|  |
| --- |
| **Recomendación UIT-R M.1179**  **(10/1995)** |
| **Procedimientos para determinar los mecanismos de acoplamiento de la interferencia y posibilidades de reducción de la misma en sistemas que funcionan en bandas adyacentes a las de las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación y en relación armónica con ellas** |
| **Serie M**  **Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos** |

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

# Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT‑R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT‑T/UIT‑R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT‑R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT‑T/UIT‑R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT‑R sobre este asunto.

|  |  |
| --- | --- |
| Series de las Recomendaciones UIT-R  (También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>) | |
| **Series** | Título |
| **BO** | Distribución por satélite |
| **BR** | Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión |
| **BS** | Servicio de radiodifusión sonora |
| **BT** | Servicio de radiodifusión (televisión) |
| **F** | Servicio fijo |
| **M** | Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos |
| **P** | Propagación de las ondas radioeléctricas |
| **RA** | Radio astronomía |
| **RS** | Sistemas de detección a distancia |
| **S** | Servicio fijo por satélite |
| **SA** | Aplicaciones espaciales y meteorología |
| **SF** | Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo |
| **SM** | Gestión del espectro |
| **SNG** | Periodismo electrónico por satélite |
| **TF** | Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias |
| **V** | Vocabulario y cuestiones afines |

|  |
| --- |
|  |

|  |
| --- |
| ***Nota****: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la   Resolución UIT-R 1.* |

*Publicación electrónica*

Ginebra, 2010

© UIT 2010

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1179[[1]](#footnote-1)\*, [[2]](#footnote-2)\*\*

PROCEDIMIENTOS PARA DETERMINAR LOS MECANISMOS DE ACOPLAMIENTO  
DE LA INTERFERENCIA Y POSIBILIDADES DE REDUCCIÓN DE LA MISMA  
EN SISTEMAS QUE FUNCIONAN EN BANDAS ADYACENTES A LAS DE LAS  
ESTACIONES DE RADAR DEL SERVICIO DE RADIODETERMINACIÓN  
Y EN RELACIÓN ARMÓNICA CON ELLAS

(1995)

Rec. UIT-R M.1179

# Cometido

Esta Recomendación proporciona a las administraciones unos procedimientos de medición para identificar el mecanismo o los mecanismos de acoplamiento de la interferencia, sobrecarga del extremo frontal del receptor o emisiones no esenciales del radar, así como los métodos para disminuir la interferencia causada por las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación a las estaciones de radioenlaces del servicio fijo y a las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que las estaciones de radar fijas y móviles del servicio de radiodeterminación utilizan ampliamente bandas adyacentes a las de 4, 5 y 6 GHz empleadas por los servicio fijo y fijo por satélite (SFS) y mantienen una relación armónica con las mismas;

b) que las estaciones de radioenlaces del servicio fijo y las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite (SFS) son vulnerables a la interferencia procedente de las estaciones de radar con emisiones fundamentales (necesarias) y no esenciales de elevados niveles de potencia de cresta;

c) que las estaciones de radioenlaces del servicio fijo han adoptado en gran medida la modulación digital y las estaciones terrenas del SFS cada vez utilizan más ampliamente dicha modulación digital que puede ser más susceptible a la interferencia procedente de emisiones del tipo de radar por impulsos;

d) que las estaciones de radioenlaces del servicio fijo y las estaciones terrenas del SFS utilizan amplificadores de bajo nivel de ruido con anchuras de banda amplias y ganancias entre 10 y 20 dB, para las estaciones de radioenlaces del servicio fijo, y de 50 a 65 dB, para las estaciones terrenas;

e) que en las condiciones indicadas en los apartados a) a d) la interferencia causada a las estaciones de los servicios fijo y fijo por satélite puede ser provocada por las emisiones necesarias de las estaciones de radar que dan lugar a una sobrecarga del extremo frontal del receptor;

f) que los niveles elevados de las emisiones no esenciales del radar pueden causar interferencia a las estaciones de radioenlaces del servicio fijo en las bandas de 4, 5 y 6 GHz y a las estaciones terrenas del SFS en la banda de 4 GHz;

g) que la Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones ha propuesto diversas opciones de reducción de la interferencia para mejorar la compatibilidad entre las estaciones de radar del servicio de radiodeterminación y las estaciones de radioenlaces del servicio fijo (Recomendación UIT‑R F.1097);

h) que son bien conocidos los procedimientos de medición para identificar totalmente los mecanismos de acoplamiento de la interferencia y reducir la misma,

recomienda

**1** que en los casos de interferencia de radar a las estaciones terrenas en la banda de 4 GHz y a las estaciones de radioenlaces del sistemas fijo en las bandas de 4, 5 y 6 GHz se tomen las siguientes acciones:

– deben utilizarse los procedimientos descritos en el Anexo 1 para identificar el mecanismo de acoplamiento de la interferencia (véanse las Notas 1 y 2);

– una vez identificado el mecanismo de acoplamiento de la interferencia debe aplicarse una de las posibilidades descritas en el Anexo 2 para identificar el mecanismo de acoplamiento de la interferencia.

NOTA 1 – Si el sistema de recepción no tiene un filtro pasobanda (preselector) ***delante*** del amplificador de bajo nivel de ruido, puede que sea más interesante desde el punto de vista económico, instalar dicho filtro en el lugar indicado antes de llevar a cabo las pruebas descritas en el Anexo 1. Si la interferencia continúa tras la instalación del filtro, deben realizarse las mediciones señaladas en el Anexo 1 para identificar el mecanismo de acoplamiento de la interferencia.

NOTA 2 – Si se determina que el mecanismo de acoplamiento de la interferencia son las emisiones no esenciales del transmisor del radar, deberá identificarse dicho radar siempre que convenga filtrar la salida del transmisor del mismo. Puede que no sea posible instalar filtros en el transmisor del radar si la estación de radiodeterminación es móvil y existen numerosos radares, como es el caso de los radares de navegación explotados bajo licencias de diversas administraciones. Además, la instalación de un filtro en un radar puede no ser posible debido al tipo de dispositivo de salida, a su tamaño y al compromiso que deben alcanzarse entre tamaño y calidad de funcionamiento.

ANEXO 1

Determinación del mecanismo de acoplamiento de la interferencia

# 1 Introducción

Las medidas de reducción de la interferencia no serán eficaces a menos que se identifique el mecanismo correcto de acoplamiento de la interferencia (sobrerrecarga del extremo frontal del receptor o emisiones no deseadas del transmisor del radar). En el presente Anexo se describen métodos para determinar el mecanismo de la interferencia de manera que puedan tomarse de la forma más fiable posible las medidas adecuadas al respecto. Cabe señalar que las pruebas y mediciones necesarias para determinar el mecanismo de interferencia no son necesariamente fáciles de llevar a cabo, aún cuando el personal de las instalaciones disponga de los equipos de prueba necesarios (como mínimo se recomienda utilizar un analizador de espectro y un osciloscopio digital). (Al efectuar las medidas en emisiones de radar, se debe hacer de forma que no se sobrecargue o se pueda dañar el equipo de medida.)

Los filtros pasobanda en el extremo frontal de RF disponibles en el mercado son relativamente económicos y pueden instalarse con cierta rapidez. Cuando la señal de radar de interferencia cae fuera de la banda de recepción normal atribuida a la estación terrena o al radioenlace del servicio fijo se recomienda como primer paso la instalación de un filtro de estas características ***delante*** del primer LNA/LNB/LNC (amplificador de bajo nivel de ruido mezclador/convertidor descendente) en el extremo frontal de RF del receptor. Si el único mecanismo de interferencia es la sobrecarga del extremo frontal del receptor y la señal de radar aparece fuera de la banda del receptor, el filtro debe reducir el problema.

Es posible que aparezca simultáneamente la interferencia por sobrecarga del extremo frontal de receptor y la interferencia por emisiones no esenciales del radar. En ese caso la instalación de un filtro pasobanda en la estación receptora eliminará únicamente la componente de interferencia debida a la sobrecarga del extremo frontal; la estación continuará sufriendo los efectos de la interferencia causada por las emisiones no esenciales del radar. Debido a esta posibilidad, se recomienda instalar un filtro pasobanda en la estación receptora ***delante*** del LNA/LNB/LNC antes de llevar a cabo las pruebas sobre interferencia por emisiones no esenciales del radar. Si no se instala dicho filtro, debe comprobarse la ausencia de sobrecarga en el extremo frontal del receptor mediante las prueba descritas más adelante.

Por último, cabe indicar que un amplificador en el extremo frontal del receptor que incorpore un mezclador convertidor/descendente (LNB o LNC) puede generar productos no deseados en la banda de recepción deseada cuando se encuentra en condición de sobrecarga, como se indica en el Anexo 2. Estos productos pueden confundirse fácilmente con emisiones no esenciales del radar en la banda de la estación terrena. En consecuencia, es fundamental eliminar la posibilidad de sobrecarga del extremo frontal del receptor instalando un filtro pasobanda en dicho extremo frontal antes de realizar las pruebas sobre emisiones no esenciales.

# 2 Procedimientos de medición

## 2.1 Determinación de sobrecarga del extremo frontal

El proceso para determinar si se ha producido o no sobrecarga del extremo frontal del receptor consta de varios pasos. El primero y más evidente es el de examinar físicamente el extremo frontal de radiofrecuencia del sistema, normalmente situado en la antena, y comprobar si ya existe alguna preselección. Es importante no dejarse confundir por los diagramas teóricos, que pueden indicar la presencia de filtros sin que hayan sido instalados en realidad, o por las gamas de frecuencias estrechas que aparecen especificadas en la caja del amplificador (por ejemplo, «3,7-4,2 GHz»); la respuesta real del amplificador puede ser mucho más amplia de lo que indica la etiqueta. Si se verifica la existencia de un filtro pasobanda de RF ***delante*** del primer preamplificador, es muy poco probable que el mecanismo de acoplamiento sea una sobrecarga del extremo frontal del receptor. En caso de existir dicho filtro, debe instalarse. Si con ello se elimina el problema, es probable que el mecanismo sea la sobrecarga del extremo frontal.

Si no se dispone de un filtro pasobanda para la estación terrena, o por cualquier otra razón la presencia de sobrecarga del extremo frontal debe verificarse de forma independiente, hay que llevar a cabo el siguiente procedimiento de medición en el extremo frontal de la estación receptora durante la aparición de interferencia. El objetivo de estas mediciones es determinar el grado en el que el amplificador sufre una compresión de ganancia cuando se recibe energía procedente del radar. Para documentar claramente este efecto, es necesario supervisar de manera simultánea la energía procedente del radar a la frecuencia fundamental del mismo así como la respuesta de la estación terrena a dicha energía. En la Fig. 1 aparece el diagrama de bloques de la disposición física de los elementos utilizados en esta prueba.



Con referencia a la Fig. 1, esta prueba se lleva a cabo con la bocina de alimentación de antena conectada directamente al amplificador del extremo frontal de la estación terrena (LNA/LNB/LNC). *NO* DEBE HABER NINGÚN FILTRO PASOBANDA DELANTE DEL LNA/LNB/LNC DURANTE ESTA PRUEBA, A MENOS QUE FORME NORMALMENTE PARTE DEL SISTEMA. La señal de salida del amplificador se divide en dos partes. Una de ellas se lleva al analizador de espectro y la salida de vídeo del analizador, a su vez, se lleva al canal de un osciloscopio (véase la Nota 1). El analizador debe sintonizarse a la salida del preamplificador equivalente de la frecuencia fundamental del radar y el intervalo de frecuencia del mismo debe ajustarse a 0 Hz. (Si aparecen dos o más frecuencias fundamentales del radar, cualquiera de ellas será suficiente.) La anchura de banda de FI del analizador debe fijarse a 1 MHz y debe suspenderse el barrido de la traza del analizador.

NOTA 1 – Es importante mantener la documentación sobre estas mediciones. A tal efecto puede utilizarse un osciloscopio digital que pueda transferir datos a un medio magnético o un osciloscopio analógico con una cámara.

Otra parte de la señal se encamina al receptor de la estación terrena y la salida de FI de dicho receptor se conecta a un segundo canal del osciloscopio. El osciloscopio debe activarse mediante el tren de impulsos del radar procedente del analizador de espectro. En consecuencia, en el osciloscopio deben observarse simultáneamente el tren de impulsos del radar y la respuesta del receptor a dicho tren de impulsos. Si el radar produce una sobrecarga en el extremo frontal de la estación terrena, debe aparecer una compresión de ganancia de la traza de FI cuando se observan los impulsos procedentes del radar en la otra traza del osciloscopio. En las Figs. 2 a 5 se representan ejemplos de estas respuestas para un LNA y un LNB.

En una antena que incorpore dos alimentadores con polarización cruzada puede aplicarse una variación de esta técnica instalando un filtro pasobanda ***delante*** del preamplificador de uno de los alimentadores. Si posteriormente aparece interferencia en el alimentador sin filtrar, pero no en el alimentador filtrado, el problema consiste en una sobrecarga del extremo frontal del receptor. Sin embargo, hay que advertir que la interferencia puede ser dependiente de la polarización y la polarización cruzada entre los alimentadores puede producir de manera no intencionada un efecto de filtrado por sí mismo. En consecuencia, si se pretende aplicar esta técnica es fundamental saber que ambos alimentadores han sido previamente afectados por la interferencia de manera simultánea.

## 2.2 Aparición simultánea de interferencia por sobrecarga del extremo frontal y por emisiones no esenciales

Como se ha indicado anteriormente, es posible que aparezca simultáneamente interferencia por sobrecarga del extremo frontal del receptor y por emisiones no esenciales del radar. Esta situación se daría si un radar produce emisiones no esenciales de gran intensidad a la frecuencia central de la estación receptora, funcionando ésta con un extremo frontal no preseleccionado. Sin embargo, antes de considerar el problema de la interferencia por emisión no esencial debe eliminarse la posibilidad de que haya sobrecarga del extremo frontal instalando un filtro de RF en la estación terrena.

## 2.3 Determinación de las emisiones no esenciales del radar

Si las pruebas para determinar la existencia de sobrecarga del extremo frontal del receptor son negativas o si persiste la interferencia una vez instalado un filtro pasobanda delante del primer amplificador de RF en la estación receptora, es probable que la interferencia sea causada por las emisiones no esenciales del transmisor del radar en la banda de recepción de la estación.

Cabe destacar que si en las pruebas sobre interferencia procedente de emisiones no esenciales del radar se utilizan extremos frontales de RF de la estación terrena sin preseleccionar, como muestra la Fig. 1, la posibilidad de que la interferencia sea causada por sobrecarga del extremo frontal receptor **debe** eliminarse antes de llevar a cabo estas pruebas. Si bien la utilización de un filtro pasobanda en el extremo frontal de la estación no es absolutamente necesaria en esas circunstancias, la presencia de tal filtro durante las pruebas aumenta la posibilidad de que no aparezca sobrecarga del extremo frontal del receptor.



FIGURA 2/1179...[D02] = 11.5 CM 

FIGURA 3/1179...[D03] = 3 CM



FIGURA 4/1179...[D04] = 10.5 CM 

FIGURA 5/1179...[D05] = 11 CM

Las observaciones pueden realizarse de dos formas. Un método utiliza la misma disposición representada en el diagrama de bloques de la Fig. 1 (pero preferiblemente con un filtro pasobanda insertado ***delante*** del LNA/LNB/LNC). El resultado será la observación de los impulsos de la emisión no esencial del radar superpuestos a la señal deseada, como muestra la Fig. 6. Dichos impulsos normalmente aparecen agrupados por pares como flanco anterior y posterior de valor elevado (orejas de conejo); la separación en el dominio del tiempo será la misma que la anchura del impulso nominal. También es posible que las emisiones no esenciales aparezcan como impulsos similares a ruido. Un inconveniente de este método es que la presencia de la señal de estación terrena deseada puede producir un enmascaramiento de las emisiones no esenciales del radar.



La segunda técnica de observación elimina la señal deseada reduciendo de esa forma el posible enmascaramiento de los impulsos de la emisión no esencial del radar. Con referencia a la Fig. 1, esto se logra en las estaciones de radioenlaces del servicio fijo desactivando la señal deseada y en las estaciones terrenas sustituyendo la antena omnidireccional por la antena parabólica del receptor (también en este caso es preferible insertar un filtro pasobanda ***delante*** del LNA/LNB/LNC). La antena omnidireccional utilizada por las estaciones terrenas debe tener una respuesta en frecuencia de al menos 2 700 a 4 400 MHz. Este método puede resultar más práctico si la estación terrena cuenta con un sistema receptor de reserva disponible, al que puede conectarse la antena omnidireccional.

Si se determina que son las emisiones no esenciales del radar las que causan interferencia a una estación terrena, debe identificarse el radar responsable. Los niveles de emisiones no esenciales del radar deben cuantificarse de manera que puedan tomarse las medidas oportunas para resolver el problema.

## 2.4 Procedimientos de medición alternativos

Aunque las siguientes mediciones no son tan determinantes como el procedimiento de medición antes indicado para averiguar el mecanismo de acoplamiento de interferencia, pueden utilizarse para ofrecer un indicio al respecto.

La gravedad de la interferencia en cada uno de los canales puede ser una indicación del mecanismo de acoplamiento. Si la interferencia afecta a todos los canales, o a la mayoría, puede considerarse que la causa es una sobrecarga del extremo frontal. Si sólo resultan afectados algunos canales específicos, probablemente se trate de emisiones no esenciales.

Otro método para identificar el mecanismo de interferencia consistiría en medir la intensidad de campo radiada de las emisiones no esenciales del radar en la banda recibida en el emplazamiento aproximado de la bocina de alimentación de la estación receptora. Esto podrá realizarse utilizando una antena omnidireccional o una antena directiva portátil, un filtro coaxial y un LNA. Los filtros utilizados en las estaciones terrenas y en el radioenlace del servicio fijo son filtros de guiaonda que pueden no estar disponibles inmediatamente. Puede contarse con filtros pasobanda sintonizables y filtros de rechazo de banda que podrían utilizarse con receptores y LNA coaxiales para establecer un sistema de medición sensible. Si bien la antena de medición no tendría la misma ganancia que la estación receptora, la elección de antena omnidireccional o directiva adecuadamente orientada podría simular la ganancia de antena de la estación receptora en dirección del radar. Por consiguiente, la ganancia de la antena de prueba sería equivalente a la ganancia de antena de la estación receptora en dirección del radar, haciendo que ambos sistemas sean similares en cuanto a su capacidad de detectar las emisiones no esenciales del radar.

ANEXO 2

Mecanismos de acoplamiento de interferencia y  
posibilidades de reducción de la misma

# 1 Introducción

El presente Anexo describe la forma en que la energía radiada por la estaciones de radar puede provocar una degradación de la calidad de funcionamiento de los radioenlaces del servicio fijo y de los receptores de las estaciones terrenas (mecanismos de acoplamiento de interferencia) así como los métodos para mejorar la compatibilidad entre las estaciones (posibilidades de reducción de la interferencia). Mediante investigaciones de diversos casos de interferencia se han identificado dos mecanismos de acoplamiento de interferencia que han aparecido entre las estaciones de radar que funcionan en las bandas de aproximadamente 3 y 5 GHz y las estaciones terrenas del SFS en la banda de 4 GHz y las estaciones de radioenlaces del servicio fijo en las bandas de 4 y 6 GHz. Estos mecanismos de acoplamiento de interferencia son la sobrecarga del extremo frontal del receptor y las emisiones no esenciales del transmisor del radar.

# 2 Sobrecarga del extremo frontal del receptor

El acoplamiento por sobrecarga del extremo frontal del receptor aparece cuando la energía procedente de la frecuencia fundamental de una señal no deseada satura el extremo frontal del receptor (por ejemplo, LNA), dando lugar a una compresión de ganancia (reducción del nivel de la señal de salida) en la señal deseada suficiente como para degradar la calidad de funcionamiento. La sobrecarga del extremo frontal del receptor se produce normalmente debido a las señales de alta potencia en bandas adyacentes.

El umbral de entrada a partir del cual se crea una sobrecarga del extremo frontal del receptor es función del nivel de compresión de la ganancia de salida de 1 dB (nivel de saturación) y de la ganancia del amplificador de bajo nivel de ruido del extremo frontal:

*T* = *C* – *G* (1)

siendo:

*T* : umbral de entrada a partir del cual aparece sobrecarga del extremo frontal del receptor (dBm)

*C* : nivel de compresión de la ganancia de 1 dB del LNA (dBm)

*G* : ganancia del amplificador de bajo nivel de ruido a la frecuencia fundamental del radar (dB).

Un nivel de compresión de la ganancia de salida de 1 dB típico para un LNA es +10 dBm. Los sistemas de recepción de la estación terrena generalmente utilizan LNA con ganancias entre 50 y 65 dB en la banda de 4 GHz. Los sistemas receptores de los radioenlaces en las bandas de 4 y 6 GHz emplean normalmente LNA con ganancias entre 10 y 15 dB. Por consiguiente, el umbral de entrada a partir del cual cabe esperar la aparición de sobrecarga del extremo frontal del receptor se encuentra aproximadamente entre –55 y – 40 dBm para el caso de las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite y entre 0 y –5 dBm para el caso de las estaciones de radioenlaces del servicio fijo.

## 2.1 Respuesta de ganancia del preamplificador

Las estaciones terrenas del SFS y los sistemas receptores de los radioenlaces del servicio fijo emplean generalmente un preamplificador de alta ganancia y bajo nivel de ruido en el alimentador de antena. El preamplificador puede producir una salida a las mismas frecuencias en cuyo caso se denomina LNA. También puede incorporar un mezclador que realiza una conversión descendente de la señal a una banda de frecuencias inferior cercana a 1 000 MHz (por ejemplo, entre 950 y 1 450 MHz) en cuyo caso se denomina LNB, o LNC si realiza una conversión descendente de frecuencias desde la banda de 4 GHz a unos pocos cientos de hertzios (por ejemplo, 270‑770 MHz).

El objeto de un preamplificador en el extremo frontal es proporcionar sensibilidad a una señal de entrada débil (lo cual exige que el factor de ruido del preamplificador sea bajo) y producir una salida con ganancia suficiente como para compensar las pérdidas en la línea entre la antena y el receptor y el factor de ruido de este último. Idealmente la gama de respuesta en frecuencia de dicho amplificador debería ser la misma que la banda de funcionamiento asignada del receptor (es decir, 3 700-4 200 MHz). Si la respuesta en frecuencia de un preamplificador es más amplia que la banda atribuida del receptor, aumenta la probabilidad de aparición de sobrecarga en el amplificador debido a las emisiones procedentes de transmisores fuera de la banda atribuida.

En la Fig. 7 se muestran los resultados de las mediciones de respuesta en frecuencia en un LNA y dos LNB (LNB N° 1 y LNB N° 2). Los tres preamplificadores están disponibles en el mercado y están siendo utilizados por las estaciones terrenas en la banda de 4 GHz. El LNA muestra una ganancia significativa en más del 40% del espectro por debajo de 5 GHz (2,8 a 4,8 GHz). El LNB, que incorpora cierto filtrado, no presenta una ganancia significativa por debajo de 3 400 MHz. El LNB N° 2 incorpora un filtro pasobanda en su diseño.



FIGURA 7/1179...[D07] = 10.5 CM

Las gamas de respuesta de los tres dispositivos amplificadores incluyen parte de las bandas, o todas las bandas, del servicio de radiolocalización entre 2 700 y 3 700 MHz así como la banda del servicio de radionavegación aeronáutica de 4 200 a 4 400 MHz. Esta respuesta en frecuencia de banda ancha de los LNA utilizados por las estaciones terrenas explotadas en la banda de 4 GHz, hace que estos sistemas sean vulnerables a la sobrecarga del extremo frontal producida por radares que funcionan fuera de la banda de 4 GHz.

## 2.2 Compresión de ganancia

Si el nivel de la señal de entrada en el preamplificador no rebasa el valor umbral (véase la ecuación (1)), la ganancia de salida del preamplificador del extremo frontal permanecerá en su valor nominal de diseño. Sin embargo, si dicho nivel rebasa un valor umbral crítico, la característica de ganancia del preamplificador se reducirá. Una consecuencia significativa de esta degradación es que la ganancia disminuirá a lo largo de toda la gama de respuesta en frecuencias del amplificador (por ejemplo, 2 800-4 800 MHz), aunque la sobrecarga aparezca a una sola frecuencia (por ejemplo, 3 300 MHz).

En las Figs. 8 y 9 aparecen las características de ganancia medidas del LNA y del LNB N. ° 1 antes caracterizados en condiciones de sobrecarga, respectivamente. Ambos preamplificadores fueron probados para características de sobrecarga con tres niveles de potencia de entrada de una señal de radar simulada (impulsos de 1 μs a una velocidad de 1 000 impulsos/s). Para lograr una mayor claridad gráfica, las frecuencias de entrada a los tres niveles de potencia se ajustaron sucesivamente a 3 300, 3 400 y 3 500 MHz. La señales en banda (deseadas) se ajustaron, de forma similar, a 3 900, 4 000 y 4 100 MHz. El nivel de entrada deseado en cada figura es el de la señal deseada a 3 900 MHz; la reducción en los niveles de señal deseada que se produce a 4 000 MHz y a 4 100 MHz se debe a la compresión de ganancia causada por la sobrecarga del extremo frontal. En el nivel de entrada de radar más bajo (potencia de cresta de –50 dBm) en cada una de las Figs. 8 y 9, los amplificadores no tienen sobrecarga y tanto la ganancia del amplificador como el nivel de potencia de las señales en banda (deseadas) son normales. Para una señal de radar de –30 dBm a 3 500 MHz, la señal deseada a 4 100 MHz se redujo en 15 dB para el LNA y en más de 25 dB para el LNB N.° 1.



## 2.3 Otras respuestas en sobrecarga

La compresión de ganancia puede que no sea la única consecuencia de la sobrecarga del extremo frontal del receptor; a la salida del dispositivo pueden generarse productos que se mezclan a la señal de entrada. La probabilidad de aparición de tales productos aumenta si el dispositivo incorpora una etapa mezcladora (conversión descendente), como en el caso de un LNB o un LNC. Cabe esperar que un dispositivo que carezca de tales etapas, como un LNA, sea menos susceptible a este fenómeno.

Las mediciones demostraron que tales productos de mezcla no aparecían en el LNA pero sí en el dispositivo LNB (véase la Fig. 9) para niveles de potencia de cresta de entrada de – 40 dBm y –30 dBm. Es fundamental indicar que alguno de los productos no deseados en los dispositivos LNB aparecieron a frecuencias dentro de la banda de recepción de 4 GHz. Tales respuestas podrían provocar interferencia en un sistema receptor si coinciden con las frecuencias de las señales deseadas (en banda). Además, el personal que realiza las mediciones puede interpretar a menudo erróneamente tales respuestas como señales no esenciales generadas por el radar en vez de identificarlas correctamente como una respuesta generada en el interior del LNB.



## 2.4 Intervalo de compresión de ganancia

El intervalo de compresión de ganancia por sobrecarga de un amplificador es finito. La longitud del intervalo de compresión es uno de los factores que determinan el volumen de datos que puede perder un sistema receptor a causa de la sobrecarga. En el Cuadro 1 aparece el resultado de las mediciones llevadas a cabo en tres días positivos para determinar sus intervalos de compresión de sobrecarga. Para cada dispositivo, se aplicó la señal de sobrecarga a cuatro niveles de potencia de cresta distintos, ajustados para producir compresiones de ganancia de 10, 20, 30, y 40 dB en la señal simulada en banda (deseada) a 4 000 MHz. La señal de sobrecarga de entrada tenía carácter impulsivo para simular un radar fuera de banda, como se hizo en pruebas anteriores de compresión de la ganancia, con una anchura de impulso de 1 μs, una frecuencia de repetición de impulsos de 1 000 impulsos/s y una frecuencia fundamental del radar de 3 500 MHz.

Se determinó que los intervalos de compresión para el LNA eran del orden de varios cientos de microsegundos y los intervalos de compresión para los dispositivos LNB eran aproximadamente dos órdenes de magnitud más breves, del orden de unos pocos microsegundos. Para el LNA, el intervalo resultante de compresión de 40 dB fue de 900 μs, cercano al intervalo de 1 000 μs entre los impulsos del radar simulado. Se ignora la razón de la diferencia en los intervalos de compresión de ganancia entre el LNA y los dos dispositivos LNB, y este tema no se consideró parte del estudio.

CUADRO 1

Intervalos de compresión de ganancia de los dispositivos LNA y el LNB

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Intervalo de compresión de 10 dB (μs) | Intervalo de compresión de 20 dB (μs) | Intervalo de compresión de 30 dB (μs) | Intervalo de compresión de 40 dB (μs) |
| LNA | 150 | 200 | 650 | 900 |
| LNB N.° 1 | 1(1) | 1,5 | 2,5 | 3 |
| LNB N.° 2 | 1,5 | 2,5 | 3 | 3,5 |
| (1) El intervalo de compresión fue igual en longitud a la duración del impulso de entrada: 1 μs. | | | | |

## 2.5 Posibilidades de reducción de la interferencia por sobrecarga del extremo frontal

El método más viable y económico de reducir la sobrecarga del extremo frontal del receptor en las estaciones terrenas y en las estaciones de radioenlaces del servicio fijo es la instalación de un filtro en el citado extremo frontal del receptor. El filtro debe colocarse ***delante*** del LNA (LNA/LNB/LNC); el filtrado de la frecuencia intermedia (FI) ***no*** resolverá el problema. El filtro debe atenuar la energía a la frecuencia de recepción en su grado mínimo, pero debe reducir notablemente la energía a la frecuencia fundamental del radar. De forma ideal, el filtro debe tener una característica de pasobanda en toda la parte del espectro atribuida para su utilización por el receptor y una característica de atenuación elevada fuera de la banda atribuida al receptor.

En la Fig. 10 se muestra la curva de respuesta en frecuencia producida por un filtro disponible en el mercado y utilizado para reducir la sobrecarga del extremo frontal en las estaciones de radioenlaces del servicio fijo y las estaciones terrenas en la banda de 4 GHz. Las pérdidas de inserción dentro de banda (3 700 a 4 200 MHz) oscilan entre 0 y 1 dB, tomando un valor típico de 0,5 dB. La atenuación fuera de banda es aproximadamente de 25 dB a 50 MHz de los bordes de la banda y superior a 45 dB a 100 MHz de los bordes de la banda.



# 3 Emisiones no esenciales del transmisor del radar

El acoplamiento de emisiones no esenciales del radar aparece cuando la energía procedente de las emisiones no esenciales del transmisor del radar en la estación terrena o en la estación del radioenlace de servicio fijo provoca una degradación de las características de funcionamiento del sistema de recepción. El factor predominante que controla el nivel de emisiones no esenciales procedentes de los radares es el dispositivo de salida del transmisor (también denominado tubo de salida).

Es importante conocer los niveles de emisión no esencial inherentes y las variaciones para los distintos tipos de dispositivos de salida del transmisor a fin de evaluar la posible interferencia procedente de los radares que utilizan estos dispositivos de salida. Los dispositivos de salida del radar de microondas generan de forma inherente un ruido de emisión no esencial que normalmente domina las emisiones espectrales para separaciones de frecuencias superiores a 50 MHz con respecto a la frecuencia fundamental del radar. (Normalmente tales emisiones reciben el nombre de ruido del transmisor.) En consecuencia, para separaciones de frecuencias superiores a 50 MHz, el espectro de emisión del radar es independiente de las características del sistema de radar tales como los parámetros de modulación del impulso (por ejemplo, ceder impulso, modulación del impulso y tiempos de establecimiento/caída del impulso). La Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones ha estudiado las características de la emisión no esencial de los dispositivos de salida del radar para mejorar la eficacia en la utilización del espectro y aumentar la compatibilidad con los servicios en bandas adyacentes.

## 3.1 Posibilidades de reducción de la interferencia procedente de las emisiones no esenciales del radar

A continuación se discuten diversas opciones para reducir la interferencia procedente de las estaciones de radar causadas por las emisiones no esenciales del transmisor de radar.

### 3.1.1 Métodos de reducción de la interferencia de la estación de radar

En algunas estaciones del servicio de radiodeterminación pueden utilizarse filtros guiaonda de RF para disminuir a niveles aceptables la interferencia causada a los receptores de las estaciones terrenas y los radioenlaces de servicio fijo. Las mediciones han demostrado (véanse las Figs. 11 y 12) que los filtros de guiaonda de RF suprimirán las emisiones no esenciales del radar en la banda de 4 GHz al menos entre 40 y 50 dB. En la Fig. 11, obsérvese que el filtro se caracteriza por una atenuación mayor de 80 dB en las frecuencias inmediatamente por encima de la frecuencia de corte superior de 3 700 MHz pero esta atenuación disminuye a un valor tan bajo como 15 dB para frecuencias por encima de 4 300 MHz. Ello demuestra que si bien la instalación de un filtro en una estación de radar puede disminuir la posible interferencia en una banda, puede que no sea una solución para otras bandas incluso más alejadas en el espectro.

Cuando la interferencia está causada por las emisiones no esenciales procedentes del transmisor de un radar, la instalación de un filtro de radiofrecuencia para la banda apropiada en dicho transmisor del radar se considera una posible solución siempre que sea viable desde el punto de vista, técnico, económico y de explotación. Aunque la mayoría de los sistemas de radar pueden aceptar la incorporación de un filtro de salida a fin de reducir las emisiones no esenciales, algunos sistemas utilizan transmisores con elementos en fase distribuidos y, en consecuencia, su salida no puede filtrarse de manera eficaz.

Otras opciones para reducir la interferencia provocada por las emisiones no esenciales del transmisor del radar consisten en la sustitución del dispositivo de salida de dicho transmisor y en la selección o ajuste de la frecuencia del mismo. Existen variaciones en los niveles de las emisiones no esenciales del mismo tipo de dispositivo de salida en función de un dispositivo individual y de la frecuencia de funcionamiento. En algunos casos la sustitución del dispositivo de salida o la modificación de la frecuencia de funcionamiento pueden reducir el problema de la interferencia. Estas posibilidades se consideran en la 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.

### 3.1.2 Posibilidades de reducción de la interferencia en las estaciones de radioenlaces del servicio fijo

En la Recomendación UIT‑R F.1097 se discuten las diversas posibilidades de reducir la interferencia a fin de aumentar la compatibilidad entre las estaciones de radioenlaces del servicio fijo y los radares que funcionan en bandas adyacentes cuando la interferencia es debida a las emisiones no esenciales del transmisor de radar en la banda del servicio fijo. Entre los métodos para reducir la interferencia en las estaciones de radioenlaces del servicio fijo cabe citar: diversidad en el espacio, diversidad angular, codificación con corrección de errores en recepción (FEC), utilización de canal alterno, despliegue de bandas alternas, encaminamiento del trayecto, aumento de la potencia del transmisor y selección de las características de la antena.





FIGURA 12/1179...[D12] = 11 CM

### 3.1.3 Posibilidades de reducción de la interferencia en estaciones terrenas del servicio fijo por satélite

A continuación se discuten diversas posibilidades para que las estaciones terrenas del servicio fijo por satélite aumenten la compatibilidad cuando la interferencia se debe a las emisiones no esenciales del transmisor de radar en la banda del SFS.

#### 3.1.3.1 Selección de antena

La discriminación de antena, es decir la respuesta de una antena a las señales que llegan desde distintos acimuts, varía ampliamente según los diversos tipos de antena. En algunas situaciones, puede que sea posible aprovechar estas características para disminuir la respuesta de un sistema a la interferencia procedente de una dirección en particular. Actualmente, la amplia mayoría de las estaciones terrenas utilizan antenas parabólicas normalizadas con alimentación en el foco principal. Otros tipos de antenas utilizadas con niveles menores de lóbulos laterales son las de reflector cassegrain, reflector gregorian, reflector con alimentación descentrada y antenas de bocina. Los fabricantes de antenas han señalado que las antenas parabólicas recubiertas empleadas por los sistemas de radioenlaces pueden ser también utilizadas por las estaciones terrenas que operan en la banda de 4 GHz. Cada tipo presenta una respuesta distinta a las señales fuera del eje. Para ángulos con el eje superior a 10°, las antenas con reflector de bocina cónico y las antenas parabólicas con recubrimiento pueden proporcionar entre 10 y 20 dB de supresión adicional de una señal interferente y entre 20 y 50 dB de supresión en el caso de ángulos con el eje mayores de 50°.

#### 3.1.3.2 Selección del emplazamiento

Durante la fase de diseño de las nuevas estaciones terrenas puede efectuarse una selección del emplazamiento a fin de no recibir interferencia de las estaciones de radar en funcionamiento. Existen diversos factores que determinan la selección del emplazamiento de las estaciones terrenas. Cuando sea posible, uno de los factores debe ser el entorno electromagnético. Para que la selección del emplazamiento sea un método útil para disminuir las posibilidades de interferencia, es necesario conocer la ubicación de las estaciones de radar. No obstante cabe señalar que la introducción de limitaciones adicionales debido a la selección del emplazamiento puede influenciar de forma significativa los aspectos económicos de la construcción de la estación terrenal. La clave fundamental para reducir la interferencia de radar en la selección del emplazamiento es el apantallamiento electromagnético que ofrece el terreno circundante.

1. \* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización Marítima Internacional (OMI), la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI), el Comité Internacional Radiomarítimo (CIRM), la Organización Mundial de Meteorología (OMM) y de las Comisiones de Estudio 4 y 9 de Radiocomunicaciones. [↑](#footnote-ref-1)
2. \*\* La Comisión de Estudio 5 de radiocomunicaciones introdujo modificaciones de edición en la presente Recomendación en 2009, de conformidad con la Resolución UIT-R 1. [↑](#footnote-ref-2)