

RECOMENDACIÓN UIT-R M.1085-1*

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y DE EXPLOTACIÓN DE LOS RADARES
PERFILADORES DE VIENTO EN BANDAS PRÓXIMAS A 400 MHz**

(Cuestión UIT-R 102/8)

(1994-1997)

Resumen

La presente Recomendación señala las características técnicas y de explotación de los radares perfiladores de viento explotados en bandas de frecuencias próximas a 400 MHz. La Recomendación incluye la potencia representativa en la línea de antena, la anchura de banda necesaria, la anchura de banda ocupada, la supresión de los lóbulos laterales de antena representativos y directrices sobre las consideraciones de compartición de los radares perfiladores de viento. En el Anexo 1 figuran los valores representativos y los requisitos mínimos de la calidad de funcionamiento del sistema para los radares perfiladores de viento en bandas próximas a 400 MHz. En los Apéndices aparece información sobre la implementación práctica de los radares perfiladores de viento en dichas bandas.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) la Recomendación N.º 621 de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92);
- b) que los radares perfiladores de viento constituyen un sistema meteorológico importante utilizado para medir la velocidad y dirección del viento en función de la altitud;
- c) que muchas administraciones tienen la intención de instalar radares perfiladores de viento en redes operacionales con objeto de mejorar las previsiones y avisos meteorológicos, colaborar con los estudios sobre el clima y aumentar la seguridad de la navegación;
- d) la necesidad de contar con bandas de frecuencias en las proximidades de 50, 400 y 1 000 MHz para lograr la máxima explotación de las capacidades de los radares perfiladores de viento, como ha solicitado la Organización Meteorológica Mundial (OMM);
- e) que, una vez diseñados y construidos, los radares perfiladores de viento pueden funcionar en las frecuencias centrales con una tolerancia del $\pm 1\%$;
- f) que es posible que los radares perfiladores de viento tengan que compartir espectro con otros sistemas actuales y futuros;
- g) que sería conveniente contar con un número limitado de frecuencias autorizadas en todo el mundo a fin de minimizar las inversiones en investigación y desarrollo para el diseño de componentes;
- h) que las normas técnicas podrían mejorar la compatibilidad con otros sistemas que funcionen dentro de la misma banda minimizando las consecuencias negativas de las emisiones no esenciales y fuera de banda;
- j) las antenas típicas tienen una superficie entre 100 y 150 m²;
- k) que el efecto de los lóbulos laterales de antena puede reducirse más seleccionando emplazamientos de los radares perfiladores de viento en los que se aprovechen las ventajas del terreno y otros factores de ubicación y mejoras adicionales (por ejemplo, cercas, zanjas) y que la orientación de la antena puede mejorar la compatibilidad,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 7, 9 y 11 de Radiocomunicaciones.

recomienda

- 1 que las administraciones que deseen construir o explotar radares perfiladores de viento en las bandas próximas a 400 MHz adopten las normas de calidad de funcionamiento mínima que figuran en el Anexo 1;
- 2 que la potencia del transmisor se limite a la necesaria para obtener los datos en la altitud máxima para la que ha sido diseñado el radar perfilador de viento;
- 3 que la anchura de banda ocupada (véase la Nota 1) sea tan próxima a la anchura de banda necesaria (véase la Nota 2) como lo permitan los parámetros técnicos y económicos, a fin de proporcionar la resolución en distancia necesaria; cabe señalar que en las altitudes más elevadas normalmente pueden aceptarse valores de resolución reducidos. En el Anexo 1 aparecen algunos valores.

NOTA 1 – Anchura de banda ocupada: anchura de una banda de frecuencias tal que por debajo y por encima de los límites de frecuencia inferior y superior, respectivamente, las potencias medias transmitidas son iguales al 0,5% de la potencia media total de la emisión correspondiente.

NOTA 2 – Anchura de banda necesaria: para una determinada clase de transmisión, es la anchura de la banda de frecuencias suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones específicas;
- 4 que las emisiones no deseadas procedentes de radares perfiladores de viento deberán ser tan reducidas como lo permitan las características técnicas y económicas. En el Anexo 1 aparecen algunos valores;
- 5 que el diagrama de radiación de antena debe minimizar los niveles de los lóbulos laterales, especialmente los del horizonte o próximos al mismo. En el Anexo 1 figuran los valores de ganancia de lóbulo lateral así como los valores de intensidad de campo;
- 6 que las administraciones desarrollen los criterios de compartición adecuados, tales como las separaciones adecuadas de frecuencia-distancia (FD) de conformidad con la Recomendación UIT-R SM.337 para diseños específicos de radares perfiladores de viento en compartición con otros sistemas;
- 7 que al seleccionar los emplazamientos de los radares perfiladores de viento se aprovechen las ventajas que pueda ofrecer la configuración del terreno y el lugar, a fin de minimizar la posibilidad de interacción con otros sistemas; la introducción de mejoras adicionales (por ejemplo, cercas, zanjas) y la orientación de la antena pueden aumentar la compatibilidad;
- 8 que no se considere la compartición en el tiempo como un medio técnicamente adecuado para proteger los sistemas relativos a la seguridad de la vida humana, tales como el COSPAS-SARSAT;
- 9 que las bandas de frecuencias de la gama 300-500 MHz se elijan, cuando sea posible la compatibilidad, teniendo en cuenta la protección necesaria.

ANEXO 1

Valores representativos y requisitos mínimos de la calidad de funcionamiento en los sistemas de radares perfiladores de viento que funcionan en bandas próximas a 400 MHz**1 Introducción**

Los valores que figuran a continuación se basan en el conocimiento actual y en mediciones realizadas en funcionamiento real en sistemas con modulación de impulsos.

2 Valores representativos de los radares perfiladores de viento funcionando en bandas próximas a 400 MHz

CUADRO 1

| Parámetro del sistema | Gama de valores representativos ⁽¹⁾ |
|--|--|
| Potencia de cresta del impulso (kW) | 5-50 |
| Potencia media transmitida (kW) | 0,2-2,0 |
| Ganancia de antena en el haz principal (dBi) | 26-34 |
| Anchura de haz (grados) | 3-8 |
| Ángulo de inclinación (grados) | 12-18 |
| Tamaño de la antena (m ²) | 30-150 |
| Gama de alturas ⁽²⁾ (km) | 0,5-16 |
| Resolución en altura (m) | 150-1 200 |

(1) Los usuarios de este Cuadro deben tener precaución al utilizar combinaciones de estos valores para representar radares perfiladores de viento «típicos» o de «caso más desfavorable». Por ejemplo, un radar que funcione con una potencia de cresta de 50 kW y que utilice impulsos para obtener una resolución en altura de 150 m no sería un sistema usual.

(2) La máxima altura de funcionamiento depende del producto: (potencia media) × (superficie equivalente de la antena).

3 Requisitos mínimos de calidad de funcionamiento del sistema

3.1 Anchura de banda de la emisión

CUADRO 2

| Anchura del impulso (μs) | Anchura de banda necesaria (MHz) | Relación anchura de banda ocupada/necesaria |
|--------------------------|----------------------------------|---|
| 1-8 | 2,2-0,3 | ≤ 2,5 ⁽¹⁾ |

(1) Pueden obtenerse valores de hasta 1,2 con unos costes más elevados y una calidad de funcionamiento algo inferior debido a la conformación de los impulsos. El límite se refiere a la combinación de potencia y anchura de impulsos que produce la mayor densidad de potencia en las bandas laterales de la señal.

3.2 Niveles de emisiones no esenciales

Los niveles de emisión no deseada deben medirse a la entrada de antena utilizando los valores de anchura de banda indicados a continuación:

Anchura de banda: ≤ $1/T$ para radares de frecuencia fija con impulsos no codificados en fase siendo T = longitud del impulso. (Por ejemplo, si la longitud del impulso del radar es 1 μs, la anchura de banda en FI de medición debe ser ≤ $1/1 \mu s = 1 \text{ MHz}$)

≤ $1/t$ para radares de frecuencia fija con impulsos codificados en fase, siendo t = longitud de fase del subimpulso. (Por ejemplo, si un radar transmite impulsos de 26 μs, estando compuesto a cada impulso por 13 subimpulsos de 2 μs de longitud codificados en fase, la anchura de banda en FI de medición debe ser ≤ $1/2 \mu s = 500 \text{ kHz}$)

Anchura de banda de vídeo: ≥ Anchura de banda en FI del sistema de medición

Supresión de emisiones no esenciales: > 60 dB.

3.3 Características de antena

3.3.1 Supresión de los lóbulos laterales de la antena

CUADRO 3

Supresión del lóbulo lateral de la antena para ángulos especificados por encima del horizonte

| Ángulo por encima del horizonte (grados) | Supresión del lóbulo lateral de antena (dB) | |
|---|--|--------------|
| | Valor mediano | Valor mínimo |
| 0-5 | 40 | 33 |
| 5-45 | 25 | 23 |
| > 45 | 20 | 13 |

3.3.2 Desplazamiento del haz de antena

El centro del haz principal de la antena generado en cualquier instante debe estar limitado por un cono vertical de un ángulo de 40° en el vértice; es decir, semiángulos de 20° a partir del zenit.

3.4 Tolerancia en frecuencia del transmisor

Los transmisores de los radares perfiladores de viento deben mantener una tolerancia en frecuencia de 10 partes por millón o mejor. La frecuencia de los radares perfiladores de viento que van a funcionar en las bandas de televisión debe estar sincronizada con el transmisor de TV más próximo en el mismo canal o la estabilidad en frecuencia debe ser igual o mejor que $0,1 \times 10^{-6}$.

3.5 Características del receptor (véase la Nota 1)

La anchura de banda del receptor a -3 dB debe ser proporcionada con la anchura de banda de emisión autorizada más el doble de la tolerancia en frecuencia del transmisor especificada en el § 3.4. La anchura de banda del receptor a -60 dB debe ser proporcionada con la anchura de banda de la emisión a -60 dB. Los receptores deben ser capaces de conmutar los límites de anchura de banda a los valores adecuados siempre que se conmute la anchura de banda del transmisor (se modifique la forma del impulso). El rechazo de la frecuencia imagen (FI) del receptor, cuando sea aplicable, debe ser al menos de 50 dB. El rechazo de otras respuestas no esenciales debe ser al menos de 60 dB. Los receptores de un radar perfilador de viento no deben presentar ninguna radiación del oscilador local superior a -70 dBW en los terminales de entrada de antena. La estabilidad en frecuencia de los receptores debe ser proporcionada con la de los transmisores asociados, o mejor que ésta.

NOTA 1 – En general, el término «proporcionado» equivale aproximadamente al término «igual» y se utiliza varias veces en este punto. Además, en la frase «la anchura de banda del receptor a -60 dB deberá ser proporcionada con la anchura de banda de emisión a -60 dB», indica que el receptor debe tener una anchura de banda lo suficientemente amplia como para que pasen todas las señales deseadas, pero no tanto como para hacerle vulnerable a la interferencia de canal adyacente.

3.6 Rechazo de la interferencia

La interferencia impulsiva no coherente debe tener un ciclo activo inferior al 1,5% de forma que niveles de cresta de la señal interferente 30 dB superior al nivel de ruido en el receptor del radar perfilador de viento en la salida de FI no degraden la calidad de funcionamiento de dichos radares.

3.7 Potencia de salida del transmisor

La potencia isotrópica radiada equivalente de cresta (p.i.r.e.) no debe rebasar el valor de 80 dBW.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

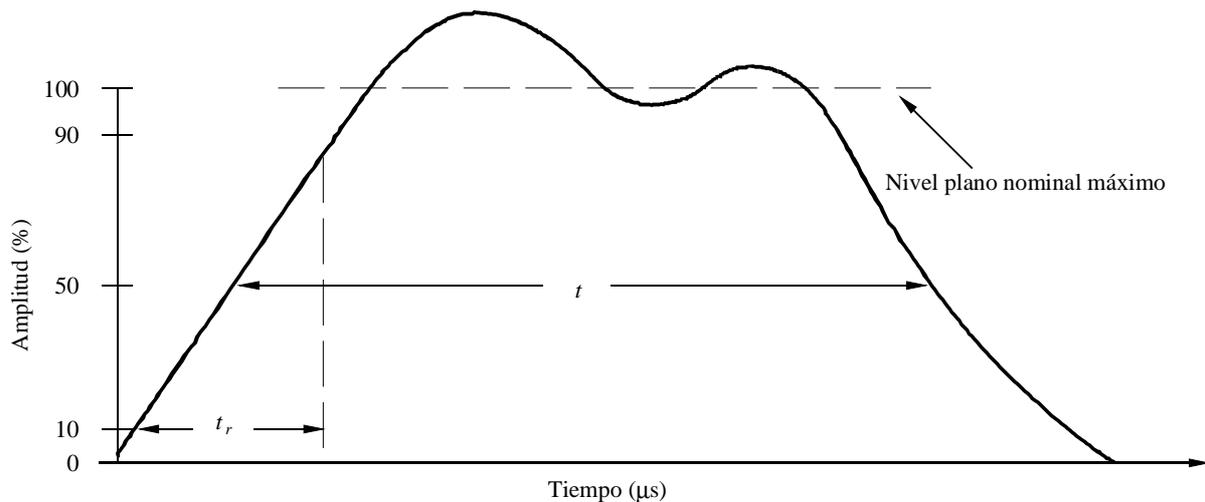
Ejemplo de un radar perfilador de viento a 400 MHz normalizado**1 Introducción**

En este Apéndice figura un ejemplo de norma operativa aplicada a un radar perfilador de viento a 449 MHz. Esta norma figura en la National Telecommunications and Information Administration (NTIA), Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio-Frequency Management.

2 Símbolos y términos definidos

- B : anchura de banda de la emisión (MHz)
- B_c : anchura de banda de la desviación de frecuencia (MHz). (Excursión total de la frecuencia en la duración de los impulsos)
- B_d : anchura de banda de la desviación de frecuencia (diferencia de cresta entre la frecuencia instantánea de la onda modulada y la frecuencia portadora) – (sistemas de radar MF/onda continua)
- B_s : gama máxima de excursión de la frecuencia portadora (MHz) (sistemas de radar con salto de frecuencia)
- d : relación de compresión de los impulsos (duración del impulso emitido/duración del impulso comprimido, en los puntos del 50% de amplitud)
- F_0 : frecuencia de funcionamiento (MHz). Para radares de impulsos sin modulación en frecuencia, se trata de la cresta del espectro de potencia; para radares de impulsos con modulación en frecuencia, ese valor medio de las frecuencias portadoras más baja y más elevada durante el impulso;
- N : número total de «chips» (subimpulsos) contenidos en el impulso ($N = 1$ para radares de impulsos con y sin modulación en frecuencia)
- PG : ganancia de procesamiento (dB). Para un radar de impulsos sin modulación en frecuencia, $PG = 10 \log N$
- P_p : potencia de cresta (dBm)
- PRR : velocidad de repetición de impulsos (impulsos/s)
- P_t : máxima densidad espectral de potencia (dB(mW/kHz))
- t : duración del impulso emitido (μ s) entre puntos del 50% de amplitud (tensión). Para impulsos codificados, la duración del impulso es el intervalo comprendido entre los puntos del 50% de amplitud de un «chip» (subimpulso). La amplitud del 100% es el máximo nivel nominal plano del impulso (véase la Fig. 1)
- t_r : tiempo de establecimiento del impulso emitido (μ s) entre puntos del 10% y el 90% de amplitud en el flanco anterior (véase la Fig. 1). Para impulsos codificados es el tiempo de establecimiento de un subimpulso; si no es posible determinar dicho tiempo de establecimiento, puede suponerse que es el 40% del tiempo necesario para conmutar desde una fase o subimpulso al siguiente
- t_f : tiempo de caída del impulso emitido (μ s) entre puntos del 90% y el 10% de amplitud en el flanco posterior (véase la Fig. 1). Si t_f es menor que t_r , debe utilizarse t_f en lugar de t_r al realizar los cálculos de anchura de banda de la emisión
- S : pendiente de caída (dB/década). (Define las pendientes de la emisión a partir del punto a -40 dB; es el límite superior del nivel de energía admisible más allá de ese punto.)

FIGURA 1
Determinación de t y t_r



1085-01

3 Criterios

3.1 Anchura de banda de la emisión

La anchura de banda de la emisión para los radares perfiladores de viento a la entrada de antena no deberá rebasar los siguientes límites:

3.1.1 Para radares de impulsos sin modulación en frecuencia (MF) (incluidos los radares de impulsos codificados):

$$\text{El menor valor entre los dos siguientes: } B(-40 \text{ dB}) = 6,2 / (t_r t)^{1/2} \text{ ó } 64 / t.$$

3.1.2 Para radares de impulsos con modulación en frecuencia (MF intencionada):

$$B(-40 \text{ dB}) = 6,2 / (t_r t)^{1/2} + 2(B_c + 0,105 / t_r)$$

3.1.3 Para radares perfiladores de viento debe ofrecerse una justificación de explotación si el tiempo de establecimiento del impulso, t_r , es inferior a 0,01 μs .

NOTA 1 – La anchura de banda a -20 dB para los radares perfiladores de viento que funcionan a 449 MHz no deberá superar el valor de 2 MHz.

3.1.4 Para radares de onda continua:

$$B(-40 \text{ dB}) = 0,0003 F_0$$

3.1.5 Para radares MF/onda continua:

$$B(-40 \text{ dB}) = 0,0003 F_0 + 2 B_d$$

3.2 Niveles de emisión

Los niveles de emisión de los radares perfiladores de viento a la entrada de la antena no deben ser mayores que los valores obtenidos a partir de la curva de la Fig. 2. En las frecuencias desplazadas $\pm B(-40 \text{ dB})/2$ con respecto a F_0 , el nivel deberá encontrarse al menos 40 dB por debajo del valor máximo. Para frecuencias desplazadas de F_0 más de $\pm B(-X \text{ dB})/2$ el nivel deberá estar por debajo de la máxima densidad espectral de potencia al menos el valor en dB dado por:

$$X \text{ (dB)} = 60 \text{ dB, o}$$

$$X \text{ (dB)} = P_t + 30, \text{ tomando entre ambos valores de la atenuación el mayor.}$$

Entre las frecuencias de los puntos a -40 dB y a $-X$ dB, el nivel deberá encontrarse por debajo de las líneas con pendiente de caída de 40 dB por década ($S = 40$) representadas en la Fig. 2. Todas las frecuencias armónicas deberán encontrarse a un nivel al menos 60 dB inferior a la máxima densidad espectral de potencia.

NOTA 1 – P_t puede medirse o, a efectos de estos criterios, puede calcularse a partir de la fórmula siguiente:

$$P_t = P_p + 20 \log (N t) + 10 \log (PRR) - PG - 90$$

NOTA 2 – La pendiente de caída, S , entre los puntos a -40 dB y a $-X$ dB es de 40 dB por década. La anchura de banda a -20 dB está limitada a 2 MHz para los radares perfiladores de viento que funcionan a 449 MHz. El máximo nivel del espectro de emisión entre los puntos a -40 dB y a $-X$ dB para una pendiente de S dB por década viene determinado por la fórmula siguiente:

$$\text{Supresión (dB)} = -S \cdot \log \left| \frac{F - F_0}{\frac{1}{2} B(-40 \text{ dB})} \right| - 40$$

donde:

$$\frac{1}{2} B(-40 \text{ dB}) \leq |F - F_0| \leq \frac{1}{2} B(-X \text{ dB})$$

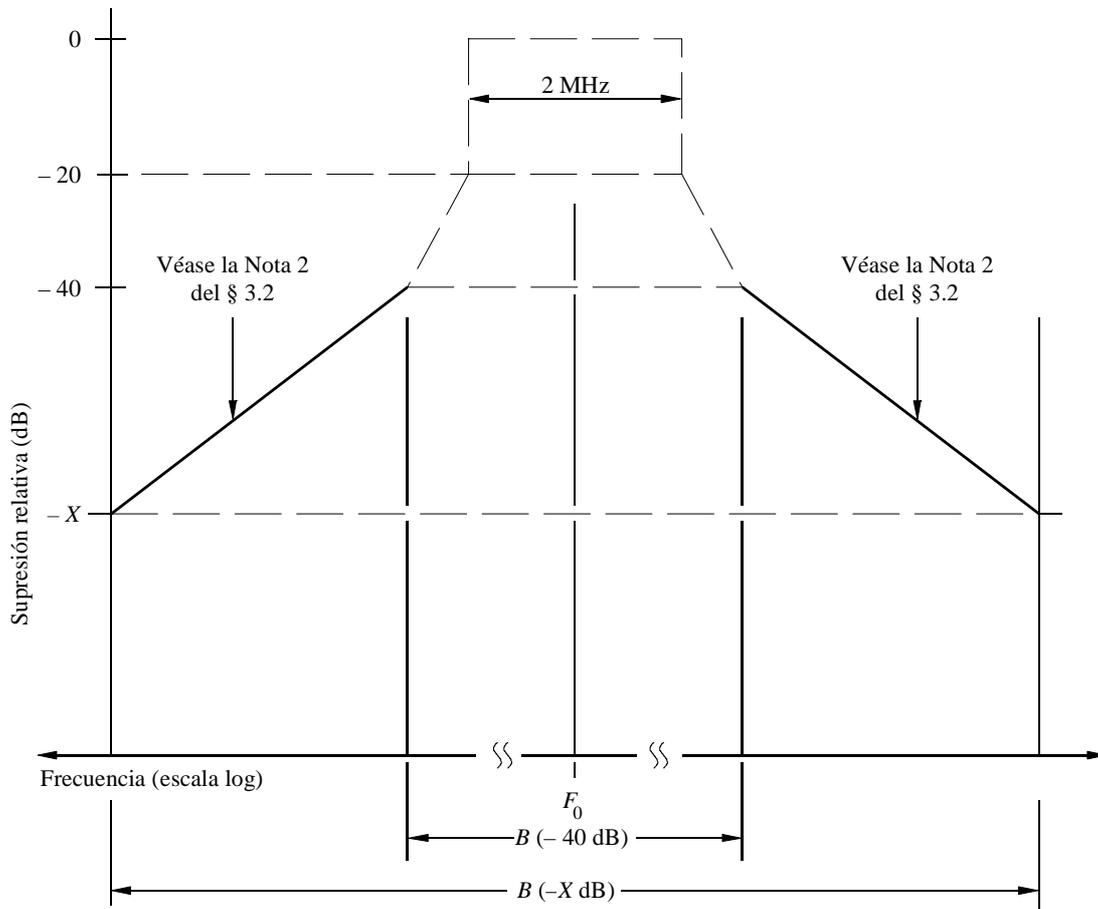
y:

$$B(-X \text{ dB}) = (10^a) B(-40 \text{ dB})$$

$$a = \frac{X - 40}{S}$$

FIGURA 2

Anchura de banda de la emisión del radar y niveles de emisión para los radares perfiladores de viento que funcionan a 449 MHz



3.3 Características de la ganancia de antena

El centro del haz principal de la antena generado en cualquier instante deberá estar limitado por un cono de semiángulo 20° a partir del cenit. Los niveles de los lóbulos laterales (excluyendo el haz principal) en cualquier acimut no rebasarán los siguientes valores:

| Ángulo de elevación (grados) | Niveles de los lóbulos laterales (dBi) | |
|---------------------------------|---|--------|
| | Mediano | Máximo |
| ≥ 45 | 0 | 12 |
| de 5 a 45 | -5 | 7 |
| ≤ 5 | -20 | -8 |

3.4 Tolerancia en frecuencia del transmisor

Los transmisores de los radares perfiladores de viento tendrán una tolerancia en frecuencia no superior a 10 partes por millón.

3.5 Características del receptor

La anchura de banda del receptor a -3 dB debe ser proporcionada con la anchura de banda de emisión autorizada + dos veces la tolerancia en frecuencia del transmisor indicada en el § 3.4. La anchura de banda del receptor a -60 dB será la anchura de banda de emisión a -60 dB. Los receptores deberán ser capaces de conmutar los límites de la anchura de banda a los valores adecuados siempre que se conmute la anchura de banda del transmisor (modificación de la forma del impulso). El rechazo de la frecuencia imagen en el receptor deberá ser al menos de 50 dB. El rechazo de otras respuestas no esenciales deberá ser al menos de 60 dB. Los receptores de los radares perfiladores de viento no deberán presentar ninguna radiación del oscilador local superior a -40 dBm en los terminales de entrada de la antena. La estabilidad en frecuencia de los receptores deberá ser proporcionada con la estabilidad de los transmisores asociados, o mejor que ella.

3.6 Compatibilidad electromagnética

Los radares perfiladores de viento deben tener la capacidad de tolerar interferencia impulsiva incoherente con ciclos activos inferiores al 1,5 % de forma que unos niveles de cresta de señal interferente 30 dB superiores al nivel de ruido en el receptor del radar perfilador de viento en la salida de FI no degraden el comportamiento del radar.

3.7 Capacidad de medición

Para coordinar el funcionamiento práctico del radar, es necesario realizar una medición precisa de la frecuencia de explotación. Un valor adecuado de dicha precisión es de 1,0 partes por millón. También tiene gran importancia la capacidad de medir el tiempo de establecimiento de los impulsos y la ocupación del espectro. De acuerdo con ello, la precisión de los instrumentos necesarios para realizar las mediciones de frecuencia deberá ser, al menos, de 1,0 partes por millón y debe contarse con los analizadores de espectro y osciloscopios adecuados para efectuar las mediciones necesarias de los parámetros de tiempo y frecuencia a fin de determinar el cumplimiento de estos criterios. Los instrumentos de medición deberán tener unas anchuras de banda de resolución de al menos 10 kHz para poder efectuar medidas en las proximidades de los límites de la anchura de banda; de no ser así, debe emplearse una anchura de banda de 100 kHz por debajo de 1 GHz y una anchura de banda de 1 MHz en frecuencias iguales y superiores a 1 GHz.

3.8 Potencia de salida del transmisor

La p.i.r.e. de cresta de cualquier radar perfilador de viento que funcione a 449 MHz no debe rebasar el valor de 110 dBm.

APÉNDICE 2
AL ANEXO 1

Mediciones de intensidad de campo alrededor de un radar perfilador de viento operativo a 482 MHz

4.1 Parámetros del sistema de radar perfilador de viento

| | |
|--|------------------|
| Potencia de cresta de los impulsos (kW) | 16 |
| Anchura del impulso (μ s) | 1,7 |
| Periodo de repetición de impulsos (μ s) | 100 |
| Tipo de antena | Coaxial colineal |
| Tamaño de antena (m^2) | 169 |
| Ganancia de antena (dBi) | 32 |
| Ángulo de inclinación de la antena (grados) | 15 |
| Posiciones del haz | 5 |

4.2 Parámetros de medición

| | |
|---------------------|---------------------------|
| Altura de la antena | 10 m por encima del suelo |
| Polarización | Vertical y horizontal |

4.3 Resultados de las mediciones

En la Fig. 3 se representan los valores de intensidad de campo en el 50% de los emplazamientos y durante el 50% del tiempo para seis direcciones de antena distintas ($dB(\mu V/m)$) medidos en el plano horizontal y en función de la distancia. Basándose en los datos de medición registrados se calcularon doce valores medianos de intensidad de campo (indicados por las 12 líneas de puntos en orden vertical en los puntos de prueba MP 1 a MP 7).

La tendencia de la disminución de la densidad de campo se determinó basándose en los resultados obtenidos para los siete puntos de prueba y se representa en la Figura como una línea continua. Esta curva muestra una disminución de la intensidad de campo de 42 dB por década de distancia. Por consiguiente, el diagrama demuestra que esta reducción de la intensidad de campo de 42 dB por década corresponde a la caída de la intensidad de campo de 40 dB por década calculada en el caso del servicio móvil utilizando el modelo de propagación Hata.

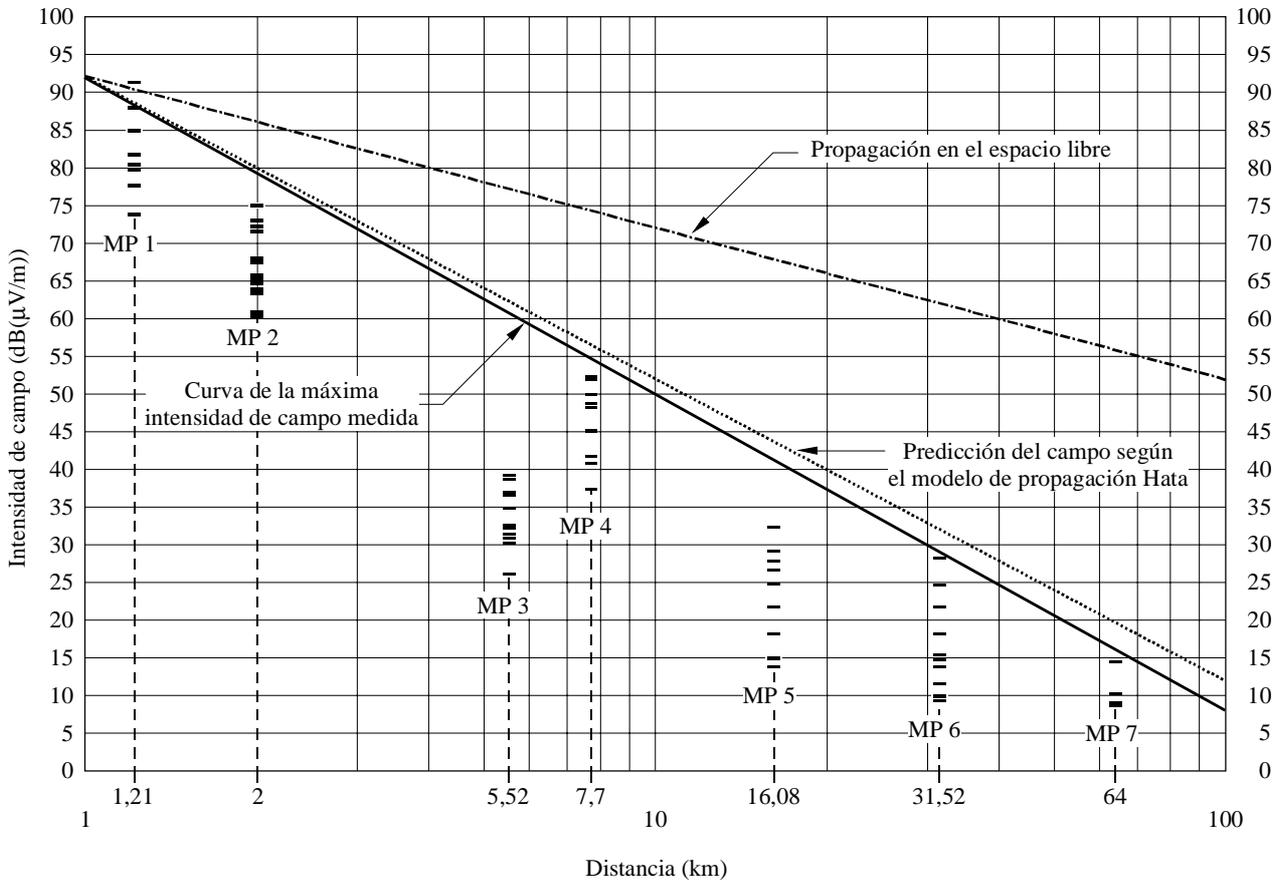
La Fig. 3 puede utilizarse para evaluar la compatibilidad radioeléctrica entre un radar perfilador de viento asignado al servicio de radiolocalización y una zona de recepción de radiodifusión de televisión, determinando la distancia admisible a la que debe colocarse el radar según la intensidad de campo interferente.

4.4 Ejemplo de un servicio de televisión interferido por un radar perfilador de viento

- Mínima intensidad de campo de la señal de TV: 52 $dB(\mu V/m)$ (Informe UIT-R BT.409 (Düsseldorf, 1990))
- Relación de protección (desplazamiento de media línea): 39 dB
- Máxima intensidad de campo del radar perfilador de viento en el punto de recepción: 52 – 39 = 13 $dB(\mu V/m)$
- Mínima distancia al radar perfilador de viento (Fig. 3): 70 km

NOTA 1 – Este ejemplo se refiere únicamente al caso de protección de la señal de TV durante el 50% del tiempo.

FIGURA 3
Valores de intensidad de campo medidos a 482 MHz



Nota 1 – Explicaciones para la utilización de la Fig. 3:

