

MIGUEL ANGEL SILVA

# CLASIFICACION DE LA GUERRA ELECTRONICA

EDITORIAL SAN MARTIN  
MADRID

CLASIFICACION  
DE LA GUERRA  
ELECTRONICA

Copyright © Miguel Angel Silva  
De esta edición  
EDITORIAL SAN MARTIN, S. L.  
Difusión: Librería San Martín  
Puerta del Sol, 6  
28013 MADRID

Impreso en España - Printed in Spain  
por Gráficas Lormo  
Isabel Méndez, 15  
28038 MADRID

I.S.B.N.: 84-7140-235-1.  
Depósito Legal: M. 22180-1985

## PRESENTACION A LA EDICION ESPAÑOLA

*El conjunto de actividades militares dirigidas hacia el logro del control efectivo y puntual, en el tiempo, del espectro electromagnético incluyendo la aplicación integrada de acciones letales y no letales, la perturbación, degradación o la destrucción de los sistemas electromagnéticos enemigos y la protección de los propios, conforma un nuevo concepto de guerra electrónica denominado Combate Electromagnético.*

*De las cuatro actividades militares que, desde el punto de vista aéreo, integran el Combate Electromagnético (EC): la Inteligencia de Señales (SIGINT); las Contramedidas C<sup>3</sup> (C<sup>3</sup> CM); la Supresión de las Defensas Aéreas del Enemigo (SEAD) y la Guerra Electrónica clásica (EW), es esta última actividad militar la elegida por el vicecomodoro Miguel Angel Silva como tema para su libro CLASIFICACION DE LA GUERRA ELECTRONICA, aunque incluya también, en su último capítulo, una rama de la actividad Inteligencia de Señales (SIGINT), la Inteligencia Electrónica (ELINT).*

*Esta lucha por el control del espectro electromagnético, desde la Guerra del Sureste Asiático hasta los últimos acontecimientos bélicos, ha contribuido, decididamente, a la consecución del éxito en las misiones de ataque sobre territorio enemigo que obliga a las tripulaciones, durante la penetración, a seguir una secuencia operacional determinada para identificar las diferentes amenazas en tiempo útil y coordinar la adquisición de datos y la aplicación de las contramedidas en el momento oportuno para mantener la eficacia de los sistemas propios a afrontar las acciones del enemigo.*

*Paralelamente al principio fundamental de la guerra aeroespacial, el conocimiento del enemigo, que dentro del campo que nos ocupa, nos lleva a conocer las posibilidades y vulnerabilidades de los sistemas del adversario con el objeto de determinar sus puntos de ataque, las acciones a efectuar y de esta forma obtener ventaja en la ejecución de las operaciones militares, el autor, que combina amplios conocimientos de electrónica con experiencias en la operación de sistemas de defensa aérea y todo ello con el denominador común de diplomado de Estado Mayor, parte de un principio básico "...conocer las características y capacidades del sistema de armas controladas por radar contra el que se quiere llevar a cabo las acciones de guerra electrónica. . ." que lo denomina las MEDIDAS con-*

tra las cuales hay que aplicar las contramedidas y de esta forma aumenta a cuatro las tres aéreas fundamentales de la guerra electrónica que figura en nuestra doctrina: las Contramedidas Electrónicas (ECM); las Anticontra-medidas Electrónicas (ECCM) y las Medidas de Apoyo a la Guerra Electrónica (ESM).

Y es en este capítulo de su libro, el correspondiente a las Medidas de Apoyo a la Guerra Electrónica (ESM), donde el autor incluye la recolección, el análisis y la evaluación de las emisiones radar con fines de Inteligencia, la Inteligencia Electrónica (ELINT) y la considera como punto de partida de todo lo concerniente a la guerra electrónica, mientras que en el Ejército del Aire y en la mayoría de las naciones, las ESM tienen por objeto el reconocimiento inmediato de la amenaza en beneficio de las operaciones en curso.

En cualquier caso la frontera entre ELINT y ESM es confusa, quizás sea porque ambas emplean la misma tecnología, sistemas similares y en muchos casos hasta las mismas plataformas pero, mientras la actividad ELINT se realiza generalmente en tiempo de paz, en espacios aéreos nacionales o volando rutas periféricas, en tiempo de guerra se realizan preferentemente acciones ESM para el reconocimiento rápido de la amenaza y la explotación inmediata de la información obtenida, volando rutas que penetran en un espacio aéreo hostil.

Lo anteriormente expuesto ha pretendido centrar el tema dentro del marco del Combate Electromagnético en base a un perfecto entendimiento y apoyo mutuo entre nuestro Ejército del Aire y la Fuerza Aérea Argentina donde el conflicto de las Malvinas nos ha demostrado que la guerra electrónica es un factor insustituible para la supervivencia de la Fuerza y la consecución del éxito de las operaciones militares y que, a la hora de la verdad, los planes y programas de equipamiento no valen para nada, lo que cuenta es lo que se tenga instalado y operando en las unidades.

A los lectores no especialistas en el tema les recomiendo una lectura detenida del libro, escrito de forma clara y amena que incluye los principios de la guerra electrónica y, sin duda, les proporcionará un nivel básico de conocimientos necesarios para cualquier profesional.

Por todo lo expuesto me es grato presentar la edición española de este libro del vicecomodoro Miguel Angel Silva con la esperanza que las buenas relaciones tradicionales entre ambos Ejércitos se mantenga e incluso incrementen los estímulos, en el campo que nos ocupa, entre Argentina y España

Francisco Javier Bautista Jiménez  
Coronel del Ejército del Aire

Madrid, 14 de enero de 1985

## INTRODUCCIÓN

El piloto de cualquier avión, y particularmente de un avión de ataque, debe estar familiarizado con las amenazas a que está expuesto durante el cumplimiento de las misiones; y asimismo, debe estar familiarizado con aquellas medidas a que puede recurrir para contraatacar esas amenazas, a fin de anularlas o evitarlas. El propósito del presente trabajo es justamente brindar, con base en conceptos simples y generales, esa familiarización.

Somos conscientes de que debido a los avances tecnológicos, el uso de equipamiento electrónico en la guerra se ha expandido hasta incluir virtualmente todos los niveles y áreas de combate. Pero debemos ser conscientes, también, de otro hecho: todos esos sistemas electrónicos se basan en el uso del Espectro Electromagnético (EM), y, por lo tanto, su utilización óptima puede ser degradada por el enemigo mediante el uso de otros dispositivos electromagnéticos, diseñados para dificultar el libre empleo de ese Espectro.

Esa continua lucha por evitar o reducir el uso que el enemigo puede hacer del espectro EM, y a la vez por asegurar su libre empleo por la propia Fuerza, es lo que conforma la GUERRA ELECTRÓNICA.

La tendencia general de la comunidad de Guerra Electrónica (GE) es mantener en secreto sus esfuerzos, hasta el punto de no comentar ni aun aquella información que no requiere clasificación de seguridad. Consecuentemente, existen muy pocos artículos sobre el tema que vayan más allá de una ligera introducción o un relato histórico, manteniéndose el resto envuelto en un halo de misterio. En este trabajo intentaremos descorrer parcialmente ese velo que cubre a la Guerra Electrónica.

Antes de introducirnos en el tema, cabe una pregunta: ¿Se justifica realmente la Guerra Electrónica?

**Primera respuesta:** La Marina de los Estados Unidos concluye en uno de sus informes sobre Vietnam, que habría perdido cinco aviones por cada uno que en realidad perdió entre 1965 y 1974, de no haber utilizado Contramedidas Electrónicas (aproximadamente, 340 aviones y 2,7 billones de dólares, más las vidas de las tripulaciones).

**Segunda respuesta:** Durante los raids LINEBACKER 2 sobre el Vietnam del Norte de los B-52, se perdieron 15 aviones; y las estadísticas anteriores sobre la efectividad de los SAM indicaban que las pérdidas habrían sido de 75 a 100 bombarderos, de no haber estado equipados con Contramedidas Electrónicas. Asimismo, la USAF reconoce que las pérdidas hubieran sido aun menores, de haberse implementado mejor las tácticas de Contramedidas Electrónicas.

**Tercera respuesta:** Hace algunos años, el entonces primer ministro diputado de Defensa de la Unión Soviética, mariscal V. D. SOKOLOWSKI, dijo en su libro **Estrategia militar soviética:**

"El equipamiento electrónico es utilizado en la guerra para anular completamente o limitar la efectividad de los sistemas electrónicos enemigos, y asegurar el uso exitoso del equipamiento propio... Por esta razón, el desarrollo de equipos de Guerra Electrónica ha adquirido ahora la misma importancia que el desarrollo de misiles y armas nucleares, los cuales no pueden ser usados sin equipamiento electrónico... Para que una nación sobreviva y persevere en un conflicto moderno, debe atacar y explotar la debilidad de los sistemas electrónicos enemigos."

**Cuarta respuesta:** Fue dada por las armas sorpresas SA-6 y SA-7 durante la guerra Árabe - Israelí.

**Quinta respuesta:** Está dada por las ventajas de la Guerra Electrónica, ya que, a diferencia de las armas convencionales, se pueden tener los sistemas en operación las 24 horas, reaccionar automáticamente y con diferentes niveles de respuesta, y sin riesgos de quedar faltos de munición. Por otro lado, si la supuesta amenaza contra la que se reacciona no es un real ataque, no se llegará a crear un incidente internacional por haber radiado algunos electrones de más.

#### ENCUADRAMIENTO DEL TEMA

Hay una tendencia a confundir Guerra Electrónica (GE) con Contramedidas Electrónicas (CME), e incluso a utilizar estos términos como sinónimos. Para evitar esto y determinar perfectamente el tema

a desarrollar, veamos primero las áreas del espectro EM que abarca la Guerra Electrónica:

- 1º) Bandas de frecuencias bajas, utilizadas para comunicaciones;
- 2º) Bandas de frecuencias medias y altas, utilizadas por equipos y sistemas de radar para vigilancia, adquisición, seguimiento y guiado de armas;
- 3º) Bandas de frecuencias de Infrarrojo y Ópticas.

Dentro de estas tres grandes áreas, limitaremos el presente trabajo a la expresada en segundo término; es decir, la referida a radares y sistemas de guiado.

Otra tendencia común es hablar de CME o GE, pero sin hacer referencia o conocer cuáles son esas **medidas** contra las cuales se aplican las **contramedidas**.

Una muestra de la importancia que reviste el tema del conocimiento de las **medidas**, fue dada por el SA-6 soviético durante la guerra de octubre de 1973 en el Oriente Medio. Por un lado, este misil se reveló como una de las mayores sorpresas tecnológicas, ya que indicaba la nueva dirección de Rusia hacia misiles de guiado semi-activo en onda continua (CW).

Pero lo más importante es que en ese entonces los sistemas no estaban preparados para este tipo de amenazas, pues los receptores de alerta radar de a bordo de los aviones israelíes estaban orientados hacia la detección de las transmisiones de pulsos. Por ello, mientras el avión estaba atento a este tipo de transmisión (usada en el SA-2 y el SA-3), no detectaba las emisiones de guiado del SA-6, que se realizaban en CW, y el resultado lógico de ello era el derribo del avión.

Esta falla de los Estados Unidos para detectar el cambio de tecnología (nuevas **medidas**) no tuvo explicación; y peor aún es que no hubiera desarrollado una capacidad de detección adecuada, si consideramos que en ese entonces ya había exportado armas guiadas por CW, como el Hawk de Raytheon, al Oriente Medio y el golfo Pérsico.

Vemos así que ese conocimiento de las medidas es importante. Lo es, además, por cuanto la capacidad y habilidad que poseen los sistemas de armas para la detección, seguimiento e intercepción de blancos, depende de ciertos principios y técnicas de radar. El conocimiento y análisis de estos principios y técnicas, a través de una de las ramas de la GE conocida como **Medidas de Apoyo a la GE**, permiten el desarrollo de tácticas y equipos de contramedidas que pueden ser utilizados con éxito para anular o disminuir la eficacia de esos sistemas de armas.

De aquí la íntima relación que existe entre los sistemas de armas (las medidas) y las CME, ya que son los cambios y mejoras aplicados a aquellos sistemas los que hacen de la GE un campo de expansión continuo.

Esto nos conduce a aplicar un principio básico: "Conocer las características y capacidades del sistema de armas controladas por radar contra el que se quieren llevar a cabo las acciones de GE".

Por todo lo hasta aquí expresado, y a diferencia de la clasificación que suele aparecer en publicaciones especializadas, nosotros dividiremos la Guerra Electrónica en:

1º) **Medidas:** Comprenden todas las tácticas, y dispositivos utilizados para detectar, adquirir y seguir un blanco, y para el guiado de armas;

2º) **Medidas de Apoyo a la Guerra Electrónica (MAGE)** (Electronic Warfare Support Measures: ESM): Incluyen las tácticas, técnicas y dispositivos empleados para obtener información y realizar el análisis de las características de cualquier equipo o dispositivo que utilice el espectro EM, tanto para la transmisión como para la recepción de energía electromagnética;

3º) **Contramidas Electrónicas (DME)** (Electronic Counter Measures: ECM): Abarcan las tácticas, técnicas y dispositivos que se utilizan para impedir el uso adecuado, por parte del enemigo, de las **medidas** recientemente definidas;

4º) **Contra - Contramidas Electrónicas (CCME)** (Electronic Counter Measures: ECCM): Comprenden las tácticas, técnicas y dispositivos empleados para eliminar o atenuar los efectos producidos sobre el propio equipamiento, debido al uso de CME por parte del enemigo.

Completando nuestro encuadramiento del tema, y a fin de limitar su extensión evitando introducirnos en temas demasiado específicos y de difícil comprensión, sólo desarrollaremos la clasificación precedente en conceptos generales, a fin de brindar los grandes lineamientos que constituyan la base para la comprensión y análisis de los modos de empleo de los distintos sistemas que se utilizan en cada una de las áreas recientemente definidas.

Cabe una última consideración en cuanto al enfoque del tema, que se realiza desde el punto de vista aéreo; y por ello, los sistemas de armas (medidas) que se consideran, se refieren a:

- 1º) Radares de alerta temprana y control de caza interceptora;
- 2º) Armas superficie - aire (misiles y cañones);
- 3º) Armas aire - aire (misiles, cohetes y cañones).



Como se aprecia, no se incluyen las armas aire-superficie y superficie-superficie. No obstante, con pequeños resguardos, resultan válidas para estos sistemas de armas, las mismas consideraciones que se expresan para el resto de las armas.

#### **ACLARACIONES PREVIAS**

A los efectos de procurar una fácil comprensión y seguimiento del tema, éste ha sido clasificado en forma arbitraria por el autor, según se aprecia en los Gráficos A (Tipos de radar), B (Sistemas de guiado) y C (Contramiedas electrónicas). La consulta a estos Gráficos durante la lectura del presente trabajo, permitirá mantener la relación del tópico que se está leyendo con respecto al contexto general; y para ello, **los gráficos han sido confeccionados de forma de permitir su despliegue junto al texto.**

También se encontrará, indicada entre paréntesis, numerosa terminología en inglés, que se incluye debido a que aún no se cuenta con una traducción definitivamente aceptada en castellano. Además, existe una tendencia en la Comunidad Internacional de Guerra Electrónica a utilizar los términos en su idioma original. Por otra parte, su inclusión entre paréntesis facilita el relacionarlos con otra bibliografía referida al tema.

En un apéndice, al final del trabajo, se adjunta un glosario de dichos términos y abreviaturas.

Capítulo Primero

LAS MEDIDAS

## **I — INTRODUCCIÓN**

¿Por qué hay tan íntima relación entre la aplicación de los sistemas de radar y la Guerra Electrónica (GE)? Esto puede ser contestado mediante uno de los objetivos primarios de la GE: "El empleo de todo el equipamiento, personal y técnicas necesarios para penetrar un área de blancos enemigos, defendidos por armas controladas electrónicamente".

La experiencia ganada en Vietnam y en el Oriente Medio llevaron a un crecimiento continuo en cantidad, variedad y calidad de armas asistidas electrónicamente. Su uso efectivo —en algunos casos, con capacidades inesperadas— estableció nuevos requerimientos de performances defensivas, y condujo a nuevas tácticas de contramedidas.

Éste es el motivo por el cual a continuación consideraremos ese equipamiento electrónico que asiste a los sistemas de armas, y que podemos agrupar en:

- 1º) Sistemas de Radares;
- 2º) Sistemas de Guiado de Misiles.

## **II — SISTEMAS DE RADARES**

### **A) CONCEPTOS SOBRE RADARES**

El radar es un dispositivo que mediante la emisión de un potente haz de radiofrecuencia (RF), permite visualizar la distancia a un blanco (avión), su altitud, azimut y velocidad, o una combinación de estos parámetros.

El radar básico consiste en un transmisor que irradia una energía electromagnética, y un receptor que intercepta, procesa y presenta la parte de esta energía EM (Eco) que es reflejada por un blanco. La forma en que esta energía reflejada es procesada y relacionada con la energía transmitida, determina el tipo de radar que se utiliza.

Podemos dividir los radares en los dos agrupamientos básicos que a continuación se expresan:

1º) Que transmiten pulsos, y se conocen como **Sistemas Incoherentes, de bajo régimen;**

2º) Que transmiten onda continua, y se conocen como **Sistemas Coherentes, de alto régimen.**

En general, los sistemas de pulso obtienen los datos de distancia y ángulo (azimut-elevación) del blanco, mientras que los de CW obtienen el ángulo y velocidad del blanco a partir del efecto **doppler**.

En los párrafos siguientes analizaremos los tipos de radar más comunes que se emplean en sistemas para la detección, adquisición y seguimiento de blancos, y para el apuntado de cañones y cohetes. Además, consideraremos su integración y complemento con sistemas de guiado de misiles.

## **B) CLASIFICACIÓN DE LOS RADARES**

Según el empleo que de ellos se haga, los radares para control de las armas se pueden agrupar en:

1º) Radares para alerta temprana (AT) y control de caza interceptora (CCI);

2º) Radares para armas superficie - aire;

3º) Radares de a bordo para interceptación;

4º) Otros radares.

### **1. RADARES PARA ALERTA TEMPRANA Y CONTROL DE CAZA INTERCEPTORA**

De los varios tipos de radar que componen un sistema de defensa aérea, el radar de alerta temprana es el de mayor alcance, y es utilizado para obtener la primera detección activa de la fuerza atacante. Es este radar el que alerta a la red de defensa, y calcula el azimut y la distancia de la fuerza incursora.

Los radares de este grupo son importantes, ya que ellos pueden ser utilizados para colocar en posición los cazas interceptores y/o pasar información a las unidades de Misiles Superficie - Aire (MSA) y baterías antiaéreas.

### 1º) Radar 2D para Alerta Temprana (AT)

Este tipo de radar es un equipo de alta potencia, y su propósito primario es la detección de aviones a gran distancia, aun a costa de la precisión. Esto hace que se caracterice por relativamente grandes longitudes de pulso (Pw, 2 a 20 usec), baja frecuencia de repetición de pulsos (PRF, 100 a 400 pps) y frecuencia de trasmisión del orden de 500 a 3.000 MHz (bandas C a F).

La gran longitud del pulso permite la trasmisión de potencias muy altas (1 a 10 Mw), y la baja PRF permite largos períodos de recepción, lo que se traduce en alcances de 250 NM o más.

El tipo de barrido usado es circular (permite una visualización PPI), para lo cual un haz angosto en el sentido horizontal y amplio en el vertical (se puede comparar con la forma de una mano), es girado 360° alrededor de un eje vertical fijo. (Véase figura 1.)

Típicamente, los valores de apertura de este haz son 1 a 2 grados en azimut, y 20 a 30 grados en elevación. Esto da una resolución en azimut que es aceptable, y un buen cubrimiento en altitud.

El haz gira lentamente —usualmente, entre 3 a 8 RPM—, de forma que varios pulsos sucesivos golpearán a los blancos y serán reflejados en cada barrido.

### 2º) Obtención de la altitud de los blancos

El radar que hemos descrito hasta aquí, sólo mide dos (azimut y distancia) de las tres dimensiones espaciales, y por ello se lo conoce como radar 2D (2 dimensiones). La determinación de la tercera dimensión: la altitud, se puede realizar, ya sea mediante un segundo radar **de altura** (Height Finder, HF), como complemento del anterior, o haciendo uso de radares conocidos como 3D (3 dimensiones); equipos, éstos, que permiten la medición de los tres parámetros con un solo radar.

La obtención de las tres dimensiones, tanto se realice mediante un solo radar o una combinación de ellos, nos da capacidad para el control de la caza interceptora.

### 3º) Radar de altura (HF)

Es muy similar en varios aspectos al radar de alerta temprana, excepto que la forma del lóbulo y el tipo de barrido deben ser modificados para proveer un haz estrecho (típicamente, 1,5°) en el plano

vertical, y ancho ( $4^\circ$ ) en el plano horizontal. (Véase Figura 2.) Este haz estrecho se mueve hacia arriba y abajo, en un barrido que abarca aproximadamente de menos  $2^\circ$  a más  $32^\circ$ .

Las otras características del radar incluyen un Pw de 2 a 3 usec, y una PRF de 200 a 400 pps, con un alcance efectivo de aproximadamente 200 NM. Su frecuencia de operación es superior a los 2.500 MHz (bandas E a G), para obtener un lóbulo de buenas características.

Desde el punto de vista barrido, se puede hacer una discriminación entre radares de:

1º) **Barrido mecánico**, en el cual todo el sistema de antena **cabecea** en el plano vertical;

2º) **Barrido electromecánico**: En este caso, el reflector de antena permanece estático, y lo que se mueve es el irradiante de energía, en forma electromecánica.

#### 4º) Radar 3D de lóbulos apilados

Es un radar cuyo lóbulo, si bien de forma similar al descrito para el radar 2D, está conformado por varios sublóbulos, estrechos en el plano vertical ( $2^\circ$  a  $3^\circ$ ), y superpuestos. (Véase Figura 3.)

En este equipo, la medición de altura se efectúa determinando en cuál de los lóbulos se encuentra el blanco, o por comparación de la intensidad del eco, si se encuentra en la zona de superposición de dos lóbulos contiguos.

Las otras características y parámetros que hacen al radar, son similares a las recientemente expresadas para el radar 2D.

#### 5º) Radar de lóbulos en "V"

Este radar (característico de algunos sistemas del Pacto de Varsovia) utiliza dos lóbulos de conformación similar al descrito para el radar 2D. La posición relativa de los reflectores de antena hace que estos lóbulos se irradien en forma de "V" (véase Figura 4), estando uno de ellos vertical, y el otro inclinado a un ángulo conveniente.

En adición a la información de azimut y distancia provista por el lóbulo vertical, el **tiempo diferencia** entre los dos ecos recibidos (uno por cada lóbulo) determina cuán arriba de la "V" está el blanco. Esto dará una indicación de altitud, y la precisión dependerá del ancho de los lóbulos, y de la exactitud en la medición del mencionado **tiempo diferencia**.

Para el resto de las características del radar, caben las expresadas para el radar 2D.

#### **6º) Radar de antena planar**

En este radar, la fuente emisora de energía está formada por un grupo de irradianes simples, y que son elementos separados y distribuidos sobre toda la abertura de antena. (Véase Figura 5.)

El lóbulo del radar se conforma por superposición de la radiación de todos los elementos, y su orientación se puede ajustar mediante la variación de la fase relativa de las señales aplicadas a los irradianes individuales.

## **2. RADARES PARA ARMAS SUPERFICIE - AIRE**

Haciendo referencia a los procedimientos de radar y GE, se puede considerar a este tipo de radares, tanto sean utilizados para MSA o cañones, como operando en las siguientes fases: una primera, de adquisición del blanco; una segunda, de seguimiento del mismo, y, exclusivamente para el caso de misiles, una tercera fase, de guiado. A cada una de estas fases la analizaremos, no para un equipo en particular, sino para ilustrar las técnicas que emplean los distintos sistemas.

Para realizar lo expresado, los sistemas de radar detectan el avión incursor, lo siguen, y continuamente le actualizan esta información a la computadora del sistema de armas. El computador automáticamente apuntará las armas y determinará el momento de disparo, en el caso de cañones. En el caso de misiles, determinará el disparo y alterará la trayectoria de aquéllos, de forma de asegurar el impacto.

#### **1º) Radares de adquisición**

Estos radares brindan información precisa del número de aviones atacantes y su trayectoria de vuelo, comenzando normalmente la vigilancia sobre la fuerza atacante, luego que ésta ha iniciado la penetración en el propio territorio; y para realizarlo, la información de adquisición se obtiene inicialmente mediante entradas desde los radares AT de la zona. En los sistemas de defensa avanzados, esta información se provee continuamente y en forma instantánea mediante sistemas de enlace de datos automatizados.

Esta información adelantada le brinda al sistema de armas el tiempo de preparación suficiente para dirigir su propio radar de adquisición a la posición aproximada del blanco.

El hecho de que los radares de alerta temprana y CCI ya vistos no sean utilizados directamente como radares de adquisición, es debido al incremento de precisión y la velocidad de obtención de los datos que se requieren.

Para apreciar esto más gráficamente, consideremos los factores que determinan las dimensiones de la **celda de resolución del radar**. Asumamos que el blanco es interceptado a 100 NM: utilizando los parámetros típicos de una combinación de radares AT y HF (AT:  $P_w = 6$  usec; amplitud horizontal,  $2^\circ$ ; HF:  $P_w = 2$  usec; amplitud vertical,  $0,9^\circ$ ), las dimensiones de la celda de resolución serán, aproximadamente, 300 m de largo, por 3 NM de ancho, por 9.000 pies de alto. No es necesario decir que un blanco no puede ser apuntado en un área tan grande.

Es por eso que para lograr una determinación de posición más exacta, se utilizan los radares de adquisición, los que tienen características de lóbulos similares a las de los radares AT, pero con un alcance menor, y que varía desde las pocas NM a más de 100 NM en aquellos radares más avanzados técnicamente. Estos equipos más desarrollados poseen también mayor resolución, mejor habilidad contra blancos de baja altitud, y circuitos de CCME más sofisticados.

Actualmente la adquisición y el seguimiento de blancos se pueden realizar, ya sea por un solo radar para ambas funciones, o con un radar exclusivo para cada una de ellas.

Cuando se utilizan dos radares separados: uno para la adquisición, y otro para el seguimiento de los blancos; la función primordial del primero es la de dirigir al radar de seguimiento hacia la posición aproximada del blanco, ya que sin esta facilidad sería casi imposible intentar la adquisición del blanco mediante el patrón de haz estrecho que es característico de los radares de seguimiento.

Esto permite, además, que los operadores de los radares de seguimiento se concentren en la interceptación y el intento de destruir al avión incursor, sin tener que dedicar un extenso período previo procurando localizarlo.

## 2º) Radares de seguimiento

Son radares que se utilizan para el guiado de misiles y control del fuego de las armas. Por lo tanto, se caracterizan por un haz su-



mamente estrecho, tanto en el plano vertical como en el horizontal, y con frecuencias de operación en las bandas H a J.

Para su operación, el radar se apunta sobre el blanco, ya sea mediante el radar de adquisición, o, si en sí mismo cumple las dos funciones de adquisición y seguimiento, mediante el modo de barrido para búsqueda de blancos. Una vez apuntado al blanco, se **engancha** sobre el mismo, y mantiene este estado con base en un sistema de servocontrol de ciclo cerrado.

En principio, podemos agrupar estos radares en dos grandes áreas: aquellos que usan la técnica de transmisión de pulsos, y los que emplean la transmisión de CW.

La técnica de transmisión de los radares de pulso para seguimiento es similar a aquella de los radares ya descritos, y brinda dirección y distancia al blanco, contando generalmente con una ventana de distancia (**range gate**), para reducir el empastamiento (**clutter**) de objetos que no son el blanco que está siendo seguido.

Los radares de CW utilizan el corrimiento **doppler** del eco del blanco para determinar la dirección y la velocidad.

El corrimiento **doppler** es un desplazamiento en frecuencia creado cuando un objeto que está siendo iluminado por el radar, se desplaza. En su operación, la energía de radiofrecuencia (RF) que transmite el radar, golpea al blanco y retorna al receptor como un eco, cuya frecuencia es comparada con la frecuencia transmitida. Si el blanco se mueve en forma relativa respecto al receptor, la energía que retorna lo hace a una frecuencia distinta de la transmitida; es decir, tendrá un corrimiento **doppler**.

Estos radares utilizan una ventana de velocidad (**velocity gate**) que es similar a la ventana de distancia de los radares de pulso, y que sigue el **doppler** del eco del blanco.

El uso de este **doppler básico** se halla limitado debido a su falta de capacidad, tanto para determinar distancias, como para detectar blancos con velocidad relativa cero respecto al receptor de radar.

Para subsanar estas deficiencias, han surgido variantes del sistema básico, a saber:

1º) **Doppler modulado en frecuencia:** Permite medir distancia y velocidad relativa, para lo cual la frecuencia del radar se varía a un régimen lineal. Al realizar la comparación de la frecuencia del eco con la frecuencia transmitida, se puede determinar una diferencia en tiempo mediante la cual se establece la distancia del blanco;

2º) **Doppler pulsado:** Es un sistema híbrido que utiliza un radar de pulso, y que, a su vez, hace uso del efecto **doppler** para obtener

información de velocidad del blanco (lo que permite, además, su discriminación respecto al **clutter** terrestre).

### 3º) Radar 2D de adquisición

Este radar es similar al de AT, en cuanto provee información de azimut y distancia; pero posee una resolución muy superior, así como un régimen de obtención de datos más elevado.

Con relación al AT, su Pw es más corto (típicamente, un usec), tiene una PRF de 500 a 800 pps, y un ancho de lóbulo más estrecho. En adición, el régimen de barrido se incrementa a 12/15 rpm.

Por supuesto, todos estos valores significan un sacrificio en alcance y potencia total, pues los rangos varían desde un mínimo de 3 o 4 NM hasta un máximo de 120 NM. Asimismo, las frecuencias de operación son más altas (bandas F a J), para que faciliten el enfoque del haz en un patrón más preciso.

La información obtenida por este radar es utilizada como dato preliminar, tanto para la orientación del radar de seguimiento, como para su **enganche** sobre el blanco.

### 4º) Radar de barrido cónico

Este equipo, que opera complementado por el recientemente descrito, cuenta con un haz cuya forma es conocida como **tipo lápiz**, y que barre el espacio describiendo la figura de un cono (véase Figura 6), cuyo vértice está ubicado en la antena del radar.

El ángulo de apertura del barrido es menor de dos veces el ancho del haz de radar, de forma que haya una zona central de superposición, que es barrida permanentemente, cualquiera sea la posición del haz del radar.

Un blanco dentro de esta área envía un eco de amplitud constante durante todas las posiciones del haz en su barrido de rotación, lo que indica que el radar está perfectamente centrado y apuntado. Si el blanco se desplaza fuera de esta zona, la amplitud del eco varía a medida que el haz rota. La comparación de las amplitudes crea una señal de error que hace mover a la antena hacia la dirección donde el eco es más fuerte.

A fin de aislar un blanco e incrementar la velocidad de obtención de datos, el radar de barrido cónico usualmente opera con una alta PRF (1.000 a 2.000 pps) y un Pw corto (0,5 a 1,5 usec). Esto le permite brindar una información completa de azimut y elevación en cada

revolución del haz (aproximadamente, 1.800 rpm), lo que se traduce en un elevado régimen de obtención de datos (30 veces/seg.).

Asimismo, para asegurar una buena conformación del lóbulo, la frecuencia de operación está normalmente en bandas I-J, con lo que se obtiene un ancho de lóbulo efectivo (zona central) de menos de  $0,5^\circ$  para anchos de lóbulos normales de  $2^\circ$ .

La apertura de haz estrecha y el barrido cónico lo hacen a este radar ideal para el seguimiento; pero es prácticamente inútil para adquirir blancos, por lo que requiere otro radar para esta función.

Para evitar la utilización de otro radar para adquisición, algunos sistemas cuentan con la posibilidad de hacer variar el modo de barrido, para lo cual el radar utiliza el barrido cónico ya descrito para el seguimiento, y un barrido de búsqueda para la adquisición del blanco, que puede ser:

1º) Helicoidal o espiral (véase Figura 7);

2º) Secuencial (véase Figura 8).

El pasaje de un barrido de adquisición a uno cónico demanda un cierto tiempo de transición, tiempo que puede ser reducido utilizando un barrido Palmier. Éste consiste en la superposición del barrido cónico sobre uno de los barridos de adquisición descritos. (Véase Figura 9.)

#### 5º) Radar de apuntado secuencial

Este sistema es similar al de barrido cónico. Se diferencia en que obtiene el dato de ángulo cambiando secuencialmente su haz de antena en posiciones discretas, en lugar de realizar un barrido continuo.

#### 6º) Radar de apuntado del receptor solamente

Este tipo de radar, así como los descritos a continuación, son el resultado del desarrollo de técnicas de CCME.

En el radar de barrido cónico, el barrido se realiza tanto en transmisión como en recepción. Esto permite al enemigo averiguar cuál es la frecuencia del barrido, y aplicar una técnica de CME conocida como **ganancia inversa**.

Para evitar esto, el radar que describimos cuenta con dos antenas: una para transmisión, y otra para recepción. Con base en ello, el transmisor ilumina al blanco con un haz fijo (no barre), y el barrido se efectúa sólo con la antena receptora, con la cual se obtiene la información de ángulo en la misma forma que en los equipos antes descritos.

**7º) Radar monopulso**

Es un sistema de seguimiento de blancos que utiliza un método de generación de pulsos que permite determinar simultáneamente azimut, elevación, y distancia y/o velocidad pulso a pulso; información, ésta, suficiente como para actualizar su computadora y reposicionar la antena.

En lugar de barrer con un haz simple, como los radares ya mencionados, este equipo utiliza un mínimo de cuatro haces separados que transmiten en conjunto, pero que reciben en forma independiente. (Véase Figura 10.) Mediante la comparación de la energía recibida en cada haz, se efectúan las correcciones de azimut y elevación.

**8º) Radar de seguimiento mientras barre**

No es un radar de seguimiento en el sentido usual, sino que genera dos haces: un haz de barrido sectorial en azimut, y otro haz en elevación, lo que resulta análogo a la operación coordinada de un radar de vigilancia 2D y un HF. (Véase Figura 11.)

Esto permite obtener información pulso a pulso de azimut, elevación y distancia de los blancos, y realizar varios seguimientos simultáneos, ya que no requiere el apuntado al blanco.

**9º) Radar de seguimiento mientras barre el receptor solamente**

Es un radar como el recientemente explicado, al que se le ha aplicado la técnica empleada para el apuntado del receptor solamente. En este equipo, una antena transmisora fija ilumina el sector a barrer, y un conjunto de antena receptora efectúa el barrido. El dato de los seguimientos se obtiene pulso a pulso sobre varios blancos simultáneos.

**3. RADARES DE A BORDO PARA INTERCEPCIÓN**

Aun cuando no es capaz de controlar el problema de intercepción completo, ya que depende del control de tierra para su preposicionamiento; el caza interceptor moderno debe tener una capacidad de radar significativa y crecientemente efectiva, no sólo para localizar su blanco, sino también para seguirlo de manera de maniobrar su avión, y llevarlo a la mejor posición para activar sus armas.

Desde el punto de vista concepción y modo de operación, los radares de a bordo son similares a los ya descritos para las armas de

superficie: al igual que éstos, deben estar capacitados para realizar la búsqueda y adquisición del blanco y su posterior seguimiento, lo que realizan mediante modos de barrido similares a los antes mencionados (cónico, secuencial, etcétera), resultando válidos los conceptos ya vertidos al respecto.

Para su operación, en el modo búsqueda un haz relativamente estrecho se desplaza horizontal y verticalmente en un área delante del interceptor. Esta capacidad de búsqueda permite al caza interceptor tomar el blanco luego que el radar de tierra (CCI) lo ha dirigido hacia sus inmediaciones.

Este modo de búsqueda no provee la precisión requerida para asegurar un empleo efectivo de las armas. Por ello, una vez que el piloto adquiere su blanco, para lo cual debe posicionar un índice sobre el eco de aquél, la antena del radar deja de explorar el cielo, y queda apuntada continuamente sobre el objetivo, comenzando el radar a operar en modo seguimiento. (Véase Figura 12.)

El patrón de radiación del radar es ahora un haz angosto y preciso, que provee información de posición relativa y distancia exactas a un computador de control de fuego, o que presenta estos datos al piloto.

Aunque para algunos radares el alcance del radar en el modo seguimiento puede llegar hasta la mitad del correspondiente al modo búsqueda, las nuevas técnicas indican que generalmente el primer modo no se debe utilizar hasta tanto el caza se encuentre dentro del rango efectivo de su armamento, a efectos de prevenir la situación en que, alertado el blanco de que su avión está bajo seguimiento de un radar de intercepción, emplee CME y pueda escapar.

A los tipos de barrido ya mencionados cabe agregar otro, llamado **barrido fijo al frente (fixed forward scan)**, utilizado por radares conocidos como **de distancia solamente**. Los radares de este tipo son sumamente simples, y no cuentan con modos de búsqueda/seguimiento, siendo utilizados tan sólo para suplementar a los sistemas de puntería, ya sean ópticos o infrarrojos en aviones menos avanzados.

#### 4. OTROS RADARES

##### 1º) Sistema AWACS

Éste es un equipamiento que está siendo incorporado en los sistemas de defensa de algunos países. Es un mejoramiento de las plataformas de radar en avión, que consiste en el aditamento de radares avanzados, juntamente con una sofisticada capacidad de proceso de datos y comunicaciones.

Estos aviones AWACS, operando con interceptores de muy largo alcance o con reabastecimiento en vuelo, proveen un agregado sustancial a la defensa aérea, ya que pueden operar sobre grandes distancias, y son virtualmente inmunes a la destrucción en un ataque sorpresivo.

#### **2º) Radar de vigilancia del espacio**

Son radares de baja frecuencia (UHF), para detección de objetos en el espacio, con largos de pulso superiores a 2.000 usec, y niveles de potencia pico superiores a los 3 Mw, que permiten detectar blancos de 1 m<sup>2</sup> hasta a 2.000 NM.

#### **3º) Radar sobre el horizonte**

Este equipamiento es un desarrollo relativamente nuevo, y es empleado principalmente como sistema de detección del lanzamiento de misiles.

Mediante el uso de un método de dispersión de energía de RF, el radar puede detectar las perturbaciones ionosféricas causadas por la penetración de un misil.

#### **4º) Sistema Seek Skyhook**

Es un reciente desarrollo de los Estados Unidos, actualmente en evaluación, y que consiste en un radar suspendido de un globo a 12.000 pies de altitud. Ha sido diseñado para operar en tiempo de paz (debido a su vulnerabilidad) en las costas de la Florida, efectuando la vigilancia sobre Cuba.

### **III — SISTEMAS DE GUIADO DE MISILES**

#### **CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS**

El objetivo de un misil es llevar una cabeza explosiva lo suficientemente próxima a un objetivo como para obtener su destrucción; y para que el misil sea capaz de realizar esto, es necesario que se pueda:

- 1º) Determinar las posiciones relativas del objetivo y del misil;
- 2º) Calcular la trayectoria deseada para el misil, y compararla con aquella efectivamente seguida;
- 3º) Maniobrar el misil para reducir la diferencia entre la trayectoria deseada y aquella realmente seguida.

El radar, como acabamos de ver, es uno de los medios, y actualmente el más usado, que permite obtener la información necesaria para realizar las funciones mencionadas.

Con base en la forma en que se puede utilizar esa información disponible, y considerando las técnicas de transmisión de datos mediante pulsos o CW, se han desarrollado los siguientes sistemas de guiado EM de misiles:

- 1º) Por comando;
- 2º) De haz cabalgado;
- 3º) Por comando en línea visual;
- 4º) De autoguía o **homing**, el que, a su vez, se clasifica en:
  - a) Activo;
  - b) Semiactivo;
  - c) Pasivo:
    - Sobre señal radar;
    - Sobre señal de interferencia;
- 5º) Seguimiento vía misil.

### 1. Guiado por comando

En este sistema, los procedimientos de guía y de navegación se desarrollan fuera del misil, para lo cual se requieren dos radares de seguimiento: uno que siga al blanco, y otro que siga al misil. La información obtenida por ambos radares es enviada a un computador, el que, basado en esos datos, determina las órdenes a transmitir al misil para corregir su trayectoria y obtener la colisión con el blanco.

Esas órdenes o señales de comando se pueden enviar al misil a través de un enlace de datos independiente; pero normalmente se transmiten imprimiendo la información de guía sobre la emisión del radar de seguimiento del misil.

Como la superficie equivalente de la mayoría de los misiles no provee suficiente área como para un buen eco radar, se utiliza un **transponder** a bordo del misil, similar al utilizado por los cazas interceptores.

### 2. Guiado de haz cabalgado

Es una variación de la técnica anterior, que elimina la necesidad de mantener el seguimiento en el misil.

La técnica consiste en que, con base en el haz del radar de seguimiento, se establece un alineamiento con el blanco, y el misil es

lanzado dentro de este alineamiento (el haz), y obligado a mantener su vuelo en el centro del haz.

Para realizarlo, el misil dispone de una antena direccional ubicada en su cola, y conectada a un grupo de sensores que le permiten determinar su posición en el haz, y accionar, cuando es necesario, un sistema de comandos para corregir su trayectoria.

### 3. Guiado por comando en línea visual

Es un sistema híbrido de los dos anteriormente descritos, donde el misil es seguido y guiado continuamente desde el lugar de lanzamiento, para mantenerlo en el centro del haz del radar de seguimiento.

### 4. Autoguiado o guiado por "homing"

En este sistema, es el misil el que determina el alineamiento con el blanco, y las posiciones relativas con las que se autoguía.

Para efectuarlo, el misil cuenta con un equipo receptor de radar, el que, luego del lanzamiento, recibe señales EM reflejadas o generadas por el blanco, y con base en estas señales calcula su trayectoria y mueve sus aletas de comando.

Existen tres formas posibles de que el blanco refleje o genere señales EM, y ellas dan motivo a la siguiente clasificación:

1º) **Autoguiado activo:** En este caso, el misil, además del receptor de radar, cuenta a bordo con su propio transmisor de radar: la señal que transmite, es reflejada por el blanco y captada por el receptor;

2º) **Autoguiado semiactivo:** El radar de seguimiento de la plataforma que lanzó al misil, se mantiene apuntado sobre el blanco, y el eco reflejado por éste es captado por el receptor del misil;

3º) **Autoguiado pasivo:** Este sistema es siempre complementario de algún otro de los sistemas ya descritos, y para su guiado requiere que sea el blanco el que emita radiación EM, ya sea mediante su propio radar de búsqueda o de seguimiento del terreno, o mediante la transmisión de CME.

### 5. Guiado por seguimiento vía misil

Ésta es una combinación de guiado por comando y autoguiado. Un sensor en el misil hace las mediciones de posición respecto al blanco, y esta información es transmitida a tierra, donde se efectúa el cálculo, para luego retransmitir las órdenes de comando al misil.



Capítulo Segundo

**LAS CONTRAMEDIDAS ELECTRONICAS**

## I — INTRODUCCIÓN

Vimos que para detectar y destruir a un incursor, las defensas necesitan información respecto a la posición, altitud, curso y velocidad del avión incursor.

Las defensas, además, deben poder pasar esta información rápida y seguramente hacia sus sistemas de Comando y Control. Por lo tanto, cualquier medida tomada por la fuerza atacante para negar o retrasar esta información, refuerza las probabilidades de completar su penetración y misión.

Esto nos indica que el objetivo de las CME es impedir el uso adecuado por parte del enemigo, de los datos que le brindan sus Sistemas de Defensa; y esto se puede lograr mediante la degradación, saturación o destrucción de los Sistemas de Defensa, o de parte de sus componentes esenciales.

Por ejemplo, cualquier equipamiento de defensa tiene un límite en el número de blancos que puede seguir y enganchar con exactitud; y cuando se alcanza o sobrepasa este punto de saturación, el resultado es la degradación de la red de defensa.

Una táctica de CME consistirá, por lo tanto, en afectar este punto de saturación mediante la introducción de confusión en el Sistema, para disminuir la cantidad de blancos que pueden ser efectivamente manipulados.

El radar depende de la energía reflejada para determinar la posición de un blanco. Esta energía EM reflejada (medida en miliwatts) es tomada por el receptor de radar, el que debe ser extremadamente sensible, para detectar este pequeño eco de energía de radiofrecuencia.

La interferencia electrónica toma ventaja de esta sensibilidad de los receptores de radar aplicando otra táctica, que es definida como la generación y radiación de energía EM para propósito de CME.

Haciendo coincidir la frecuencia de salida del trasmisor de interferencia con la frecuencia de recepción del radar, se puede introducir ruido (energía) en el receptor de radar. Este ruido es procesado y presentado en la pantalla de radar junto con los datos del eco del blanco (avión incursor), evitando o dificultando la visualización de éste.

#### A) DEFINICIÓN

Lo expresado en los párrafos anteriores nos permite definir las CME como **toda acción tomada para evitar, anular o reducir el uso efectivo que el enemigo puede hacer del espectro electromagnético.**

#### B) IMPORTANCIA DE LAS CONTRAMEDIDAS ELECTRÓNICAS

Las experiencias recientes han mostrado la importancia adquirida por las CME. Tal el caso del conflicto del Oriente Medio, que mostró la preocupación —en especial, de los israelíes— por equipar sus aviones y barcos con CME, aun a costa de disminuir su capacidad de fuego.

En forma similar, en Vietnam la Unión Soviética fue capaz de inclinar la balanza en su favor mediante el uso intensivo de las CME, llegando a situaciones en las cuales la falta de equipos de CME era motivo para abortar las misiones.

Remitiéndonos a la historia, encontramos multitud de hechos probatorios de la evidencia en cuanto a la utilidad de los equipos de CME.

Ya en los albores de la era del radar, el primer uso del equipo de interferencias (acreditado a la RAF en abril de 1942) expuso el talón de Aquiles del entonces nuevo radar, que había hecho tanto por reforzar las defensas contra ataques aéreos.

En esa ocasión, los interferidores británicos fueron utilizados contra el radar de alerta temprana alemán FREYA; y cuál fue el resultado lo muestra el hecho de que por noviembre de aquel año ya se contaba con un nuevo interferidor: el MANDREL, que fue empleado a lo largo de un frente aéreo de 200 millas náuticas.

Asimismo, evidente es la importancia adquirida por las CME en todos los aviones militares modernos, así como el surgimiento de aviones dedicados específicamente a misiones de CME. Tales aviones incluyen, entre otros:

1º) EA-6B: Según la Marina de los Estados Unidos, "el primer avión diseñado y construido específicamente como sistema de interferencia táctico";

2º) EKA-3B, al que reemplazó el EA-6B;

3º) EF-111;

4º) EB-66, al que reemplazó el EF-111.

Por otra parte, al margen de mostrar la importancia de las CME, el conflicto del Oriente Medio guió hacia la formulación de un sistema integrado para supresión de defensas, comprendiendo nuevos conceptos de mezcla de CME y otras técnicas (caso del PAVE STRIKE), para facilitar la penetración en ambientes densamente defendidos.

Esto incluye, además de los equipos de GE, las armas guiadas lanzables desde fuera del alcance de las armas enemigas (**guided stand off weapons**) y sistemas de adquisición para noche/tiempo adverso (FLIR, L<sup>3</sup>TV).

### C) BASES PARA REALIZAR CONTRAMEDIDAS ELECTRÓNICAS ADECUADAS

Vimos que las armas controladas por radar dependen del eco del blanco para ser efectivas. Por lo tanto, el propósito básico de las CME es introducir falsas señales en el sistema de radar, para engañarlo y confundirlo, degradando sus performances, de modo que no pueda cumplir su cometido. Para ello, el diseñador del equipo de CME debe saber acerca de las características de radiofrecuencia y tácticas operativas del radar amenaza; tema, éste, que esbozamos en el Capítulo anterior.

Asimismo, el usuario necesita saber sobre el tipo y la posición geográfica de las armas que son amenazas, para poder planear su misión. Esto nos lleva a determinar que la inteligencia (reconocimiento) electrónica (ELINT) es un prerequisite.

Para poseer una adecuada ELINT, a fin de que el sistema de CME pueda proveer una correcta CM, se deben recibir señales del ambiente de RF, clasificarlas, y compararlas con la información que ya se posee; identificar los emisores, presentarlos y asignarles CME cuando se requiera.

Además, se debe considerar que cada tipo de equipo de GE requiere una técnica particular de contramedidas, y sus RF asociadas, proceso de señal y circuitos de control.

Las exactas CME requeridas, no siempre son conocidas. Por lo tanto, puede ocurrir una tendencia a elegir condiciones extremas; vale

decir, llevar más equipo del necesario, o no llevar nada y correr el albur.

Por otro lado, las limitaciones de ubicación del equipamiento, tamaño, peso y potencia consumida, reducen la flexibilidad de los equipos; es decir que la utilización de equipos de CME a bordo de cazas o cazabombarderos se puede realizar sólo a expensas de las capacidades de carga útil o alcance, salvo, como es el caso de los aviones modernos, que ya se haya previsto la integración del equipo de CME al diseñar el avión.

Claramente, el problema más comprometedor que enfrenta quien planifica las CME, es operar eficiente y efectivamente en un ambiente de alta densidad de amenaza, contra un número en expansión de tipos diferentes de radares avanzados, que operan sobre una amplia parte del espectro de microondas y submicroondas.

Si lo analizamos, la clave del éxito en los sistemas de CME se basa en el proceso dinámico de sus disponibilidades para atacar las amenazas. Esto envuelve:

- 1º) Análisis en tiempo real de los datos del sensor de a bordo, para identificar los emisores, localizarlos e identificar la amenaza;
- 2º) Asignación de prioridades;
- 3º) Selección de las técnicas adecuadas;
- 4º) Presentación al operador de la situación (si se requiere);
- 5º) Manipuleo de la salida del sistema en términos de dirección, frecuencia, tiempo y potencia;
- 6º) Asignación efectiva;
- 7º) Coordinación de tácticas entre plataformas (aviones dedicados a GE).

A la vez, el problema más insidioso en la ecuación de GE es el cambio. Los nuevos desarrollos en electrónica (sistemas de GE) deben dar por resultado evaluaciones técnicas y conocimiento de equipos específicos, a fin de obtener una solución que sea práctica y efectiva.

Como consecuencia, la detección de la amenaza, análisis, identificación y respuesta, deberían ser completamente automáticas y con supervisión manual. Para satisfacer estas necesidades y en especial poder reaccionar contra **sorpresas**, se requiere que esto lo haga una computadora digital, donde la manipulación es programada por **software**.

Con este concepto, los elementos de GE primarios deberían estar integrados totalmente dentro del complejo de procesamiento que controla el sistema de armas completo del avión.

El verdadero objetivo del desarrollo de CME será hacer sistemas receptores de alerta de amenaza, de interferencia, y colectores de señal, menos sensibles a los cambios de las amenazas, más anticipatorios y, consecuentemente, menos perecederos.

Esto está relacionado con el hecho de que los equipos cada vez cuestan más, y es más difícil reponerlos. Como consecuencia, la tendencia es hacia equipos menos sofisticados, y por lo tanto, menos costosos, lo que resulta difícil, pues también está la tendencia a diseñar equipos específicos para prevenir las amenazas potenciales.

Para los diseños específicos contra **sorpresas**, surgieron durante el conflicto de Vietnam los Contratos de Rápida Reacción (QRC), que son esencialmente un atajo en tiempo para los procedimientos normales de obtención, pero sacrificando confiabilidad, mantenimiento, rendimiento y precio; lo cual, al final, no resulta conveniente, según lo verificaron los Estados Unidos.

No obstante, el QRC es mirado a veces como el camino más rápido para tener un respiro en la dinámica de la GE.

Consecuencia de lo expresado es que uno de los problemas de la GE es la búsqueda de ese elixir (ese sistema de CME) insensible a la inteligencia o la amenaza, y que sería inmune a la obsolescencia actual impuesta por las nuevas amenazas.

El uso de procesadores digitales programables en los nuevos sistemas es un elemento clave, permitiendo que la mayoría de las modificaciones al sistema sean hechas en el **software** en lugar del **hardware**.

#### **D) CARACTERÍSTICAS A SATISFACER POR LOS EQUIPOS DE CME**

Luego de esta rápida y sintética visualización de todo aquello que hace a las CME, podemos ver cuáles son las características principales que deben satisfacer los equipos destinados a la interferencia.

##### **1. Coincidencia de frecuencias**

La frecuencia de salida de un interferidor debe coincidir con la frecuencia del radar víctima, para poder introducir perturbación dentro de la pantalla de radar.

En la misma forma en que se debe sintonizar el receptor de radio para escuchar la emisora que se desea, se debe sintonizar la frecuencia del interferidor a la del radar que se quiere atacar, para que la señal de interferencia sea recibida y visualizada en pantalla.

Con la misma comparación, así como hay muchas radioemisoras que emiten en diferentes frecuencias, en un sistema de defensa aérea hay varios radares operando a diferentes frecuencias. Por lo tanto, para combatir todos los componentes de un sistema de defensa: radares de alerta temprana, de adquisición de baterías de MAS y artillería antiaérea, de seguimiento de blancos, de guiado de MAS, de control de fuego de artillería, y radares de a bordo de interceptores; un avión incursor debe llevar interferidores que puedan operar a través de anchas bandas de frecuencia, ya que:

1º) Los radares de alerta temprana operan, generalmente, en las frecuencias más bajas del espectro. Esto es necesario para lograr una alta potencia de salida, y realizar la detección y seguimiento de blancos a grandes distancias;

2º) Los radares que controlan armas (misiles o cañones), operan en frecuencias más elevadas, para lograr mejor precisión en el seguimiento de blancos, lo que se requiere para colocar los proyectiles o misiles dentro del rango letal para el blanco;

3º) Los radares de a bordo para intercepción, operan en frecuencias aun más elevadas.

Para poder combatir estas amenazas desparramadas en todo el espectro EM, una posición típica de CME en un avión estratégico consistirá en un receptor y varios interferidores. El receptor permite a un operador especialmente entrenado, detectar los radares en su área que puedan estar iluminándolo, lo que permite al Oficial de GE (operador de a bordo), una vez detectada una señal de radar amenaza, centrar su interferidor en ella para combatirla.

La cantidad de interferidores que lleva a bordo un avión depende de su concepción. Así, un gran avión estratégico es capaz de llevar un número suficiente de interferidores y un operador con dedicación exclusiva, lo que le permite combatir todos los radares amenazas en una red de defensa.

En cambio, un pequeño cazabombardero táctico no puede llevar gran cantidad de interferidores o un operador con dedicación exclusiva, debido a las limitaciones de espacio y peso. Como consecuencia, se han desarrollado técnicas especiales para darles protección de CME a los aviones de este tipo.

## 2. Interferencia continua

Además de hacer coincidir su frecuencia con la del radar que se quiere combatir, un trasmisor de interferencia debe producir perturbación continua, pues si el radar no es permanentemente interferido,

puede brindarle a un operador experimentado la suficiente información mínima como para dirigir una intercepción, o lograr el guiado de MAS.

Los primeros interferidores que se utilizaron, eran del tipo puntual (**spot**) —es decir, de pequeño ancho de banda—, y eran sintonizados manualmente a la frecuencia de la señal del radar de tierra, al que se llama radar víctima o radar amenaza. Como consecuencia de esas características, en áreas donde operan varios radares simultáneamente y a diferentes frecuencias, se requieren varios interferidores, para perturbarlos a todos; pero a veces las restricciones de espacio y peso en los aviones no permiten llevar suficientes interferidores **spot** como para combatir todos los radares en una misión.

Por otra parte, una de las características de algunos radares es que pueden transmitir en dos o más frecuencias distintas (**frequency diversity**), y también cambiar rápidamente su frecuencia de operación (**frequency agility**), lo que les permite salir de la frecuencia que está siendo interferida.

Para combatir la diversidad y agilidad de frecuencia, se desarrollaron interferidores que mueven su salida arriba y abajo a lo largo de un ancho rango de frecuencias, conocidos como **puntual de barrido (swept spot)**. Un interferidor **spot** puede así ser desplazado sobre varios radares víctimas.

En situaciones **spot** y **swept spot**, los radares rara vez son continuamente interferidos, y por lo tanto se requirió un nuevo tipo de interferidor para combatir ambientes de radar complejos. Este nuevo equipo fue llamado **de cortina (barrage)**, ya que transmite continuamente interferencias sobre un ancho rango de frecuencias.

Con esto se logró que los radares con agilidad de frecuencia y radares múltiples que operan en una banda dada, pudiesen ser combatidos con un interferidor simple.

Los interferidores **barrage** usualmente tienen un ancho de banda variable, y son operados en el ancho de banda más estrecho posible consistente con la situación táctica.

### 3. Potencia de enmascaramiento suficiente

Analizando ahora la energía que se puede transmitir, hay una cantidad fija disponible en cada interferidor; y si su ancho de banda se incrementa, la potencia (la energía) es desparramada cada vez más atenuadamente en una banda de frecuencia cada vez más y más ancha.

La potencia del interferidor en watts por MHz de frecuencia decrece a medida que crece el ancho de banda. Por lo tanto, es necesario y



conveniente operar interferidores **barrage** que tienen un ancho de banda variable lo suficientemente estrecho como para cubrir todas las señales víctimas, y maximizar así la potencia de interferencia recibida por cada radar víctima.

Éste es otro factor a tener en cuenta, pues la señal de interferencia debe ser de la potencia suficiente como para enmascarar el eco real del avión.

Al ser operado, un radar transmite un pulso de energía de varios megawatts (millones de watts). Este pulso es reflejado por el blanco, y retorna al receptor de radar como una señal de eco medida en microwatts (millonésimas de watt).

La señal de interferencia está siempre en competencia con este eco de radar. La cantidad de energía de interferencia entregada al radar debe ser igual o superior a la energía del pulso de radar reflejado, ya que si el eco es más fuerte que la señal de interferencia, el operador verá en su pantalla al eco del avión a través de la interferencia.

Para interferir radares, esta relación interferencia/señal (**jamming/signal - J/S**) depende de un número de factores que incluyen la potencia del transmisor de radar, la distancia entre el interferidor y el radar, la potencia del interferidor, el lóbulo de radiación de las antenas participantes, y la superficie equivalente efectiva del blanco.

Es obvio que la efectividad del interferidor se incrementa al aumentar la potencia, y por otro lado, si todos los otros factores se mantienen constantes, la efectividad del interferidor disminuye al incrementarse la potencia del radar que está siendo interferido.

La distancia que separa los equipos en una situación dada, también debe ser considerada. La cantidad de potencia de la señal transmitida por el radar y que llegará al blanco es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del radar al blanco; y como esta señal, además, debe ser reflejada desde el blanco hasta el receptor de radar, nuevamente es atenuada, y la potencia del eco que finalmente llegará al radar será así inversamente proporcional a la cuarta potencia de la distancia radar-blanco.

Como las señales de interferencia solamente van del blanco al radar, son atenuadas sólo proporcionalmente a la segunda potencia, disfrutando así de una ventaja en potencias sobre la energía radar reflejada en casi todas las distancias.

No obstante, cuando el avión interferidor se va acercando al sitio radar, su potencia de interferencia se incrementa con el cuadrado de la distancia, mientras que la potencia del eco lo hace con la cuar-

ta potencia. Por lo tanto, hay un punto en el que la potencia del eco se hará más fuerte que la potencia del interferidor, y el radar víctima podrá ver al blanco (avión interferidor) a través de la interferencia.

Este punto geográfico es referido como **distancia de transparencia (burnthrough range)**, y esta distancia variará según los sistemas comprometidos y las técnicas usadas.

### E) DISPOSITIVOS DE RUIDO Y DE ENGAÑO

Los dispositivos hasta ahora descritos han transmitido ruido ininteligible. Su propósito fue crear zonas de interferencia (justamente, ruido) en la pantalla de radar, y por lo tanto, ocultar al eco verdadero.

Otros tipos de interferidores a considerar son los equipos de engaño o confusión, que son dispositivos altamente complejos, y transmiten una señal que es recibida y procesada por el radar víctima como si fuese un blanco verdadero.

Cada dispositivo de engaño o confusión tiene una función específica; pero generalmente está diseñado para colocar falsos ecos en la pantalla del radar a combatir.

Muchos dispositivos operan recibiendo el pulso de energía que golpea al avión desde el radar, lo amplifican, lo atrasan o multiplican, y reirradian la señal alterada hacia el radar. El resultado puede ser uno o varios falsos ecos, con información de posición también falsa.

Estas técnicas de engaño o confusión, que son un método más imaginativo de perturbación que el interferidor por ruido (**noise jammer**), dependen de la capacidad de reacción del enemigo ante ecos falsos.

Por lógica, estos sistemas son mucho más complejos que los interferidores por ruido; pero son más eficientes en el uso de la potencia radiada.

## II — CLASIFICACIÓN DE LAS CONTRAMEDIDAS ELECTRÓNICAS

Introducidos ya en las CME, intentaremos una discriminación y explicación de las características de cada una; y para ello, nos conviene agruparlas, a los efectos del análisis que estamos desarrollando, en:

**1. Contramedidas electrónicas:** Son contramedidas que para actuar hacen uso del espectro electromagnético. A su vez, según su uso, se dividen en:

1º) **CME blandas (soft):** Son las que hacen uso del espectro EM al solo efecto de irradiar, reirradiar o reflejar energía EM, y comprenden, a su vez:

a) **CME activas:** Son las que utilizan equipos o dispositivos para irradiar o reirradiar energía EM;

b) **CME pasivas:** Son las que utilizan equipos o dispositivos para reflejar energía EM.

2º) **CME duras (hard):** Son las que hacen uso de la energía EM que captan, a los efectos de utilizarla como guía para la destrucción de la fuente de radiación.

**2. Contramedidas no electrónicas:** Son CM que se basan en técnicas, tácticas, dispositivos o elementos que para actuar como CM no hacen uso del espectro EM.

Agrupadas así las CM en grandes áreas, analizaremos a continuación las clasificaciones específicas dentro de cada área, para lo cual utilizaremos como base de referencia el Gráfico C.

#### **A) INTERFERIDORES (Jammers)**

Algunos sistemas de CME preliminares utilizaban equipos electrónicos que ya sea eran repetidores para retransmitir con un cierto retraso todas las señales recibidas en una determinada banda de frecuencia, ya osciladores modulados con ruido de banda ancha y presintonizados en frecuencia y en transmisión continua.

La mayor limitación de estos primeros equipos era que no proveían identificación o priorización del emisor (radar víctima). La misma acción de CME tenía lugar con todas las señales recibidas dentro de la banda de RF seleccionada.

El incremento del uso del espectro EM y la evolución de los equipos llevó a una discriminación entre:

1º) Equipos que radiaban energía en alto régimen (**high duty**), para irrumpir en el radar por cualquier medio posible con la intención de ocultar cualquier blanco real mediante el bloqueo de la pantalla con empastamiento (**clutter**). Éstos son conocidos como interferidores por ruido, de fuerza bruta, de alto régimen o de alta potencia;

2º) Equipos que radiaban pulsos discretos de energía en bajo régimen (**low duty**), completamente coincidentes con los del radar a ser interferido, y con el objeto de llenar la pantalla con un gran número de falsos ecos de aviones, suficientes para saturar la capacidad del sistema. Son conocidos como interferidores por engaño (**deception jammers**), de confusión (**spoofers**) o de bajo régimen.

## B) INTERFERIDORES POR RUIDO (Noise jammers)

Estos equipos producen la radiación deliberada de energía electromagnética con el objeto de impedir o degradar el libre uso del espectro EM por parte de dispositivos electrónicos, equipos o sistemas del enemigo (radares, sistemas de guiado de misiles, etcétera). Fueron los primeros tipos de interferidores usados, y fueron conocidos como interferidores de enmascaramiento (**masking jammers**).

### 1. Clasificación según la táctica empleada

La información de radar puede ser negada mediante la transmisión de ruido, señales de onda continua (CW) o pulsos que enmascaran el eco reflejado por el avión incursor (blanco). Según la información de inteligencia que se posea, se conocerá la banda de operación del radar, o se conocerá su frecuencia de emisión exacta; y eso fija la táctica a emplear en relación con las posibilidades de manipular el equipo de a bordo.

#### 1º) Interferencia por ruido de cortina (Barrage)

Cuando sólo se conoce la banda de frecuencia aproximada en la que opera el radar enemigo, se emplea esta técnica, que consiste en la radiación de suficiente energía no coherente en un rango ancho de frecuencias dentro del cual se cree que opera el radar.

Si lo que se quiere interferir es un sistema enemigo de transmisión de datos, el **barrage** torna esa información ininteligible.

#### 2º) Interferencia por ruido puntual (Spot)

Si la información de inteligencia es tal que se conoce la frecuencia de operación y ésta es fija, o si se cuenta a bordo del avión incursor con medios (receptores) para localizar la frecuencia de emisión enemiga, y sintonizar el interferidor a la frecuencia específica; la táctica usada es la de **spot**, que hace un uso más efectivo de la potencia disponible en el interferidor, en lugar de desparramarla sobre una banda ancha, como hace el **barrage**.

En los principios de la GE, la localización de la frecuencia de emisión y sintonización del emisor de interferencia se hacía en forma manual (**manually controlled**). Un diagrama en bloque de un equipo de este tipo se puede apreciar en la Figura 13.

Luego, la tecnología permitió que el interferidor fuera comandado automáticamente en función del receptor (**set on receiver**): es el caso del equipo cuyo diagrama en bloque se adjunta en la Figura 14.

### 3º) Interferencia por ruido puntual con barrido (**Swept spot**)

Los nuevos desarrollos tecnológicos en tubos de ondas progresivas (TWT), carcinotrón y magnetrón sintonizable, permitieron la sintonía más rápida (casi instantánea) del interferidor, llevándolo a que barriese a lo largo de la banda de operación conocida, surgiendo así el **swept spot**.

### 4º) Interferencia por ruido inteligente (**Smart**)

La evolución llevó luego a modular el ruido que irradiaba el interferidor en forma de incrementar el poder de interferencia, y al mismo tiempo hacer que fuese difícil eliminar la CME mediante el uso de Contra-Contra medidas Electrónicas (CCME): esto se dio en llamar **ruido inteligente (smart noise)**.

### 5º) Interferencia por ruido inteligente-inteligente (**Smart-smart**)

Las tácticas y técnicas de CCME llevaron a que para evitar ser interferidos, los radares pudieran hacer variar en forma parpadeante (**jitter**) su frecuencia de repetición de pulsos: en algunos casos, a regímenes impredecibles, ya que son aleatorios, lo que torna aun más difícil para los sistemas de interferencia el seguirlos.

Si el radar a combatir puede ser observado y deducido el patrón de **jitter**, se pueden dirigir señales de interferencia por ruido contra el radar a las frecuencias de **jitter** adecuadas, con considerable ahorro en potencia y ancho de banda. Esto es lo que se conoce como **ruido inteligente-inteligente (smart-smart noise)**.

## 2. Clasificación según la técnica empleada

El ruido con el cual se trata de interferir los receptores enemigos, puede adoptar distintas formas; y esto lleva a que se realice una discriminación según la técnica (forma de ruido) empleada, ya que ésta influirá:

1º) En la efectividad del interferidor en cuanto a su resistencia a ser eliminado por CCME;

2º) En la táctica de CCME que se debe emplear para eliminarlo.

Esta consideración hace que se clasifique a los interferidores en las siguientes categorías:

1º) **Simple potencia de CW**, que puede o no estar enclavada en la frecuencia del radar víctima;

2º) **Simple CW modulada en amplitud**: Al igual que el anterior, puede o no estar enclavada en la frecuencia del radar víctima;

3º) **Simple CW modulada en frecuencia**: Ídem al interior;

4º) **CW modulada en amplitud por ruido aleatorio**: Ésta es la más efectiva, cuando el ancho de banda de la modulación por ruido es coincidente con el ancho de banda del sistema receptor del radar enemigo;

5º) **Interferidor de banda ancha con modulación por ruido en frecuencia**, que puede tener un barrido de frecuencia desde pocos MHz hasta cientos de MHz, y puede ser modulada con un ruido que tenga un ancho de banda desde pocos Hz hasta varios MHz;

6º) **Ruido blanco**: En estos interferidores, el ruido, que es uniforme sobre una banda ancha, es amplificado a un alto nivel, y luego radiado;

7º) **Interferencia de borde de banda**: Contra radares que usan TWT a la entrada del receptor, se utiliza una señal potente en el borde de la banda de frecuencias del radar que se interfiere: esto causa la saturación del amplificador TWT, y en el límite, puede convertir al TWT en sí mismo en un generador de ruido de banda ancha.

Estas técnicas de interferencias son, según el orden dado, progresivamente más difíciles de eliminar o atenuar con CCME; pero, al mismo tiempo, son más difíciles de generar, especialmente cuando el nivel de potencia de interferencia radiada tiene que ser alto.

En la práctica, de la primera a la tercera son relativamente fáciles de producir a partir de simples válvulas de potencia de microondas, tales como magnetrones, los que tienen altas eficiencia y relación potencia de salida/peso-tamaño.

Los tipos cuarto y quinto son más difíciles de producir, ya que se requiere un ancho de banda razonablemente amplio, y una alta potencia para modular el trasmisor de interferencia.

Para hacer el tipo quinto más efectivo, es necesario desparramar la potencia disponible sobre un espectro de frecuencias amplio, lo que significa que el total de potencia media radiada tiene que ser muy alto.

Una aproximación al interferidor de **ruido blanco** es extremadamente difícil de lograr, ya que es necesario producir un ancho espectro

de ruido, y luego amplificarlo a un nivel de potencia considerable, sin reducir el ancho de banda. Esto hace al interferidor muy grande, complejo y pesado.

El interferidor más práctico, sin duda, es el de banda ancha modulado en frecuencia (carcinotrón, etcétera), y modulado sobre un ancho de banda de 50 a 100 MHz.

Se puede también realizar una discriminación por el tipo de modulación, con lo que se tiene:

1º) Frecuencia de interferencia modulada con ruido, con un ancho de banda pequeño, comparado con el ancho de banda del receptor de radar a combatir;

2º) Frecuencia de interferencia modulada con ruido, en un ancho de banda aproximadamente igual a la del receptor de radar;

3º) Frecuencia de interferencia modulada con ruido, en un ancho de banda grande, comparado con el del receptor del radar víctima.

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

### 3. Clasificación según la tecnología empleada

#### 1º) Osciladores de potencia (Power Oscillator)

A principios de la década del 50, el mayor trabajo en CME estaba orientado hacia sistemas de a bordo (internos) con osciladores de potencia (PO) de CW, conocidos como de ruido simple (a veces, llamados **masking jammers**), que habían probado ser tan efectivos en Europa en la Segunda Guerra Mundial.

Estos equipos abarcan desde el más simple de sintonía manual (por ejemplo, APT-16), hasta los relativamente sofisticados, controlados por sintonía automática sobre el receptor de a bordo (**set-on-receiver**) de mediados de la década del 60 (por ejemplo, ALQ-70).

En esta época comienzan a surgir los equipos montados en **pod**, como el ALQ-76 (utilizado en Vietnam), cuyo diagrama en bloque, representativo de un clásico PO, se adjunta en la Figura 13. En este diagrama se aprecia cómo el operador utiliza los receptores de alerta del avión para determinar la frecuencia de la amenaza y la dirección; y luego, manualmente, sintoniza la frecuencia central del interferidor a la frecuencia de la amenaza, selecciona el ancho de banda apropiado (**spot o barrage**), y orienta la antena direccional, iniciando la CME.

Normalmente, las válvulas de salida del PO son magnetrones o carcinotrones.

**2º) Oscilador maestro - Amplificador de potencia  
(Master Oscillator - Power Amplifier, MOPA)**

También a mediados de la década del 60 se comenzaron a desarrollar nuevos sistemas, en los cuales, en lugar de utilizar un oscilador de potencia a la salida, utilizaban pequeños osciladores maestros de baja potencia, la que luego era amplificada, surgiendo así el MOPA. Esto permitió mayor versatilidad y efectividad de CME, en comparación con los PO.

**3º) Amplificador de campo cruzado  
(Cross Field Amplifier, CFA)**

Es el más reciente de los MOPA, y utiliza un tubo amplificador de campo cruzado como etapa de salida acoplado a una antena de alta ganancia, lo que le permite brindar una potencia radiada efectiva (ERP) del orden de megawatts.

**4º) Sistema de interferencia táctica  
(Tactical Jamming System, TJS)**

Uno de los desarrollos de mediados de la década de los 50 en cuanto a tubos de microondas que más promesas potenciales ofrecían para interferencias, era el amplificador de TWT: un sistema de relativa banda ancha, lineal, que podía ser eléctricamente sintonizado en forma instantánea.

Sólo a fines de la década del 60 fue aplicable su utilización como amplificador de CW de alta potencia en equipos de CME como el ALQ-99.

En este tipo de equipos, el transmisor requiere una fuente de RF de bajo nivel que entregue las modulaciones de frecuencia apropiadas. (En los primeros TJS, esta fuente era provista por un **track receiver**.) Estos sistemas fueron usados con resultados satisfactorios durante la última parte del conflicto de Vietnam.

Debido a la necesidad de técnicas de CME más sofisticadas y mejores modulaciones, se desarrolló a fines de la década de los 60 un nuevo dispositivo para aumentar y subsecuentemente reemplazar al **track receiver**. Este dispositivo nuevo es el **exciter**, un generador de señal digitalmente controlado.

El uso del **exciter** implica ya el uso de técnicas de manipuleo de potencias (**Power Management**), pues el **exciter** es comandado por una computadora de a bordo. Estos comandos contienen información sobre varios parámetros de la amenaza, los que utiliza el **exciter** para



generar técnicas apropiadas, modular un oscilador de RF de bajo nivel, y entregar esta señal al transmisor para su amplificación.

### **C) INTERFERIDORES POR ENGAÑO (Deception Jammers)**

Son interferidores más evolucionados y sofisticados que los de ruido, ya que aun cuando realizan la misma función de negar al oponente la información que le daría la habilidad de detectar y finalmente destruir al incursor, su objetivo es el de confundir al enemigo, suministrándole información falsa o errónea, en vez de enmascarar su eco, como lo hace el interferidor por ruido.

Para ello utiliza las características de radiación (previamente obtenidas) del sistema a interferir, repitiéndolas con pequeñas modificaciones, con lo que crea errores suficientemente grandes en la adquisición de datos del enemigo como para hacer ineficiente su sistema de armas.

El primer interferidor del tipo de engaño no entró en el inventario de armamento de guerra hasta principios de la década del 60, cuando se hizo factible el uso operativo de TWT. Este tubo abrió las posibilidades de que los interferidores fueran usados para engañar a un radar, en lugar de tratar de ocultar el eco del avión con interferencias por ruido.

El TWT hizo posible recibir y retransmitir hacia un radar de tierra una copia en carbónico de sus propios pulsos, aun cuando el radar estuviera usando **frequency agility o diversity**, y/o estuviera empleando técnicas de radar coherentes, en las cuales cada pulso tiene una fase distinta.

Este tipo de interferidor es disruptivo; especialmente, si se emplea contra radares usados para control de fuego de MAS a AAé, radar de interceptación de a bordo o misil aire-aire, que emplea guiado activo o semiactivo.

#### **1. Clasificación según la técnica empleada**

##### **1º) Transponders de baja potencia**

Son interferidores sintonizados a la frecuencia del radar víctima, y que devuelven respuestas retrasadas, de forma que aparezcan en los próximos barridos del radar (ángulos siguientes) como si fueran uno o más blancos móviles a varios rangos distintos.

Este tipo normalmente sólo causa interferencia en el lóbulo principal de la antena. El interferidor es enclavado en la frecuencia de

repetición de pulso (PRF) del trasmisor de radar; pero retrasa el pulso a retransmitir en un valor fijo, de forma que los ecos falsos ocurran en el próximo período de radar. Normalmente, están ajustados para que ocurra a un rango menor que el del avión, de forma que el falso eco sea investigado primero.

Además, puede producir falsos ecos adicionales a otros rangos, los que distraerán al sistema enemigo.

### **2º) Transponders de alta potencia**

Son interferidores con características de transmisión perfectamente coincidentes con el total de performances del radar víctima, pero factibles de ingresar al mismo vía los lóbulos laterales, produciendo gran cantidad de blancos falsos en varios rangos y ángulos.

Es un tipo de interferidor más sofisticado que el de baja potencia, y su objeto es, enclavándose en la PRF del radar, producir señales del mismo orden de potencia que el radar a la entrada de su receptor desde el lóbulo principal y los secundarios, produciendo con ello varios ecos falsos en la pantalla, con lo que el eco verdadero del avión incursor resultará difícil de identificar.

Tanto este tipo de repetidor como el de baja potencia, si están adecuadamente diseñados y ajustados, producen numerosos blancos falsos, que son indistinguibles por el operador en su pantalla de radar respecto a un blanco real.

En el de baja potencia y hasta cierto punto en el de alta potencia, la cantidad de energía que debe ser radiada por estos interferidores es muy pequeña, en comparación con los métodos de fuerza bruta utilizados por los interferidores por ruido.

### **3º) Trasmisor de pulso de alta potencia**

Aunque no es exactamente un interferidor por engaño, es del tipo de energía pulsada. Este trasmisor de pulso de alta potencia, enclavado en la frecuencia del radar, apunta hacia él su energía, y fuerza una serie de pulsos coincidentes, sincronizados o no a una PRF muy alta.

## **2. Clasificación según el método empleado**

El engaño consiste en la radiación deliberada, reirradiación, alteración, absorción o reflexión de energía electromagnética, con el objeto de confundir al enemigo en la interpretación o uso de la infor-

mación recibida por su sistema electrónico; y según como se la realice, se la puede discriminar en:

1º) **Engaño manipulativo:** Es la alteración o simulación de radiaciones electromagnéticas propias;

2º) **Engaño imitativo:** Consiste en introducir radiación en los canales enemigos, imitando sus propias emisiones.

### 3. Clasificación según la táctica empleada

Las tácticas más comunes que se utilizan en engaño, se refieren a las siguientes áreas:

#### 1º) **Engaño de ángulo (Angle Deception)**

Este tipo de interferidor por engaño está basado en la generación de falsos ángulos de azimut/elevación del blanco.

En algunos radares antiguos, el haz principal es usualmente de un par de grados de ancho (especialmente, los de banda D, o antigua L); pero la señal de un interferidor por engaño extremadamente potente puede ser recibida sobre un ángulo aun más ancho, donde la sensibilidad es menor. Esto produce una gran imprecisión angular.

En los radares modernos, en cambio, se utiliza una técnica de procesamiento de señal llamada **cribado del haz (beam splitting)**, para determinar con mayor exactitud la posición del blanco dentro del lóbulo. Esta técnica comprende la medición del punto de eco más fuerte, y que corresponde a su posición en el centro del haz radar.

Un repetidor por engaño puede jugar algunos trucos en esta técnica, utilizando un procedimiento llamado **ganancia inversa**. En lugar de retransmitir el pulso de radar recibido con la potencia proporcional a la fuerza de señal recibida, esta técnica emplea una inversión directa de ese nivel de potencia; es decir, cuando el débil borde de ataque del haz de radar ilumina al blanco, éste retransmite el pulso con un alto nivel de potencia. Cuando es iluminado por el fuerte nivel de señal del centro del haz radar, el interferidor responde débilmente, y esto provoca que la posición angular que determina el radar esté desplazada respecto a la posición real del blanco.

Cuando es utilizado contra radares con lóbulos y con significativos lóbulos secundarios, la técnica de confusión por ángulo puede introducir considerables errores de posición del blanco en azimut/elevación.

Una variante de esta técnica, y que es mucho más efectiva contra radares de control de fuego de a bordo o para MAS/AAé, que em-

plean la técnica de barrido cónico para seguir blancos, es una de las más utilizadas.

En tales radares, la antena apunta a la última dirección conocida del blanco, y hace que su haz estrecho barra a través de un pequeño volumen alrededor del punto apuntado de la antena, para asegurar que el haz iluminará periódicamente al blanco, a pesar de sus movimientos.

Típicamente, este barrido de pequeño volumen es realizado mediante una rotación descentrada y a alta velocidad del reflector de la antena o su alimentador. Cuando el angosto haz se apunta directamente al blanco, el eco es fuerte, y cuando se apunta a otras direcciones donde el blanco es iluminado sólo parcialmente, el eco será débil o nulo.

El radar de control de fuego compara continuamente la fuerza del eco con la posición de rotación del reflector/alimentador, para determinar la última posición del blanco, y hacer que los controles de elevación y azimut reposicionen continuamente la antena, de forma de apuntar a la última posición del blanco.

Un repetidor por engaño puede quebrar el seguimiento de este tipo de radar mediante la retrasmisión de pulsos que son modulados con amplitudes espurias a la frecuencia del barrido cónico (o sea desplazándolo en tiempo/fase), y esto hará que el radar sienta que el blanco está desplazado hacia una dirección que es justo la opuesta de la verdadera. Incrementando gradualmente el corrimiento, se introducen errores angulares dentro de la determinación de posición del blanco, que tiene su correspondiente efecto en el punto a apuntar de las armas, pudiendo en algunos casos llegar a lograr el desenganche del radar amenaza.

## 2º) Robo de la ventana del rango (Range Gate Stealing)

En radares que siguen automáticamente a un blanco para propósitos de control de fuego, el primer paso para el enganche del blanco es la designación del eco específico por parte del operador, lo que hace mediante una ventana de seguimiento en distancia: el sistema computa la velocidad estimada del blanco, determinando las nuevas posiciones. Esto ofrece la oportunidad de operar con lo que se llama **range gate stealing**; es decir, **rotura de seguimiento**.

En el proceso, inicialmente el interferidor de a bordo simplemente retrasmite el pulso de radar recibido sin ningún retraso, para permitir al control automático de ganancia (AGC) del radar, que se ajusta a esta señal fuerte, la que él asume que es el blanco designado.

Luego, el interferidor comienza a introducir retrasos en aumento antes de transmitir el pulso de radar recibido; y con esto el circuito de ventana de rango del radar comienza a seguir la señal del interferidor que es más fuerte, y gradualmente se aparta de la verdadera distancia del blanco.

Esta información falsa de distancia del blanco puede dar por resultado significativos errores de ayuda al guiado para las armas anti-aéreas y MAS que usan guiado por comando (**command guided**), debido a que la computación en tierra del ángulo de guía del arma (**weapon lead angle**) está influenciada fuertemente por la distancia al blanco determinada por el radar.

### 3º) Rotura del seguimiento en velocidad (Velocity Track Breaking)

Contra los radares del tipo **doppler de onda continua y doppler pulsado**, los que fueron desarrollados para detectar y seguir aviones en vuelo bajo en presencia de empastamiento terrestre (**ground clutter**), se utiliza otro procedimiento de engaño.

La característica distintiva del eco en este tipo de radares y que permite que el blanco sea seguido, es el corrimiento **doppler**, debido a la velocidad del blanco. Sobre esta base, un medio de engañar a un radar de este tipo de onda continua consiste en que el interferidor de a bordo retrasmite la señal de CW recibida, con un corrimiento **doppler** espurio, incrementando gradualmente su magnitud, para causar la ruptura del seguimiento en velocidad.

A la par que introducir errores dentro de la computación del ángulo de guía de los sistemas de control de fuego de a bordo y terrestres, el apartamiento de la ventana de velocidad puede dar por resultado la pérdida del seguimiento del blanco, cuando el interferidor de a bordo suspende bruscamente su retrasmisión.

### D) RUIDO O ENGAÑO

Cada técnica tiene ciertas ventajas y desventajas inherentes. Por ejemplo, un interferidor por ruido puede ser diseñado con menos conocimientos de detalles del radar amenaza de los que se necesitan para los interferidores por engaño. Asimismo, el ruido puede ser usado contra amenazas que no sean radares, tales como enlaces de comando de guiado de MAS; pero una desventaja inherente es que los interferidores por ruido requieren generalmente niveles de potencia más elevados, lo que es un compromiso en la alimentación pri-

maria del avión, y requiere previsión de refrigeración del equipo, y, como consecuencia, modificaciones básicas en el avión que lo portará.

Otra desventaja potencial del interferidor por ruido es que una vez que el avión lo enciende, esta acción ciertamente alerta a los operadores de radar enemigos de la presencia del avión y de su azimut aproximado. Si el avión está bajo detección de un solo radar, el interferidor sólo niega al radar la información de distancia, y si está bajo detección de dos o más radares, su distancia se determina por triangulación.

En cuanto al interferidor por engaño, éste requiere mayor conocimiento del sistema amenaza, y equipos más sofisticados.

En un principio, ambas técnicas estuvieron perfectamente divididas; pero actualmente convergen hacia un sistema común, debido a que la mayoría de los equipos de CME incorporan o están capacitados para incorporar la técnica adecuada en el momento adecuado, ya que los equipos combinan elementos de ambas, contando con generadores de ruido, además de cadenas de repetidores.

#### **E) MANIPULACIÓN DE POTENCIAS (Power Management)**

Para hacer un uso más eficiente de la limitada potencia de interferencia del avión incursor, así como para poder lidiar con la densidad del ambiente de RF, es necesario recurrir al procesamiento automático de la información que se manipula.

Cuando el sistema de análisis automático de amenaza se expande de forma tal que puede controlar la selección del interferidor de a bordo, seleccionar sus modos específicos de operación y radiar niveles de potencia para competir con las amenazas del momento, y finalmente monitorar las reacciones de los radares a la técnica de interferencia seleccionada, éste se transforma en un sistema de CME con capacidad de **manipuleo de potencias (power management)**.

La manipulación de potencias (PM) permite que un procesador digital analice las señales amenazas, y decida cuáles pueden ser ignoradas, y cuáles deben ser atacadas y con cuáles medios; datos, éstos, que el procesador presenta al Oficial de GE que le dará solución, para luego iniciar la respuesta de interferencia adecuada con apropiados regímenes de barrido, pulso, etcétera.

La piedra angular de un sistema de PM es la computadora digital de a bordo, la que realiza una función de ELINT en asociación con receptores que continuamente buscan señales de radares amenazas.

A diferencia de los primeros sistemas analógicos de conexión por cable (**hard wired**), que sufrían de problemas de reprogramabilidad;

en los equipos modernos, diseñados de forma que entre los sensores de entrada y los transmisores de salida, todo el sistema sea completamente digital, la obsolescencia se elimina mediante su unidad de control del **avionics** (PACU), que es reprogramable.

Los generadores de técnicas que modulan la señal de los interferidores, comprenden un cierto número de dispositivos formadores de ondas digitales, que pueden ser fácilmente reprogramables, para satisfacer cambios en los requerimientos de las amenazas.

El generador de señal de CME implementa la asignación de técnicas de CME desde el computador manipulador del sistema; y para realizar esta tarea, hace uso en una forma óptima de las capacidades de a bordo de potencia de transmisión, fuentes de frecuencia automáticamente sintonizadas, moduladores de RF y antenas direccionales.

La respuesta óptima requiere una consideración de la letalidad del emisor y su prioridad, lo que es provisto por el computador, para asegurar que el máximo esfuerzo esté concentrado en los emisores, que son la mayor amenaza.

El PM permite que un simple interferidor pueda manipular más amenazas simultáneamente, lo que permite penetrar ambientes de radar densos sin requerir otro apoyo.

#### **Tiempo compartido / Potencia compartida (Time sharing / Power sharing)**

A menudo, se requiere que el transmisor de CME manipule simultáneamente un número de frecuencias amenazas al más alto nivel de potencia disponible; y para ello, la cadena amplificadora de TWT es llevada a la saturación.

Este requerimiento de frecuencias simultáneas puede ser satisfecho de dos formas, a saber:

1º) **Tiempo compartido (Time sharing):** En este método, la entrada al amplificador de salida está conectada mediante una conmutación de alta velocidad, y en forma secuencial a los distintos generadores de frecuencias de transmisión;

2º) **Potencia compartida (Power sharing):** En este caso, el amplificador de salida está modulado en forma múltiple y simultánea por las distintas frecuencias a transmitir.

En el primer caso, la potencia transmitida se desparrama en el espectro EM, mientras que en el segundo es el producto de intermodulación. Debido a esto, en el segundo caso a menudo sucede que la frecuencia más baja se captura a la ganancia del equipo, pudiendo llegar a suprimir la frecuencia más alta. Por ello, la mayoría de los

sistemas que utilizan tubos de salida saturados, usan la técnica del tiempo compartido, debido a lo impredecibles que resultan los niveles de salida para niveles de entrada dados, al aplicar el método de potencia compartida.

#### **F) ANTENAS**

Como hemos visto, un adecuado empleo de CME comprende, por un lado, la interceptación de señales de radar para determinar sus características y la dirección de sus fuentes, y por otro, la radiación de CME en forma adecuada. Esto se verá influenciado por las características del sistema de antenas que se utilice.

El tipo de antena a seleccionar dependerá de su utilización, y de las características del avión en el que serán montadas. Sin profundizar en el tema, una característica esencial a cumplir es que deben estar orientadas hacia la amenaza, cualquiera sea la actitud o cambio de actitud del avión. Algunas bajas de B-52 sobre Vietnam se debieron, justamente, a esta situación.

Las antenas se requieren tanto para la recepción de las señales amenazas, como para la transmisión de CME. Para ello, existen dos posibilidades: utilizar dos antenas separadas para recibir y transmitir, o conectar alternativamente una única antena al receptor y el transmisor. En el primer caso, utilizando dos antenas, se debe considerar la aislación entre ellas, lo que es función de la distancia entre ambas, o de que no se encuentren en línea visual entre sí.

En el segundo caso (una antena que se conmuta entre el receptor y el transmisor), el cambio se realiza mediante técnicas de memoria de frecuencia, que toma muestras de la señal de entrada por un corto período (50 a 100 manoseg.), archiva la frecuencia, cambia la antena a transmisión, y transmite a la frecuencia archivada.

#### **G) CÓMO ES EL PROCESO EN UN SISTEMA CON MANIPULACIÓN DE POTENCIAS**

La información analógica de los receptores se convierte en palabras descriptivas digitales mediante un codificador digital, y pasan a un filtro activo de datos (ADF). Luego, la información digitalizada es preclasificada por el ADF, y enviada al operador.

La información que describe el ambiente de señales que cruzará el avión incursor, ha sido ya archivada con anterioridad en una unidad de control de proceso, y de esta forma, cada señal recibida se compara con los parámetros de amenazas conocidas allí archivadas. Cuan-



do hay una coincidencia, los parámetros y características de la amenaza, así como un régimen de prioridades que es función de su modo de operación, y también una o más técnicas de interferencia, son enviadas a la lógica de interferencia, para control de la respuesta de CME.

Esta lógica de interferencia actúa como una matriz de cambio, para sintonizar la fuentes de RF a la frecuencia correcta; activar el generador de técnicas para las características de modulación apropiadas; activar un transmisor, y apuntar las antenas trasmisoras hacia la amenaza durante el tiempo en el cual el radar amenaza es más susceptible de ser interferido.

El tiempo de reacción del conjunto de CME es tan rápido, que es capaz de interferir múltiples radares amenazas simultáneamente. (Un diagrama en bloque de un sistema de este tipo se puede apreciar en la Figura 15.)

#### H) EL TRANSPORTE DE LOS EQUIPOS DE CME

Cuando se realizó el ataque masivo al Japón en 1945, se adoptaron los interferidores por ruido, que probaron ser tan efectivos en Europa; pero hasta que cada B-29 pudo ser equipado con CME, los vuelos se organizaban de forma que un avión ya provisto con interferidores volaba en formación con un avión no equipado, para proveer mutua protección.

Para las misiones nocturnas, no obstante, el B-29 usaba una formación más abierta, en la cual el bombardero equipado con interferidor no podía proteger efectivamente a sus compañeros **desnudos**. Para afrontar esta situación, surgió el concepto de utilizar un avión especialmente equipado, y dedicado exclusivamente a realizar la función de interferencia: nació así el precursor de los actuales EA-6B y EF-111 (bautizado **puercoespín**).

Esto llevó a que se clasificara a las técnicas de CME en autoprotección (**self**), acompañamiento (**escort**) y fuera de alcance (**stand off**). Posteriormente, éstas se complementaron con las CME llevadas a bordo de vehículos remotamente pilotados (RPV), y las realizadas en tierra.

##### 1. Transporte a bordo de avión

###### 1º) Sistema de autoprotección (Self)

En este tipo de sistemas de CME, cada avión lleva suficiente equipo de CME como para autoprotgerse. Típicamente, el equipamiento

se concentra en degradar o anular la efectividad de sistemas hostiles usados para puntería de cañones o guiado de misiles.

Normalmente, las CME que se utilizan para autoprotección son las siguientes:

- 1º) Rotura de seguimiento, utilizando repetidores de engaño por velocidad, rango y ángulo;
- 2º) Interferidores por ruido, con modulación por confusión de rango y ángulo;
- 3º) Interferidores por ruido simple;
- 4º) Descartables activos de baja potencia;
- 5º) Chaff.

### **2º) Sistema de acompañamiento (Escort)**

Un avión dedicado, llevando interferidores de regímenes alto y bajo, acompaña a la fuerza atacante cubriéndola. El típico sistema consiste en una fuente versátil de señal de RF (**exciter**), manejado sobre un amplificador saturado, y que alimenta a una antena orientable de alta ganancia.

El **exciter** puede ser preajustado para la misión, o sintonizado sobre las señales que se reciban durante la misma. Tiene varios modos de modulación en forma de ruido o falsos ecos impuestos a la salida del **exciter**, según sean los requerimientos de la misión.

### **3º) Sistema fuera de alcance (Stand Off)**

Aviones equipados en forma similar que para acompañamiento, operan desde el límite del alcance efectivo de las armas hostiles. Debido a que se mantienen fuera del alcance de las armas enemigas, pueden quedar fuera del lóbulo principal del radar víctima, por lo que requiere mayor potencia de interferencia, para ser efectivo a través de los lóbulos secundarios.

## **2. Interferidos a bordo de vehículos remotamente dirigidos**

Los RPV han sido durante mucho tiempo la opción favorita de los planificadores militares y los diseñadores de sistemas; y con el avance de la tecnología, este atractivo concepto se ha vuelto más y más viable como solución ideal a varios problemas militares. La idea de una plataforma aérea sin las complejidades de un operador humano ofrece numerosas ventajas en un gran variedad de aplicaciones.

La opción de eliminar el operador humano se ha vuelto más real y más práctica, ya que ofrece las ventajas de reducir el peso, la complejidad y el costo del entrenamiento. Además, el vehículo puede ser menor en tamaño, puede soportar más Gs, es más barato, y, sobre todo, no implica riesgo de vidas humanas en su operación.

Desde otro punto de vista, en ambientes políticamente sensibles, el hecho de que no haya un individuo a bordo del vehículo puede disminuir la reticencia al empleo del RPV para reconocimiento sobre territorio enemigo.

De los muchos usos que se les han dado a los RPV, aquellos que a nosotros nos interesan son los relacionados con la GE; y en este caso particular, los utilizados como portadores de equipos de CME.

Los RPV para GE están equipados con interferidores tanto internos como en **pods**, en forma similar a un avión, y son utilizados para acompañar (**escort**) a las fuerzas incursoras. Para ello, son llevados por un avión madre (normalmente, a su bordo se encuentran los controladores de los RPV), y lanzados en vuelo controlado al estar próximos a la zona de penetración. Luego de la misión, son recuperados (usualmente, mediante helicópteros o redes).

#### **I) SEÑUELOS ACTIVOS (Active Decoys)**

Son una derivación de los RPV, que llevan a bordo repetidores de señal, cuya función es retrasmir el eco radar recibido, de forma tal que la pantalla de radar enemiga presente al eco proveniente del señuelo como producido por un avión real, con lo cual se logra que el enemigo malgaste esfuerzos tratando de interceptar o destruir estos señuelos. El repetidor de señal es sumamente sencillo, al igual que el sistema de control remoto, lo que hace factible la producción en grandes cantidades, con costos que permiten que este tipo de señuelos en muchos casos sean del tipo descartable.

#### **J) DESCARTABLES ACTIVOS (Active Expendables)**

Son transmisores o repetidores de interferencia eyectables, para autodefensa o para saturar un área, y se los puede agrupar en sembrados y propulsados.

##### **1. Descartables sembrados**

Son utilizados por las Fuerzas Tácticas para quebrar el seguimiento de detectores de RF: el descartable distrae al arma lejos del ver-

dadero blanco. La Fuerzas Estratégicas los utilizan en grandes cantidades para cubrir un área de penetración.

## 2. Descartables propulsados

Son típicamente cohetes que contienen transmisores o repetidores de interferencia, y son frecuentemente utilizados para que las armas enemigas los tomen como blancos principales, o para confundir o saturar, a fin de ganar tiempo para evadir, degradar o destruir el sistema amenaza.

## 3. Técnica para sembrado de descartables activos

Existen diversas técnicas para el sembrado de los descartables y mantenerlos suspendidos en el aire. Las más comunes consisten en cargas de repetidores o transmisores que se suspenden de paracaídas, barriletes inflables o alas deltas de pequeñas dimensiones que se transportan plegados: una vez lanzados y desplegados, mantienen al interferidor en el aire por largos períodos de hasta 30 minutos.

## K) CONTRAMEDIDAS ELECTRÓNICAS PASIVAS

Son aquellas técnicas y dispositivos de CME que no generan RF por sí, sino que sólo se limitan, en un primer caso, a reflejar la señal EM que los golpea; en otro caso, reciben la señal, y la utilizan para alertar al piloto del avión de que se encuentra bajo seguimiento de un radar; y en un tercer caso, estos dispositivos y técnicas pasivas tratan de que la señal reflejada hacia el radar sea la mínima posible.

### 1. Chaff

Dentro del primer agrupamiento (reflectores de señal), el más conocido y difundido es el **chaff**. Utilizado por primera vez durante el raid de Hamburgo en 1943, fue evolucionando, siendo en un principio finas tiras metálicas; luego se desarrolló con fibra de vidrio cubierta de óxidos metálicos, para llegar en los últimos años al desarrollo del **chaff** en aerosol.

Ya sea que se utilicen tiras de aluminio o fibra de vidrio, éstas se deben cortar a largos específicos (media longitud de onda del radar enemigo), para que resulten resonantes a las frecuencias de los radares a combatir, y de esta forma ocultar al avión incursor dentro de la **nube** formada por el **chaff**.

A fin de que el **chaff** se desparrame en forma adecuada al ser lanzado, se mantenga en el aire el mayor tiempo posible, y su posi-

ción de caída (vertical u horizontal) sea acorde con la polarización del radar a interferir, se requieren técnicas altamente evolucionadas para su fabricación y corte.

En cuanto a su transporte a bordo y su sembrado, los distribuidores pueden ser **pods** (por ejemplo, ALE-29) o cartuchos internos al avión (verbigracia, ALE-41).

Apenas lanzado, el **chaff** se esparce formando una pequeña nube (para formar grandes nubes, se deben lanzar varios cartuchos a intervalos regulares). Actualmente, este método se utiliza para lo que se llama **sembrado de corredor**, para enmascarar las fuerzas atacantes.

No obstante, el mayor uso que tiene el **chaff** es como decepción, lanzándolo en pequeños grupos que simulan ser aviones, y así dar la impresión de ser una fuerza atacante mayor.

Asimismo, se utiliza contra los sistemas automáticos de control de fuego y guiado, buscando de saturar su capacidad en algunos casos o en otros procurando interrumpir el enganche automático del radar de seguimiento.

Una técnica para lograr lo expresado, consiste en el lanzamiento lateral o hacia delante del avión incursor de cartuchos conteniendo **chaff**, que permiten la formación lo más rápido posible de las nubes. Esto hará que al radar de guía del misil se le presenten simultáneamente una serie de ecos, entre los cuales está el verdadero: el radar tenderá a engancharse sobre el blanco más próximo o el más fuerte, que estará constituido por una nube de **chaff**.

## 2. Rope

Está basado en la misma técnica del **chaff**; pero está formado por hilos finos y largos de fibra de vidrio.

## 3. Triedros y otros suspendidos

Otros reflectores descartables, no tan populares como el **chaff**, son dispositivos del tipo triedros reflectores, que son lanzados y suspendidos de paracaídas, barriletes o alas deltas, según la misma técnica que para descartables activos.

## 4. Señuelos pasivos (Passive Decoys)

Un reflector de señal más sofisticado es el señuelo pasivo. Se trata de un RPV o un simple planeador sin equipos repetidores o transmisores a bordo, pero pintado de forma de lograr el máximo de re-

flexión de energía. Su utilización es la misma que la de los señuelos activos.

#### 5. Alerta de radar (Radar Warning)

Basados en la experiencia de Vietnam, los aviones tácticos son equipados con sistemas de alerta de radar, para indicar al piloto cuándo está siendo iluminado por un radar enemigo, ya sea terrestre, de a bordo, o un sistema de guiado de misil.

Estos dispositivos utilizan receptores similares a los empleados para ELINT, pero mucho más simplificados. Algunos sólo indican, mediante una luz que se enciende en el panel de instrumentos, que el avión está siendo iluminado por un radar; otros más sofisticados indican, también con luces, el cuadrante de donde proviene el ataque; y otros, aun más evolucionados, indican la dirección exacta, y si el que está enganchado sobre el avión es un radar de adquisición, de seguimiento o de guiado de misil. Asimismo, indican su grado de peligrosidad y su prioridad, si son varios los radares amenazas (por ejemplo, ALR-46).

Como el tiempo de que dispone el piloto es muy breve, se tiende a completar la información con una señal audible, ya que los mensajes a través del oído llegan al cerebro más rápidamente que los recibidos a través del ojo. Las últimas técnicas tienden, asimismo, a colocar información en el HUD.

#### 6. Material absorbente

La detección radar se basa esencialmente en la energía reflejada por el blanco (avión incursor). Por lo tanto, una forma de disminuir esta energía reflejada y, como resultado, disminuir también la distancia de detección, es el uso de materiales (especialmente, pinturas) que en lugar de reflejar esa energía, la absorban.

#### 7. Superficie equivalente reducida

Se llama **superficie equivalente** en radar, a aquella superficie que refleja la misma cantidad de energía de RF que el avión al cual se refiere. Así, por ejemplo, para un avión de tipo Mirage III o F-5, la superficie equivalente es 2,2 a 2,5 m<sup>2</sup>; para un avión de tipo Canberra es de 10 a 12 m<sup>2</sup> y para un B-52 es de 30 a 35 m<sup>2</sup>.

Disminuyendo esta superficie equivalente (mediante el diseño de perfiles), se disminuye la energía reflejada, y por ende la distancia de

detección. El caso más típico de este tipo de diseño lo constituye el suspendido B-1.

## L) LAS CONTRAMEDIDAS ELECTRÓNICAS DURAS

Si hacemos un análisis de lo desarrollado hasta aquí, veremos que en ningún momento hemos hecho otra cosa que disparar **electrones**, y de ahí la clasificación como CME **blandas**, ya que sólo han consistido en la radiación, reirradiación o reflexión de energía EM.

La parte **dura** de las CME consiste en utilizar los métodos y técnicas de Medidas de Apoyo a la Guerra Electrónica (ESM), para la determinación y localización de emisores de radar enemigos. Esta información de posición del radar enemigo nos permite hacer el **homing** (dirigirnos) sobre su radiación, y utilizarla como guía para atacar y destruir el radar y el sistema de armas que lo utiliza, ya sea con armamento convencional, o mediante el lanzamiento de un misil que utiliza la radiación como guía (**beam rider**).

Esta técnica se comenzó a emplear en Vietnam, dando origen a los escuadrones **Wild Weasels**. Primero, utilizando F-100; luego, F-105 y F-4, y desarrollándose actualmente con el F-15/F-16 como plataforma.

## M) CONTRAMEDIDAS NO ELECTRÓNICAS

Bajo este título agrupamos aquellas contramedidas que no hacen uso del espectro EM para su aplicación.

### 1. Maniobras evasivas

Comprenden todas aquellas maniobras, perfiles de vuelo, etcétera, aplicables para que el avión incursor no sea detectado o seguido, o para quebrar este último.

Para aplicar y ejecutar estas maniobras se debe tener información sobre el radar, arma o misil amenaza, y para ello el piloto debe **ver** la amenaza. En caso contrario, debe recurrir a los equipos de alerta radar ya descritos anteriormente.

### 2. Misiles de crucero lanzados desde el aire (ALCM)

Las defensas actuales —especialmente, las del Pacto de Varsovia— son tan densas y difíciles de penetrar, que, buscando lograr esto último con mayor probabilidad de éxito, y explotando los adelantos tecnológicos —especialmente, en lo que a sistemas de navegación se

refiere—, se han desarrollado misiles con vuelo de crucero que permiten su lanzamiento desde fuera del alcance de las armas defensivas enemigas (**stand off**), realizando un vuelo mediante algún sistema de autonavegación, o remotamente piloteados y a baja altura hasta alcanzar el objetivo, sin riesgos de vidas humanas, y presentando mayores dificultades que un avión para ser detectados.

### III — EMPLEO DE LAS CME

Aunque éste es un tema marginal al objeto del presente trabajo, trataremos de hacer unas breves referencias generales respecto al empleo de las CME. Lo haremos sin profundizar en su análisis, ya que esto nos obligaría a recurrir a conceptos específicos, para cuya comprensión se requiere tener conocimientos y experiencia tanto en la operación como en el mantenimiento de sistemas de radares, pues para determinar cuál es la CME más correcta a emplear en cada caso, es necesario conocer las características y comportamiento de las señales radar durante su procesamiento a través de las distintas etapas del sistema de radar.

Este análisis de cómo emplear las CME lo efectuaremos teniendo en cuenta las siguientes circunstancias:

- 1º) Sus efectos sobre los distintos componentes del sistema de radar;
- 2º) Los distintos tipos de radar amenaza que se desea atacar.

#### A) EFECTOS SOBRE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE RADAR

En la Figura 16, que muestra los componentes típicos de un sistema de Misil Superficie-Aire (MSA), podemos visualizar que éste hace uso de nueve señales básicas para su operación. Para anular o degradar las performances del sistema de armas, las CME deberán interferir una o más de estas señales.

Si dentro de este sistema consideramos ahora al grupo radar en detalle, veremos que es similar al ilustrado en la Figura 17, y que representa un radar de seguimiento de barrido cónico, del tipo frecuentemente utilizado para control de fuego de artillería antiaérea, guiado de misiles, e interceptación de a bordo.

Las técnicas de CME para atacarlo se elaboran mediante la utilización de uno o más efectos básicos, empleados en combinación o en secuencia. A continuación describiremos los más importantes de estos efectos, y los medios empleados para obtenerlos.



## 1. Efectos sobre la antena

El primer elemento a atacar con CME está constituido por la antena del radar amenaza. Este ataque consistirá en intentar desplazar el apuntado de la antena, o, más correctamente, la forma en que la antena opera en su movimiento de apuntado para suministrar los datos de ángulo.

Los métodos más comunes para producir la degradación del sistema a este nivel, son los siguientes:

1º) **Chaff**, que enfrentará al radar con un problema de múltiples blancos, sumado a un problema de empastamiento, los que conducen, a su vez, a un problema de atenuación;

2º) **Descartables activos**, que producen un efecto muy similar al **chaff**, pero más intensificado. Estos descartables pueden ser repetidores, **transponders**, o ambos;

3º) **Señuelos**, que son electrónicamente aumentados para producir un eco radar muy similar al del avión real, y que resulta muy difícil de distinguir;

4º) **Perfil de vuelo bajo**, para sacar ventajas de las limitaciones del lóbulo del radar y de los problemas inherentes al empastamiento y múltiples trayectorias (**multipath**);

5º) **Polarización cruzada**, que explota las diferencias de patrones de radiación en algunos tipos de antenas, al hacer que la radiación del equipo de CME se efectúe con una polarización casi ortogonal a la del radar víctima;

6º) **Fuente coherente dual de CME**, que actúa cambiando la naturaleza del frente de fase en la antena de radar;

7º) **Refuerzo del empastamiento**, mediante la iluminación del suelo con el equipo de CME, en forma de incrementar el problema de rechazo del empastamiento del radar;

8º) **Interferencia fuera de alcance**, para enceguecer al radar;

9º) **Contramedidas cooperativas**, mediante el uso de dos o más plataformas de CME, que incrementan los problemas de múltiples blancos.

## 2. Efectos sobre el mezclador

Tanto el mezclador como el preamplificador del radar son utilizados para transformar la señal de RF de entrada, en una frecuencia intermedia adecuada para la amplificación y el proceso de la señal.

Esta transformación es un proceso no lineal, sujeto al ataque de CME. Algunos de estos ataques son los siguientes:

1º) Saturación, utilizando señales pulsadas o continuas (si se hace uso de una potencia adecuada, es posible llegar a quemar el mezclador o el preamplificador);

2º) Interferencia por frecuencia dual, que genera frecuencias intermedias espurias;

3º) Interferencia de borde de banda, para distorsionar el subsecuente proceso de empastamiento o **chaff** que el radar realice.

Si el radar víctima utiliza buenas contra-contra medidas electrónicas (CCME) en esta área del proceso de señal, la interferencia efectiva resultará muy difícil de lograr.

### 3. Efectos sobre la frecuencia intermedia y el control automático de ganancia

El ataque básico de CME contra el circuito amplificador de frecuencia intermedia (FI), se basa en algunas formas de saturación periódica. El circuito de Control Automático de Ganancia (CAG - AGC) está sujeto a formas de ataques similares, pero más sutiles.

El CAG se utiliza para realizar un promedio de la señal (más ruido) durante un cierto intervalo seleccionado, ajustando los valores de ganancia de forma de proveer un nivel de señal de salida preseleccionado.

Algunos de los ataques más comunes sobre el circuito de CAG son los siguientes:

1º) **Robo de la ventana de rango;**

2º) **Distorsión de la forma de onda**, donde la señal de interferencia es notablemente diferente de la señal esperada (es decir, un pulso muy corto, cuando el CAG espera un CW);

3º) **Señales de borde de banda**, diseñadas para capturar el CAG sin brindar información alguna;

4º) **Modulación en amplitud**, diseñada para modular continuamente al CAG.

Si bien estas contra medidas actúan sobre los circuitos que estamos tratando, sus efectos son más obvios, por su reacción sobre los circuitos de seguimiento de rango, velocidad o ángulo.

Referidos al ataque descrito en 2º, podemos decir que se materializa en dos efectos básicos al actuar sobre un radar de barrido cónico:

1º) La interferencia introduce **agujeros** en la señal esperada, cada vez que aparece un pulso;

2º) La amplitud de la senoide portadora de la información se reduce, y esto, a su vez, produce una reducción en el ciclo de ganancia del seguimiento de ángulo, lo que se traduce en una precisión angular pobre.

#### 4. Efectos sobre el seguimiento de rango

Los elementos de ataque básicos contra un seguimiento de rango convencional son los siguientes:

1º) Interferencia por ruido, generando una señal esencialmente continua, utilizando normalmente modulación en frecuencia para inducir fluctuaciones de amplitud en la FI del radar;

2º) Robo de la ventana de rango, donde un repetidor introduce progresivamente atrasos cada vez mayores en una señal amplificada, para arrastrar la ventana de rango del radar lejos del eco real;

3º) Falsos blancos, generados por el equipamiento de a bordo, **chaff**, descartables, señuelos o refuerzo del empastamiento.

#### 5. Efectos sobre el demodulador sincrónico / filtro de barrido

El radar diagramado en la Figura 17 es una unidad de barrido cónico, y por ello todos los ataques que afectan a la antena, también pueden producir efectos en el demodulador sincrónico. Asimismo, caben los siguientes ataques:

1º) **Ganancia inversa**, donde el equipo de CME detecta la modulación en amplitud causada por los pequeños errores normales de seguimiento del radar, y aplica una modulación en amplitud a una señal amplificada que está 180° fuera de fase;

2º) **Modulación en amplitud inversa**, en la cual el equipo de CME modula en amplitud la señal radar amplificada, a la frecuencia de barrido cónico del radar;

3º) **Barrido con onda cuadrada**, donde la frecuencia de repetición de una modulación en amplitud rectangular se cambia lentamente, desplazándose a través de la región de incertidumbre de la frecuencia de apuntado del radar víctima.

#### 6. Efectos sobre el seguimiento de ángulo

El circuito de seguimiento de ángulo del radar está al final de la cadena de procesamiento, y consecuentemente, se ve afectado por cualquier degradación de las funciones que lo preceden.

Otras acciones específicas que pueden actuar sobre el seguimiento de ángulo, comprenden maniobras o ataques simultáneos.

## **B) EMPLEO DE CME SEGÚN EL TIPO DE RADAR A ATACAR**

Para este análisis, podemos considerar en términos generales cinco categorías de radares amenazas, para cada una de las cuales bosquejaremos someramente las CME aplicables.

Tomando como base lo expresado, podemos agrupar los radares según su uso para:

- 1º) Control de fuego de artillería antiaérea;
- 2º) Control y guiado de misiles superficie - aire de baja altitud;
- 3º) Control y guiado de misiles superficie - aire de media altitud;
- 4º) Control y guiado de misiles superficie - aire de alta altitud;
- 5º) Intercepción de a bordo.

### **1. Radar de control de fuego de artillería antiaérea**

Casi todas las amenazas de este tipo utilizan un radar de seguimiento de barrido cónico, y la mayoría de ellas tienen facilidades para seguimiento de ángulo sobre interferencia (**angle - track - on - jam**), acopladas a indicadores de distancia ópticos o por láser. Esto le permite al sistema operar en forma aceptable aun bajo interferencia, haciendo la salvedad de que para ello la interferencia debe ser del tipo de cortina o puntual.

La interferencia óptima para negar, tanto el seguimiento en rango como en ángulo, incluyendo el seguimiento sobre interferencia, está dada por la interferencia de cortina modulada en amplitud.

Para ello, una vez que el tipo de amenaza y su modulación de barrido han sido determinados por el sistema receptor del equipo de CME, se inicia un programa de negación del ángulo de característica ondulante y de desarrollo libre, basado en los datos obtenidos. Un valor típico está dado por una modulación por onda cuadrada con una amplitud de 6 dB, variando 5 por ciento a cada lado de la frecuencia de modulación medida, con un período igual al tiempo del ciclo de seguimiento. Esto hará que la ventana de ángulo se desoriente; el desplazamiento ondulante hará que el radar de seguimiento se corra entre uno y dos anchos de lóbulo fuera del blanco, repitiendo esto periódicamente a un régimen tal que evitará el enganche del radar, excepto por pequeños períodos (insuficientes para el radar).

La amplitud de modulación de 6 dB provee una base de ruido que impide el seguimiento en distancia, a la vez que, debido a la modulación en amplitud, se impide el seguimiento de ángulo sobre interferencia.

Un elemento a tener en cuenta en las consideraciones a efectuar para determinar las características operativas de la interferencia está constituido por el Rango de Trasparencia (**burnthrough**), para lo cual se deben tomar en cuenta las características tanto del radar amenaza como del equipo de CME, ya que su relación será la que determinará esta distancia de transparencia.

Procurando evitar enzarzarnos en un tema con conceptos demasiado específicos, podemos mencionar algunos de los factores que influirán sobre la distancia de transparencia. Uno de ellos es la relación de anchos de banda: mientras menor sea esta relación, menor será la distancia de transparencia.

En la consideración que acabamos de expresar, hay otro factor que influye: es la capacidad que tiene el equipo de CME para sintonizar con precisión la frecuencia del radar víctima. Esta capacidad determina en cierta forma el ancho de banda que requiere el interferidor; en otras palabras, a mayor precisión, menor distancia de transparencia.

Si el equipo de CME no tiene una buena capacidad de sintonía, su espectro deberá ser ensanchado hasta un valor al menos igual a la suma del ancho de banda del receptor y el valor de incertidumbre de sintonía del interferidor, con lo cual aumenta la distancia de transparencia.

## **2. Radar para misiles superficie - aire de baja altitud**

Este tipo de sistema normalmente está diseñado contra aviones que vuelan bajo, hasta 100 metros sobre el nivel del terreno; tienen un alcance limitado, y poseen gran movilidad. Generalmente, son sistemas autocontenidos, con sus propios radares de adquisición y seguimiento.

A fin de reducir el empastamiento del suelo, se utiliza un haz sumamente estrecho para el radar de seguimiento, lo que lleva a que sus radares de adquisición deben ser capaces de brindar un apuntado muy preciso; es decir, dentro del orden del ancho del lóbulo del radar de seguimiento.

La mejor contramedida para este sistema estará dada por aquella que niega la medición precisa de ángulo y distancia a los dos haces

yuxtapuestos del radar de adquisición. Este tipo de contramedida lo realiza el interferidor puntual de banda angosta, utilizando una modulación en amplitud por onda cuadrada de libre disparo, con una amplitud de modulación de 4 dB. La onda cuadrada se desplaza en forma ondulante a través de una armónica de la frecuencia de barrido secuencial, que utiliza el radar de adquisición.

Cuando este régimen de barrido se conoce por otras fuentes, no es necesario que el receptor del equipo de CME efectúe su medición: basta con que reconozca la amenaza, con lo que puede utilizar el régimen de barrido ya archivado en la memoria de su computador. Si existe alguna diferencia en este régimen, ésta será compensada por una ondulación del orden del 10 por ciento que utiliza el interferidor.

La interferencia que acabamos de describir, debe efectuarse en forma puntual de banda angosta para cada una de las frecuencias de adquisición, y simultáneamente se debe interferir la frecuencia de seguimiento con una señal similar, puntual de banda angosta, para impedir el seguimiento aun cuando el sistema de adquisición pueda llevar al apuntado próximo a la posición real del avión.

Si se logra negar el seguimiento automático durante un cierto período, no habrá suficiente tiempo de reacción como para asegurar un lanzamiento preciso del misil.

### **3. Radar para misiles superficie -aire de media altitud**

Dentro de esta categoría podemos considerar los radares del tipo LORO; es decir, aquellos que tienen un trasmisor que no barre, efectuando el barrido sólo con las antenas receptoras. Estos sistemas normalmente los encontraremos integrando redes para la adquisición de blancos.

Como este tipo de radar efectúa su seguimiento en un modo de barrido completamente pasivo, ya que su iluminador permanece fijo, y por otro lado la adquisición la realiza con base en una red de radares de adquisición, resulta ser el tipo de amenaza más difícil de interferir.

No obstante, la mayoría de estos radares son aún vulnerables a la interferencia por ruido inteligente, el que puede generar marcas estroboscópicas angulares (**strobe**), desplazándose sobre la pantalla, y al mismo tiempo negar el rango, forzando con ello al sistema de misil a operar en forma degradada.

Las contramedidas contra este radar, diseñadas para evitar el seguimiento en rango y degradar el seguimiento en ángulo, se basan en las características de barrido del radar. Para ello se utiliza una

modulación por onda cuadrada con una variación de régimen lineal, de forma tal que resulte sincrónico con el barrido pasivo del sistema, y a un régimen aproximadamente igual al tiempo del ciclo de seguimiento. Esto dará como resultado la buscada degradación.

La contramedida que acabamos de describir, crea disturbios angulares en la pantalla del radar, apareciendo como líneas estroboscópicas (**strobe**), con una apertura equivalente a un ancho de lóbulo, y que se mueven lentamente delante y atrás del blanco real. Esto evita el seguimiento automático de ángulo, y reduce la precisión en el seguimiento manual.

Como el interferidor actúa primariamente basado en información obtenida con antelación, el receptor sólo debe reconocer el tipo de radar, así como indicar cuándo el avión se encuentra dentro del área de iluminación del mismo.

A pesar de esta interferencia, no se debe descartar el eventual lanzamiento del misil, aun cuando hayamos logrado degradar las capacidades de seguimiento. Por lo tanto, debemos contemplar asimismo interferir las frecuencias de **transponder** del misil, de forma de degradar también la información referida a la posición del misil.

#### **4. Radar para misiles superficie - aire de alta altitud**

Al considerar estos radares, veremos que la mayoría utiliza dos haces que barren y se cortan en forma perpendicular, para determinar la posición del blanco. Nos estamos refiriendo al tipo TWS.

No obstante que teóricamente este tipo de radares puede seguir cualquier blanco que se encuentre dentro de su sector de barrido superpuesto; en la práctica, sólo la porción central del área mencionada, alrededor del punto al cual apunta el sistema, posee suficiente precisión como para asegurar un impacto.

Para atacar a este tipo de radar, la mejor contramedida es el ruido inteligente modulado en amplitud basándose en el régimen de barrido del radar. Al respecto, el régimen de barrido es similar para ambos haces.

La interferencia por modulación de amplitud utiliza un régimen de barrido que es un múltiplo por 5 o 6 del régimen del radar. Esto permite impedir el seguimiento en rango, y degradar el correspondiente a ángulo en un valor aproximado a un ancho de lóbulo.

Concurrentemente, se requiere la interferencia también en las frecuencias de **transponder** del misil, de poderse determinar las mismas, aumentando así la probabilidad de anular el sistema. Esta última con-

tramedida resulta muy efectiva, si se puede lograr la sintonía en una banda angosta.

#### **5. Radar de a bordo para interceptación**

Un típico radar de a bordo utilizará normalmente un barrido Palmer/Secuencial para su patrón de adquisición, y uno cónico para su patrón de seguimiento.

Las técnicas de negación en rango y degradación en ángulo a emplear contra este tipo de radar, serán las mismas que se aplican para radares de artillería antiaérea. Se utiliza el mismo tipo de interferencia por modulación en amplitud de disparo libre, con lo que se logra la rotura del seguimiento tanto en rango como en ángulo.

En este caso, la modulación ondulante por onda cuadrada de 6 dB de amplitud, varía 5 por ciento a cada lado del período de barrido cónico del radar, en intervalos de 5 segundos, con lo que se logra la interferencia, impidiendo el seguimiento hasta que el interceptor está demasiado cerca y alcanza el rango de transparencia. Lo que se debe buscar es que este rango esté por debajo de los valores mínimos de empleo de los misiles.

#### **C) EJEMPLO DE EMPLEO DE CME**

Las características de la zona donde se llevarán a cabo las operaciones (el escenario) tienen una gran influencia en los requerimientos de los sistemas de CME; y esto nos lleva a determinar como crítica la definición que se establezca respecto al escenario donde se prevé que serán utilizadas las CME. Para el presente ejemplo tomaremos como parte de un escenario imaginario, el representado en la Figura 18, que se adecua a los escenarios reales de los conflictos del Oriente Medio.

Algunas consideraciones a tener en cuenta al discutir las técnicas de CME a emplear, se refieren a que:

- 1º) En el combate actual, casi nunca se enfrentará un solo sistema de armas contra un avión (situación uno a uno);
- 2º) El sistema de CME deberá lidiar en forma simultánea con una combinación rápidamente cambiante de sistemas amenazas;
- 3º) El combate actual comprende cambios muy rápidos tanto en el ambiente de RF como en la situación letal; es decir, determinar cuál es el sistema más peligroso para cada momento.

Si observamos ahora el escenario de la Figura 18, apreciaremos que la fuerza incursora deberá recurrir a variadas técnicas de CME



durante su penetración, utilizando esas técnicas a veces en forma simultánea, y otras, en forma secuencial.

Asumimos que durante todo el trascurso de la misión, los aviones que harán interferencia fuera de alcance (**stand off**) (IFA) (SOJ), tienen capacidad para interferir todos los radares que pueden afectar la fuerza incursora, y que lo pueden hacer durante toda la misión.

En el punto 1, los incursores no harán uso de sus equipos de CME; pero sí sacarán la máxima ventaja del enmascaramiento del terreno en vuelo bajo, a fin de ocultar tanto el momento como la dirección del ataque. Para ello, se coordinarán las tácticas y el momento de encendido de los equipos **stand off**, en forma de reforzar ese efecto.

En el punto 2, la misión, que consiste en el ataque a tanques y artillería de campaña, unidades de artillería antiaérea y sistemas MSA de corto alcance, tiene inicio. En este punto, probablemente, los equipos de alerta radar avisarán a los pilotos que sus aviones están siendo adquiridos por los radares terrestres, lo que iniciará la respuesta de CME por parte de los incursores como autodefensa, atacando a los radares de artillería antiaérea con ruido modulado en AM a la frecuencia del barrido cónico del radar, y a los radares de MSA de corto alcance, con modulación en AM por barrido a través de la frecuencia de barrido cónico, combinado con ruido **doppler** (repetidores). En cuanto a los radares de búsqueda y los de los misiles de largo alcance, no deberán ser atacados por el momento, pues resulta suficiente la interferencia **stand off**.

En el punto 3, los incursores habrán alcanzado el punto de mínimo cubrimiento por parte de los aviones **stand off**, debido a que éstos estarán operando dentro de los lóbulos posteriores de los radares, lo que obliga al cambio de las técnicas de CME, y a las ya aplicadas habrá que agregar las de ganancia inversa, **chaff** y descartables, tanto activos como pasivos, contra los radares de MSA de largo alcance. Cabe aclarar que se asume que los sistemas superados han sido destruidos o inutilizados.

En el punto 4, ya se estará en condiciones de atacar a los MSA de largo alcance, continuando las mismas CME.

En el punto 5, finalmente, la misión estará fuera del alcance letal de las armas enemigas, dándose por finalizadas las CME.

#### D) CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPAMIENTO DE CME

Lo recientemente analizado nos lleva a una serie de interrogantes; y entre ellos, el que primero surge se refiere a la situación electrónica u **Orden de Batalla Electrónica** del enemigo; o, en términos más

simples, se hace necesario saber cuáles equipos electrónicos está utilizando el enemigo como dotación, cuáles son los procedimientos y tácticas a que se ajusta este uso, y en qué medida las operaciones que realice pueden depender del empleo de estos equipos.

Esto nos conduce a apreciar que la información constituye la base para cualquier plan de CME, ya que resulta necesario conocer los equipos enemigos, así como su utilización. Si no se cuenta con esta información, resulta imposible encarar CME eficaces.

La información resulta así la primera piedra sobre la que se construye la estructura de las CME, y cuyo conocimiento satisface dos requerimientos:

1º) El primero se relaciona con la obtención de la supremacía técnica. Sin una adecuada información técnica que supervisa la situación electrónica enemiga, no se puede proyectar o contar con los equipos de CME necesarios para combatir la amenaza.

Por ejemplo, si nuestros bombarderos deben enfrentarse con un sistema de seguimiento y guiado de misiles que opera en la frecuencia de 10 GHz, pero nuestros equipos de CME operan sólo en 3 GHz, podemos deducir fácilmente que el resultado puede ser fatal.

Esto significa que es necesario tener información actualizada de forma tal que nos permita valorizar la amenaza, y tener la posibilidad de proyectar u obtener los equipos de CME adecuados con los que equipar oportunamente nuestras fuerzas;

2º) El segundo requerimiento se refiere a la táctica, pues contando con la adecuada información, sin duda no se hará seguir a los aviones incursores rutas que atraviesen áreas defendidas por MSA, a menos que sea imposible hacer otra cosa. Esto implica contar con información para preparar la Orden de Batalla Electrónica, para decidir las rutas y los objetivos, a fin de estar seguros de que nuestras fuerzas incursoras atravesarán las defensas enemigas en los puntos más débiles, y no en los más fuertes.

Otra característica de la información es que ésta debe ser actualizada, de manera que en lo posible se esté siempre adelantado en la supervisión del potencial enemigo, sea desde el punto de vista técnico, en el proyecto y obtención de equipos de CME, sea en el aspecto operativo, para su empleo táctico.

Cómo obtener y procesar esta información es el aspecto de otra de las áreas de la Guerra Electrónica: las Medidas de Apoyo a la Guerra Electrónica, área que analizaremos más adelante.

Supongamos ahora que hemos obtenido la información necesaria sobre los sistemas electrónicos enemigos, y que de su estudio resulta necesario interferirlos, para impedir que puedan operar con éxito.

Se presenta de inmediato otra serie de interrogantes, como los que a continuación se expresan:

- 1º) Qué tipo de interferidor se debe utilizar;
- 2º) Si se debe usar ruido, o decepción;
- 3º) Por cuánto tiempo debe ser utilizado el disturbio seleccionado;
- 4º) Cuántas estaciones o plataformas deberán efectuarlo;
- 5º) Cuándo se debe iniciar y suspender la interferencia.

Para responder a estas preguntas, es necesario conocer las configuraciones de los incursores y las restricciones que éstas imponen, el tipo de misiones a realizar, y las características de los equipos de CME, tanto las de aquellos de que se dispone, como aquellos que serían necesarios.

Vemos ya que la introducción de todos estos factores, variables en su conjunto, hace que la solución del problema de las CME resulte extremadamente difícil. No obstante, si se consideran con antelación las incursiones a realizar, y se conoce la situación del probable enemigo en el área de interés, se podrán establecer las tácticas óptimas para cada caso.

La información que se posee, determina el tipo de equipos de CME con que dotar a los incursores que efectúan las misiones, entrando a jugar en este punto un nuevo factor, ya que el peso y volumen de estos equipos hace disminuir la carga de combustible y de armas ofensivas, lo que lleva a buscar una solución de compromiso entre equipos de CME versus armas a portar que sea la más adecuada. La Figura 19 muestra en forma gráfica cómo se determina esa solución, considerando para ello la probabilidad de supervivencia.

Obviamente, una vez lanzada la misión, si se ha hecho una selección errada tanto en cantidad como en capacidad del equipamiento de CME, y por lo tanto resultan insuficientes para anular o degradar los equipos electrónicos enemigos, la supervivencia queda librada a la suerte del piloto.

Refiriéndonos a la táctica de CME, la selección de la mejor está naturalmente condicionada a los equipos disponibles, llegando en algunos casos a que las restricciones que impone la falta de equipo de CME para el desarrollo de la misión, influyan en la decisión. (En numerosas misiones de los Estados Unidos sobre Vietnam, la falta de equipo de CME fue causa de aborto de las misiones.)

Otro factor a considerar para la selección de la táctica, se refiere a las ventajas o desventajas que se obtienen o que se dan al enemigo, cuando se emplea tal o cual determinada CME.

Una vez seleccionada la táctica a emplear (por ruido de cortina, **spot**, engaño, **chaff**, etcétera), se debe decidir cuándo comenzarla, y durante cuánto tiempo. Esto lo acabamos de considerar al analizar el escenario simulado en el tema anterior.

Existe otro elemento que debe ser tenido muy en cuenta. Vimos anteriormente que un sistema de armas de defensa desarrolla diversas funciones para realizar su misión (Figura 16), y ello nos debe alertar del hecho de que a veces, confundiendo una de estas funciones, lo que en la realidad se hace es mejorar otra.

Por ejemplo, las CME activas pueden disminuir los efectos de la función de seguimiento de un sistema, pero, al mismo tiempo, acelerar la función de detección, e incluso eliminar las indecisiones.

Si la interferencia se realiza mucho antes, su señal puede ser recibida por los operadores de radar enemigos antes que sea recibido el eco del avión. Esta acción precipitada, prácticamente hace que el alcance del radar adversario aumente; y eso, naturalmente, es una condición indeseada desde el punto de vista del avión en penetración, ya que reduce el tiempo en que puede estar fuera de detección.

Si la interferencia se realiza muy tarde, ya en la fase del ataque, puede resultar que el sistema defensivo no pueda ser neutralizado a tiempo en su seguimiento, y se produzca el lanzamiento del misil.

Vemos así como la defensa enemiga puede, en lugar de ser degradada, tomar ventaja de la interferencia, cuando la táctica que se utiliza es errada o no apropiada.

Hay un caso particular constituido por una técnica aplicada tanto al control de fuego como al guiado del misil. Esta técnica se denomina de dirección sobre la interferencia (**home on jamming**).

En esta técnica, el radar no depende del eco de la señal que envía, sino que se engancha sobre la señal de interferencia, resultando particularmente eficaz cuando la interferencia es por ruido.

En otras palabras, cuando la interferencia destruye o anula el eco normal del radar, éste se orienta por la interferencia, y asesta el misil o las armas antiaéreas directamente sobre la fuente generadora de la interferencia. Como se aprecia, esta técnica resulta sumamente peligrosa.

No obstante, existe para esta técnica una contramedida que consiste en utilizar el radar de a bordo para observar la aproximación del misil, y actuar oportunamente apagando el equipo de CME y eliminando, en el momento más crítico, la fuente de guiado del misil.

Sintetizando lo hasta aquí expresado, existe un **tiempo óptimo** durante el cual se deben utilizar las CME. El valor de este tiempo

depende de la naturaleza de esas CME que se emplean, y de las características del sistema defensivo a atacar.

Asimismo, podemos efectuar aquí un análisis de aquellos factores más generales a tener en cuenta en relación con el equipo de interferencia:

1. ¿Cómo será empleado el avión que lo llevará? Según esto, la plataforma puede ser subsónica o supersónica, y requerir mayor o menor potencia radiada efectiva.

1º) En operación fuera de alcance (**stand off**), el avión interferidor no penetra en el rango letal de las armas amenazas; pero debe proveer cubrimiento efectivo al avión atacante mientras trabaja en los lóbulos secundarios del radar víctima.

En este caso, la plataforma no necesita ser supersónica; pero sus equipos requieren una mayor potencia radiada efectiva;

2º) En acompañamiento o autoprotección, generalmente es vital que la plataforma sea supersónica, mientras que los requerimientos de potencia radiada efectiva pueden ser menores, debido a la ventaja de trabajar dentro del lóbulo principal del radar amenaza.

2. ¿El interferidor será montado en un **pod** o internamente? Esta pregunta puede tener considerable efecto, tanto en las performances del avión, como en el costo del sistema; y la causa principal de ello es que muchos aviones no fueron concebidos originariamente para llevar CME.

— El **pod**, normalmente reduce al avión a vuelos subsónicos;

— La instalación interna puede llevar el costo al doble.

3. ¿El sistema a emplear será de pulso o de CW?

1º) El sistema de pulso generalmente es más liviano, más eficiente en alimentación, y menos costoso que un CW de potencia pico comparable;

2º) El sistema de CW será efectivo en mayor grado que el de pulso contra un ambiente de señal múltiple.

4. ¿El interferidor debe ser un PO a un MOPA? Sabemos que el corazón del interferidor es su fuente de potencia de RF.

1º) En el caso del PO, esta fuente es algún tipo de autooscilador (magnetrón, carcinotrón, etcétera);

2º) EL MOPA normalmente utiliza un oscilador de bajo nivel modulable (transistor, varactor, YIG, etcétera), y un amplificador de potencia de alta salida (amplitrón, TWT, etcétera).

3º) A pesar de que parezca que el PO tiene una ventaja en costo y peso, el MOPA puede proveer técnicos de CME más efectivas y más watts por unidad de peso instalada; ventaja que a veces resulta definitiva en un equipo de a bordo.

Los descritos son algunos de los factores a tener en cuenta; pero no agotan el tema, ya que el ambiente EM, las amenazas, tácticas, técnicas y tecnologías disponibles, también influyen; y en los sistemas de a bordo hay que agregar tamaño, peso y alimentación disponible.

#### **E) VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS POSIBLES ALTERNATIVAS**

En el ataque a las defensas enemigas se seleccionará el punto más débil; y naturalmente, la defensa buscará de reforzar estos puntos débiles. Por ejemplo, nosotros construimos equipos para interferir los radares enemigos, y en respuesta el enemigo empleará dispositivos contra interferencias, o multiplicará el número de radares y los tipos, para obtener la máxima diversidad de frecuencias. Su recurso a las CCME hará disminuir o anulará el efecto de nuestras interferencias.

Este juego de encontrar los puntos débiles por un lado, y de reforzarlos por el otro, lleva a una verdadera batalla entre las CME y las CCME. A medida que esta batalla se va desarrollando, se puede llegar al punto en el cual el gasto a afrontar para neutralizar el sistema defensivo adversario mediante las CME, equipara el costo de la destrucción física del sistema.

Por ejemplo, un radar de alerta temprana puede resultar siempre más eficaz de lo que era antes, por lo cual llega un punto en el cual el avión incursor considera más económico y práctico llevar un misil con guía pasiva (**home on radar**) para destruir el radar, antes que llevar una gran cantidad de equipos de CME.

Como segundo ejemplo consideramos un tipo de defensa en el cual hay tres elementos principales constituidos por radares de detección y seguimiento, centros de control y calculadores, cazas interceptores y misiles.

Cada fase de la operación le ofrece al avión incursor la oportunidad de interferir, en diversos grados, el sistema de defensa.

Durante la fase inicial de la penetración, el incursor está bajo la vigilancia de los radares de gran potencia de alerta temprana. Estos radares no representan en sí una amenaza directa de destrucción al incursor, ya que naturalmente es el caza o el misil, dirigidos por estos radares, los que representan la real amenaza. Por lo tanto, antes que combatir a estos radares, es preferible evitar al máximo la detección.

Un método muy familiar que permite cumplir con esta táctica es el de aproximarse al área del objetivo a una altura adecuada, utilizando las características del terreno y la curvatura de la Tierra, procurando, al ocultar el avión, disminuir al máximo el tiempo de alerta.

Como es lógico, ésta es una táctica que hace consumir combustible (reduciendo el radio de acción y la carga de armas), por un lado, y por el otro impone una fatiga mayor a los pilotos.

Si las defensas enemigas no son realmente profundas, el incursor puede elegir la altura óptima para la aproximación, hasta llegar apenas fuera del alcance de detección enemiga estimado, y luego descender a las cotas bajas para la aproximación final sobre el objetivo. Con esto, el exceso de combustible a consumir resulta el mínimo, y se mantiene la esperanza de escapar a la detección.

Si, por el contrario, la defensa enemiga es adecuada, tendrá sus radares de alerta temprana emplazados a cierta profundidad en su territorio, y cubierto el espacio ciego que queda entre la parte inferior del lóbulo y el terreno, ya sea con baterías de MSA o con receptores de ELINT:

1º) Si el cubrimiento se efectúa con baterías de MSA, el incursor se enfrentará a la disyuntiva de efectuar la penetración a alta cota y ser detectado a gran distancia, pero evitando las baterías de MSA, o penetrar a baja cota, para no ser detectado por los radares de alerta temprana, pero con el riesgo de enfrentarse a los MSA;

2º) El cubrimiento a baja cota que se efectúa con receptores de ELINT usufructúa el hecho de que el avión incursor, al efectuar su penetración aprovechando las características del terreno, debe recurrir a equipos (radares) que le permiten seguir el perfil del terreno, pero que para ello emiten radiación EM. Esta radiación es la que detectan los receptores de ELINT, y utilizan para la localización del incursor.

Respecto al vuelo a baja cota, cabe hacer algunas consideraciones. Por ejemplo:

1º) Si el avión incursor es un bombardero diseñado para operar a alta cota, la fatiga del material y del personal, y el adiestramiento que requerirá éste, probablemente justificarán que antes de ello sea más conveniente dotar al bombardero con adecuado equipo de CME;

2º) Resulta interesante considerar en este punto el gráfico que se adjunta como Figura 20. Este gráfico ha sido elaborado por la NATO basándose en las características de los teatros de operaciones de la Europa central, y teniendo en cuenta las performances de los sistemas de armas que se hallaban en servicio activo o mediados de la década del 70.

Caben unas últimas consideraciones a tener en cuenta, y que están dadas por las características y performances tanto de la caza como de los misiles superficie-aire

La fase final de ataque, por parte de un misil o de un caza interceptor a un avión incursor, es la fase más crítica de la batalla. Los cazas modernos de alta prestación pueden hacer uno, o al máximo dos ataques sobre el avión incursor, y luego se encuentran en condiciones de tener que retornar a su base, debido al combustible. En cuanto al misil superficie-aire, es sumamente escaso el tiempo de que dispone para su control y guiado.

Con ello vemos que si la interferencia puede ser empleada con éxito por un breve período, durante esta fase crítica de la penetración se puede lograr que el ataque del caza o del misil resulte vano.

Por otra parte, si la relación en puja entre equipos de CME y de CCME no es la adecuada, el incursor se puede ver forzado a efectuar un ataque desfavorable o fallido.