimiento, guiado, etcétera), y sus características técnicas y operativas, lo que permitirá definir los probables objetivos de la actividad futura.

Esta información recabada por medios electrónicos, debe ser complementada por otras fuentes de obtención no electrónicas (inteligencia, defectores, etcétera), con las cuales se debe mantener un estrecho contacto, utilizando los datos que brindan y los medios de que disponen, para obtener el máximo de información al equipamiento electrónico enemigo.

Los datos obtenidos constituirán la base para una adecuada planificación durante la paz, y resultarán esenciales para la conducción de las operaciones durante la guerra, ya que permitirán determinar deducciones lógicas que facilitarán la adopción de adecuadas medidas para combatir las intenciones del enemigo.

## II — EL RECONOCIMIENTO ELECTRÓNICO

### A) FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes a que se puede recurrir para obtener información, son varias: informaciones; interrogatorio de prisioneros, refugiados políticos y desertores; estudio de documentos y bibliografía adversarios; estudio y análisis de material capturado, etcétera, y reconocimiento electrónico.

Haciendo un somero análisis de estas fuentes, arribaremos a las siguientes conclusiones:

1. Equipamiento y documentación capturados:
  - 1º) Se requiere tiempo para evaluarlos;
  - 2º) Normalmente obsoletos;
  - 3º) El enemigo sabe que uno los tiene.

2. Literatura extranjera:
  - 1º) Varios años desactualizada;
  - 2º) Seleccionada (por seguridad);
  - 3º) Imprecisa, a veces deliberadamente o por error;
  - 4º) Siempre incompleta.
3. Fuentes encubiertas:
  - 1º) Frecuentemente, difíciles de interpretar;
  - 2º) A veces, excelentes;
  - 3º) Normalmente, no son precisas ni actualizadas.
4. Reconocimiento electrónico:

Sujeto a la seguridad adversaria y al engaño.
5. Extrapolación de tecnología:

Implica tener conocimiento de los requerimientos militares enemigos y de su tecnología.

El reconocimiento electrónico es, sin duda, el mejor medio de obtención, y el que provee la información más actualizada y cierta, puesto que se obtiene por la medición directa de las características y parámetros del equipamiento enemigo, a través de la recepción de sus emisiones.

Sin duda, este apunte debería incluir la descripción de una misión de reconocimiento electrónico, para poder apreciar la precisión con que debe ser efectuada, así como la masa de datos importantes y exactos que provee. Pero, a efectos de mantener el objetivo del presente trabajo de no tornar demasiado técnicas y confusas las explicaciones, sólo mencionaremos que la explotación de un ambiente electromagnético requiere la intercepción oportuna, y un profundo análisis de todas y cada una de las radiaciones que se detectan, y que puedan contener información capaz de influir en las acciones que se llevan a cabo.

## **B) OTROS FACTORES A CONSIDERAR**

Para ser más efectivo, el sistema de MAGE debe explotar el ambiente de señal EM antes del conflicto armado, para determinar las capacidades del enemigo, localizar los sistemas amenazas, y determinar los parámetros técnicos de las emisiones. Una vez desatado el conflicto y estimulados los sistemas amenazas enemigos por la presión de las fuerzas propias, se obtendrá la información complementaria, que permitirá determinar cuál es el orden de batalla electrónica enemigo.

La información así derivada, debe estar disponible y en forma oportuna para los niveles de comando, permitiendo su explotación e integración con otros factores que harán al proceso de decisión operativa.

Vemos, así, que la MAGE provee información no sólo para la localización de emisores en el ambiente electromagnético enemigo, sino que brinda también información que resulta útil para reducir o negar la efectividad del enemigo durante el combate.

Los datos referidos al equipamiento electrónico enemigo, cualquiera sea su fuente, deben ser analizados y compatibilizados, con el fin de determinar las características de las emisiones; y esta evaluación constituirá la segunda fase del proceso de obtención de información.

El uso de conocimientos anteriores, computadoras y gente experimentada, juega un rol importante en la tarea de evaluación. Sobre esta tarea, poca es la información que se publica, ya que, debido a los requerimientos de estricta seguridad impuestos para la protección de esta información, hay una tendencia de la comunidad de GE a restringir en exceso su difusión.

Una vez procesada, esta información se utilizará en la obtención de los siguientes objetivos:

1º) En los altos niveles de comando, para el establecimiento del orden de batalla electrónica (OBE);

2º) Por los diseñadores o personal responsable de la selección del equipamiento de GE, a fin de determinar cuál es el equipo adecuado para llevar a cabo el OBE.

El logro y mantenimiento de la superioridad en GE requiere de manera continua y oportuna la actualización y el mejoramiento o reemplazo de los sistemas, tácticas y técnicas de GE.

Estas acciones dependen, a su vez, de un detallado conocimiento de las capacidades e intenciones del posible enemigo. Este conocimiento debe comprender su tecnología, sistemas y tácticas, así como las consideraciones doctrinales y estratégicas que fundamentan su uso.

Contar con la información completa y actualizada de las capacidades electromagnéticas del enemigo y su modo de utilización, es una necesidad fundamental para encarar programas de GE efectivos y exitosos.

Este requerimiento de conocimiento se extiende a todas las facetas de la GE. En el aspecto empleo, tal conocimiento es determinante del éxito de las operaciones. En el otro extremo, la inteligencia técnica es absolutamente esencial en las actividades de desarrollo de

equipos, su obtención y configuración, para proveer óptimas capacidades de GE.

### C) CLASIFICACIÓN DE LAS MAGE

La recolección, análisis y evaluación de las emisiones de radio, radar y otras de tipo electromagnético, son definidos como **Inteligencia de Señal (SIGINT)**. Arte, ésta, de la cual están tomando conocimiento la mayoría de las naciones, y algunas en forma dolorosa, a veces.

La actividad de SIGINT dedicada específicamente a las señales de radar, guiado y navegación, se denomina **Inteligencia Electrónica (ELINT)**, mientras que la que se refiere a las comunicaciones y la transmisión de datos, se conoce como **Inteligencia de Comunicaciones (COMINT)**.

Haciendo una discriminación en las bandas de frecuencia del espectro, a las actividades desarrolladas en el espectro infrarrojo se las designa como **Inteligencia IR (IRINT)**, mientras que a las que utilizan el espectro óptico se las denomina **Inteligencia Óptica (OPINT)**.

Recientemente, han surgido nuevas ramas de lo que a grandes rasgos se considera SIGINT. Las promisorias posibilidades de monitorear y explotar las señales EM emitidas inintencionalmente por radares, motores, generadores y computadoras, ha agregado el nuevo campo de **Inteligencia de Radiación (RINT)**, también conocido como **Inteligencia de Radiación Inintencional (URINT)**.

Los métodos de detectar en forma remota y clandestina la presencia humana, con conocidos como **Inteligencia Humana (HUMINT)**, y permiten detectar el movimiento de tropas, intrusos, etcétera, habiendo sido aplicados con éxito en Vietnam. Como es obvio, las técnicas de detección son acústicas, químicas y sísmicas, mas no electromagnéticas.

## III — INTELIGENCIA ELECTRÓNICA

Dada así la clasificación de SIGINT, podemos introducirnos en el área de la ELINT, que es la que a nosotros nos interesa.

### A) GENERALIDADES

La ELINT ha sido practicada en varias formas desde la Segunda Guerra Mundial, llevando el escenario de la amenaza a una nueva dimensión y sofisticación, como se ha podido observar en los recientes conflictos. Ella nos permite, a través de las tareas de:

1. **Detección:** Dar la alarma y servir de alerta temprana en las actividades de defensa;

2. **Observación de la actividad EM:** Brindar un conocimiento de las acciones e intenciones del enemigo, y monitorear su movimiento;

3. **Localización:** Tener un mapa de la distribución de las armas operadas electrónicamente, facilitando el trazado de los perfiles de penetración;

4. **Identificación:** Determinar el grado de peligrosidad y alarma. Para ello, los propósitos de la ELINT son los que a continuación se expresan:

1. Trazar una carta de las estaciones emisoras hostiles —en particular, aquéllas ubicadas dentro del Teatro de Operaciones o junto a la frontera—, de forma que permita:

1º) Determinar rutas de vuelo seguras para penetrar dentro de los sistemas de defensa enemigos;

2º) Determinar, en base a posición y peligrosidad, cuáles son los sistemas que deben ser neutralizados o destruidos, a fin de permitir el logro de una misión.

2. Obtener información de las características y parámetros de los sistemas de radar hostiles, a fin de identificarlos, manteniendo la capacidad de poder detectar cualquier nuevo tipo de radar o sistema de guiado.

Hoy día, la ELINT está integrada en la GE como clave para la supervivencia en combate. La densidad y diversidad de la amenaza, presente en cualquier teatro de operaciones actual, ha reducido considerablemente el tiempo disponible para reacción en GE.

Esto permite apreciar que se requieren equipos de GE controlados por computador, y consecuentemente, los sistemas de GE actuales se hallan completamente integrados, empleando sensores y procesadores que permiten realizar en tiempo real la detección, análisis, localización e identificación de cada amenaza, clasificándola en base a prioridades.

## **B) RECONOCIMIENTO DE LA AMENAZA**

Consideremos ahora cuáles son esos datos e información referidos a las amenazas enemigas, que necesitamos obtener. Al hacerlo, debemos tener en cuenta dos factores que son de fundamental importancia: la amenaza y la técnica de CME.

La amenaza consiste en el equipamiento electrónico hostil, incluyendo el ambiente EM en el cual operará el avión que debe ser pro-

tegido. Las acciones específicas que se utilicen para degradar la efectividad de ese equipamiento hostil, comprende las técnicas de CME.

Para poder hacer una apreciación correcta, se crean modelos de amenazas, los que son utilizados como medio de organizar sistemáticamente toda la información disponible que define o hace referencia al sistema hostil. Este modelo de amenaza comprende tres niveles:

- 1º) Modelo de señal;
- 2º) Modelo de sistema;
- 3º) Escenario.

#### 1. Modelo de señal

Es aquel que se refiere a las características de la emisión de energía de RF, producida por un elemento radiante simple.

En el presente trabajo se analizarán en forma primaria los radares de señal de pulso. No obstante que los radares de CW y frecuencia modulada también constituyen una amenaza, son menos comunes que los de pulso; y, por otra parte, los procesos de clasificación e identificación son más simples, ya que la emisión de este tipo de radares es continua durante un cierto período.

En el espectro EM, las señales de pulso de radar se usan extensamente para navegación, búsqueda, detección, seguimiento y otras aplicaciones militares, tales como guiado.

Las características y parámetros que interesa determinar de estas señales, son los siguientes:

1. Frecuencia:
  - 1º) Fija;
  - 2º) Stagger;
  - 3º) Jitter;
  - 4º) Si el **Stagger** y el **Jitter** son secuenciales o aleatorios.
2. Pulso:
  - 1º) Ancho;
  - 2º) Amplitud;
  - 3º) Forma;
  - 4º) Tipo de modulación;
  - 5º) Tiempo de arribo (TOA);
  - 6º) Ángulo de arribo (AOA).
3. Intervalo de repetición de pulsos:
  - 1º) Valor del intervalo;

- 2º) Fijo;
  - 3º) Stagger;
  - 4º) Jitter;
  - 5º) Si el **Stagger** y el **Jitter** son secuenciales o aleatorios.
4. Barrido de antena:
- 1º) Tipo;
  - 2º) Periodicidad.

## 2. Modelo de sistema

Es la sumatoria de todas las características radiantes, e incluye otros factores pertinentes, tales como rango del misil, letalidad de la cabeza de guerra, y tiempo de reacción del sistema de armas.

Al aplicarse las CME, éstas interfieren con una o más de las señales individuales del sistema amenaza, en el intento de degradar las performances de todo el sistema. Esto no sólo requiere información respecto a las señales que han sido seleccionadas para ser interferidas, sino que demanda una considerable cantidad de información adicional.

Las fuentes para conseguir estos datos son similares a las utilizadas para obtener la información respecto a las señales. Si nos referimos al modelo simplificado de sistema de misil SA que se muestra en la Figura 16, veremos que se requieren otros datos adicionales para poder definir las CME más apropiadas.

Se necesita, por ejemplo, el rango de detección, para definir el punto en el cual debe ser iniciada la acción de CME. Si ésta se inicia demasiado pronto, ella misma proveerá la alerta temprana al radar hostil, permitiendo con ello que sus operadores optimicen sus CCME.

Si, por el contrario, la acción se inicia demasiado tarde, permite que el radar hostil adquiera y establezca el seguimiento. Esto hace que la tarea de CME resulte muy difícil, ya que generalmente resulta fácil mantener el seguimiento de un avión una vez que ha sido adquirido, aun cuando se halle luego en medio de interferencia; en modo especial, si el sistema de radar tiene incorporado un sistema óptico para apoyo.

Los valores de rangos letales máximo y mínimo de las armas también son un factor clave, ya que definirán la lógica de control de CME, y establecerán la potencia radiada efectiva que se requiere, fijando al mismo tiempo las tácticas a emplear.

La capacidad de CCME es la más incierta, y, frecuentemente, la más importante de las características del sistema amenaza.

También el tipo, resolución y características del elemento de visualización que utiliza el sistema hostil, son a menudo factores importantes en la selección que se efectuará para aplicar las CME más apropiadas.

Por ejemplo, la diferencia entre un circuito de detección de rango completamente automático y un operador que utiliza una presentación de tipo A expandida, comprende un cambio (del orden de los 20 dB) en la potencia radiada efectiva, así como un tipo diferente de modulación.

Las tácticas que utiliza el sistema de armas amenaza son otro factor frecuentemente crítico, e incluyen factores tales como movilidad, ubicación en relación con el despliegue de otros sistemas hostiles, y la doctrina de radiación.

### 3. Escenarios

Definen los tipos y localización de los sistemas, tanto amigos como enemigos. Los escenarios hostiles, como pudimos apreciar al referirnos al tema en el área de las CME, están normalmente conformados por la combinación de distintos tipos de sistemas de armas que actúan en coordinación. (Véase Figura 18.)

### C) RECONOCIMIENTO DE SEÑAL

A fin de proveer contramedidas efectivas, los sistemas de ELINT modernos deben recibir las señales del ambiente de RF, clasificarlas, identificar los emisores, y presentar la información a los operadores (Oficial de Guerra Electrónica).

En los primeros sistemas, este proceso era realizado manualmente por un operador (véase Figura 21), que observaba en un tubo de rayos catódicos la presentación de señales que estaban presentes en el ambiente EM, y, mediante la manipulación de su equipo de detección, lograba detectar y localizar los emisores. A tal fin, el operador debía sintonizar su receptor para separar en frecuencia los distintos emisores, determinar mediante la orientación manual de la antena cuál era la dirección de donde provenía la emisión, y medir frecuencia, ancho de pulso y frecuencia de repetición del pulso, mediante la comparación de la señal recibida con señales calibradas.

Los sistemas de este tipo fueron conocidos como **Gusano Verde**, debido a que utilizaban múltiples tubos de rayos catódicos con fósforo verde.

Como casi todas las armas modernas son controladas por radar, hay, en cualquier momento dado, docenas de emisores en el ambiente EM, y el operador no puede lidiar así con un ambiente de RF rápidamente cambiante, como el que resulta en la guerra moderna. Por ello, los **Gusanos Verdes** son obsoletos.

Vemos así que la automatización resulta necesaria, ya que el ambiente total de RF, tanto amigo como enemigo, es tan denso, que un solo operador no puede prácticamente realizar la identificación de un solo emisor. En una región densamente defendida, es normal que un avión a alta cota esté en cubrimiento de docenas de misiles SA, al mismo tiempo.

El proceso de reemplazar al operador humano, o, más correctamente, asistirlo en su tarea, comenzó en la década del 60. En ese entonces, los primeros intentos se orientaron a la introducción de técnicas automáticas de clasificación de los pulsos, y su conversión en trenes de pulsos.

En contraste, actualmente se ha llegado a lograr reproducir remotamente y grabar lo que los operadores de radar enemigos ven en sus pantallas.

Para realizar esto en forma pasiva, un avión de ELINT dotado del adecuado y sofisticado equipamiento, sólo necesita detectar las señales periódicas de un radar terrestre cuya posición es conocida.

El operador a bordo del avión sincroniza el régimen de barrido de su pantalla con el régimen correspondiente del radar enemigo. Luego, necesita tener éxito en captar el eco radar reflejado por una referencia en el terreno, y cuya posición es conocida con precisión.

El procedimiento consiste en colocar la referencia en una elipse, en los focos de la cual están el radar enemigo y el avión de ELINT. De esta relación geométrica hace uso el computador de a bordo para ajustar a referencia cero la pantalla del operador, duplicando de esta forma en ella lo que ve el operador enemigo.

Como alternativa, el avión puede retransmitir esta información a una estación basada en tierra, para su reproducción y proceso más profundo.

La automatización de estos sistemas, cualquiera sea su grado, requiere contar con capacidad de computación para realizar los procesos de clasificación, asociación y conversión de los trenes de pulsos en descripción de los emisores.

Esta tarea se realiza mediante la combinación de equipos analógicos y digitales, con énfasis en la tendencia a realizar en forma digital todas aquellas tareas que sean posibles.

Para realizar estas tareas, el sistema debe primero medir los parámetros de la señal con una adecuada precisión, para luego determinar el intervalo de repetición de pulso (PRI), así como las características de barrido, a fin de identificar al emisor, y proveer información adecuada para la aplicación de correctas CME.

Completando lo expresado, el sistema debe medir la frecuencia y el azimut del emisor, determinando si el emisor está en búsqueda, seguimiento, adquisición, lanzamiento del misil, etcétera.

### 1. Características de las señales de pulso

A menudo se desea clasificar las señales de radar por sus características específicas, para ayudar en la determinación de su aplicación operativa.

Esto se puede realizar mediante caracterización del PRI, ancho y amplitud de la señal, además de otros parámetros menos obvios.

En un principio, el reconocimiento de señal puede parecer una cosa sencilla; pero si uno profundiza la consideración, observará que las características de un pulso pueden permanecer estables para cada pulso recurrente en un determinado tren de pulsos del emisor, o, por el contrario, pueden ser distintas para cada pulso emitido.

Asimismo, se puede obtener sólo la transmisión de un pulso durante una pequeña fracción de segundo, o puede suceder que este pulso sea uno de los varios transmitidos simultáneamente dentro de la región en la que el sistema de ELINT está recolectando e identificando señales. En este caso vemos que la tarea de reconocimiento de la señal se complica; complicación que es incrementada por el ruido atmosférico, pérdida de pulsos y reflexiones.

Esto nos muestra que el reconocimiento de una señal de radar bajo estas condiciones reales requiere un sistema con capacidad de computación que pueda trabajar en tiempo real, para procesar e identificar simultáneamente las características de pulso de múltiples señales.

Tal sistema normalmente está diseñado para monitorear aquellas señales que se sabe o se supone que existirán en el área geográfica de interés, y además, para reaccionar ante la presencia de señales inesperadas o desconocidas.

Un ejemplo de lo que sucede cuando no se cuenta con esta última capacidad, fue dada en la guerra árabe-israelí, donde los equipos de alerta radar de los aviones israelíes, diseñados para reaccionar ante señales de pulso, no advertían la presencia del SA-6, pues éste

trabaja en CW. Los resultados de ello, hasta tanto los israelíes se percataron de la falencia, son de público conocimiento: Israel no contaba con superioridad aérea, no obstante que Egipto no tenía aviones para enfrentarlo.

Consideremos ahora otro aspecto: Para que un sistema del tipo deseado, controlado por computador, opere eficientemente en un ambiente de radar complejo y denso, debe producir muy pocas falsas identificaciones o falsas alarmas.

Para comprender la importancia de esto, veamos qué sucede con un sistema que posea, por ejemplo, un régimen de falsa alarma del uno por ciento. Si este sistema manipula 50 emisores cada segundo, producirá una falsa alarma cada dos segundos; y si la confirmación de esta falsa alarma le demanda al operador sólo diez segundos, el sistema habrá acumulado, sin resolver, 50 falsas alarmas en sólo dos minutos.

Vemos así que salvo que el régimen de falsa alarma del sistema sea mejorado drásticamente, el sistema resulta ineficiente e inútil.

Una técnica que permite reducir las falsas alarmas de un sistema de identificación automática de señal, es mediante un método de análisis que permite la identificación de las emisiones de radar en base al PRI.

La utilización del PRI como parámetro primario de clasificación permite la rápida identificación de muchos emisores en un ambiente de señales superpuestas, con un régimen de falsa alarma aceptablemente bajo.

La determinación de los valores de otros parámetros del pulso, tales como frecuencia, ancho del pulso y su amplitud, aumentan el resultado previo del análisis del PRI, y a la vez refuerzan la precisión en la identificación del emisor.

No obstante que siempre habrá unas pocas señales que escapan a una caracterización estándar, la mayoría de los emisores de pulso pueden ser clasificados por su patrón de PRI. En la Figura 22 se muestran algunos ejemplos simplificados de distintos patrones de PRI.

Si bien la explicación siguiente nos obliga a introducirnos en técnicas y conceptos de radar, trataremos de realizarla en la forma más simple y expresiva posible, procurando su entendimiento aun cuando no se posean conocimientos de radar.

De las señales que se ilustran en la Figura 22, la más simple es la de PRI normal, que se muestra en el Cuadro A. La característica de esta emisión es que el tren de pulsos presenta un valor fijo en el intervalo entre pulso y pulso, o, en otras palabras, una PRI constante.

Una emisión más compleja es la que presenta corrimiento o **stagger**, y que se conforma por la existencia de diferentes PRI dentro del tren de pulsos. En el Cuadro B se muestra una señal con **stagger** de dos posiciones, en el cual el PRI **stagger** es el resultado de la suma de los intervalos  $T_1$  y  $T_2$ . Como vemos, los intervalos son distintos entre sí, pero repetidos. La relación  $T_1 / T_2$  dada por el tiempo de desplazamiento existente entre los dos trenes de pulso componentes, se conoce como **relación de corrimiento (stagger ratio)**, y caracteriza a la emisión.

En la figura hemos representado un **stagger** de dos posiciones; pero éste se puede extender a  $n$  posiciones, donde el PRI será la sumatoria de los intervalos  $T$  distintos entre pulso y pulso.

En el Cuadro C se ha representado también otro **stagger** de dos posiciones, pero donde el intervalo  $T_2$  es mucho mayor que el  $T_1$ .

Si observamos la estabilidad de los intervalos entre pulso y pulso, notaremos que en algunos casos existe un pequeño parpadeo o **jitter**.

Esta estabilidad depende de los circuitos de sincronismo y disparo. En la Figura 22, Cuadro D, observamos que si la estabilidad fuera absoluta, el segundo pulso debería emitirse en el momento  $M$ . Cuando existe inestabilidad, habrá una cierta variación muy pequeña (**jitter**), y el pulso se emitirá ante o después de  $M$ , pero dentro del intervalo  $I$ .

Esta desviación en más o en menos se mide en porcentaje respecto al  $T$  ideal. En aquellos emisores en que no se requiere un PRI estable, se pueden observar **jitters** del 15 por ciento, mientras que en otros el **jitter** es tan pequeño, que no es mensurable.

Como es lógico deducir, lo descrito dificulta la clasificación por PRI, siendo el **stagger** una muy buena CCME.

## 2. Factores de distorsión

El grado de dificultad en la determinación del tipo de señal incidente en un sistema de identificación, depende de la complejidad del emisor, la densidad del ambiente y la distorsión producida por el medio.

Por ejemplo, la distorsión de varios trenes de pulso afecta severamente a la habilidad de identificación de señal que posee un sistema, dificultando la caracterización precisa del emisor.

Los pulsos de ruido producidos, ya sea por el ambiente o por el propio sistema de identificación de señal, producen información de pulsos aleatorios, intercalados con una emisión, como se muestra en la Figura 23, Esquema A. A menudo, estos pulsos de ruido se pre-

sentan como una serie de picos, lo que lleva a confundir una señal normal intercalada con una señal más compleja.

Los pulsos de ruido, asimismo, se pueden combinar con otras señales aleatorias, formando trenes de pulso pseudoperiódicos.

Otro elemento de distorsión es la pérdida de señal producida por el patrón de barrido de antena, ya sea del receptor o del emisor, o incluso producido por una obstrucción, como se aprecia en la Figura 23, Esquema B, en el cual el sistema de identificación puede considerar prematuramente que el tren de pulso ha cesado.

En el Esquema C de la misma Figura apreciamos la distorsión que produce el reflejo generado por una obstrucción. Aun cuando la amplitud del pulso reflejado es normalmente menor que la de la emisión real, como se presenta después de un pequeño retraso, y además, a menudo es esporádico, puede llevar a confusión.

El efecto combinado de estas distorsiones causan dos tipos de errores, a saber:

- 1º) Identificar erróneamente un emisor dentro del catálogo que se posee;
- 2º) Realizar la identificación de un emisor que no figura en el catálogo.

El primer tipo de error lo causa normalmente una información inadecuada, mientras que el segundo se debe a un error de análisis, y produce un alto grado de falsa alarma.

### **3. Procesamiento de la señal**

La obtención de una rápida y segura caracterización del ambiente demanda el uso de computadores en el sistema de recepción. En la Figura 24 se muestra un típico sistema de identificación de señal.

El sistema de sintonía, compuesto por antenas, sintonizador, demodulador y circuitos de medición de frecuencia, convierten las emisiones de microondas en información de video a frecuencias más bajas. Asimismo, provee información sobre la frecuencia del emisor, ángulo de arribo (AOA), ancho de pulso y amplitud; datos, éstos, que utiliza el sistema de procesamiento para caracterizar la señal.

El sistema de sintonía, compuesto por antenas, sintonizador, demodulador y circuitos de medición de frecuencia, convierten las emisiones de microondas en información de video a frecuencias más bajas. Asimismo, provee información sobre la frecuencia del emisor, ángulo de arribo (AOA), ancho de pulso y amplitud; datos, éstos, que utiliza el sistema de procesamiento para caracterizar la señal.

### 1º) Circuitos de codificación del pulso

La clave para la codificación del pulso lo constituye el circuito de decisión de inicio/finalización del pulso. Éste es el circuito que decide cuándo un pulso comienza y cuándo termina, y cuándo su amplitud y frecuencia deben ser codificadas por los circuitos asociados de codificación de ángulo y de frecuencia.

Tanto los circuitos de codificación de frecuencia como los de codificación de ángulo utilizan normalmente codificadores A/D convencionales, comandados por el circuito de decisión de iniciación del pulso.

La codificación del ancho de pulso se realiza normalmente mediante un contador y un **clock** de alta velocidad. El contador es disparado cuando comienza el pulso, y detenido al finalizar éste.

También se utiliza un contador, pero combinado con un **clock** de baja velocidad para proveer la información del tiempo de arribo (TOA), que será utilizado en los cálculos de la PRI.

Los circuitos de codificación de la amplitud utilizan técnicas de conversión A/D convencionales. La información de amplitud se utiliza para proveer una indicación aproximada de la distancia, a fin de determinar prioridades de amenaza. También se utiliza para analizar el patrón de barrido de antena del emisor, y, cuando se utilizan técnicas de intermodulación, para su análisis.

Las salidas digitales de los circuitos de codificación de pulso son conformadas para producir una única **palabra descriptiva del pulso**, la que representa a cada pulso recibido. Esta **palabra** es pasada luego a los circuitos de clasificación y análisis del PRI.

Esto permite que en la etapa siguiente el procesador de señal reciba una palabra descriptiva de pulso por cada pulso detectado, y mediante la clasificación de estas palabras se calcule la PRI. Así, la PRI y el tipo de PRI (**stagger**, convencional o **jitter**) se agregan a la palabra descriptiva del pulso, formando una palabra descriptiva del emisor, para cada tren de emisor que se haya clasificado.

Esta palabra descriptiva del emisor se debe obtener luego que se han recibido unos pocos pulsos de un emisor; es decir que se debe producir una nueva palabra descriptiva de emisor, cada vez que el emisor cambia sus parámetros.

Esta palabra es una palabra digital, que contiene el PRI del emisor, y que también puede incluir una identificación tentativa del emisor en base a la frecuencia y el PRI exclusivamente.

La palabra descriptiva del emisor será luego utilizada por el computador del sistema, para brindarle una adecuada presentación de in-

formación al operador de ELINT, en un formato que es de fácil interpretación.

## 2º) Clasificación y análisis del PRI

Como resulta necesario asociar los pulsos correspondientes a cada equipo de radar que emite, a fin de determinar si es en realidad una emisión o sólo un simple ruido, y luego calcular el PRI y establecer las características de barrido que permitan que la identificación del emisor sea más precisa, se utiliza el siguiente método de clasificación:

Para cada pulso recibido se codifican sus parámetros observables (azimut, frecuencia, etcétera). Cuando se recibe otro pulso que posee iguales características, se puede asumir que el pulso recibido en último término proviene del mismo emisor que aquel que habíamos archivado anteriormente; es decir que si, por ejemplo, recibimos un pulso en 3.792 MHz y desde un azimut 208°, y un msec después, otro en 3.793 MHz y desde un azimut 208°; podemos asumir que proviene del mismo tren de pulsos. El inconveniente se plantea en que durante ese msec entre pulso y pulso, podemos haber recibido decenas o cientos de pulsos provenientes de otros emisores.

Los parámetros que se pueden obtener para clasificar un pulso, son: frecuencia, ángulo de arribo, amplitud, ancho del pulso y tiempo de arribo.

De éstos, los más confiables son la frecuencia y el azimut. Muchos radares tienen frecuencia constante, y por lo tanto, pueden ser clasificados en base a ella. El ángulo de arribo también es constante, y por ello, también resulta un buen parámetro de clasificación.

Por otro lado, el resto de los parámetros del pulso están sujetos a grandes posibilidades de distorsión por el medio ambiente. El ancho de pulso, por ejemplo, se ve severamente afectado por efectos **multipath** (fantasma), por lo cual depende de la orientación de antena. Cuando la antena de radar está barriendo, el ancho del pulso va a variar con la superficie del terreno.

La amplitud del pulso depende del patrón de antena y de la interferencia por **multipath**. Por ello, la amplitud tiende a variar notablemente entre pulso y pulso, no siendo lo suficientemente consistente como para constituir un parámetro de clasificación.

El tiempo de arribo se puede utilizar como un patrón de clasificación, pero sólo si el radar opera en un PRI constante. La mayoría de los radares tienen PRI constante, debido a que éste resulta más fácil de diseñar, y menos costoso que un radar con PRI en **jitter** o en

**stagger.** No obstante, este tipo de radar se utiliza justamente en los sistemas militares, ya que son más difíciles de interferir.

Los radares con agilidad de frecuencia tornan sumamente difícil tanto la clasificación como la interferencia; pero su costo resulta mucho mayor que el de un radar de frecuencia constante.

El proceso de clasificación muestra claramente la lucha que existe entre el diseñador de las CME y el diseñador de los equipos de radar. Si el diseñador del radar desea realizar un radar de bajo costo, recurrirá a la frecuencia constante, PRI también constante, y patrones de barrido de antena simples. Las señales emitidas por estos radares son fáciles de clasificar y de interferir, porque ellas son predecibles.

Si, por el contrario, el diseñador del radar decide, a mayor costo, provee a su radar con agilidad tanto de frecuencia como de PRI, y con un patrón de barrido desfigurado, sus señales no se podrán predecir, y resultará difícil interferirlo. En este caso, el costo del radar resulta más alto; pero también es más alto el costo del equipo necesario para interferirlo.

El método convencional para la clasificación del pulso consistiría en una comparación secuencial; pero ésta no resulta práctica, por el tiempo que demanda al considerar la gran cantidad de pulsos del ambiente, ya recibidos, con los que habría que comparar cada nuevo pulso.

Buscando una solución a este problema del tiempo para la clasificación, se han intentado distintos métodos, y el más directo de ellos es el de clasificación por distribución. Este proceso se basa en la existencia de una celda de memoria para cada ítem o categoría en la cual puede haber una clasificación.

De esta forma, no necesitamos buscar en toda la memoria por un ítem en particular, dentro de una multitud desordenada, sino que, por el contrario, cada dato posible ya tiene una celda asignada con anterioridad, de forma que todos los ítems a clasificar están claramente ordenados.

Veamos un ejemplo: Supongamos que queremos hacer una clasificación por frecuencia: si la banda por analizar va de 5.000 a 9.000 MHz, y la resolución del equipo es de un MHz, para la clasificación necesitaremos 4.000 celdas. De esta forma sabremos que la palabra que describe a un pulso de una frecuencia de 5.345 MHz, estará archivada en la celda 0345.

Para realizar lo descrito, el procedimiento será como lo veremos inmediatamente:

1º) Antes que ningún pulso arribe, todas las celdas de memoria son colocadas a cero; es decir, no contienen ninguna información;

2º) Cuando se recibe un pulso en una frecuencia dada, se archiva en la celda de memoria correspondiente la indicación de **pulso presente**, y se complementa con otra información de azimut, frecuencia, etcétera;

3º) Más tarde, cuando llega un nuevo pulso, sólo se requiere leer el contenido de la celda correspondiente, y comprobar si hay o no indicación anterior de pulso presente. Si hay indicación, esto es señal de que el pulso corresponde a un emisor ya recibido; y si, por el contrario, no hay indicación de pulso presente, estamos ante un nuevo emisor, que requerirá su adecuada identificación.

Como ya no necesitamos buscar secuencialmente para efectuar la clasificación, el tiempo requerido resulta mucho menor. Corroborando esto, en la Figura 25 podemos apreciar el diagrama de flujo que indica las pocas operaciones que debe realizar el computador para efectuar la clasificación.

Si suponemos que la computadora debe efectuar sólo esta tarea de clasificación, y tiene capacidad para realizar una instrucción en menos de un *usec*, esta computadora (de uso normal en algunos sistemas ELINT) tendrá capacidad para procesar 100.000 pulsos por segundo; cantidad, ésta, que suele estar presente en ambientes electromagnéticos densos, tal como el de la Europa central.

Otro método de clasificación que evita el problema de tiempo que representa la clasificación secuencial, es el que recurre al uso de memoria de acceso paralelo (**content addressable memory**, o CAM).

En este caso, el procesador de señal tiene un **hardware** especial, que permite la comparación simultánea de una nueva palabra descriptiva del pulso, con todas las palabras archivadas anteriormente, realizándolo a través de una única operación digital. Esto quiere decir que todos los parámetros del pulso que arriba, son comparados en paralelo (simultáneamente) con los ya archivados.

La tecnología actual en circuitos integrados ha hecho posible realizar esta tarea a muy alta velocidad en forma eficiente, y comparando simultáneamente un gran número de descriptores de emisor.

Para poder realizar esta comparación simultánea mediante CAM, es necesario contar con circuitos de comparación que efectúen ésta sobre la base de **bit a bit**, de todos los parámetros de la palabra descriptiva del pulso. Si todos los bits coinciden, se armará un **flip flop** de coincidencia, y de esta forma, lo único que se requerirá al final del proceso de comparación es ver si uno o más de estos **flip flop** han sido armados.

Aquellos **flip flop** que han quedado armados, indicarán los emisores con los cuales coincide la palabra descriptiva de pulso que se acaba de analizar.

Para simplificar el proceso, un circuito de lógica de codificación por prioridad convierte las salidas de los **flip flop** que coinciden, en palabras binarias que indican la posición que posee la palabra de coincidencia dentro de la distribución de la CAM.

Al igual que en el método anterior, los progresos tecnológicos actuales permiten, mediante la CAM; una capacidad de manipuleo de 100.000 pulsos por segundo.

Considerando ahora el PRI, para su cálculo es necesario efectuar la clasificación del tiempo de arribo (TOA) de los pulsos sucesivos pertenecientes al tren de pulsos del emisor a considerar.

Examinando los intervalos de tiempo intrapulsos, se puede determinar si el régimen de pulsos es simplemente periódico, si tiene **stagger** o si tiene **jitter**.

Este cálculo no resulta simple, ya que se ve afectado por los siguientes problemas:

1º) Algunos de los pulsos del tren de pulsos se pueden perder, debido al **fading** o a la superposición con otros pulsos;

2º) Pueden existir falsos pulsos, debido a respuestas espurias en el receptor, o debido a una codificación inadecuada del pulso.

El resultado de esto es que cuando se hace el cálculo de PRI, se deben examinar varios intervalos de pulsos sucesivos, a fin de determinar si existen falsos pulsos o pulsos perdidos.

Lo hasta aquí expresado nos indica que la existencia de emisores complejos, distorsión ambiental, e incluso emisiones de radar aleatorias, hacen que resulte imposible lograr, con un solo tipo de análisis, asociar todas las muestras de datos correspondientes a una determinada señal.

Esta cantidad de posibles errores de identificación, y lo complejo de los métodos de análisis, nos definen lo sofisticado que resulta el proceso de reconocimiento de un emisor.

Como ya lo habíamos esbozado, uno de los mejores métodos de identificación es el de determinación del PRI; pero, debido a la complejidad de los datos de PRI, el método que se elija para analizar este parámetro, debe tener en cuenta todas las anomalías. Muchos métodos pueden parecer adecuados en un primer momento; pero cuando son implementados, muestran que en sí son generadores de errores.

Por ejemplo, uno de los métodos utiliza la mínima de la función de autocorrelación discreta para estimar el PRI. Esta función se de-

fine como la suma de las diferencias de los TOA de todos los pulsos pertenecientes al tren de pulsos, y el tiempo de arribo del pulso más próximo de otro tren, formado por el retraso del tren de pulsos que se analiza.

El tiempo de retraso que corresponda a la más pequeña de las sumas de las diferencias, constituirá el valor estimado del PRI del tren considerado, constituyendo un excelente discriminante cuando existe una sola señal en el muestreo realizado.

Si existe más de un tipo de señal en el muestreo realizado, o si el PRI posee **jitter**, el método de correlación por mínima no resulta adecuado, con lo que vemos que un método que en un principio parecía adecuado, falla en la presencia de varias señales, o cuando hay excesivo **jitter** o ruido.

Se ha desarrollado otro método de análisis que permite una identificación de señal muy rápida y con una baja falsa alarma, aun cuando utiliza una pequeña cantidad de pulsos para el muestreo.

Este método de análisis utiliza un algoritmo de computación que reitera condicionadamente el proceso de análisis, dependiendo para ello de los resultados de previas interacciones.

El algoritmo se implementa en los tres pasos básicos que veremos inmediatamente:

1º) El muestreo obtenido por el sistema de medición del pulso, es analizado para determinar los posibles trenes de pulso que puedan caracterizar a una emisión;

2º) Luego, los posibles trenes de pulso son verificados mediante un método de los mínimos cuadrados medios (LMS), para determinar si existen o no trenes de pulso, y para definir más precisamente el PRI;

3º) Finalmente, los trenes de pulso que tienen PRI similares se combinan para determinar si existe o no **stagger**, determinando también su grado de complejidad. Asimismo, se determina si las señales del muestreo corresponden o no a señales distintas, pero que tienen valores de PRI similares.

### 3º) Análisis del barrido

El proceso de análisis del barrido consiste en la determinación de las siguientes circunstancias:

1º) Si el emisor es un radar de seguimiento continuo, o un TWS, o un equipo de adquisición;

2º) Si se encuentra buscando, barriendo un sector, o siguiendo.

Además de determinar el tipo de barrido, resulta importante hallar el régimen de ese barrido.

Para llevar a cabo el proceso, el sistema examina las amplitudes de los pulsos sucesivos que componen un tren, con lo que puede determinar si el emisor está barriendo o si está siguiendo.

Este análisis del barrido se lleva a cabo en la computadora del sistema mediante la recurrencia a técnicas de transformación de Fourier, que permiten determinar e identificar componentes periódicas en la secuencia de amplitudes.

El análisis se torna complicado, debido a los pulsos perdidos, las falsas alarmas y las peculiaridades del diagrama de irradiación de la antena del emisor.

#### 4º) Identificación del emisor

Este proceso consiste en asignar a un tren de pulsos una identificación que a nuestro criterio indica con la máxima aproximación posible cuál es la identidad del emisor.

Existen dos métodos de identificación: por datos previos y genérica, que a continuación se detallan:

1º) **Identificación por datos previos:** En este caso, recurrimos a información y datos ya conocidos con anterioridad, y que corresponden a las características del emisor.

Como conocemos la frecuencia, PRI y características del barrido de los emisores amigos, éstos no representan problemas. Sólo debemos identificar a los emisores hostiles, para lo cual recurrimos a la información obtenida previamente por operaciones de reconocimiento electrónico, u otros medios;

2º) **Identificación genérica:** En este caso, recurrimos a las características de los radares que están relacionadas con el uso o propósito de los mismos.

Por ejemplo, casi todos los radares de alerta temprana tienen un PRI grande, una antena que gira en los 360°, y un gran ancho de pulso. Esto es debido a que esas características son necesarias para lograr un sistema eficiente.

En igual forma, casi todos los radares de seguimiento tienen un PRI corto, un barrido fijo o rápidamente ondulante, y un pulso corto, ya que esto se requiere para un buen guiado de misil o control de fuego.

Como vemos, podemos hacer una identificación bastante aproximada simplemente observando las características del PRI, patrón de barrido y ancho de pulso.

#### 5º) Complejidad del proceso de señal

En el desarrollo hasta aquí efectuado, nos hemos basado en el PRI como parámetro primario para la clasificación e identificación de los emisores. Pero el PRI por sí solo no basta, ya que no puede lidiar con la totalidad de las variantes que significan todas y cada una de las emisiones que podemos encontrar en el ambiente EM.

Como vimos, el método se debe integrar con otros métodos ágiles para medir los otros parámetros que caracterizan a cada emisor, resumiéndose finalmente todo en el requerimiento de una muy buena base de **hardware y software** que permita en definitiva resolver el problema de reconocimiento de señales.

Podemos concluir que el procesamiento de señal es sumamente complejo, y que debe recurrir tanto a computadoras de propósito especial como general. Según hemos visto, el proceso se debe realizar dentro de un ambiente sumamente denso y complejo, que supera ampliamente a los **Green Worms** y a todo intento de proceso manual.

Además, como se aprecia por lo desarrollado, el personal debe ser altamente capacitado en el conocimiento de señales de radar y sus sistemas emisores.

#### D) RECEPTORES PARA ELINT

Determinados ya los datos que se requieren al efectuar el análisis de señal, consideremos ahora cuáles son los equipos sensores que permitirán captar las señales del medio ambiente EM.

Ese sensor es normalmente un receptor con capacidad para cubrir toda la banda de frecuencias de radar y guiado. Dentro de su rango de frecuencias, el receptor puede recibir simultáneamente todas las señales, o tener, en cambio, una capacidad de búsqueda para ser manualmente o automáticamente sintonizado a través de toda la banda para interceptar y aislar las señales dentro de una pequeña porción de toda la banda.

Una vez que se ha interceptado una señal que es de interés, el receptor provee a su salida una información que será compatible con el procesamiento que sufrirá la señal, a fin de obtener los datos e información recientemente descritos.

Al considerar el tipo de receptor a utilizar, se deberá tener en cuenta el ambiente EM en el cual operará; en especial, su densidad, puesto que su conocimiento es fundamental para determinar el grado de capacidad para manipular señales que deberá tener el equipamiento de ELINT, fijando en última instancia las especificaciones que este equipamiento debe cumplir.

Otro factor determinante estará dado por el alcance que requiere el receptor, ya que al igual que en el caso del radar, la altura de las antenas del emisor radar y el receptor de ELINT determinan la distancia máxima a la cual se podrán captar las señales; pero dentro de ella, el alcance real estará dado por la sensibilidad del receptor, por la potencia del emisor, y por la longitud de onda correspondiente a la frecuencia que se desea analizar.

### **Clasificación**

Podemos discriminar los receptores utilizados por la ELINT, conforme a las siguientes características:

- 1º) Receptor superheterodino (SH);
- 2º) Receptor de banda abierta (WO) o de video a cristal (CV);
- 3º) Receptor de medición instantánea de frecuencia MIF (IFM).

#### **1. Receptor superheterodino**

El receptor superheterodino es un equipo sensor que presenta las siguientes características:

- 1º) Gran sensibilidad;
- 2º) Baja probabilidad de interceptación de señal (procesa una señal por vez);
- 3º) Precisión en la medición de frecuencia.

Es el tipo de receptor más generalizado para cualquier uso, y tiene, debido a su forma de operar, muy buena sensibilidad (gran alcance) y muy buena selectividad (gran precisión en la medición de frecuencia).

Es un receptor de banda angosta que puede ser sintonizado (utilizando un control remoto) en una porción determinada del espectro de radar. En muchos casos, esta sintonización es digital y a alta velocidad, de manera tal que puede desplazarse rápidamente a través de una gran porción del espectro.

El ancho de banda de FI es típicamente 100 MHz o menos, y utiliza un AFC (control automático de frecuencia) para mejorar la pre-

cisión de sintonía. Para ello, cuando se recibe la señal de un emisor, el AFC resintoniza al oscilador local, centrando la banda pasante en la señal del emisor, lo que permite que su frecuencia sea medida con precisión y seguridad.

Asimismo, mide la amplitud del pulso recibido, su ancho y tiempo de arribo (TOA).

La RF portadora del pulso emitido se determina mediante la combinación de la frecuencia del oscilador local superheterodino con la frecuencia medida por el discriminador de los circuitos de AFC.

Como este receptor va barriendo el espectro EM con un ancho de banda angosto, es baja la probabilidad de que la posición instantánea del barrido coincida con el instante de emisión de un radar amenaza que opera en esa banda; y tanto más baja, cuanto más intermitente sea la emisión.

Esto hace que se requieran dos o más barridos del receptor para lograr una coincidencia, lo que puede llevar a tiempos excesivos, y que resulten inaceptables en relación con el corto tiempo de preaviso que se dispone con algunas amenazas.

Para solucionar este problema, que se traduce en una baja probabilidad de interceptación, dentro de los superheterodinos se han desarrollado equipos que permiten:

1º) La selección a voluntad y por programa de las subbandas que resultan de interés, de forma que sean sólo éstas las subbandas que se barran;

2º) El barrido automático de las bandas seleccionadas, a un régimen programable, con enganche también automático sobre las frecuencias donde existen emisiones.

En la Figura 26 se aprecia el diagrama en bloque de este tipo de receptores.

## 2. Receptor de banda abierta o video a cristal

El receptor de banda abierta es un equipo sensor que posee las siguientes características:

1º) Una probabilidad de interceptación del ciento por ciento;

2º) Una sensibilidad normalmente menor que el SH;

3º) No brinda información de frecuencia.

Este tipo de receptor consiste en un diodo detector, seguido por un amplificador de video logarítmico; es decir que comienza el proceso detectando la señal de RF proveniente de antena, y a continuación, esta señal, ya convertida en video, es amplificada.

El receptor WO o CV es muy simple, con un buen rango dinámico y buena estabilidad. No permite la medición de frecuencia; pero puede ser utilizado para determinar la amplitud del pulso y su ancho.

Como en general la banda de interés no suele ser muy ancha, a la entrada del detector se utiliza un amplificador de RF que aumenta la sensibilidad.

Debido a las características del diodo detector, el receptor no es lineal, lo que condiciona al amplificador de video para que posea una elevada ganancia y un gran rango dinámico.

En la Figura 27 se aprecia un diagrama en bloque de este tipo de receptores.

### **3. Receptor de medición instantánea de frecuencia (MIF-IFM)**

El receptor de medición instantánea de frecuencia es un equipo sensor que presenta las siguientes características:

- 1º) Probabilidad de intercepción del ciento por ciento;
- 2º) Tiene una sensibilidad moderada;
- 3º) Da información de frecuencia de todas las señales presentes.

Este receptor permite la medición simultánea de la frecuencia instantánea de todas las señales presentes en su banda de cubrimiento. Para poder hacer esto, cuenta con un discriminador de fase que le permite, actuando como un receptor de banda abierta, obtener, no obstante, mediciones de frecuencia.

Normalmente, este tipo de receptores cubren una ancha banda de frecuencias, empleando un ancho de banda de 1.000 MHz o más, utilizando el discriminador para obtener la RF instantánea de las señales de pulso que se encuentran dentro de esa banda.

La precisión de lectura de frecuencia está limitada, aproximadamente, al uno por ciento del ancho de banda total.

Debido a que se debe emplear limitación de amplitud antes del discriminador, los únicos parámetros de la señal de pulso obtenibles con este receptor son frecuencia y ancho de pulso.

Para obtener la medición de frecuencia, las salidas del discriminador se restan, y en la mayoría de los casos se aplican a las deflexiones horizontal y vertical de un tubo de rayos catódicos. En la Figura 28 se puede apreciar el diagrama en bloque de este receptor.

Comparando las Figuras 26, 27 y 28, se puede apreciar la diferente composición de los tres receptores descritos, siendo ésta la característica que los diferencia.

## **E) VISUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE ELINT**

La forma en que se visualizará la información está íntimamente relacionada con los tipos de receptores y de antenas que se utilicen. Asimismo, la forma de visualización dependerá del sistema de procesamiento de señal, y si ésta se presenta en forma cruda (sin procesar) o sintética (procesada).

### **1. Presentación de tipo A**

Es la pantalla de análisis clásico para presentación analógica cruda, y consiste en un tubo de rayos catódicos pentatrazo. En cada uno de los cañones del tubo se aplica la señal de forma tal, que en uno de los trazos se visualiza el pulso completo, lo que permite medir su ancho y amplitud. Los otros trazos, a su vez, permiten, según la cantidad de pulsos que se visualizan, determinar el intrapulso, el barrido de antena, e incluso el patrón de radiación de la antena que se analiza.

En la Figura 29 se aprecia este tipo de visualización. Antiguamente se utilizaba un tubo para cada presentación, lo que dio origen a la designación de Gusano Verde.

### **2. Presentación de tipo IPP azimut/intensidad,**

Éste es el tipo de presentación más simple de señales del medio ambiente, y puede ser visualización de señal cruda o sintética.

En la presentación cruda (véase Figura 30) puede apreciarse la influencia del ruido y de los lóbulos laterales de la antena, lo que limita su utilización en medios ambientes densos, resultando actualmente casi obsoleta.

Cuando la visualización es de información procesada, los trazos correspondientes a cada señal se presentan libres de ruido o influencia de los lóbulos laterales, lo que permite observar no sólo medios ambientes densos, sino que mediante la codificación de los trazos correspondientes a cada señal se puede identificar al tipo de radar. Este tipo de presentación se grafica en la Figura 31.

### **3. Presentación de tipo IPP frecuencia/intensidad**

Es la presentación clásica de los receptores MIF, en la que cada trazo representa la frecuencia instantánea de la señal, indicada como un apartamiento angular, y la intensidad de la señal es proporcional a la distancia radial desde el centro del tubo. (Véase Figura 32.)

Este tipo de presentación se adecua a las densidades de ambiente EM actuales, ya que brinda en todo momento un ciento por ciento de probabilidad de intercepción, a la vez que permite determinar cuándo los radares utilizan técnicas sofisticadas, tales como agilidad de frecuencia, compresión de pulso, etcétera.

Observando la Figura 32, podemos, por ejemplo, apreciar que el trazo 1 corresponde a un radar emitiendo en 8 GHz, y que está enganchado sobre el avión de ELINT, ya que su amplitud no varía.

El trazo 2, por su parte, nos muestra un radar con agilidad de frecuencia, mientras que el trazo 3 nos muestra un radar que está en búsqueda, ya que su amplitud varía.

#### **4. Presentación cartesiana azimut/frecuencia**

Ésta es la presentación más sofisticada, y a la vez la solución para los ambientes EM actuales de alta densidad. La señal proveniente del receptor es procesada y presentada en pantalla acompañada por información alfanumérica identificatoria del radar emisor.

Normalmente, está complementada con una pantalla tabular que permite, a requerimiento, la visualización de todos los parámetros y características de la señal que interesa. (Véase Figura 33.)

#### **5. Presentación para alerta radar**

Si bien ésta no es una presentación de uso en ELINT, es utilizada como elemento fundamental para las CME en los aviones de combate, ya que alerta al piloto de que se encuentra iluminado por un radar amenaza.

Este tipo de visualización varía desde el más simple, que sólo indica mediante cuatro luces el cuadrante desde donde proviene la amenaza (véase Figura 34), hasta el equipo más sofisticado, que presenta al piloto las amenazas por grado de peligrosidad, e incluso le indica si el radar que lo ilumina está en búsqueda o en seguimiento. (Véase Figura 35.)

### **F) ANTENAS**

El proceso de ELINT implica la intercepción de señales radar para determinar sus características, y además, la dirección de donde provienen.

Para ello, el receptor debe cumplir dos funciones, cada una de las cuales requiere un determinado tipo de antena. Durante la fase

de búsqueda, el operador necesita interceptar todas las señales provenientes de los 360 grados, mientras que una vez adquirida una señal, tiene que concentrarse sobre ella, para medir sus parámetros.

Para satisfacer estos requerimientos, las antenas que se utilizan son las siguientes:

- 1º) Omnidireccional;
- 2º) Múltiple;
- 3º) Orientable direccional.

### 1. Antena omnidireccional

Ésta es una antena que se monta en forma externa en el avión, y cubre un ancho rango de frecuencias, con lo que se requieren pocas antenas para cubrir todo el espectro en las bandas de radar.

### 2. Antena múltiple

En algunos aviones no resulta conveniente que se monten antenas que sobresalen de su perfil, o se utilizan técnicas monopulso o interferométricas, lo que lleva a que se utilicen antenas a ras del perfil, y que son del tipo helicoidal o espiral.

Cuando se utiliza este tipo de antenas, se requiere más de una para lograr el cubrimiento adecuado, considerando para ello la forma del avión y la posición de las antenas en el mismo. Como mínimo se requieren dos antenas, normalmente montadas a ambos lados del fuselaje, y cubriendo cada una 180°.

Si no se requiere el cubrimiento de una banda de frecuencias muy ancha, bastará con un juego de antenas; pero si se intenta cubrir todo el espectro, se deberán utilizar grupos de antenas para cada banda de frecuencias. Además de las expresadas, las antenas que se pueden utilizar son de ranura, bocina o **luneberg**, con reflector o sin él.

### 3. Antena orientable direccional

Una vez interceptada una señal, el requerimiento siguiente es la medición de sus parámetros y la determinación del ángulo de arribo. Para realizar esto último, la antena omnidireccional no es apta; pero sí lo son las múltiples, cuando se utilizan para determinar el AOA, técnicas interferométricas.

Otro método consiste en utilizar antenas que tengan propiedades direccionales, rotándolas hacia el azimut de donde proviene la señal a analizar.

#### 4. Ventajas y desventajas de los sistemas

La selección de un sistema direccional para aplicaciones de GE, raramente resulta una tarea fácil. La elección estará subordinada a las características del sistema completo, los requerimientos de la misión, el espacio disponible, y el costo de la integración al avión.

Se debe considerar que el sistema básico (receptor y procesador) y el sistema de antenas no son independientes, sino que deben ser considerados un único sistema interactivo.

Podemos definir tres parámetros que resultan útiles para describir las especificaciones generales a satisfacer por un sistema direccional que va a ser utilizado en la ELINT: precisión direccional, sensibilidad del sistema, y campo visual instantáneo.

La precisión direccional resulta, probablemente, el parámetro más fácil de definir y analizar; y sin embargo, es el que ocupa la mayor parte de la literatura técnica sobre sistemas direccionales.

La precisión direccional es el mayor error (sin integración ni promedio) entre el ángulo de arribo actual y el medido.

La sensibilidad del sistema se define como la sensibilidad del receptor, menos la ganancia de antena. Por ejemplo, un receptor con una sensibilidad de  $-60$  dBm, alimentado por una antena con 20 dB de ganancia, constituye un sistema con una sensibilidad de  $-80$  dBm.

El campo visual instantáneo está determinado por el sector angular instantáneo que cubre el sistema. En cualquier instante, el sistema direccional proveerá una medición de ángulo precisa, sólo para aquellas señales que se reciban dentro de este ángulo o campo visual.

Este campo visual instantáneo resulta el parámetro más difícil de especificar, ya que existe un compromiso intrínseco entre este campo y el tiempo. Cualquier campo visual instantáneo cubrirá los  $360^\circ$ , si la antena se gira; pero varía la penalización de las performances del sistema en cuanto a la duración del muestreo de señal, y al tiempo medio para interceptar la señal.

Es por ello que la localización de un emisor mediante técnicas direccionales, a bordo de un avión, se puede realizar utilizando antenas monopulso o técnicas interferométricas, o mediante un sistema de antena direccional de haz estrecho y orientable.

La técnica de la antena orientable direccional comprende normalmente un dipolo o una bocina montada en el foco de un reflector, o en algunos casos la simple bocina o una antena espiral.

Como el campo visual instantáneo de esta antena es estrecho, para cubrir los  $360^\circ$  se la monta sobre un mecanismo de rotación. Al

ser girada la antena, y debido a su estrecho campo visual, sólo recibe aquellas señales que provienen del azimut hacia donde se halla apuntada: de esta forma se determina el AOA de las señales.

Esta técnica tiene ciertas ventajas sobre la de interferometría, ya que debido a su estrecho ancho de lóbulo en el sentido azimutal, puede ser utilizada para filtrar el ambiente EM cuando éste resulta muy denso. Por otra parte, su alta ganancia extiende el rango en el cual el sistema puede interceptar señales; y esto permite que el emisor enemigo pueda ser detectado incluso a través de sus lóbulos secundarios.

La duración del muestreo de señal, en cambio, constituye una desventaja para esta técnica; y esa duración es el tiempo en el que se dispone de una señal para su procesamiento. Por ejemplo, si una antena con una abertura de  $10^\circ$  gira a 60 RPM, proveerá 27,8 msec de tiempo de muestreo sobre una determinada señal de emisión continua, y habrá 972,2 msec de no muestreo.

Otra desventaja es el tiempo medio para intercepción de la señal, y ese tiempo es el requerido para detectar la emisión de una señal. Resulta a veces más conveniente hablar de este tiempo medio antes que de la probabilidad de intercepción, ya que resulta más preciso para definir una especificación.

Si consideramos la antena del ejemplo anterior, y tomamos un emisor fijo, el tiempo medio para interceptar su señal será aproximadamente de 500 msec. En cambio, si el emisor es rotante, y tiene un ancho de lóbulo de  $10^\circ$ , el tiempo medio de intercepción se eleva a 18 sec. Si ahora suponemos que el sistema ELINT debe barrer 100 frecuencias durante su búsqueda de posibles emisores, este tiempo medio de intercepción se eleva a 30 minutos, aproximadamente.

Por supuesto, existen técnicas direccionales alternativas; y generalmente éstas caen dentro de la categoría de las **monopulso**, incluyendo las variantes de suma, diferencia, TOA e interferometría.

Estas técnicas emplean antenas que determinan la dirección en base al tiempo de arribo de la señal, o en base a los cambios de fase en la recepción de la señal.

Montando dos antenas helicoidales a un lado del fuselaje de un avión, separadas entre sí una determinada distancia, es posible detectar una pequeña diferencia en el tiempo de arribo de una señal, o es posible detectar una diferencia en fase de esa señal, a la entrada de ambas antenas.

Cualquiera sea el método aplicado, se puede computar un ángulo relativo en base a esta diferencia que se puede medir. Desde ya,

este tipo de operación requiere mediciones muy precisas y cálculos rápidos, por lo que se necesita utilizar un computador.

Generalmente, un sistema monopolso necesita un campo visual instantáneo bastante ancho, lo que se traduce en una menor sensibilidad. Por otra parte, en esta técnica la estructura del avión puede tener efectos muy significativos, ya que las antenas del tipo monopolso tienden a ver las superficies del avión, lo que causa una degradación en la gran precisión potencial inherente a este tipo de técnicas.

Ello puede llevar a la necesidad de extensas calibraciones del sistema y al chequeo de tablas de datos, teniendo en cuenta las variaciones dependientes de la frecuencia, que poseen los patrones de radiación de las antenas.

La técnica direccional por monopolso es capaz de efectuar las mediciones en base a un pulso simple; y no obstante, las restricciones de la relación señal/ruido hacen que normalmente se requiera un tren de pulsos para obtener una alta precisión direccional.

Con esto resulta similar a la técnica de antena direccional, ya que ésta también requiere un tren de pulso; pero la diferencia estriba en que la monopolso necesita mucho menos tiempo para interceptar la señal.

Si efectuamos la comparación entre los dos sistemas, tomando como base el ejemplo dado para la antena direccional, veremos que para un emisor fijo, mientras que la medición con antena direccional demanda 500 msec, con antena monopolso esta medición es instantánea. Igualmente, si el emisor está rotando, y en el caso direccional nos había dado un valor de 18 sec, en el caso monopolso este tiempo sería sólo de 500 msec. Y finalmente, si se deben barrer 100 frecuencias, la técnica monopolso demanda 50 sec contra 30 min de la técnica direccional.

Como vemos, cada técnica tiene sus ventajas y desventajas, y su consideración en forma interactiva con el resto del sistema ELINT es la que determinará el tipo de antena más adecuado.

### **G) LOS ASPECTOS ESTRATÉGICO Y TÁCTICO DE LA ELINT**

Por lo hasta aquí analizado, se puede apreciar que la Guerra Electrónica puede resultar extremadamente costosa. Por otra parte, debemos también considerar que el esfuerzo de la GE de una nación estará dictado por un estricto manipuleo de los recursos económicos, junto con una precisa definición de los objetivos militares.

En GE, una de las formas de mantener los costos en un nivel bajo es realizar un cuidadoso planeamiento, especificando en detalle los

requerimientos operativos, y analizando los distintos aspectos técnico-operativos y de integración de los sistemas; todo ello, previo a la confección de las especificaciones de selección.

El requerimiento operativo, que es la primera cosa a ser considerada, servirá de base para un estudio de especificaciones técnico-operativas, cuyo resultado será la edición de esas especificaciones, las que no sólo incluirán las características y parámetros a satisfacer por el equipamiento deseado, sino que también deberán considerar las características de instalación, para la adaptación del sistema al avión portador y a los otros sistemas de a bordo.

Para ello comprenderá todos los aspectos concernientes a aerodinámica, interfaz mecánica, alimentación y compatibilidad electrónica.

Al efectuarse el requerimiento operativo, éste estará determinado principalmente por:

- 1º) Los tipos de amenazas a encontrar;
- 2º) El escenario en el que se realizarán las operaciones ELINT.

Observando el Gráfico D, vemos como estos elementos determinarán los requerimientos de:

- 1º) Receptores y antenas;
- 2º) Equipos de procesamiento;
- 3º) Sistema de control.

Estos requerimientos se irán conformando en dos niveles perfectamente definidos: uno estratégico, y otro táctico, los cuales se pueden sintetizar en:

- 1º) **Nivel estratégico:** Determinar qué sistemas amenazas tiene el oponente, y cuáles son sus características;
- 2º) **Nivel táctico:** Verificar la información obtenida en el nivel estratégico y actualizarla, para establecer el OBE.

## 1. Nivel estratégico

Comprende las operaciones ELINT que se realizan a largo plazo.

### 1º) Tareas

En el campo estratégico, la totalidad de las tareas que se realicen, estarán encaminadas a:

- 1º) Obtener el conocimiento más preciso posible sobre los equipos que constituyen amenazas (radares, dispositivos de guiado, etcétera), y los sistemas de armas a los cuales están asociados;

2º) Realizar un mapa del territorio enemigo con la ubicación de las distintas amenazas, y confeccionar un listado de las características radioeléctricas de los radares y sistemas de guiado de misiles;

3º) Obtener y analizar las características técnicas y operativas del equipamiento electrónico enemigo, y sus procedimientos de operación asociados;

4º) Evaluar las capacidades relativas de cada amenaza y de los sistemas de armas;

5º) Determinar las capacidades técnicas del enemigo en el campo específico de los sistemas electrónicos, y detectar cualquier progreso que realice;

6º) En base a lo expresado en los incisos anteriores, diseñar u obtener los equipos de CME propios, y establecer sus tácticas de utilización.

## **2º) Fuentes**

Para el cumplimiento de las mencionadas tareas, se debe recurrir a la obtención de información: en primer lugar, mediante el reconocimiento electrónico continuo y permanente de tiempo de paz. Esta información debe ser complementada con aquella que provenga de otras fuentes, tales como inteligencia, obtención indirecta, etcétera.

## **3º) Problemas a resolver**

Planteada de esta manera la actividad de ELINT en el campo estratégico, queda por resolver:

1º) Cómo correlacionar todos los datos obtenidos y que provienen de distintas fuentes;

2º) Evaluar la calidad de los datos con que se cuenta;

3º) Determinar cuál es la precisión que se requiere de la información disponible. Esta precisión va a estar fijada en función de la aplicación posterior que se le dará a la información;

4º) Una vez procesada la información, crear y/o mantener actualizado un archivo de emisores radioeléctricos.

## **4º) Requisitos a satisfacer**

Para poder resolver los problemas planteados, se cumplirán los siguientes requisitos:

1º) Amplia cobertura de frecuencia;

- 2º) Gran alcance;
- 3º) Gran capacidad de análisis de las señales;
- 4º) Capacidad de goniometría;
- 5º) Gran capacidad para discriminar entre señales;
- 6º) Adecuado sistema de procesamiento de los datos.

## 2. Nivel táctico

Comprende las operaciones de la ELINT que se realizan a corto plazo, dentro de un determinado Teatro de Operaciones.

### 1º) Tareas

En el campo táctico, todas las tareas que se realicen, estarán encaminadas a:

1º) Verificar la información previamente obtenida mediante la ELINT estratégica, y determinar la amenaza total en el Teatro de Operaciones y su posible desarrollo;

2º) Conocer la distribución actual de las amenazas, y establecer sus capacidades relativas y de conjunto;

3º) Determinar la real amenaza, tomando en cuenta el sentir operativo y técnico del enemigo;

4º) En base a lo hasta aquí expuesto, actualizar el OBE del enemigo;

5º) Obtener la información necesaria para la selección de las CME más adecuadas, conforme a la misión a realizar por las propias fuerzas:

6º) Contribuir a la planificación de las misiones de las propias fuerzas sobre territorio enemigo, a fin de brindarles el más alto grado de supervivencia;

7º) Dar la alarma a la propia defensa en caso de una variación de la actividad de las transmisiones enemigas, que indique la inminencia de un ataque.

### 2º) Fuentes

Las tareas mencionadas llevan a que la única fuente para la obtención de información esté constituida por el reconocimiento electrónico en tiempo real, o pocas horas antes de realizar las misiones.

### 3º) Problemas a resolver

Podemos apreciar que en el campo táctico se deberán resolver los siguientes problemas:

- 1º) Positiva identificación de las amenazas (emisores enemigos);
- 2º) Localización precisa de las mismas, y una determinación de sus capacidades actuales;
- 3º) Cómo contar con tiempo y recursos suficientes para realizar una determinación positiva.

### 4º) Requisitos a satisfacer

Lo expresado determina que para poder resolver adecuadamente estos problemas, se deberá contar con:

- 1º) Cobertura de frecuencia acorde con la información estratégica;
- 2º) Probabilidad de intercepción lo más alta posible;
- 3º) Capacidad para reconocer señales en un ambiente denso;
- 4º) Rapidez en el proceso de reconocimiento;
- 5º) Baja probabilidad de falsa alarma;
- 6º) Capacidad de goniometría;
- 7º) Capacidad para suministrar información a las armas;
- 8º) En algunos casos, facilidades de grabación a bordo, y de transmisión de los datos a tierra (**data link**);
- 9º) Facilidades en tierra para reproducir la información obtenida con el menor retraso posible, y así estar en capacidad para tomar decisiones adecuadas.

### 3. Síntesis

Realizando un resumen de lo hasta aquí expresado, podemos apreciar una diferencia de actividades según el campo de que se trate. Así, en el **campo estratégico** la actividad de la ELINT está basada en:

- 1º) Análisis detallado de las señales electromagnéticas, y de sus correspondientes emisores;
- 2º) Acopio de datos provenientes de distintas fuentes;
- 3º) Proceso lento, metódico y voluminoso de la información obtenida;
- 4º) Se dispone de tiempo suficiente para realizar las actividades arriba mencionadas, ya que el ELINT estratégico se realiza normalmente en tiempo de paz;

5º) La actividad se desarrolla cubriendo en lo posible todo el territorio enemigo, o posible enemigo.

Al contrario, en el **campo táctico** la actividad de la Inteligencia Electrónica (ELINT) estará basada en:

1º) No ya tanto en el análisis de las señales, como en procurar obtener la máxima probabilidad de interceptar cualquier emisión enemiga;

2º) Verificar los datos obtenidos anteriormente en el campo estratégico;

3º) Realizar un proceso inmediato en tiempo real, que permita tomar decisiones oportunas y adecuadas;

4º) No se dispone de tiempo, pues la actividad táctica se realiza pocas horas antes que las propias fuerzas efectúen sus misiones sobre territorio enemigo, o aun en el transcurso de ellas;

5º) El espacio en el que se desarrolla la actividad de ELINT táctica se limita al Teatro de Operaciones.

Vemos así que las características particulares de cada uno de estos campos promueven la especificación de aquellos equipos receptores, de procesamiento y antenas, que serán más aptos para cada actividad.

#### **H) EMPLEO DE LOS EQUIPOS DE ELINT PARA ALERTA TEMPRANA**

Existe actualmente la tendencia a disponer sistemas de ELINT para apoyar las defensas clásicas. Como el alcance de los receptores pasivos utilizados en reconocimiento electrónico es mayor que el de los radares de vigilancia, y como su eficacia no se ve mermada por el relieve del terreno en el grado que lo es un radar, tales equipos pueden ser empleados para detectar aviones volando bajo, y alertar inmediatamente a los radares.

Podemos mencionar también que, aprovechando el mismo principio, se utilizan interferidores terrestres que neutralizan a los radares de seguimiento del terreno de los aviones, obligándolos así a ganar altura, y ser detectados por los radares de la defensa.

#### **I) APRECIACIONES FINALES SOBRE LA ELINT**

Por lo que hemos analizado, podemos apreciar que la ELINT resulta vital en los niveles de planeamiento, ya que, por un lado, los datos obtenidos permiten mantener tablas de las operaciones militares ex-

tranjeras, y generar inteligencia en emisores de radar y sistemas de guiado de misiles, que luego dictan la dirección a seguir en los sucesivos diseños de equipos, mientras que, por otro lado, esos datos permiten el conocimiento del OBE enemigo y el emplazamiento de sus armas; información esencial para prever tanto el propio OBE, como las misiones de penetración en territorio hostil.

Asimismo, la experiencia del Oriente Medio nos indica que debemos estar preparados para evitar las **sorpresas**, como lo fueron el SA-6 y el SA-7; máxime, teniendo en cuenta que la tendencia actual es a desparramar los emisores en todo el espectro EM, e incluso comenzar a incursionar en las ondas milimétricas.

El agresor trata siempre de obtener una rápida victoria, utilizando el factor sorpresa. En la guerra actual, la fase inicial es ciertamente corta y decisiva, y debe ser combatida utilizando las fuerzas disponibles en ese momento.

Por ello, se debe estar en capacidad, no sólo de resistir a este embate inicial, sino también de reaccionar rápida y eficazmente. Esto se puede lograr sólo si se posee una correcta información sobre las capacidades del potencial enemigo; y en el área de las armas controladas o guiadas electrónicamente, esto se logra a través de la ELINT o Inteligencia Electrónica.

## CONCLUSION

En las pocas páginas que comprende este trabajo, hemos intentado plasmar en conceptos breves y simples una **Clasificación de la Guerra Electrónica**; pero debemos recordar que no se ha desarrollado sino el concepto de las áreas que conforman la **Guerra Electrónica**, y esto sólo en lo referido a radares y sistemas de guiado.

Desde ya, el tratamiento de estos temas permite una mayor profundidad y análisis específico. No obstante, lo hasta aquí expuesto permite contar con un panorama general de lo que son las Contramedidas Electrónicas, qué es lo que se pretende atacar con ellas (las medidas), y qué medios se poseen para evitar este ataque (CCME).

El trabajo desarrollado constituye así la base de conocimientos para el **qué aplicar** y el **cómo hacerlo**; aspectos, éstos, que no hemos tratado.

Luego de leer el presente trabajo, podemos apreciar que aun cuando a veces cuesta aceptar que aquello que no hace **bang** y no se ve (la electrónica), es tan importante para una misión, como lo puede ser la munición o el combustible; debemos recordar la mención del Primer Ministro Diputado de la Unión Soviética, que efectuamos al principio: "Para que una nación sobreviva y persevere en un conflicto moderno, debe atacar y explotar la debilidad de los sistemas **electrónicos** enemigos".

Es a estas últimas consideraciones a las que se debe el presente trabajo, no con el objeto de incorporar a nuestro lenguaje cotidiano nuevos términos hoy de moda, sino con la esperanza de que la experiencia primera sufrida en Vietnam por los Estados Unidos, y por ambos bandos en el Oriente Medio, nos eviten recordar a Esopo: "A menudo, nosotros mismos damos a nuestros enemigos los medios para nuestra destrucción".