

RECOMENDACIÓN UIT-R F.1097*

**POSIBILIDADES DE REDUCCIÓN DE LA INTERFERENCIA PARA AUMENTAR
LA COMPATIBILIDAD ENTRE LOS SISTEMAS DE RADAR Y
LOS SISTEMAS DE RADIOENLACES DIGITALES**

(Cuestión UIT-R 159/9)

(1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los sistemas de radar pueden causar interferencia a los sistemas de radioenlaces digitales en algunas situaciones;
- b) que existen dos mecanismos de acoplamiento mediante los cuales la energía radiada por las estaciones de radar puede acoplarse en los sistemas de radioenlaces: sobrecarga del extremo frontal del sistema de radioenlace (desensibilización del receptor), causada por la frecuencia fundamental del radar, y emisión no esencial del radar en las bandas del radioenlace;
- c) que cabe esperar que muchas de las técnicas utilizadas por los diseñadores de sistemas de radioenlaces para mejorar el comportamiento de los mismos reduzcan el riesgo de aparición de interferencia en dichos sistemas procedente de los transmisores de radar;
- d) que en otros casos el método más conveniente para reducir la interferencia puede ser disminuir las emisiones no esenciales del transmisor del radar,

recomienda

1. que para aumentar la compatibilidad con los sistemas de radar, en el diseño y realización de los sistemas de radioenlaces digitales se tengan en cuenta las posibilidades de reducción de la interferencia indicadas a continuación:
 - filtros de RF en microondas,
 - diversidad en el espacio,
 - diversidad angular,
 - codificación para corrección de errores en recepción (FEC),
 - utilización de otros canales alternos,
 - selección de otras bandas alternas,
 - encaminamiento del trayecto,
 - aumento de la potencia del transmisor,
 - elección de la antena (características),
 - otras técnicas posibles;
2. que para aumentar la compatibilidad con los sistemas de radioenlaces digitales se tengan en cuenta las posibilidades de reducción de la interferencia de los sistemas de radar indicados a continuación:
 - filtros de RF,
 - sustitución del dispositivo transmisor,
 - selección o ajuste de la frecuencia del transmisor,
 - otras técnicas posibles;
3. que se haga referencia al anexo 1 para ofrecer directrices adicionales relativas a la presente Recomendación.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), el Comité Internacional Radiomarítimo (CIRM) y las Comisiones de Estudio 1 (GT 1A) y 8 (GT 8C) de Radiocomunicaciones.

ANEXO 1

**Posibilidades de aumentar la compatibilidad entre los sistemas de radar
y los sistemas de radioenlaces****1. Posibilidades en un sistema de radioenlaces****1.1 Filtros de RF en microondas**

Cuando un sistema de radioenlaces sufre interferencia provocada por un sistema de radar, uno de los primeros pasos para reducir dicha interferencia consiste en determinar si el mecanismo de acoplamiento es la sobrecarga del extremo frontal causada por la frecuencia fundamental del radar. Si el mecanismo de acoplamiento es una sobrecarga frontal del preamplificador de bajo nivel de ruido (LNA) por la señal de radar, para proteger dicho LNA contra la interferencia del radar puede utilizarse un filtro de bloqueo de la RF en la parte delantera del guiaondas.

Algunas administraciones han observado una sobrecarga del extremo frontal del LNA producida por los radares en tierra en la banda de 5 GHz en sistemas de radioenlaces digitales que funcionan en la banda de 6 GHz o en la parte superior de la banda de 4 GHz. Los filtros de RF del receptor no actuarán de forma eficaz contra la interferencia en las frecuencias del receptor del radioenlace, o próximas a ellas.

1.2 Diversidad en el espacio

Los sistemas de diversidad en el espacio instalados en la mayoría de los sistemas de radioenlaces digitales tienden a disminuir la susceptibilidad del sistema a sufrir interferencia y son eficaces en los casos en que el radar provoca interferencia durante el tiempo en que el trayecto radioeléctrico sufre la condición de desvanecimiento por trayecto múltiple. Ello se debe a que la diversidad en el espacio reduce el tiempo de desvanecimiento total proporcionando un segundo trayecto de recepción que está correlacionado sólo de forma parcial con el trayecto de recepción primario. Si la señal interferente causa la degradación de la calidad de funcionamiento del sistema durante todo el tiempo, la diversidad en el espacio actuará como una protección para la reducción del margen de desvanecimiento debido a la interferencia, en comparación con los sistemas sin diversidad.

Además, en el caso de interferencia de radares del servicio móvil marítimo, la diversidad en el espacio puede proporcionar una cierta mejora en la calidad de funcionamiento considerando las diferencias de trayecto entre las dos ondas radioeléctricas, deseada y no deseada, recibida cada una de ellas por ambas antenas.

1.3 Diversidad angular

Un método que utiliza una técnica similar a la de diversidad en el espacio, en que señales procedentes de un segundo trayecto de recepción pueden estar disponibles para el sistema cuando se ha desvanecido la señal primaria, emplea una sola antena, pero que puede suministrar a la salida dos diagramas de recepción distintos. Para cada diagrama y en cada polarización se proporcionan dos accesos de guiaondas distintos. A continuación se comparan estas señales con «diversidad angular» y se selecciona la mejor, como sucede con las señales procedentes de dos antenas distintas en un sistema con diversidad en el espacio. Esta técnica puede disminuir el tiempo total en que la señal recibida deseada se encuentra por debajo del nivel de interferencia del radar, disminuyendo consiguientemente la influencia de dicha interferencia así como las repercusiones del desvanecimiento por trayecto múltiple. A veces los diseñadores de los sistemas de radioenlaces utilizan diversidad angular en vez de diversidad en el espacio.

1.4 Corrección de errores en recepción

La codificación de corrección de errores en recepción (FEC) es el método utilizado en la mayoría de los sistemas de microondas digitales para mejorar el comportamiento de la BER, especialmente cuando el sistema está limitado en potencia. La utilización de técnicas de codificación FEC permite corregir un número limitado de errores en el extremo receptor mediante un sistema especial de codificación y soporte lógico (o soporte físico) implantado a ambos extremos del circuito. Las mediciones han demostrado que para un código de corrección de dos errores, el umbral de errores que llegan hasta la carga útil se mejora aproximadamente 10 dB cuando la duración del pulso interferente es un intervalo de 1 Bd (es decir, la interferencia produce una respuesta impulsiva en el receptor).

La utilización de una técnica FEC contra errores en ráfaga, así como errores aleatorios, sería más conveniente. Actualmente se está estudiando un método que hace uso de una técnica de entremezclado de bits.

1.5 Utilización de otro canal alternativo

El nivel de las emisiones no esenciales de radar en las bandas de los radioenlaces varía de forma algo menos predecible en las bandas. Diversas mediciones (a una anchura de banda de FI de 30 MHz) han demostrado una variación de 15-20 dB dependiendo de la frecuencia de canal. Por consiguiente, cuando un sistema de radioenlaces digitales sufre interferencia causada por un sistema de radar, un método para reducir temporalmente dicha interferencia consiste en utilizar canales alternos.

La utilización de canales alternos únicamente puede ser una solución realizable cuando existen disponibles canales sin utilizar. En cualquier caso, la utilización de canales alternos puede considerarse únicamente como solución temporal puesto que los niveles de emisiones no esenciales de radar a diversas frecuencias son función de la adaptación de impedancias entre la línea del transmisor del radar y la salida del tubo de potencia, de la edad de dicho tubo de potencia de salida del radar y de la red de conformación de los impulsos (filtrado).

1.6 Selección de otras bandas alternas

Cuando se diseña un nuevo radioenlace o se modifica uno existente (por ejemplo, al efectuar la conversión de un radioenlace analógico a un radioenlace digital), deben considerarse varios factores a la hora de seleccionar la banda de frecuencias apropiada. Uno de los factores debe ser el entorno electromagnético en el área de realización. Si en las proximidades funciona un radar basado en tierra, la selección de una banda para la implementación del sistema de radioenlaces probablemente afectará la posibilidad de que el radar provoque interferencia. La selección de una banda adecuada depende del tipo de dispositivo de salida utilizado en el radar, que determina los niveles de emisión no deseada del radar.

En cualquier caso, esta alternancia en la utilización de la banda de frecuencias debe efectuarse con mucha precaución en entornos interferentes dentro de las redes de radioenlaces.

1.7 Encaminamiento del trayecto

Cuando sea posible, deben efectuarse selecciones del encaminamiento del trayecto durante la fase de diseño de las nuevas rutas para evitar posibles situaciones de interferencia con las estaciones de radar en tierra, en explotación o planificadas. Existen diversos factores que determinan la selección de la ubicación de las estaciones en una ruta de radioenlaces. Uno de ellos debe ser el entorno electromagnético. Para que el encaminamiento del trayecto sea una opción válida en la reducción de la interferencia, es necesario conocer el emplazamiento de las estaciones de radar. Sin embargo, cabe reconocer que la introducción de limitaciones adicionales en la selección de las ubicaciones puede tener una influencia muy importante sobre los costes de construcción de la ruta del radioenlace.

No obstante, esa selección del encaminamiento del trayecto es una solución temporal al problema global de la interferencia y no se considera la opción más adecuada con respecto a la utilización eficaz de frecuencias.

1.8 Potencia del transmisor

Aumentar la potencia del transmisor es una medida efectiva cuando puede coordinarse el problema de interferencias mutuas en la red de radioenlaces. Sin embargo, no siempre es la mejor solución desde el punto de vista de compartición de frecuencias con otros servicios.

1.9 Características de la antena

1.9.1 Elección de la antena

La discriminación de la antena, es decir la respuesta de la antena a señales procedentes de diversos acimuts varía ampliamente entre las antenas. En algunas situaciones, puede ser posible aprovechar las ventajas de estas características para reducir la respuesta de un sistema a la interferencia procedente de una dirección en particular.

Cuando se conoce el nivel estimado de emisión no deseada procedente de un sistema de radar y se ha determinado la geometría del trayecto entre dicho sistema de radar y el sistema de radioenlace digital, puede calcularse la máxima ganancia admisible de la antena del radioenlace para mantener la relación «interferencia/ruido térmico» en un nivel cuyo valor aún es objeto de estudio. La Recomendación UIT-R F.699 (o el diagrama de radiación real de la antena del radioenlace que va a utilizarse) puede emplearse para establecer el ángulo con relación al eje necesario. Si este ángulo es mayor que el ángulo con relación al eje real (o planificado), debe elegirse una antena con mejores características de radiación que pueda satisfacer los requisitos.

Dependiendo de la distancia y la separación angular entre el sistema de radioenlaces y el sistema de radar en tierra y la nomenclatura del radar/dispositivo correspondientes, puede que no se obtenga el valor adecuado del ángulo con relación al eje.

1.9.2 Apantallamiento de la ubicación de la antena

Un método para reducir la potencia impulsiva de cresta de un radar que invade un sistema de radioenlaces consiste en blindar (o apantallar) la antena del radioenlace contra el haz transmitido por el radar, si es posible. El apantallamiento puede proporcionarlo la propia topografía del terreno situado entre el radar y las antenas del radioenlace o puede ser artificial.

2. Opciones del sistema de radar

2.1 Filtros de RF del radar

En diversos radares se han utilizado filtros de guíaonda de radiofrecuencia (RF) para reducir a niveles aceptables la interferencia causada a los sistemas de radioenlaces. Hasta la fecha, los filtros pasobanda de RF se han empleado únicamente en radares basados en tierra fijos a 5 GHz para disminuir la interferencia provocada a la banda de la portadora común del radioenlace de 6 GHz. Las mediciones han demostrado (fig. 1) que los filtros de guíaonda de RF suprimirán aproximadamente entre 40 y 50 dB las emisiones no esenciales del radar.

Cuando la interferencia del radar a los sistemas de radioenlaces digitales viene provocada por emisiones no esenciales procedentes de dichos radares, una solución práctica consiste en instalar un filtro de radiofrecuencia en el transmisor del radar, siempre que ello sea técnica y económicamente posible.

2.2 Sustitución del dispositivo transmisor

En radares que utilizan tubos magnetrón coaxiales y convencionales se han observado variaciones en los niveles de emisión no esencial de radares en tierra. Estas variaciones pueden atribuirse a cambios en las redes de conformación de los impulsos de modulación, a la tensión anódica y a la corriente y descarga en el tubo debido al envejecimiento. Los usuarios de radares en tierra puede que necesiten llevar a cabo verificaciones rutinarias periódicas del transmisor del radar para determinar si a causa del envejecimiento en estos transmisores, han aparecido componentes no esenciales inexistentes cuando el transmisor era nuevo. En algunos casos, se han corregido ciertos problemas de interferencia sustituyendo el dispositivo de salida.

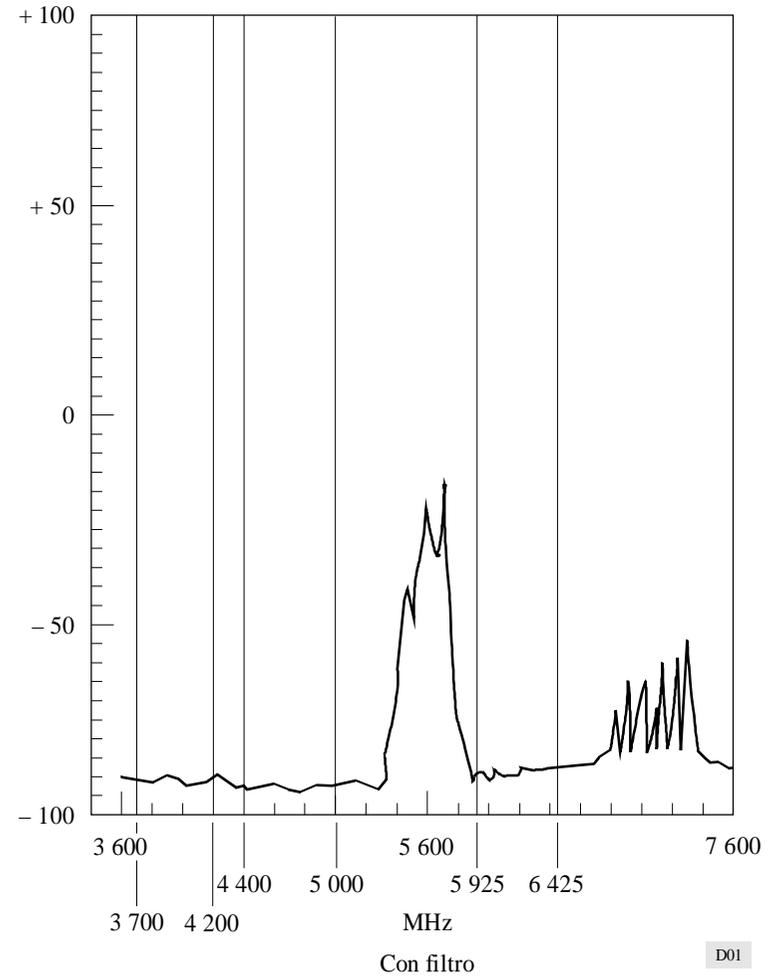
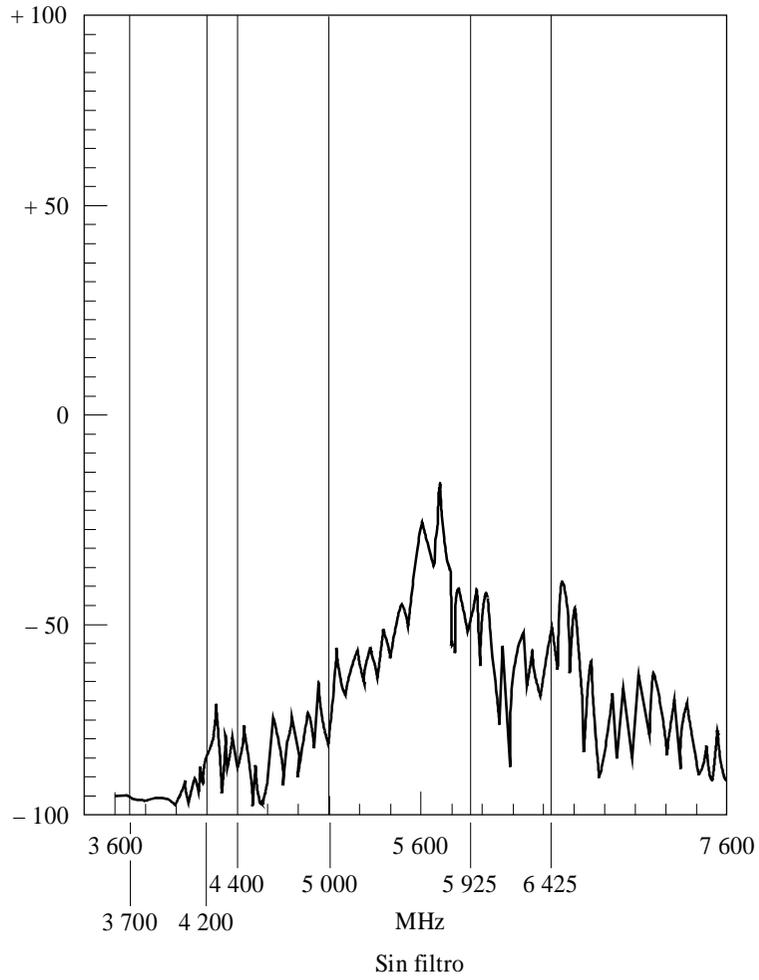
En principio los métodos indicados en § 2.1 y 2.2 pueden aplicarse también a los sistemas de radares móviles marítimos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que en las futuras consideraciones relativas a la posibilidad de reducir la interferencia, tales sistemas constituyen un servicio de seguridad del Convenio SOLAS de la OMI y, por consiguiente, la introducción de tales opciones debe ser compatible con el hecho de no provocar una disminución significativa en la calidad de funcionamiento.

2.3 Selección o ajuste de la frecuencia del transmisor

En algunos casos de sistemas de radares fijos, puede que sea posible seleccionar o ajustar la frecuencia fundamental del transmisor del radar dentro de la gama de frecuencias utilizada por el sistema, de forma que los sistemas de radioenlaces interferidos no reciban las emisiones no esenciales del segundo o tercer armónico. Este método de reducción de la interferencia ya se ha llevado a cabo en algunos países dando como resultado una coordinación con éxito.

FIGURA 1

Mediciones del espectro radiado de un radar en 5 GHz sin filtro de RF y con filtro de RF



D01