

**UTILIZACIÓN EFICAZ DEL ESPECTRO DE FRECUENCIAS  
RADIOELÉCTRICAS POR ESTACIONES DE RADAR DEL  
SERVICIO DE RADIODETERMINACIÓN**

(Cuestión 35/8)

(1982-1986-1990)

**1. Introducción**

1.1 En la Cuestión 35/8 se pide que se estudie la eficacia que puede obtenerse en el servicio de radiodeterminación mediante la utilización de técnicas de supresión de interferencia para estaciones de radar (punto 1 de la parte dispositiva), información sobre las características técnicas del radar (punto 2) y los servicios de radiodeterminación que pueden utilizar eficazmente técnicas de supresión de interferencia (punto 3).

1.2 Este Informe examina aspectos de la Cuestión relativos a las técnicas de reducción de interferencia para radares de barco del servicio de radionavegación marítimas, radares fijos del servicio de radiodeterminación y balizas de radar marítimas (racons) en el caso de que la interferencia proceda de balizas de radar aeronáutico.

1.3 Se examina la banda de ondas milimétricas comprendida entre 30 GHz y 150 GHz a fin de realizar un examen general de la probable utilización de esta parte del espectro para aplicaciones de radar.

**2. Reducción de la interferencia: Consideraciones generales**

2.1 Existen algunos métodos para reducir la interferencia mutua y permitir que estaciones del servicio de radionavegación muy próximas utilicen las mismas frecuencias.

Algunas de estas técnicas aplicables a:

- radares de barco,
- radares fijos,
- la compartición de frecuencias entre balizas de radar aeronáutico instaladas en tierra y de radar marítimo en la banda 9300-9320 MHz,

se describen a continuación.

Las técnicas, sin embargo, no son necesariamente intercambiables entre categorías; en tanto que los métodos de supresión de interferencia descritos para radares de barco pueden ser aplicables a radares fijos considerando caso por caso, lo contrario no es necesariamente cierto.

2.2 Las técnicas que podrían reducir la interferencia entre radares pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Las que se aplican a un transmisor de radar y reducen el número de señales no deseadas generadas que pueden causar o crear interferencia (supresión de interferencia a bordo de barcos principalmente).
- Las que se aplican a un receptor de radar y reducen los efectos de las señales que causan o crean interferencia (supresión de interferencia a bordo de barcos principalmente).
- Las que se aplican a un receptor de radar y permiten a éste discriminar entre impulsos correspondientes a señales deseadas y no deseadas (supresión de interferencia principalmente de radares fijos o radares aeronáuticos).

---

\* Se ruega al Director del CCIR que señale este Informe a la atención de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), de la Organización Marítima Internacional (OCMI) y de la Asociación Internacional de Señalización Marítima (IALA).

### 3. Métodos de reducción de interferencia: Sistemas a bordo de barcos

3.1 Las técnicas que, en principio, son capaces de contribuir a la reducción de la interferencia radar-radar entre sistemas de radares primarios a bordo de barcos, pueden utilizarse separada o conjuntamente para reducir ya sea la generación de señales interferentes (o sus intensidades) producidas por el usuario o los efectos de las interferencias sobre el usuario. Los métodos que pueden aplicarse comprenden:

- el espectro transmitido por el magnetrón de impulsos;
- el perfil de los impulsos del modulador del transmisor y en radiofrecuencia;
- las emisiones no esenciales de los radares;
- la selectividad de los receptores de radar;
- tratamiento del video;
- frecuencia aleatoria de repetición de los impulsos;
- la ganancia de antena y las características de lóbulos laterales.

#### 3.2 Espectro transmitido por el magnetrón de impulsos

Puede considerarse que los magnetrones empleados en los sistemas de radar marítimos tienen una anchura de banda espectral nunca mejor que 10 a 13 dB por debajo del valor de cresta a

$$\pm \frac{5}{4 \times \text{anchura del impulso } (\mu\text{s})} \text{ MHz}$$

de la frecuencia central natural y que será incluso no mejor que unos 26 dB por debajo del valor de cresta a  $\pm 100$  MHz de la frecuencia central en la banda X (alrededor de 9 GHz). Si se tienen en cuenta las anchuras de banda atribuidas a los sistemas de radionavegación marítima en la banda X así como el elevadísimo número de sistemas en funcionamiento en esa banda, que sigue aumentando, es evidente en primer lugar que toda aportación que reduzca la emisión espectral de tales magnetrones tendería a reducir los niveles de interferencia entre radares y, en segundo lugar, que existe considerable margen para reducir mucho las actuales anchuras de banda y niveles de emisión espectral, incluso por el costoso procedimiento de reemplazar los dispositivos de magnetrón por otros, por ejemplo, Klystrones. En cualquier supuesto, la reducción de las anchuras de banda y los niveles de las emisiones espectrales en un tipo de equipo de transmisión de radar mejorará siempre el funcionamiento de los receptores correspondientes y reducirá la interferencia causada a otros usuarios de radar.

#### 3.3 Perfil de los impulsos transmitidos

Existen técnicas que permiten controlar el perfil de los impulsos transmitidos. La precisión de la medición de la distancia depende en gran medida de la pendiente del flanco anterior de los impulsos transmitidos por el radar. Así pues, si se necesita una precisión dada para la medición de la distancia, ello determinará el tiempo mínimo necesario de establecimiento de los impulsos. Si el tiempo de establecimiento se reduce por debajo de ese valor necesario, se producirá una transmisión de energía en las bandas laterales que:

- no será utilizada por el radar de origen, y
- causará interferencia a otros radares.

El flanco anterior del impulso no debe ser más breve de lo indispensable para lograr la precisión necesaria de medición de la distancia.

Un razonamiento complementario se aplica a las exigencias relativas a la discriminación de distancia. Ello depende en gran medida de la pendiente del flanco posterior del impulso (así como de la duración del impulso). La exigencia de una discriminación de distancia entre blancos dada determinará el tiempo mínimo necesario de caída del impulso, así como de la duración de éste. Si el tiempo de caída del impulso se reduce por debajo de ese valor necesario, habrá una transmisión de energía en las bandas laterales que:

- no será utilizada por el radar de origen, y
- causará interferencia a radares análogos.

El flanco posterior del impulso no debe ser más breve de lo indispensable para proporcionar la discriminación de distancia necesaria.

Actualmente, el perfil espectral de las transmisiones de los radares primarios se extiende mucho a ambos lados de las frecuencias centrales de transmisión. Los receptores correspondientes de radar sólo utilizan una proporción reducida de este espectro de energía, y no sería necesario emitir la energía restante.

### 3.4 *Emisiones no esenciales de los radares*

Los magnetrones de impulsos generan energía radioeléctrica en frecuencias parásitas. Éstas raramente mantienen una relación determinada con las frecuencias de trabajo. Es posible combatir estas emisiones no esenciales mediante un diseño apropiado de los transmisores. La interferencia podría reducirse si se adoptasen, en el plano internacional, niveles aceptables.

### 3.5 *Selectividad de los receptores de radar*

De la precisión mínima de medición de la distancia que se haya especificado se derivará una anchura de banda mínima necesaria del receptor. Otras consideraciones, tales como el propósito de reducir al mínimo los efectos de los ecos de mar, y las exigencias de control automático de frecuencia han conducido al diseño de receptores con características especiales que exigen anchuras de banda mayores que las resultantes exclusivamente de la precisión exigida en la medición de distancias. Por consiguiente, tales receptores estarán más sujetos a interferencia de otras transmisiones de radar. En principio sería posible especificar anchuras de banda mínimas. Más allá de esta anchura de banda, los receptores deberían eliminar en la mayor medida posible las radiaciones, ya que son innecesarias. Ello podría lograrse por técnicas ya conocidas.

### 3.6 *Técnicas de correlación de video y otras técnicas de proceso del video*

A fin de reducir al mínimo los efectos de ciertos tipos de interferencia, es posible utilizar en los receptores de radar técnicas de correlación de video. Para ello se registra la información video proporcionada por los ecos de un impulso emitido por el radar propio. Se registra seguidamente la información video suministrada por el eco del impulso siguiente del radar propio y se la compara con los ecos previamente registrados.

Se emplean en la navegación marítima varios sistemas de este tipo. Su principal limitación radica en su ineficacia contra los ecos de mar, ya que tales ecos de radar están correlacionados durante periodos que son largos en comparación con los intervalos típicos de repetición de los impulsos de radar. Existe también un ligero riesgo de reducir la capacidad de detección de ecos débiles.

Otra limitación importante de esta técnica es que suprime la respuesta de las balizas de radar de barrido escalonado (racons – RADAR beaCONS) (véase el § 2.1.2 del Informe 774) de uso común en los Estados Unidos de América. La respuesta de una racon de barrido escalonado permanece en la pantalla de radar del barco durante más tiempo que la respuesta de una racon de barrido lento. Pero como el radar recibirá a lo sumo uno de cada cuatro impulsos racon transmitidos, un radar que utilice técnicas de correlación de video suprimirá la respuesta de esta racon.

El tratamiento de video mediante circuitos de diferenciación, como por ejemplo mediante el dispositivo automático antiparásitos con control de ganancia o el de proporción constante de falsas alarmas (CFAR), resulta útil también para limitar la interferencia indeseada. Pero estas técnicas sólo permiten la visualización del flanco delantero de la respuesta de una racon. A menos que la racon sea una versión de barrido rápido (tipo difícil de codificar con un identificador Morse, y limitado a unas pocas instalaciones únicamente), el identificador Morse no será discernible en la pantalla de un radar de navegación de barco que utilice esta técnica, y en muchos casos la respuesta no será visible en absoluto en la pantalla. Cabe señalar que, cuando se utilizan dispositivos de diferenciación, esta limitación afecta a casi todas las racon utilizadas actualmente en el mundo entero.

Un medio por el que puede evitarse esa pérdida de la respuesta de una racon consistiría en modular el primer impulso racon con un código único y en detectar el código en la FI del radar, contorneando así los circuitos de proceso video. En el Reino Unido se procede a investigar los detalles de ese sistema (véase también el § 5 del Informe 774).

### 3.7 *Frecuencia aleatoria de repetición de los impulsos*

El uso de una frecuencia de repetición de impulsos fluctuante, que varíe en forma pseudoaleatoria, puede reducir la interferencia entre radares, si se utiliza junto con las técnicas de correlación de video ya descritas. Mediante la dispersión de la transmisión de los impulsos del radar propio, los intervalos entre éstos y los impulsos recibidos de cualquier otro radar en una configuración de posible interferencia serán aleatorios, y por tanto, el efecto de supresión del proceso de correlación de video hará que sólo se visualice una pequeña proporción de los impulsos interferentes. Si la correlación de video se extiende a tres impulsos sucesivos, la probabilidad de que se visualice un impulso interferente es realmente muy pequeña.

El principio está teóricamente limitado en esta aplicación por lo menos en dos aspectos:

- la frecuencia de repetición de impulsos máxima estará limitada por la escala de distancias seleccionada, y
- la frecuencia de repetición de impulsos mínima estará limitada por la necesidad de evitar pérdidas de información inaceptables.

Una relación de fluctuación de aproximadamente 2 : 1 representa el ámbito teóricamente seguro.

No se tiene conocimiento de que se empleen actualmente sistemas que apliquen esta técnica pseudoaleatoria, aunque ya se utilizan con otros fines técnicas de frecuencia variable de repetición de los impulsos. La única limitación de funcionamiento es, como ya se ha indicado, una reducción ligera pero controlada de la cantidad de información recibida.

### 3.8 *Ganancia de antena y características de lóbulos laterales*

3.8.1 Las características típicas de las actuales antenas de radar son aproximadamente las siguientes:

- ganancia = 24-30 dB,
- nivel del primer lóbulo lateral *importante dentro de  $\pm 10^\circ$  del eje de puntería de la antena*: más de 23 dB por debajo del lóbulo principal,
- todos los demás lóbulos laterales a *más de  $\pm 10^\circ$  del eje de puntería de la antena*: más de 30 dB por debajo del lóbulo principal.

3.8.2 Las características de funcionamiento antes indicadas pueden mejorarse hasta alcanzar los valores siguientes:

- ganancia = 40 dB,
- primer lóbulo lateral: 33 dB por debajo del lóbulo principal (ganancia = 7 dB),
- todos los demás lóbulos laterales: más de 40 dB por debajo del lóbulo principal (ganancia = 0 dB).

El diseño de antena para su utilización a bordo supondría un aumento del tamaño y peso y exigiría una considerable reducción de todas las tolerancias mecánicas. Su aplicación estaría limitada, por tanto, a los barcos de mayor tamaño. Por otra parte, es dudoso si las menores anchuras del haz principal que ello entrañaría serían ventajosas, por ejemplo, en relación con los ecos de mar.

Además, las mejoras en la antena y su receptor asociado, no mejoran la calidad de la combinación antena-receptor en lo que concierne al rechazo de interferencia procedente de otros radares.

3.8.3 Se han logrado características de funcionamiento análogas a las indicadas en el punto 3.8.2 utilizando técnicas de reducción de los lóbulos laterales en las antenas del tipo descrito en el punto 3.8.1 lo que evitaría en gran medida los inconvenientes mencionados.

3.8.4 A fin de obtener las ventajas de los diseños de antena mencionados en los puntos 3.8.2 y 3.8.3 sería necesario reducir la potencia del transmisor para alcanzar la misma p.i.r.e.

### 3.8.5 *Resumen sobre la técnica de reducción de interferencia a bordo de los barcos*

En el cuadro I se enumeran las técnicas de reducción de interferencia anteriormente descritas y se indican las posibles ventajas e inconvenientes de cada una. Ninguna de las técnicas mencionadas causará una disminución importante de la sensibilidad del sistema. Pero ciertas técnicas entrañan la pérdida de la visualización de las señales de balizas de radar y de blancos pequeños. En estos casos, por motivos operacionales, conviene poder desconectar mediante un conmutador los circuitos de rechazo de interferencia. En determinados casos, ciertas técnicas aisladas o ciertas combinaciones de técnicas pueden mejorar la sensibilidad, la precisión de la medición de la distancia y/o la discriminación de distancia. Este breve examen de las técnicas disponibles demuestra que existen varios métodos que podrían contribuir a la reducción de la interferencia. Algunos pueden parecer de escaso interés por una variedad de razones ajenas a la esfera técnica. Un criterio técnico importante para juzgar cualquier método, es el de que no afecte a la compatibilidad entre todos los sistemas. Una sola de las técnicas de reducción de la interferencia, la descrita en el punto 3.8, limitaría el futuro empleo de una frecuencia asignada. Cuanto menor sea la anchura del haz de la antena (es decir, cuanto mayor sea la ganancia), menor será la anchura de banda utilizable. Ello impediría emplear una antena directiva en forma concurrente con una baliza de radar o un sistema de respondedor de barco o aeronave que funcione en frecuencias separadas por sólo el 3% aproximadamente de la frecuencia del radar propio.

CUADRO I – Reducción de la interferencia para radares móviles de barco

Técnica de reducción de la interferencia	Facilidad de empleo	Fiabilidad	Mantenimiento	Desconexión cuando no se emplee	Eliminación de las respuestas de balizas	Posibilidades a largo plazo	Limitación del uso de banda ancha
1 Control del flanco anterior del impulso transmitido	F	NC	SE	I	no	si	no
2 Control del flanco posterior del impulso transmitido	F	NC	SE	I	no	si	no
3 Reducción de las emisiones no esenciales	F	NC	SE	I	no	si	no
4 Mejora o sustitución del magnetrón	F	NC	SE	I	no	si	no
5 Aumento de la selectividad del receptor de radar	F	SE	SE	I	no	L	no
6 Técnicas de correlación de video	F	SE	LA	si	L	si	no
7 Frecuencia aleatoria de repetición de los impulsos	F	SE	LA	si	no	si	no
8 Mejora de la relación ganancia/lóbulos laterales de la antena	F	NC	SE	I	L	L	si

F : fácil  
 NC : no conocida  
 SE : sin efecto  
 LA : ligero aumento (circuitos adicionales)  
 I : inaplicable  
 L : limitadas

#### 4. Métodos de reducción de la interferencia: Sistemas de radares fijos

##### 4.1 Discriminación de la frecuencia de repetición de los impulsos

4.1.1 En algunas zonas del mundo, en las que se registra una alta densidad de tráfico de barcos o aeronaves, es necesario explotar diversas instalaciones de radar dentro de su alcance de interferencia. Las condiciones de propagación anormales pueden, en ciertos casos, aumentar el alcance en el que se produce la interferencia, especialmente en latitudes bajas tales como las de la región mediterránea.

4.1.2 Pueden aplicarse algunas de las técnicas descritas en el punto 3 anterior para reducir la interferencia entre estaciones de radar fijas. Seguidamente se describe otra técnica que utiliza la discriminación por la frecuencia de repetición de los impulsos.

4.1.3 Es posible evitar la interferencia entre estaciones de radar fijo mediante la separación de las frecuencias radioeléctricas o la discriminación por la frecuencia de repetición de los impulsos (PRFD). La banda de frecuencias atribuida a la radionavegación puede no ser suficientemente ancha para asignar canales de frecuencia separados a todas las estaciones dentro de la distancia de interferencia. Ello es particularmente cierto cuando se trata de estaciones de radar móviles, como las de los barcos o aeronaves.

4.1.4 El efecto de la interferencia puede reducirse si se dan a los impulsos emitidos por un radar características determinadas, de modo tal que sólo los impulsos recibidos que se ajusten a esas características aparezcan en la pantalla del mismo. Mediante el empleo de diferentes frecuencias de repetición de los impulsos en las distintas estaciones se consigue que sólo aparezca una señal en la pantalla cuando un blanco devuelve dos impulsos sucesivos con el intervalo correcto entre éstos. Este método se ha usado con éxito en la red de estaciones de radar a 600 MHz utilizadas para el control del tráfico aéreo por la Civil Aviation Authority del Reino Unido.

4.1.5 Los métodos para seleccionar frecuencias apropiadas de repetición de los impulsos ya han sido expuestos en un artículo publicado [Blythe, 1970]. La selección se complica por el hecho de que las referidas estaciones de radar utilizan procedimientos de indicación de blancos móviles a fin de distinguir entre los reflejos de radar procedentes de objetos estacionarios o que se desplazan lentamente, tales como los edificios y las nubes, y los procedentes de aeronaves en rápido movimiento que deben poderse ver incluso en presencia de ecos parásitos. Estos métodos de indicación de blancos móviles se sirven de la comparación de fase entre los impulsos reflejados sucesivos a fin de anular las señales devueltas que presentan la misma relación de fase con el impulso transmitido. Desafortunadamente, al mismo tiempo que se anulan los reflejos procedentes de objetos estacionarios, se suprimen también los procedentes de blancos que se mueven con determinadas velocidades radiales, por lo que las aeronaves que se desplazan a esas velocidades indetectables no aparecen en la pantalla del radar. A fin de evitar que esos blancos pasen inadvertidos los impulsos de radar no se emiten a una velocidad regular, sino que se emplean en el tren de impulsos dos o más intervalos diferentes. Este procedimiento se conoce con el nombre de escalonamiento de los impulsos.

4.1.6 La planificación de las frecuencias radioeléctricas de los equipos de radar y de las frecuencias de repetición de los impulsos, tanto para el sistema de escalonamiento de los impulsos como para el de PRFD, dependerá de las situaciones relativas de las estaciones de radar y de las condiciones de propagación en la zona. Mediante la PRFD, es posible aumentar considerablemente el número de estaciones que trabajen sin interferencia y, por tanto, utilizar más económicamente el espectro.

4.1.7 Tomando en consideración estas técnicas, ha podido elaborarse en el Reino Unido un plan para el funcionamiento de cierto número de radares de 50 cm, de gran potencia, en una banda de frecuencias relativamente estrecha; por ejemplo, siete radares de ese tipo trabajan en la frecuencia de 591 MHz y cinco en la de 597 MHz. Estas técnicas también permiten que dos radares de elevada potencia funcionen en el mismo aeropuerto en la misma banda de frecuencias sin interferencia inaceptable.

4.1.8 En el Reino Unido se ha utilizado la PRFD en la banda de radar a 600 MHz a fin de evitar la necesidad de ampliar el espectro utilizado y permitir que el número necesario de radares trabaje en la limitada banda atribuida sin causar interferencia inaceptable entre ellos o a la recepción de televisión en otros países.

#### 4.2 Límite de la interferencia admisible en una pantalla de radar que presenta imágenes en bruto

No existe un método para suprimir completamente la interferencia sin degradar la probabilidad de detección, por lo que es importante conocer el nivel de interferencia que puede aceptarse. Naturalmente, un nivel de interferencia admisible depende en alto grado de la subjetividad de los controladores ATC, por lo que se acepta comúnmente como referencia la opinión consensuada de dichos controladores en relación con las siguientes muestras de pantalla de radar:

FIGURA 1 - Cierta interferencia semejante a "líneas de punto" en una misma dirección pueden observarse en la pantalla una vez por cada periodo de varios minutos

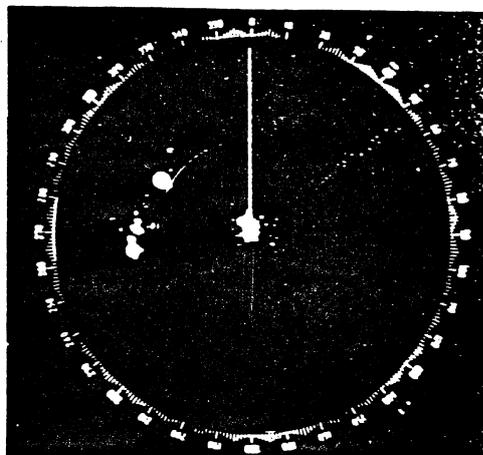
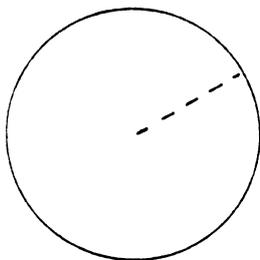


FIGURA 2 - Similar a la anterior, pero el ritmo aumenta a una vez por cada varios barridos (unos 10 a 30 segundos)

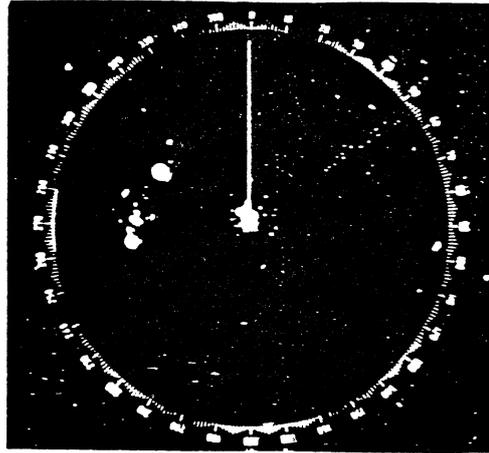
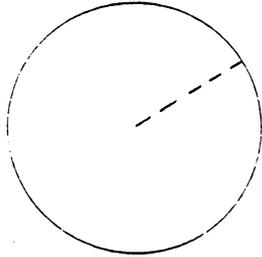


FIGURA 3 - Una interferencia semejante a "líneas de puntos" puede observarse en una misma dirección y otra interferencia en una dirección indefinida por cada barrido

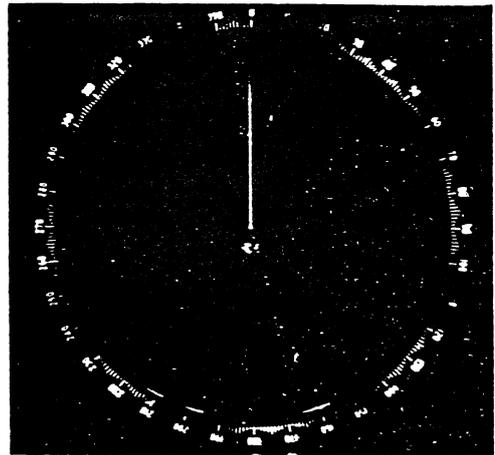
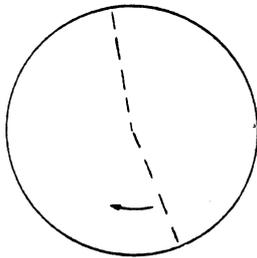


FIGURA 4 - Las "líneas de puntos" pueden verse en una misma dirección y otra dirección indefinida por cada barrido y una interferencia centrada en otra dirección comprendida en un sector de unos 30 a 40 grados puede ser observada en varias exploraciones

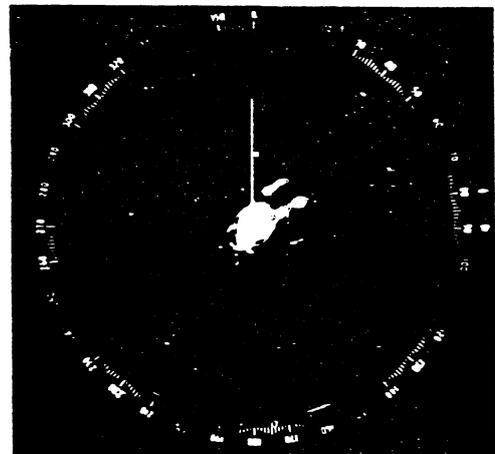
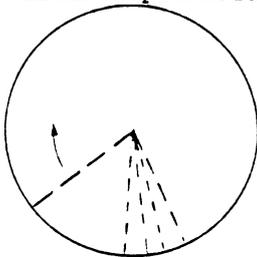


FIGURA 5 - Las interferencias centradas en una misma dirección y en una dirección indefinida se extienden unos 30 a 40 grados en cada exploración

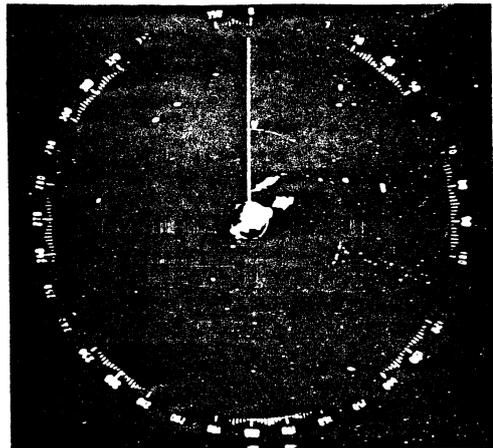
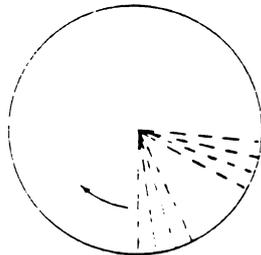
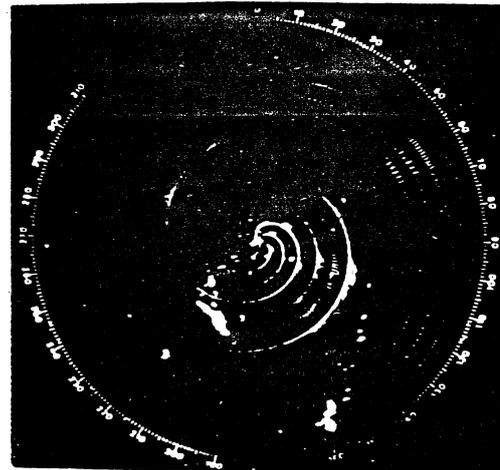
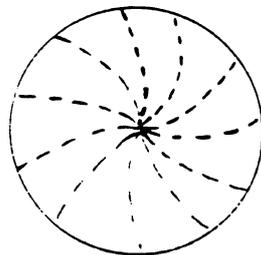


FIGURA 6 - Pueden verse interferencias casi en cualquier parte de una pantalla de radar



En el Japón se han mostrado ejemplos de los casos ilustrados en las figs. 1 a 6 a más de 200 controladores ATC (control del tráfico aéreo). Según su respuesta se llegó a la conclusión de que los casos ilustrados en las figs. 1 y 2 dan el límite de interferencia admisible en una pantalla de radar que presenta imágenes en bruto.

En algunos países, la mayoría de los radares ATC emplean imágenes procesadas. En la pantalla no aparecen imágenes en bruto. Para esos tipos de radares las opiniones de los controladores no son apropiadas ni constituyen indicadores fiables para la determinación de la interferencia.

#### 4.3 Técnicas de reducción en el dominio de la frecuencia de la interferencia a los radares

Es importante saber que las técnicas de rechazo de interferencia en el dominio de las frecuencias son primordialmente importantes porque puede suprimirse la propia señal interferente. En cambio, las técnicas en el dominio del tiempo, denominadas AIRT sólo pueden rechazar los impulsos de interferencia recibidos.

A este respecto, antes de aplicar las técnicas en el dominio del tiempo tales como la AIRT, deben considerarse las técnicas en el dominio de la frecuencia y la combinación de ambas.

#### 4.3.1 Niveles de emisión no esenciales de las válvulas de transmisión

Los niveles intrínsecos de las emisiones no esenciales de un transmisor de radar dependen por lo general de las características esenciales del tipo de la válvula de salida del radar.

Es importante conocer los niveles intrínsecos de emisión no esencial y las variaciones para los distintos tipos de válvulas de salida del transmisor a fin de evaluar el potencial de interferencia entre radares. Esta información es importante al identificar los tipos de válvulas de radar de microondas que favorecen una utilización eficaz del espectro y como parámetro en la predicción de la interferencia.

El ruido intrínseco de emisión no esencial de las válvulas de los radares de microondas predomina generalmente en separaciones de frecuencia superiores a 100 MHz de la frecuencia de trabajo del radar. Así, en separaciones de frecuencias superiores a 100 MHz, el espectro de emisión del radar es independiente de las características del sistema radar, tales como parámetros de modulación por impulsos (por ejemplo, tiempo de subida/bajada, onda digital sin modular, onda modulada por impulsos comprimidos u onda modulada por impulsos codificados en fase). Sobre la base de las mediciones [1] realizadas en varias bandas de radiodeterminación entre 1,25 y 10,5 GHz y un examen de las características de las válvulas con los grandes fabricantes de válvulas de radar de microondas, el nivel intrínseco de emisión no esencial para los diversos tipos de válvula de microondas utilizados por los radares es el siguiente:

Tipo de válvula	Nivel de emisión no esencial con relación a la portadora medido en una anchura de banda de referencia de 1 MHz (dBc)
<u>De campos cruzados</u>	
Amplificadores de Campos Cruzados (ACC)	-40 a -70
Magnetrones (sin enganche)	-65 a -80
Magnetrones (con enganche)	-75 a -90
Magnetrones coaxiales	-60 a -75
<u>De haz lineal</u>	
TOP de cavidades acopladas	-105 a -115
Klystrones	-110 a -120

La atenuación adicional de los niveles de emisión no esencial puede conseguirse mediante el uso de filtros pasobanda de radiofrecuencia (RF). Con estos filtros, los niveles de emisión no esencial de los ACC, de los magnetrones y de los magnetrones coaxiales pueden reducirse por debajo de -100 dBc.

[1] HINKLE, ROBERT L. Background Study on Efficient Use of the 2 700 - 2 900 MHz Band, NTIA Report 83-117, August 1983, NTIS #PB 83-214288.

#### 4.3.2 Dispositivos de filtrado aplicables

Hay muchos filtros aplicables en transmisión y recepción, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Los filtros de transmisión son particularmente eficaces, naturalmente. Debe tenerse en cuenta la pérdida de inserción de los dispositivos de filtrado como una degradación de la probabilidad de detección.

Debe señalarse que el nivel de emisiones fuera de banda de un radar es más alto que el previsto en otra frecuencia de radar; en este caso, el preselector de otro radar interferido no es ya un dispositivo clave para el efecto de rechazo de imagen, porque el componente de la emisión fuera de banda de un radar en otra frecuencia de radar es recibido sin ninguna atenuación del preselector.

#### 4.4 *Técnicas de reducción de interferencia asincrónica para sistemas fijos de radar*

##### 4.4.1 *Introducción*

El espectro de emisión del transmisor de una estación de radar de impulsos en el servicio de radiodeterminación suele ser mucho más ancho que el espectro de los sistemas generales de telecomunicaciones. Algunas veces es muy difícil lograr el funcionamiento sin interferencia entre estaciones aplicando solamente los procedimientos de asignación de frecuencias cuando dichas estaciones están dentro de una distancia determinada entre sí. En consecuencia, además de los procedimientos de asignación de frecuencias, se requieren técnicas de reducción de interferencia para lograr el funcionamiento sin interferencia. A continuación se describe un tipo de técnica de reducción de interferencia utilizado en los radares de control de tráfico aéreo (ATC) que funcionan en el servicio de radionavegación aeronáutica.

4.4.2 Se considera que las técnicas de reducción de interferencia en el dominio del tiempo son las más prácticas para los radares de ATC, teniendo en cuenta la actual tecnología del control del tráfico aéreo en el mundo y comparando las técnicas en el dominio de la frecuencia, en el dominio del tiempo y las combinaciones de métodos en ambos dominios. Las técnicas de reducción de interferencia asincrónica (AIRT) descritas a continuación se aplican en el dominio del tiempo. Se utilizan en Japón, donde su eficacia es reconocida. Se describen también técnicas auxiliares utilizadas para aumentar la eficacia de las AIRT.

##### 4.4.3 *Descripción de las AIRT*

Los ecos deseados de un radar se reciben de la misma distancia (o al mismo tiempo) dentro de un determinado ángulo acimutal, pero las señales interferentes de otros radares son generalmente asincrónicas respecto de los ecos deseados. En consecuencia, éstos pueden extraerse, por ejemplo, almacenando los ecos de datos de dos a cuatro periodos de impulsos de radar deseados. Dichos ecos de datos son almacenados en una memoria y utilizados para establecer una correlación de distancia (o tiempo) entre los datos almacenados y los últimos ecos. En el anexo I se describe el sistema AIRT utilizado en el estudio de simulación expuesto.

##### 4.4.4 *Factores que degradan la calidad de funcionamiento de las AIRT y medidas correctivas*

###### 4.4.4.1 *Degradación de la calidad de funcionamiento de las AIRT*

Un requisito previo para el funcionamiento eficaz de los circuitos de las AIRT es limitar la anchura de una señal impulsiva entrante en el circuito a un valor específico o menos. Cuando no se cumple esta condición y la anchura del impulso es superior al valor limitado, aumentará la correlación de tiempo requerida de las señales asincrónicas y disminuirá la eficacia de la AIRT. Esto se debe a la gran anchura de impulso y a la intensidad excesiva de la señal interferente.

En la fig. 7 se muestra la relación entre la intensidad de la señal interferente (relativa al nivel medio de ruido) y la anchura del impulso a la salida. En la fig. 8 se muestra el diagrama de bloques del circuito de medición. La simulación de la degradación de la calidad de funcionamiento de la AIRT debido a la gran anchura del impulso se realizó utilizando las señales indicadas en la fig. 9. En este caso se supone que la anchura del impulso en el espacio, tanto para la señal deseada como para la señal interferente asincrónica, es de 1 microsegundo. Según esta simulación, la zona en la cual se produce interferencia es la indicada mediante la línea de trazo continuo de las figs. 10a y 10b.

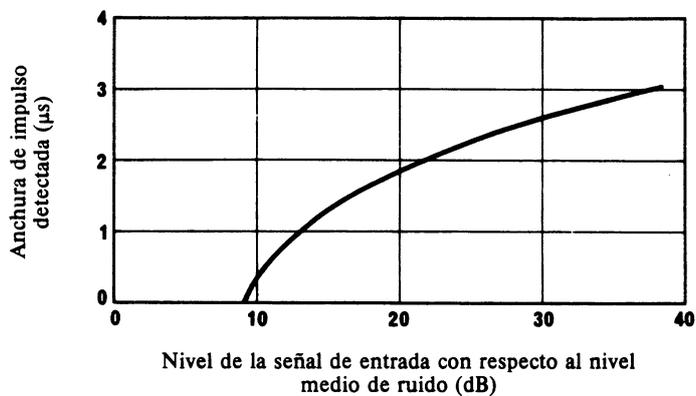


FIGURA 7 - Anchura de impulso detectada en función del nivel de la señal de entrada

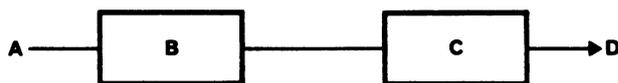


FIGURA 8 - Circuito de medición

- A:** entrada de la señal modulada en impulso, 1  $\mu$ s
- B:** filtro adaptado
- C:** circuito umbral, 10,8 dB con respecto al nivel de ruido medio
- D:** salida de impulso detectada

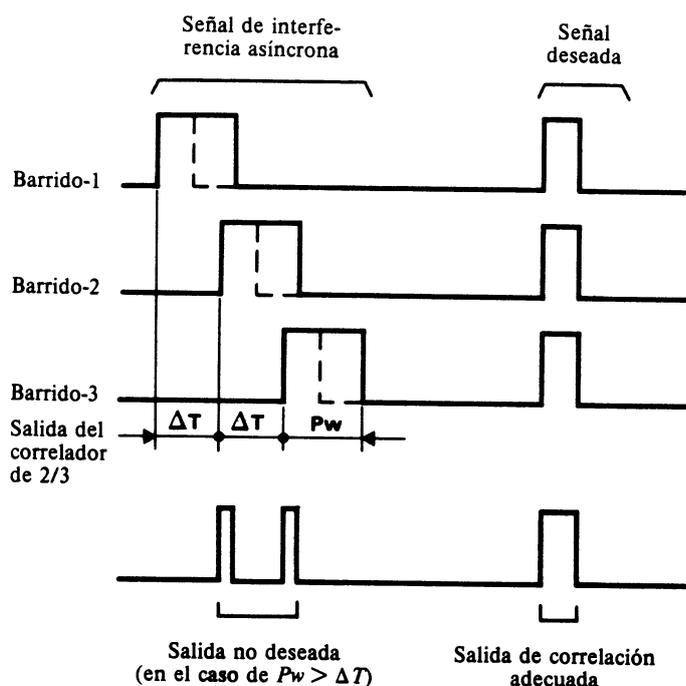


FIGURA 9 - Restricción de la supresión de interferencia

$T$ : diferencia entre el periodo del impulso de la señal deseada y el periodo del impulso de la señal interferente

$P_w$ : anchura del impulso detectada que es función de la intensidad de la señal interferente como se muestra en la fig. 1. (La forma de onda de anchura limitada por el discriminador de anchura de impulsos se muestra en la línea de trazos interrumpidos)

#### 4.4.4.2 Reducción de la degradación de la calidad de funcionamiento de la AIRT

A fin de mitigar la degradación de la calidad de funcionamiento de la AIRT producida por impulsos demasiado anchos, es necesario realizar una discriminación de la anchura del impulso antes del procesamiento de la señal AIRT. Dicha discriminación de anchura del impulso la efectúa el dispositivo indicador de blancos móviles (MTI). La señal interferente es conformada a una anchura específica independientemente de la anchura o el nivel del impulso de la señal de entrada. Como ejemplos de circuitos de conformación cabe citar el circuito de constante de tiempo corta (FTC) y el circuito logarítmico/proporción constante de falsas alarmas (Log/CFAR). Este efecto previo al procesamiento, indicado por la línea de puntos en las figs. 10a y 10b asegura el funcionamiento eficaz de la AIRT cuando la señal interferente excede cierta anchura o nivel de impulso.

#### 4.4.5 *Técnicas para mejorar la calidad de funcionamiento de las AIRT*

##### 4.4.5.1 *Reducción del grado de correlación*

Las AIRT permiten reducir la interferencia utilizando la correlación de tiempo (o de distancia) entre las señales recibidas deseadas y las señales interferentes que son asíncronas respecto de aquellas. La calidad de funcionamiento de las AIRT puede mejorarse reduciendo el grado de correlación entre las señales deseada e interferente sin deteriorar el nivel de señal mínimo detectable de las señales deseadas.

##### 4.4.5.2 *Escalonamiento de las frecuencias de repetición de los impulsos*

Para mejorar la respuesta de velocidad del dispositivo MTI, el radar de control de tráfico aéreo varía (en un grado determinado) el intervalo de tiempo entre los impulsos transmitidos. Esto se denomina escalonamiento de la frecuencia de repetición de impulsos (PRF). Si cualquiera de las dos estaciones de radar que emplean esta técnica invierte las secuencias de intervalos escalonados, el grado de correlación disminuirá, aumentando así la calidad de funcionamiento de la AIRT.

##### 4.4.5.3 *Aumento del número de muestras de correlación*

El aumento del número de muestras de correlación aumentará el efecto del filtro de correlación de distancia. Por ejemplo, se simuló el caso en que las señales deseadas son aquellas que están correlacionadas dos o más en tres muestras, y el caso en que las señales deseadas son las que están correlacionadas tres o más en cinco muestras. Se comprobó que el efecto de la técnica de filtrado es mayor en el último caso. Los resultados se muestran en las figs. 10a y 10b .

##### 4.4.5.4 Degradación de la probabilidad de detección del blanco cuando se aplica la AIRT

Es evidente que no hay ninguna AIRT que no degrade la probabilidad de detección del blanco, debido al establecimiento de un segundo umbral por decisión por mayoría en impulsos coincidentes.

Se hace una estimación simple (caso más desfavorable) del factor de degradación: si se utiliza una decisión por mayoría convencional de  $2/3$ , entonces este factor será de hasta 4,8 dB. Como la relación S/N de un impulso requerida será de 14,8 dB para la AIRT, por otra parte, se requieren 10 dB para un integrador de vídeo normal.

##### 4.4.5.5 Mejoras de la probabilidad de detección de blanco en una AIRT

Cabe esperar cierta mejora aplicando la siguiente técnica en una AIRT, que en general tiene un doble umbral de la amplitud y la decisión.

Si la decisión por mayoría se modifica como se especifica a continuación, puede lograrse alguna mejora en la detección del blanco débil.

Caso 1: "Decisión por mayoría  $2/3$ "----- Condición de salida 0/3,  $2/3$ ,  $3/3$

Caso 2: "Decisión por mayoría  $3/5$ "----- Condición de salida 0/5,  $3/5$ ,  $4/5$ ,  $5/5$

Esta modificación puede mejorar la probabilidad de detección del blanco; sin embargo, no puede suprimirse una interferencia débil.

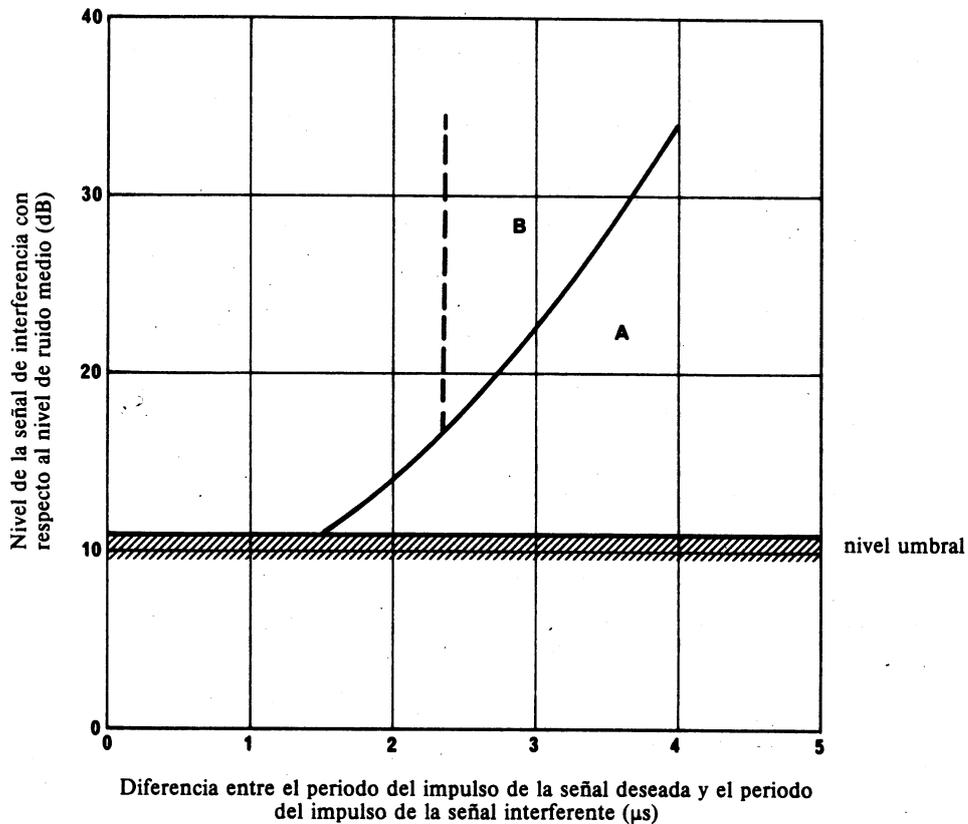


FIGURA 10a - Regiones suprimidas para las señales interferentes mediante correlador de 2/3

**A**: región suprimida sin discriminador de anchura de impulsos  
**A + B**: región suprimida con discriminador de anchura de impulsos



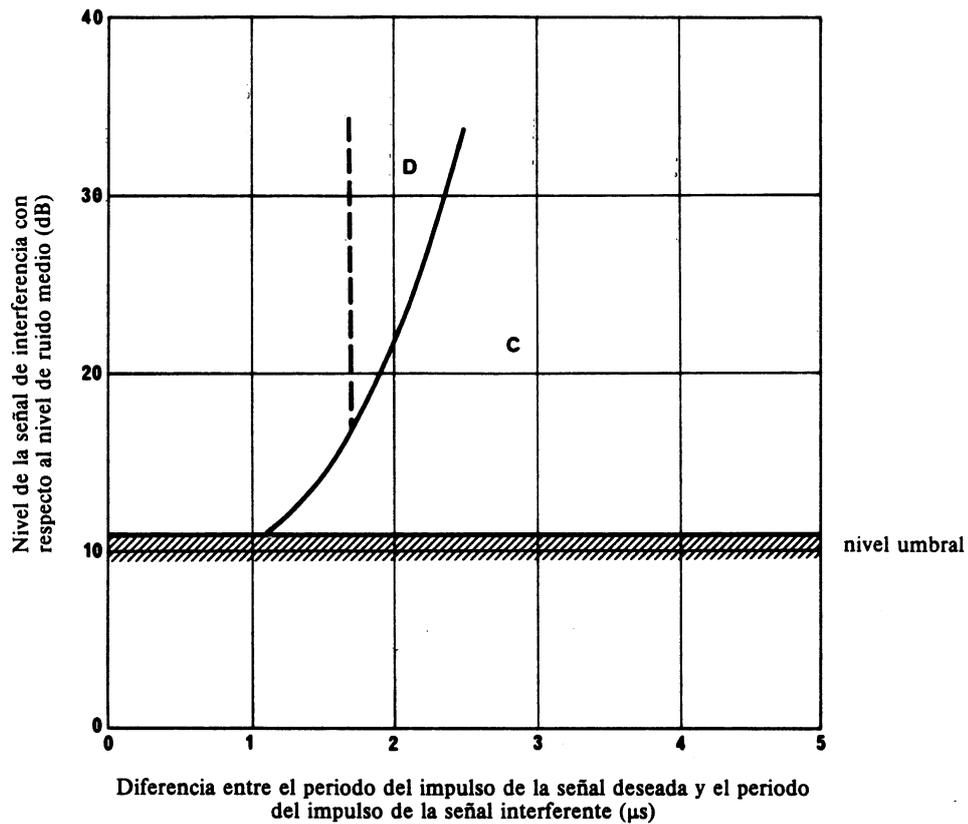


FIGURA 10b- Regiones suprimidas para las señales interferentes mediante correlador de 3/5

**C:** región suprimida sin discriminador de anchura de impulsos  
**C + D:** región suprimida con discriminador de anchura de impulsos

#### 4.5 Resumen sobre la técnica de reducción de interferencia de los radares fijos

##### 4.5.1 Discriminación por la frecuencia de repetición de los impulsos

La técnica de discriminación por la frecuencia de repetición de los impulsos podría utilizarse en cualquier banda de frecuencias para mejorar la utilización del espectro, y en principio, podría también emplearse en aplicaciones de radares de impulsos distintas de las descritas en el presente Informe. Debe efectuarse la aplicación de la técnica PRFD considerando otros factores de calidad de funcionamiento relativos a la señal deseada como por ejemplo la sensibilidad del receptor. En el caso de radares móviles, las ventajas están limitadas por la imposibilidad de predecir la posición relativa de los radares que utilicen la misma frecuencia de repetición de impulsos.

##### 4.5.2 Técnicas de reducción de la interferencia asíncrona

4.5.2.1 Las AIRT que utilizan la naturaleza asíncrona de las señales interferentes son extremadamente eficaces en sistemas corrientes de radar ATC.

4.5.2.2 Para mejorar el efecto de las AIRT se requiere lo siguiente:

- disponer de un discriminador de anchura de impulsos antes de realizar el proceso mediante las AIRT;
- proporcionar una función de inversión de la secuencia de escalonamiento PRF en el radar MTI que utiliza dicha técnica;
- aumentar adecuadamente el número de muestras del correlador de las AIRT.

## 5. Métodos de reducción de la interferencia: Balizas de radar

5.1 Las balizas de radar marítimo (racons) funcionan en la banda 9300-9320 MHz. Las balizas de radar aeronáutico (BRA) instaladas en tierra comparten esta banda sobre la base de no interferencia con las balizas de radar marítimo. Una baliza de radar aeronáutico es un dispositivo receptor-transmisor que funciona en una ubicación fija para prestar servicio de radionavegación aeronáutica. Cuando se activa (se interroga) por un radar de a bordo, la BRA actúa como respondedor y se identifica automáticamente devolviendo una señal codificada específicamente.

5.2 Como se estipula en el número 825 del Reglamento de Radiocomunicaciones se permiten las balizas de radar instaladas en tierra en la banda 9300-9320 MHz, a condición de que no causen interferencia perjudicial al servicio de radionavegación marítima. Si se utilizan técnicas de supresión de interferencia, puede evitarse la interferencia perjudicial de las BRA a los radares marítimos.

5.3 Las señales de una BRA pueden ser interceptadas por radares a bordo de barcos que esperan recibir señales de racons marítimas en la misma frecuencia. Esto puede producir representaciones no deseadas o una degradación de la calidad del radar a bordo, a menos que se adopten medidas especiales. En un análisis de compatibilidad entre las BRA y las racons marítimas, se examinan diversas técnicas para compartición del espectro. Entre ellas, cabe citar las siguientes: separación de frecuencias, interrogaciones por impulsos codificados, discriminación de frecuencias por repetición de impulsos, separaciones geográficas, discriminación por polarización de la antena, control del diagrama vertical de la antena y discriminación por la anchura del impulso. Se concluyó que el método más económico y más viable técnicamente era el de discriminación por la anchura del impulso. Hay dos modos por los que un radar marítimo puede recibir señales de una BRA. El radar marítimo puede activar la baliza y recibir una respuesta sincrónica, u otro radar puede activar la baliza y el radar marítimo puede recibir una respuesta asíncrona. La respuesta sincrónica constituye un problema más grave de interferencia, pero puede evitarse mediante discriminación por la anchura del impulso.

5.4 La BRA distinguirá entre radares aeronáuticos y marítimos utilizando este método de discriminación por la anchura del impulso. Los radares marítimos en la banda 9300-9500 MHz funcionan con anchuras de impulsos de menos de 2,0  $\mu$ s. Los radares aeronáuticos interrogarán a las BRA con anchuras de impulso de 2,35  $\mu$ s. Esta diferencia permitirá a la BRA utilizar circuitos de detección de anchura de impulsos para distinguir entre los dos tipos de radares.

5.5 Como resultado del proceso de discriminación por radar, disminuirá la interferencia, porque los radares marítimos no activarán las balizas aeronáuticas y, por tanto, no recibirán respuestas no deseadas. Sin embargo, un radar marítimo puede recibir una señal asíncrona de BRA si la baliza es activada primero por un radar aeronáutico. Esta situación exige que ambos radares se hallen dentro de determinadas distancias de la BRA al mismo tiempo. Esta situación muy poco frecuente reducirá considerablemente la probabilidad de interferencia. Además, las BRA y las racons marítimas están codificadas de manera distinta a efectos de identificación. Esta codificación permitirá el proceso en el radar marítimo para impedir que una BRA sea identificada falsamente como una racon marítima.

5.6 Además de las técnicas utilizadas por las BRA para reducir la interferencia, en el Informe 774 «Características técnicas de las balizas de radar (racons) de frecuencia fija» se examinan varios métodos para lograr la compatibilidad.

### 5.7 *Resumen de la reducción de interferencia de las BRA a las racons*

5.7.1 Como se dispone en el Reglamento de Radiocomunicaciones, las balizas de radar aeronáuticas funcionan en la banda 9300-9320 MHz. Son muy necesarias para la navegación de helicópteros en malas condiciones atmosféricas y en muchas zonas de aterrizaje críticas.

Las BRA están en conformidad con las atribuciones de bandas de frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones. Los parámetros técnicos de las BRA se prepararon considerando las características de funcionamiento en diversas condiciones atmosféricas, así como la compatibilidad con las racons marítimas. La comparación de frecuencias entre los sistemas de balizas aeronáuticas y marítimas, exigirá una detenida planificación para asegurar operaciones compatibles. La discriminación por la anchura del impulso y la codificación discreta de las balizas a efectos de identificación ofrecen métodos para lograr la compatibilidad con las racons marítimas.

## 6. Características de los futuros equipos de radar

6.1 En la Cuestión 35/8 (punto 2 de la parte dispositiva) se solicita información sobre las características técnicas del radar. En este Informe se considera la banda de ondas milimétricas comprendida entre 30 GHz y 150 GHz y se hace un examen general de la probable utilización de esta porción del espectro para aplicaciones de radar.

### 6.2 *Ventajas e inconvenientes de las longitudes de onda milimétricas para el radar*

6.2.1 Las principales ventajas de trabajar en la zona de las longitudes de onda milimétricas son:

6.2.1.1 El hecho de que aperturas de antena relativamente pequeñas pueden proporcionar altos valores de ganancia y anchuras de haz muy pequeñas, esto último permite una buena resolución angular y minimiza los efectos no deseados de las reflexiones en el suelo y de los ecos parásitos del suelo incluso con ángulos de elevación bastante pequeños.

6.2.1.2 Las grandes anchuras espectrales de que se dispone, comparadas con las autorizadas a frecuencias más bajas, permiten obtener una excelente resolución lineal. Además, a largo plazo, se podrá disponer frecuentemente de muchos radares en una banda, todos en una estrecha proximidad geográfica e incluso con transmisores de sintonía ágil de frecuencia, sin incurrir en una interferencia mutua grave.

6.2.1.3 Una probabilidad menor de interferencia a otros servicios debido a los efectos de la atenuación atmosférica y a las anchuras de haz pequeñas que es probable que se utilicen.

6.2.2 Los principales inconvenientes de estas longitudes de onda para el radar — muchos de los cuales afectarían a otras posibles aplicaciones en esta región del espectro — son:

6.2.2.1 La atenuación residual con cielo despejado, especialmente para la propagación a nivel del mar, que existe incluso en las «ventanas» donde probablemente se sitúen la mayoría de las aplicaciones de radar (véanse los Informes 719 y 721).

6.2.2.2 La alta atenuación adicional, y la considerable magnitud de la retrodispersión de la señal de radar, debida a la lluvia, incluso de pequeña intensidad (aunque las pequeñas anchuras de haz de las antenas y la buena resolución lineal generalmente utilizadas ayudarán a reducir los efectos de la retrodispersión). Esta característica debería probablemente inhabilitar estas bandas para los radares meteorológicos de largo alcance instalados a bordo de aeronaves.

6.2.2.3 Con los haces muy estrechos (que existirán muy probablemente en estas bandas — véase el punto 6.2.1.1) resultará muy difícil lograr el compromiso entre el número de impulsos por iluminación y la velocidad de renovación de datos, para los radares que exploran continuamente, incluso para las frecuencias de repetición de impulsos superiores que pueden utilizarse en los equipos de corto alcance.

6.2.2.4 La limitación de las características funcionales de muchos de los componentes activos y pasivos. Como regla general aproximada, las potencias de cresta que pueden obtenerse para un determinado tipo de tubo transmisor disminuyen proporcionalmente al menos con la longitud de onda al cuadrado, y los problemas de disipación del calor no deseado pueden provocar incluso una caída más rápida de la potencia media; los factores de ruido del receptor tienden a aumentar con la frecuencia, y las pérdidas por atenuación en la guía, etc., resultan cada vez más significativas.

6.2.2.5 El coste relativo de los componentes es generalmente superior al correspondiente a longitudes de onda mayores, principalmente debido a la alta precisión mecánica necesaria para su fabricación (aunque el volumen limitado de producción constituye también un factor).

Los factores 6.2.2.1 a 6.2.2.4 anteriores suponen que casi la totalidad de las aplicaciones potenciales en longitudes de onda milimétricas estarán en los sistemas de alcance relativamente corto.

### 6.2.3 *Algunas de las posibles aplicaciones de radar en las bandas de longitudes de onda milimétricas*

Para los presentes fines las posibles aplicaciones futuras para el radar en la zona del espectro correspondiente a las longitudes de onda milimétricas pueden clasificarse bajo cuatro apartados:

6.2.3.1 Radares de tierra, tales como los radares de superficie de los aeródromos, aprovechando las altas resoluciones angulares ( $\approx 0,1^\circ$ ) y lineales que pueden obtenerse con estas longitudes de onda. Se utilizarían de forma continua y con tiempos de rotación de antena generalmente de unos pocos segundos.

6.2.3.2 Ciertos sistemas de radar instalados a bordo de aeronaves, tales como los de proximidad de terreno, y los que se utilizan en los helicópteros para evitar los obstáculos o las líneas de alta tensión; éstos utilizarían la buena resolución angular ( $\approx 0,5^\circ$  a  $1^\circ$ ) que puede obtenerse con antenas de dimensiones moderadas, y los tiempos de exploración de sector serían del orden de un segundo o menos. Otra posibilidad la constituyen los radares instalados a bordo de aeronaves de alta resolución ( $\approx 0,1^\circ$ ) de exploración lateral (es decir sin barrido) para la confección de mapas de la Tierra, etc. Excepto quizás en algunas zonas, por ejemplo cerca de los helipuertos, éstos probablemente causarían sólo una interferencia relativamente infrecuente con otros equipos en la misma frecuencia.

6.2.3.3 Un pequeño número de aplicaciones de los radares de tierra, tales como la vigilancia a corta distancia, los sistemas de seguimiento y guiado; estos últimos aprovecharían en particular la reducción de los efectos de la reflexión en el suelo, etc., hasta con ángulos de elevación bajos, lo cual es posible conseguir con las anchuras de haz pequeñas de las antenas ( $\approx 0,2^\circ$ ). La probabilidad de interferir a otros equipos parece reducida.

6.2.3.4 Un número muy pequeño de sistemas de potencia extremadamente alta para seguimiento espacial, radares planetarios y aplicaciones similares, con grandes antenas de alta ganancia ( $\approx 80$  dB) y haces muy estrechos ( $\approx 0,02^\circ$ ), y transmisores de alta potencia. Éstos no explorarían continuamente, sino que estarían orientados según direcciones muy por encima del horizonte, de tal forma que los efectos de la atenuación atmosférica se mantengan al mínimo.

6.2.3.5 Algunos otros dispositivos posibles, semejantes a los radares de pequeña potencia, tales como los sistemas del tipo de «barreras de seguridad» en ondas milimétricas, de detectores de velocidad para autopistas, etc., podrían también utilizar estas frecuencias. Sin embargo, debido a sus bajas p.i.r.e. y su cobertura muy restringida es improbable que pudieran causar ni siquiera algún problema importante de interferencia, excepto en la proximidad de receptores extremadamente sensibles tales como los que se utilizan en los observatorios de radioastronomía.

6.2.4 Se ve que probablemente existirá una amplia variedad de sistemas de radar en longitudes de onda milimétricas, y que los parámetros del radar dependerán mucho de la aplicación. Por tanto los radares de corto alcance utilizarán generalmente ganancias de antenas relativamente modestas ( $\approx 30$  ó  $35$  dB) y potencias de transmisión bajas suministradas por generadores de estado sólido; los sistemas de alcance medio pueden tener ganancias de antena del orden de  $40$  a  $50$  dB (es decir, en torno a  $1^\circ$  de anchura de haz) y transmisores con magnetrón que proporcionan varios kilovatios de potencia de cresta o unos pocos vatios de potencia media, mientras que los radares espaciales necesitarán frecuentemente una  $G_T \approx 80$  dB y transmisores de alta potencia con girotrón.

6.2.5 Las únicas características comunes a todos los radares serán el tener unas longitudes de impulso bastante cortas (del orden de  $0,1 \mu\text{s}$  o menos) o el obtener la buena resolución lineal equivalente mediante la utilización de técnicas de compresión de impulsos, de tal forma que la máxima densidad espectral de potencia tenderá a ser comparativamente baja, y que las frecuencias de recurrencia de los impulsos serán siempre bastante altas. En función principalmente del alcance máximo de los radares, las PRF serán de  $3000$  impulsos por segundo o superiores; constituirán una excepción los radares espaciales, pero incluso aquí se aceptará un alto grado de ambigüedad de distancia.

## 6.2.6 *Resumen de las posibilidades en cuanto a potencia del transmisor en longitudes de ondas milimétricas*

6.2.6.1 La modalidad más prometedora de dispositivo para un transmisor de impulsos de estado sólido parece ser el diodo IMPATT. Debido a los efectos de calentamiento durante el impulso, se piensa que alrededor de  $100$  GHz la potencia más alta que probablemente se obtenga a partir de un único dispositivo, en el futuro previsible, estará en torno a los  $10$  W de cresta, limitando la máxima longitud del impulso en torno a  $0,1 \mu\text{s}$ . Por supuesto, se podrán obtener potencias más altas en longitudes de onda mayores, y mediante la combinación de la potencia de varios diodos es probable que pueda obtenerse a cualquier frecuencia algo así como  $5$  veces la potencia de salida de un único dispositivo.

6.2.6.2 El comportamiento de los transmisores de tubos de vacío se resume mejor proporcionando los niveles de potencia que ya se han conseguido en las diferentes bandas de frecuencias. Salvo indicación contraria, la longitud del impulso para los tubos de los transmisores de impulsos será inferior a  $1 \mu\text{s}$ ; los valores indicados de frecuencias y niveles de potencia son sólo aproximados.

*Osciladores de onda regresiva:* más de  $50$  W en onda continua a  $35$  GHz;  $40$  W en onda continua a  $75$  GHz.

*Klystrones:* 800 W en onda continua a 55 GHz; 500 W en onda continua en la región de 80 GHz. Se estima también que en torno a 80 GHz deberían conseguirse 10 kW de cresta con impulsos de 10  $\mu$ s con un ciclo de trabajo de hasta 0,005.

*Tubos de ondas progresivas:* 1 kW en onda continua a 35 GHz; de 150 a 200 W en onda continua, o 5 kW de cresta, a 55 GHz; 100 W en onda continua o 1 kW de cresta en la zona de 80 GHz.

*Magnetrones:* hasta 100 kW de cresta a 35 GHz; de 5 a 10 kW de cresta para impulsos de 50 nanosegundos en la zona de 80 GHz; 2,5 kW de cresta a 120 GHz.

*Girotrones:* 100 kW en onda continua, o al menos 250 kW de cresta para impulsos largos con un ciclo de trabajo de 0,05 a 35 GHz; 50 kW en onda continua a 55 GHz; 15 kW en onda continua cerca de 80 GHz. Estos dispositivos suelen ser generalmente «ruidosos».

6.2.6.3 Como puede verse, en todas las bandas de frecuencias el girotrón proporciona las potencias más altas que pueden conseguirse por ahora; pero se recuerda que es un dispositivo bastante voluminoso que utiliza electrónica de megavoltios (o de casi megavoltios), que podría únicamente alojarse en instalaciones fijas de radar de grandes dimensiones.

6.2.6.4 Si bien sería precipitado afirmar que no se desarrollarán otras modalidades de transmisores de estado sólido o con tubos de vacío para las frecuencias de interés en los próximos 20 años, debe recordarse que siempre existirán las limitaciones fundamentales para las potencias medias y de cresta impuestas por el tamaño del dispositivo y el problema de la disipación del calor. Existen también las limitaciones sobre los niveles de potencia de cresta que pueden utilizarse en las guías convencionales a la presión atmosférica (por ejemplo 5 kW de cresta en una guía WR 12 para la gama de utilización entre 70 y 90 GHz); sin embargo, éstas pueden superarse en cierta medida mediante presurización o rellenando la guía con, por ejemplo, hexafluoruro de azufre, o — con las debidas precauciones — mediante la utilización de un guíaonda en modo superior (es decir, sobredimensionado).

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLYTHE, J. H. [1970] Separation of radars on common frequencies by pulse-repetition frequency discrimination. *GEC J. Sci. and Techn.*, Vol. 37, 4, 157.

#### ANEXO I

##### 1. Descripción de las técnicas de reducción de interferencia asíncrona (AIRT)

En la fig. 8 se muestra un esquema de principio de las AIRT. En este caso la señal de entrada es enviada al circuito de ~~compuerta~~ de conmutación de video y al detector de umbral. Sólo las señales que tienen un nivel por encima de un valor determinado (por ejemplo, nivel de ruido medio + 10 dB) son detectadas por el detector de umbral y se introducen a la memoria de barrido de dos etapas.

Seguidamente los últimos datos A y los dos datos de barrido (periodo de transmisión) son enviados al circuito de correlación de barrido que detecta la ausencia o presencia de una señal interferente en el mismo intervalo de las tres señales (un periodo especificado después del impulso transmitido), y sólo se genera una señal de puerta que neutraliza la señal de video cuando hay una señal interferente.

Este circuito funciona según el mismo principio para las señales analógicas y digitales.

##### 2. Condiciones de simulación de las AIRT

- Se supone que la respuesta de amplitud del filtro del receptor de la fig. 11 tenga una característica Gaussiana,
- los criterios del circuito de correlación de barrido de las AIRT permiten la correlación de datos dentro de la gama de 0,5  $\mu$ s (mitad de la anchura del impulso) antes y después (a lo largo del eje de tiempo) de una señal de entrada con miras a la detectabilidad del blanco,
- el nivel umbral del detector de umbral debe fijarse en un valor que cumpla la probabilidad de falsa alarma y la probabilidad de detección que ha de especificarse en la salida de video.