

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1464*

**CARACTERÍSTICAS Y CRITERIOS DE PROTECCIÓN DE LOS RADARES
DE RADIONAVEGACIÓN Y METEOROLÓGICOS QUE FUNCIONAN
EN LA BANDA DE FRECUENCIAS 2 700-2 900 MHz**

(Cuestión UIT-R 35/8)

(2000)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las características en cuanto a antena, propagación de la señal, detección del objetivo y gran anchura de banda necesaria de los radares para lograr sus funciones son óptimas en ciertas bandas de frecuencia;
- b) que las características técnicas de los radares de radiodeterminación y meteorológicos vienen determinadas por la misión del sistema y varían ampliamente incluso dentro de una banda;
- c) que el servicio de radionavegación es un servicio de seguridad, tal como se especifica en el número S4.10 del RR, y no puede aceptarse el que se le cause interferencia perjudicial;
- d) que desde la CAMR-79 se han eliminado o degradado atribuciones considerables de espectro (equivalente a unos 1 GHz) a la radiolocalización y la radionavegación;
- e) que algunos grupos técnicos del UIT-R están considerando la posibilidad de introducir nuevos tipos de sistemas (por ejemplo, el acceso fijo inalámbrico y los sistemas fijos y móviles de gran densidad) o servicios en las bandas comprendidas entre 420 MHz y 34 GHz utilizadas por los radares de radiodeterminación y meteorológicos;
- f) que se requieren características técnicas y operacionales representativas de los radares de radiodeterminación y meteorológicos a fin de determinar la viabilidad de la introducción de nuevos tipos de sistemas en las bandas de frecuencia en que éstos funcionan;
- g) que se necesitan procedimientos y metodologías para analizar la compatibilidad entre los radares de radiodeterminación y meteorológicos y los sistemas de otros servicios,
- h) que los radares con base en el suelo utilizados con fines meteorológicos están autorizados a funcionar en esta banda sobre una base de igualdad con las estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica (número S5.423 del RR);
- j) que los radares de radionavegación aeronáutica y meteorológicos funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz,

recomienda

- 1 que se consideren las características técnicas y operacionales de los radares de radionavegación aeronáutica y meteorológicos descritas en el Anexo 1, como representativas de los que funcionan en la banda de frecuencias 2 700-2 900 MHz;
- 2 que se emplee la Recomendación UIT-R M.1461 como guía en el análisis de compatibilidad entre los radares de radionavegación y meteorológicos con los sistemas de otros servicios;

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI) y de la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

3 que se utilice el criterio de relación entre la potencia de la señal interferente y el nivel de potencia de ruido en el receptor de radar (I/N) de -6 dB como nivel de protección requerido para los radares de radionavegación y meteorológicos y que esta cifra represente el nivel de protección neto si hay múltiples fuentes interferentes presentes.

NOTA 1 – Esta Recomendación será revisada cuando se disponga de información más detallada. Los trabajos de estudios de compatibilidad entre radares en la banda 2 700-2 900 MHz y los sistemas IMT-2000 ya han empezado en el UIT-R.

ANEXO 1

Características de los radares de radionavegación aeronáutica y meteorológicos

1 Introducción

La banda 2 700-2 900 MHz está atribuida al servicio de radionavegación aeronáutica con carácter primario y al servicio de radiolocalización con carácter secundario. Los radares con base en el suelo utilizados para fines meteorológicos están autorizados a funcionar en esta banda sobre la base de igualdad con las estaciones del servicio de radionavegación aeronáutica (número S5.423 del RR).

Los radares de radionavegación aeronáutica se utilizan para el control del tráfico aéreo (ATC) en los aeropuertos y realizan un servicio de seguridad (número S4.10 del RR). Los datos revelan que ésta es la banda predominante para los radares de aproximación terminal y vigilancia de aeropuerto en el tráfico aéreo civil de todo el mundo. Los radares meteorológicos se utilizan para la detección de los eventos meteorológicos graves tales como tornados, huracanes y tormentas violentas. Estos radares meteorológicos dan también mediciones cuantitativas de la precipitación en ciertas zonas que son de gran importancia para la predicción hidrológica de las posibles riadas. Dicha información se utiliza para emitir los avisos al público y supone por tanto un servicio de seguridad de la vida humana.

2 Características técnicas

La banda 2 700-2 900 MHz está utilizada por diversos tipos distintos de radares en plataformas fijas en el suelo y transportables. Las funciones que realizan los sistemas de radar en esta banda incluyen el ATC y la observación meteorológica. Puede suponerse que las frecuencias de funcionamiento radar se distribuyen uniformemente en la banda 2 700-2 900 MHz. El Cuadro 1 contiene las características técnicas de los radares representativos de radionavegación aeronáutica y meteorológicos que funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz. Esta información es suficiente para los cálculos generales destinados a evaluar la compatibilidad entre dichos radares y otros sistemas.

2.1 Transmisores

Los radares que funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz utilizan impulsos de onda continua e impulsos modulados en frecuencia (comprimidos). En las etapas finales de los transmisores se utilizan dispositivos de salida de campo transversal, haz lineal y estado sólido. La tendencia en los nuevos sistemas de radar se orienta hacia los dispositivos de salida de haz lineal y estado sólido debido al requisito de procesamiento de la señal Doppler. Además, los radares que emplean dispositivos de salida de estado sólido tienen una potencia de salida de cresta del transmisor inferior y ciclos de trabajo de impulsos superiores que llegan hasta el 10%. También hay la tendencia hacia sistemas de radar de radionavegación con diversidad de frecuencias.

Las anchuras de banda de emisión de RF típicas en el transmisor de los radares que funcionan en la banda 2 700-2 900 MHz oscilan entre 66 kHz y 6 MHz. Las potencias de salida de cresta del transmisor van desde 25 kW (74 dBm) para los transmisores de estado sólido a 1,4 MW (91,5 dBm) para los radares de gran potencia que utilizan klystrons.

CUADRO 1

**Características de los radares de radionavegación aeronáutica y meteorológicos
en la banda 2 700-2 900 MHz**

Características	Radar A	Radar B	Radar C	Radar D	Radar E
Tipo plataforma (en aeronave, en un barco, en el suelo)	Suelo, ATC				Suelo, meteorología
Gama de sintonía (MHz)	2 700-2 900				2 700-3 000
Modulación	P0N		P0N, Q3N	P0N	
Potencia del transmisor a la antena	1,4 MW	1,32 MW	25 kW	450 kW	500 kW
Anchura del impulso (μ s)	0,6	1,03	1,0, 89	1,0	1,6 (impulso corto) 4,7 (impulso largo)
Tiempo de elevación/caída del impulso (μ s)	0,15-0,2		0,5/0,32 (impulso corto) 0,7/1 (impulso largo)		0,12
Tasa de repetición de impulsos (pps)	973-1 040 (seleccionable)	1 059-1 172	722-935 (impulso corto) 788-1 050 (impulso largo)	1 050	318-1 304 (impulso corto) 318-452 (impulso largo)
Ciclo de trabajo (%)	0,07 máximo	0,14 máximo	9,34 máximo	0,1 máximo	0,21 máximo
Anchura de banda de impulsos (MHz)	No se aplica		2	No se aplica	
Anchura del subimpulso codificado en fase	No se aplica				
Relación de compresión	No se aplica		89	No se aplica	
Anchura de banda de emisión RF: -20 dB	6 MHz	5 MHz	2,6 MHz (impulso corto) 5,6 MHz (impulso largo)		4,6 MHz
3 dB		600 kHz	1,9		600 kHz
Dispositivo de salida	Klystron		Transistores de estado sólido, Clase C	Magnetron	Klystron
Tipo de diagrama de antena (puntual, abanico, cosecante cuadrado, etc.)	Cosecante cuadrado +30°		Cosecante cuadrado 6°a +30°		Haz puntual
Tipo de antena (reflector, sistema en fase, sistema de ranuras, etc.)	Reflector parabólico				
Polarización de la antena	Vertical o circular levógira	Vertical o circular dextrógira	Circular o lineal	Vertical o circular levógira	Lineal: vertical y horizontal
Ganancia del haz principal de la antena (dBi)	33,5		34	32,8	45,7

CUADRO 1 (Fin)

Características	Radar A	Radar B	Radar C	Radar D	Radar E
Abertura del haz en elevación de la antena (grados)	4,8			4	0,92
Apertura del haz acimutal de la antena (grados)	1,35	1,3	1,45	1,6	0,92
Velocidad de exploración horizontal de la antena (grados/s)	75			90	18
Tipo de exploración horizontal de la antena (continua, aleatoria, 360°, sectorial, etc.)	360°				
Velocidad de exploración vertical de la antena (grados/s)	No se aplica				14 pasos en 5 min
Tipo de exploración vertical de la antena (continua, aleatoria, 360°, sectorial, etc.) (grados)	No se aplica		+2,5 a -2,5	No se aplica	Pasos fijos: 0,5-20
Niveles de los lóbulos laterales de la antena (primer lóbulo lateral y lóbulos laterales distantes)		+7,3 dBi	+9,5 dBi 3,5°		+20 dBi
Altura de la antena (m)	8				30
Anchura de banda a 3 dB de FI del receptor	5,0 MHz	653 kHz	15 MHz		630 kHz
Factor de ruido del receptor (dB)	4,0 máximo		3,3	2,7	2,1
Señal discernible mínima (dBm)	-110	-108	-110	-112	-115
Punto de compresión de ganancia 1 dB del primer paso del receptor (dBm)		-20			-17
Nivel de saturación en sintonía del receptor (dBm)		-45			-10
Anchura de banda a 3 dB de RF del receptor	2-2,3 MHz	10 MHz	280,6 MHz		1,6 MHz
Niveles de saturación y tiempos de recuperación en RF y en FI del receptor					-10 dBm, 1 µs
Anchura de banda del filtrado Doppler (Hz)		95 por intervalo			Estimación 95
Características de rechazo de interferencia	Mejora por realimentación	(1)			(2)
Distribución geográfica	Todo el mundo				
Fracción del tiempo de utilización (%)	100				

(1) Control del tiempo de sensibilidad, tasa de falsas alarmas constante, selección de las frecuencias de repetición de impulsos, rechazo de impulsos asíncronos, filtrado Doppler, eliminación de impulsos de saturación.

(2) Filtrado Doppler y eliminación de impulsos de saturación.

2.2 Receptores

La generación más reciente de sistemas de radar utiliza el procesamiento digital de la señal tras la detección para el alcance, el acimut y el procesamiento Doppler. Por lo general, el procesamiento de la señal incluye técnicas utilizadas para mejorar la detección de los blancos deseados y producir símbolos del blanco en la pantalla. Las técnicas de procesamiento de la señal utilizadas para la mejora e identificación de los blancos deseados dan también algún tipo de supresión de la interferencia de ciclo de trabajo corto, inferior al 5%, que es asíncrona respecto a la señal deseada.

Además, el procesamiento de la señal en los radares de la generación más reciente utiliza impulsos con compresión que dan ganancia de procesamiento para la señal deseada y pueden también suprimir las señales no deseadas.

Algunos de los transmisores de estado sólido y baja potencia más recientes utilizan un procesamiento de la señal en canal de receptor múltiple con ciclo de trabajo elevado para mejorar los retornos de la señal deseada. Algunos receptores radar tienen capacidad para identificar canales de RF que tienen señales no deseadas de nivel reducido y controlan el transmisor para que transmita en estos canales de RF.

2.3 Antenas

Los radares que funcionan en la banda 2700-2900 MHz utilizan únicamente antenas de tipo reflector parabólico. Los radares ATC tienen un diagrama de elevación de cosecante cuadrado, mientras que los radares meteorológicos presentan un diagrama de antena de haz estrecho. Como los radares que funcionan en la banda 2700-2900 MHz realizan funciones de ATC y de observación meteorológica, las antenas exploran un sector de 360° en el plano horizontal. Se utilizan polarizaciones horizontal, vertical y circular. Los radares de generación más reciente utilizan antenas de tipo reflector con bocinas múltiples. Se utilizan bocinas dobles en la transmisión y la recepción a fin de mejorar la detección de ecos parásitos de superficie. También se utilizan antenas de reflector con bocina múltiple y haz apilado en los radares tridimensionales. Las antenas de bocina múltiple reducen el nivel de la interferencia. Las alturas típicas de antena para los radares de radionavegación aeronáutica y meteorológicos son de 8 m y de 30 m sobre el nivel del suelo, respectivamente.

3 Criterios de protección

El efecto de desensibilización en los radares de radionavegación y meteorológicos procedente de otros servicios con señal de onda continua o modulación de tipo ruido se relaciona predeciblemente con su intensidad. En todo sector acimutal del que llegue dicha interferencia, su densidad espectral de potencia puede simplemente añadirse a la densidad espectral de potencia del ruido térmico del receptor radar, en una aproximación razonable. Si se denomina N_0 a la densidad espectral de potencia del ruido en el receptor radar en ausencia de interferencia e I_0 a la interferencia de tipo ruido, la densidad espectral de potencia de ruido efectiva resultante es simplemente la suma $I_0 + N_0$. Un aumento de 1 dB aproximadamente constituye una degradación significativa, equivalente a una reducción del alcance de detección del 6% aproximadamente. Un aumento de este tipo corresponde a una relación $(I + N)/N$ de 1,26 o a una relación I/N de -6 dB, aproximadamente. Esto representa el efecto acumulado de múltiples fuentes de interferencia presentes; la relación I/N admisible para una fuente interferente individual depende del número de fuentes de interferencia y de su geometría, y se ha de evaluar a lo largo del análisis de una situación determinada. Si se recibiese interferencia de onda continua de la mayoría de las direcciones acimutales, habría que mantener una relación I/N inferior.

El factor de acumulación puede ser muy sustancial en el caso de ciertos sistemas de comunicaciones en los que puede instalarse un gran número de estaciones.

El efecto de la interferencia impulsiva es más difícil de cuantificar y depende fuertemente del diseño de los receptores y el procesador, así como del modo de funcionamiento. En particular, las ganancias del procesamiento diferenciales para retornos de blanco válidos que son sincrónicos con los impulsos, y los impulsos de interferencia que generalmente son asíncronos, suelen tener efectos importantes en la repercusión de los niveles determinados de interferencia impulsiva. Este tipo de desensibilización puede dar lugar a diversas formas distintas de degradación de la calidad. La evaluación de éstas será un objetivo de los análisis de interacciones entre tipos específicos de radares. En general, cabe esperar que las numerosas características de los radares de radiodeterminación contribuyen a suprimir la interferencia impulsiva de ciclo de trabajo pequeño, especialmente la procedente de algunas fuentes aisladas. Las técnicas para suprimir la interferencia impulsiva con ciclo de trabajo corto figuran en la Recomendación UIT-R M.1372 – Utilización eficaz del espectro radioeléctrico por las estaciones del servicio de radiodeterminación.

4 Características operacionales

4.1 radares meteorológicos

Las características técnicas de un radar meteorológico representativo que predominantemente funciona en la banda 2 700-2 900 MHz se representan en el Cuadro 1 como las del radar E. No obstante, este radar puede funcionar hasta en 3 000 MHz. Se trata del sistema de radar meteorológico primario utilizado en las actividades de planificación de vuelos y suele estar situado en el mismo emplazamiento de los aeropuertos por todo el mundo para dar las condiciones meteorológicas precisas a las aeronaves. De esta manera, estos radares funcionan 24 h al día.

Este radar utiliza la tecnología Doppler para observar la presencia de situaciones meteorológicas graves tales como tornados, huracanes y tormentas violentas, y calcular su velocidad y dirección del movimiento. El radar E realiza también mediciones cuantitativas de la precipitación de una zona que son muy importantes en las predicciones hidrológicas de las posibles riadas. La capacidad de detección de condiciones meteorológicas graves y de su movimiento que ofrece este radar contribuye a aumentar la precisión y la oportunidad de los servicios de alerta. El radar de tipo E es el más adecuado en la detección de situaciones meteorológicas graves que amenazan a la vida humana y las propiedades mediante la detección rápida de vientos peligrosos y la estimación de volúmenes de precipitación que se utilizan en las previsiones de caudales y riadas.

Estos radares constituyen una red integrada que abarca la totalidad de Estados Unidos de América, Guam, Puerto Rico, Japón, Corea del Sur, China y Portugal. La banda de 2 700-2 900 MHz ofrece características excelentes en cuanto a la meteorología y la propagación para la previsión del tiempo atmosférico y las posibilidades de alerta. Las mejoras planificadas de este radar servirán para prolongar su vida en servicio hasta el año 2040.

4.2 Radares de radionavegación aeronáutica

Los radares de vigilancia de aeropuertos funcionan por todo el mundo en la banda 2 700-2 900 MHz. El Cuadro 1 ilustra cuatro tipos representativos de radares de ATC como radares A a D. Estos radares efectúan la vigilancia aeroportuaria para el control de aproximación terminal y normalmente actúan sobre un sector completo de 360° en horario continuo. Los radares A a C suelen estar situados en los aeropuertos y todo aeropuerto importante está generalmente equipado con un sistema de radar similar. Los radares A y B son los de la generación actual. El radar C representa el sistema de la siguiente generación que debe complementar y/o sustituir a los radares A y B después del año 2010. El radar D es un sistema transportable utilizado para el ATC en aeropuertos en los que no hay este tipo de facilidades. Cuando se utiliza, el radar D funciona 24 h al día. Algunos de estos radares funcionan en un modo de diversidad de frecuencias que exige dos asignaciones de frecuencia por radar.
