

## RECOMENDACIÓN UIT-R M.1177\*

**TÉCNICAS PARA LA MEDICIÓN DE EMISIONES NO ESENCIALES  
EN LOS SISTEMAS DE RADAR MARÍTIMO**

(Cuestión UIT-R 202/8)

(1995)

**Resumen**

En el Apéndice 8 al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) se especifican los valores máximos de las emisiones no esenciales procedentes de los transmisores radioeléctricos en términos de potencia media relativa y potencia media absoluta, pero estos límites no son aplicables al servicio de radiodeterminación hasta que se establezcan métodos de medición aceptables.

La presente Recomendación señala técnicas para la medición de emisiones no esenciales procedentes de los sistemas de radar marítimo.

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 empleadas por otros servicios y tienen una relación armónica con los mismos;
- b) que las estaciones de otros servicios son vulnerables a la interferencia causada por emisiones no esenciales con elevado nivel de potencia de cresta procedentes de las estaciones de radar;
- c) que muchos servicios han adoptado o tienen previsto adoptar sistemas de modulación digital que son más susceptibles a la interferencia provocada por las emisiones no esenciales del radar;
- d) que en las condiciones indicadas de a) a c), la interferencia a estaciones de otros servicios puede proceder de una estación de radar con emisiones no esenciales de elevado nivel de potencia de cresta;
- e) que el Apéndice 8 al RR especifica los valores máximos de las emisiones no esenciales procedentes de transmisores radioeléctricos en términos de potencia media relativa y potencia media absoluta, pero estos límites no son aplicables al servicio de radiodeterminación hasta contar con métodos de medición aceptables;
- f) que las técnicas para medir las emisiones no esenciales del radar a fin de asegurar la compatibilidad con otros servicios exigen poder medir niveles del orden de 130 dB por debajo de la emisión fundamental del radar;
- g) que es conveniente tener la capacidad de medir emisiones no esenciales hasta 18 GHz,

*recomienda*

- 1** que para cuantificar los niveles de emisiones no esenciales procedentes de estaciones del radar marítimo se utilicen las técnicas de medición descritas en el Anexo 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 1, 4 y 9 de Radiocomunicaciones.

## 1 Introducción

En respuesta al § 1 de la Cuestión UIT-R 202/8 se han desarrollado diversas técnicas, dos de las cuales, denominadas método directo e indirecto, se recomiendan.

El método de medición directo tiene la propiedad de medir con precisión las emisiones no esenciales procedentes de radares diseñados de forma que impiden realizar mediciones en puntos intermedios de los sistemas de radar. Tales radares incluyen, por ejemplo, los que utilizan redes de transmisores distribuidos incorporados en la estructura de antena, o que realmente comprenden dicha estructura.

En el método indirecto los componentes del sistema de radar se miden por separado y a continuación se combinan los resultados. La división recomendada del radar es separar el sistema después de la «junta giratoria» midiendo de esa forma el espectro de salida del transmisor en el acceso de salida de dicha junta y combinando el resultado con las características de ganancia de antena medidas.

La experiencia con estas técnicas ha arrojado una repetibilidad de  $\pm 2$  dB a cualquier frecuencia dada y con parámetros de medición fijos acordados, para cualquier unidad de radar dada.

## 2 Anchura de banda del sistema de medición y parámetros del detector

Anchura de banda de FI  $\leq$   $(1/T)$  para radares sin codificación por impulsos de frecuencia fija, siendo  $T$ : longitud del impulso. (Por ejemplo, si la longitud del impulso del radar es  $1 \mu\text{s}$ , la anchura de banda de FI de medición debe ser  $\leq 1/(1 \mu\text{s}) = 1 \text{ MHz}$ .)

$\leq$   $(1/t)$  para radares de impulsos codificados en fase de frecuencia fija, siendo  $t$ : longitud del segmento codificado en fase. (Por ejemplo, si un radar transmite impulsos de  $26 \mu\text{s}$ , cada uno de ellos consistente en 13 segmentos codificados en fase de  $2 \mu\text{s}$  de longitud, la anchura de banda de FI de medición debe ser  $\leq 1/(2 \mu\text{s}) = 500 \text{ kHz}$ .)

$\leq$   $(B/T)^{1/2}$  para radares de barrido de frecuencia (MF, o de chirrido), siendo  $B$ : gama del barrido de frecuencia durante cada impulso y  $T$ : longitud del impulso. (Por ejemplo, si el radar realiza un barrido (chirrido) a través de la gama de frecuencias 1 250-1 280 MHz (= 30 MHz de espectro) durante cada impulso y si la longitud del impulso es de  $10 \mu\text{s}$ , la anchura de banda de FI de medición debe ser:  $\leq ((30 \text{ MHz})/(10 \mu\text{s}))^{1/2} = \sqrt{3} \approx 1,73 \text{ MHz}$ .)

Anchura de banda de vídeo  $\geq$  Anchura de banda de FI del sistema de medición

Detector: Cresta positiva.

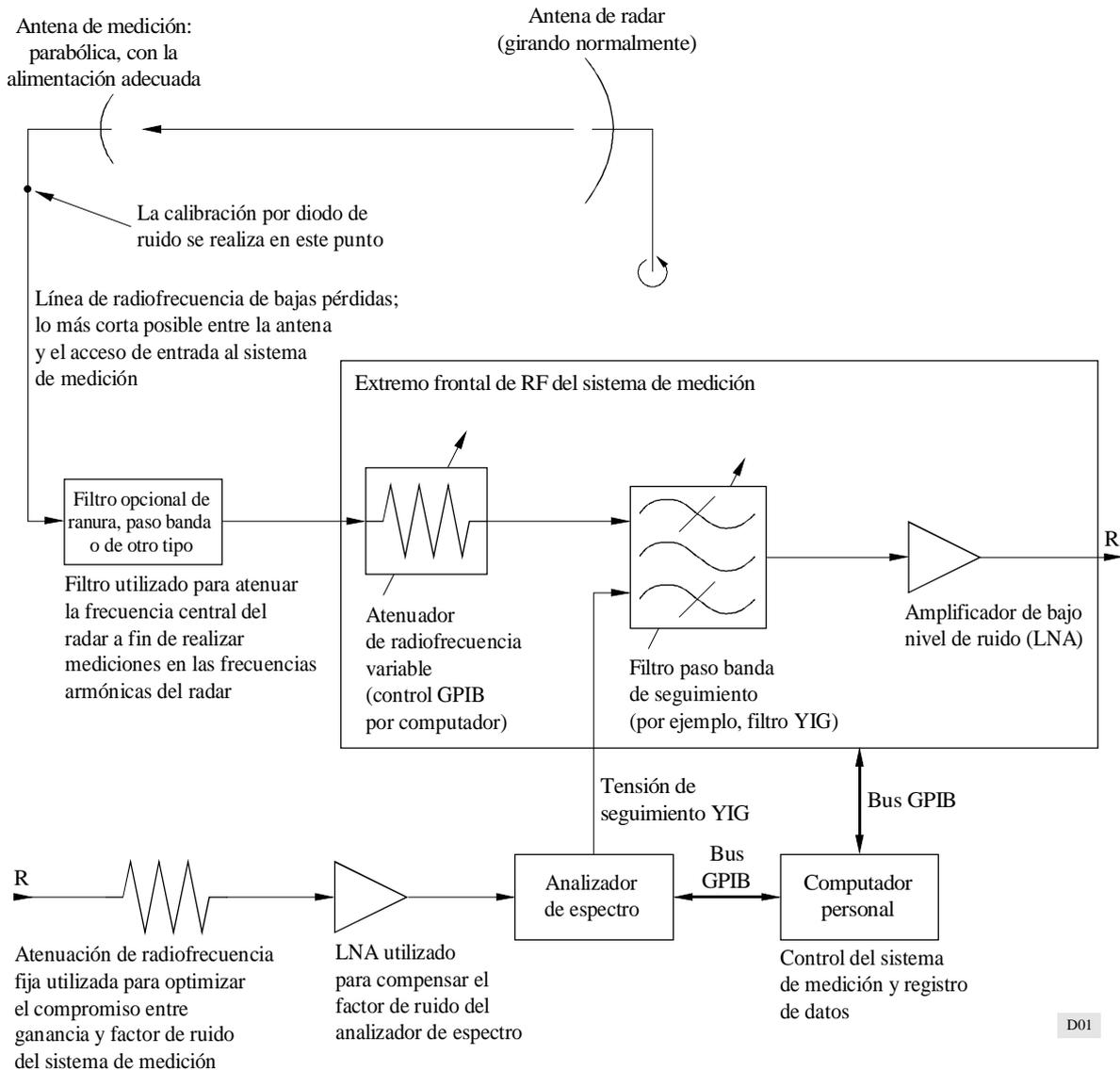
## 3 Método directo

### 3.1 Soporte físico y soporte lógico de la medición

En la Fig. 1 se representa un diagrama de bloques del tipo del sistema de medición requerido para este método. El primer elemento del sistema es la antena de recepción. Esta antena normalmente debe tener una respuesta en frecuencia de banda ancha, al menos tan amplia como la gama de frecuencias que va a medirse. Generalmente también conviene que tenga una respuesta de alta ganancia (como es el caso de los reflectores parabólicos). El valor de alta ganancia permite una mayor gama dinámica en la medición resultante y la anchura de haz estrecha de la antena proporciona discriminación contra otras señales que pueda haber en la zona. La polarización de la alimentación de la antena se elige de forma que se maximice la respuesta a la señal del radar. La polarización circular de la alimentación es una buena elección cuando no se conoce a priori la polarización del radar. Mediante un cable de RF de bajas pérdidas de una cierta longitud (que variará según las circunstancias geométricas de cada emplazamiento de medición) se conecta la antena al extremo frontal de RF del sistema de medición. Como las pérdidas en ese trozo de línea atenúan la señal de radar recibida, conviene que la longitud del cable sea lo más pequeña posible.

FIGURA 1

**Diagrama de bloques del sistema de medición por el método directo de las emisiones no esenciales procedentes de radares**



El extremo frontal de RF consta de tres elementos: atenuador variable de RF, filtro paso banda sintonizable en frecuencia (denominado preselector) y amplificador de bajo nivel de ruido (LNA). Cada uno de estos elementos debe tener una gama de respuesta en frecuencia al menos tan amplia como la gama de frecuencias que va a medirse. El atenuador de RF proporciona una atenuación variable (por ejemplo, 0-70 dB) en incrementos fijos (por ejemplo, por pasos de atenuación de 10 dB). La utilización de este atenuador durante las mediciones amplía la gama dinámica instantánea del sistema de medición en una cantidad igual a la máxima atenuación disponible (por ejemplo, 70 dB en el caso de un atenuador de 0 a 70 dB). En principio, este atenuador puede controlarse manualmente pero en la práctica es mucho más conveniente hacerlo por computador (véase más adelante).

El preselector protege el sistema de medición con relación al comportamiento no lineal debido a la alta potencia de la frecuencia fundamental de la señal de radar cuando se sintoniza dicho sistema a señales de potencia relativamente baja procedentes del radar a frecuencias ampliadas en el espectro de emisión no esencial (por ejemplo, cuando la frecuencia central del radar es 3 050 MHz y el sistema de medición está sintonizado a 4 800 MHz). En principio, este filtro puede sintonizarse manualmente. Sin embargo, como sucede con el atenuador, es más práctico aplicar un control automático por computador o a través de una tensión analógica sintonizada en frecuencia procedente del analizador de espectro.

El elemento final del extremo frontal de RF es un LNA. Dicho LNA instalado como siguiente elemento en el trayecto de la señal tras el preselector compensa el factor de ruido del resto del sistema de medición (por ejemplo, un tramo de la línea de transmisión y un analizador de espectro). Los valores típicos del factor de ruido del analizador de espectro se encuentran entre 25 y 45 dB y las pérdidas de la línea de transmisión serán normalmente de 5 a 10 dB, dependiendo de la calidad y la longitud de la línea. La utilización de un LNA tras el preselector (y si es necesario, el empleo de un LNA conectado en cascada a la entrada del analizador de espectro) puede disminuir el factor de ruido global del sistema de medición a unos 10-15 dB.

Puede utilizarse cualquier analizador de espectro que pueda recibir señales en la gama de frecuencias de interés y pueda controlarse por computador para realizar el algoritmo de frecuencias escalonadas. Como se ha indicado anteriormente, el elevado factor de ruido de los analizadores de espectro actualmente disponibles debe compensarse mediante una preamplificación de bajo nivel de ruido si quiere lograrse que la medición realizada tenga la sensibilidad necesaria para detectar la mayoría de las emisiones no esenciales.

El sistema de medición puede controlarse mediante cualquier computador que tenga una interfaz de bus (GPIB) compatible con el equipo utilizado. En cuanto a memoria y velocidad, los computadores personales (PC) son bastante adecuados (con una CPU 80386 o superior). El algoritmo de medición (que realiza el escalonamiento de frecuencias del analizador de espectro y del preselector y controla el atenuador variable del extremo frontal) puede realizarse mediante programa informático. Algunos programas disponibles comercialmente pueden satisfacer esta necesidad, pero es probable que el organismo que lleva a cabo la medición deba escribir al menos una parte de su propio programa informático de medición.

Los datos pueden registrarse en el disco duro del computador o en otro disco. Lo más adecuado es que el registro de datos se realice cada 100-200 pasos de medición, con objeto de que el tamaño de los ficheros de datos sea manejable y a fin de evitar la pérdida de un volumen excesivo de datos si el computador del sistema de medición sufre una avería durante el proceso de medición.

### 3.2 Calibración del sistema de medición

El sistema de medición se calibra desconectando la antena del resto del sistema y conectando un diodo de ruido a la línea de RF en dicho punto. Para llevar a cabo la calibración de manera satisfactoria es suficiente un diodo con una relación de ruido en exceso de 25 dB, suponiendo que el factor de ruido global del sistema sea inferior a 20 dB. La técnica es normalizada de factor  $Y$  realizando mediciones de potencia comparativas a través del espectro, una vez con el diodo de ruido en estado de conducción y otra vez con el diodo de ruido en estado de corte.

La calibración por diodo de ruido da lugar a un cuadro de valores del factor de ruido y correcciones de ganancia para toda la gama espectral que va a medirse. Las correcciones de ganancia pueden almacenarse en un cuadro de consulta y se aplican a los datos medidos al recopilarlos.

Por lo general, la antena de medición no se calibra en el terreno. Los factores de corrección de la antena (caso de haber) se aplican en los análisis realizados después de las mediciones.

### 3.3 Procedimiento de medición

Además de los parámetros indicados en el § 2 anterior, el analizador de espectro debe ajustarse de la forma siguiente:

Frecuencia central del analizador de espectro	Frecuencia más baja que va a medirse. (Por ejemplo, si la frecuencia central del radar es 3 050 MHz pero el espectro va a medirse entre 2 y 6 GHz, la frecuencia central inicial del analizador de espectro sería de 2 GHz.)
Intervalo de frecuencia del analizador de espectro	= 0 Hz. (El analizador funciona como un instrumento del dominio temporal.)
Tiempo de barrido del analizador de espectro	> Intervalo de rotación del haz del radar. (Por ejemplo, si el radar tiene una velocidad de giro de 40 rpm, es decir, cada rotación dura 1,5 s, el tiempo de barrido debe ser > 1,5 s. Un valor razonable sería de 2 s.)

Una vez que el haz de la antena del radar realiza su exploración normalmente y si el sistema de medición está dispuesto como se ha descrito anteriormente, se obtiene el primer punto de datos. Un punto de datos consiste en un par de números: nivel de potencia medido y frecuencia a la cual se mide dicho nivel de potencia. Por ejemplo, el primer punto de datos de la medición anterior puede ser de -93 dBm a 2 000 MHz. El punto de datos se obtiene supervisando la emisión del radar a la frecuencia deseada, en un intervalo de frecuencia de 0 Hz, para un intervalo ligeramente superior

al de rotación del radar. Esta presentación en el tiempo de la rotación del haz de la antena del radar aparecerá en la pantalla del analizador de espectro. El punto más elevado de la traza representará normalmente la potencia recibida cuando el haz del radar se orienta en el sentido del sistema de medición. Dicho valor máximo de potencia recibida es recogido (normalmente por el computador de control aunque puede ser inscrito de forma manual), corregido (para tener en cuenta la ganancia del sistema de medición en dicha frecuencia) y registrado (generalmente en un fichero de datos contenido en un disco magnético).

El segundo punto de medición se obtiene sintonizando el sistema de medición a la siguiente frecuencia que va a medirse. En el caso óptimo esta frecuencia debe ser igual a la primera frecuencia medida más la anchura de banda de medición (por ejemplo, si la primera medición se realiza a 2 000 MHz y la anchura de banda de medición es de 1 MHz, la segunda frecuencia de medición debería ser de 2 001 MHz). En esa segunda frecuencia se repite el procedimiento: medición de la máxima potencia recibida durante el intervalo de rotación del haz del radar, corrección para tener en cuenta el factor o factores de ganancia y registro del punto de datos resultante.

Este procedimiento, que consiste en un escalonamiento (en vez de un barrido) del espectro, continúa hasta que se haya realizado la medición de todo el espectro de emisión deseado.

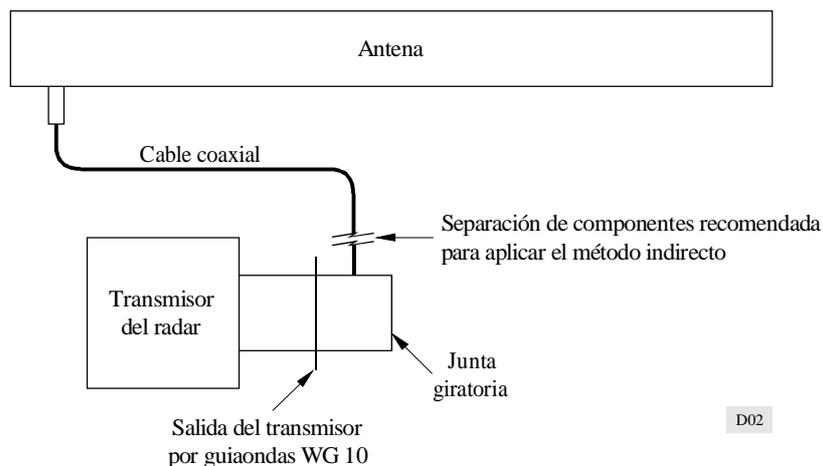
La técnica de escalonamiento permite también la inserción de un atenuador de RF en el extremo frontal del sistema de medición a medida que las frecuencias se aproximan a la frecuencia central (y a cualquier otro valor de cresta) del espectro del radar. Esta posibilidad de añadir atenuación de manera selectiva en frecuencia permite ampliar la gama dinámica disponible para la medición hasta unos 130 dB, si se utiliza un atenuador de RF entre 0 y 70 dB con un sistema de medición de 60 dB de gama dinámica instantánea. Esta circunstancia es de gran interés a la hora de identificar emisiones no esenciales de potencia relativamente baja. Para lograr el mismo efecto con una medición mediante barrido de frecuencias, puede insertarse un filtro de ranura a la frecuencia fundamental del radar, pero no es posible insertar un filtro de esas características para cada uno de los otros valores de cresta de elevada amplitud que puedan aparecer en el espectro.

Es *muy importante* aplicar el filtrado paso banda adecuado en el extremo frontal del sistema de medición, de manera que las componentes de valor elevado de señales de distintas frecuencias no afecten la medición de las componentes no esenciales de baja potencia.

## 4 Método indirecto

En la Fig. 2 se representa la separación de componentes recomendada para aplicar el método indirecto.

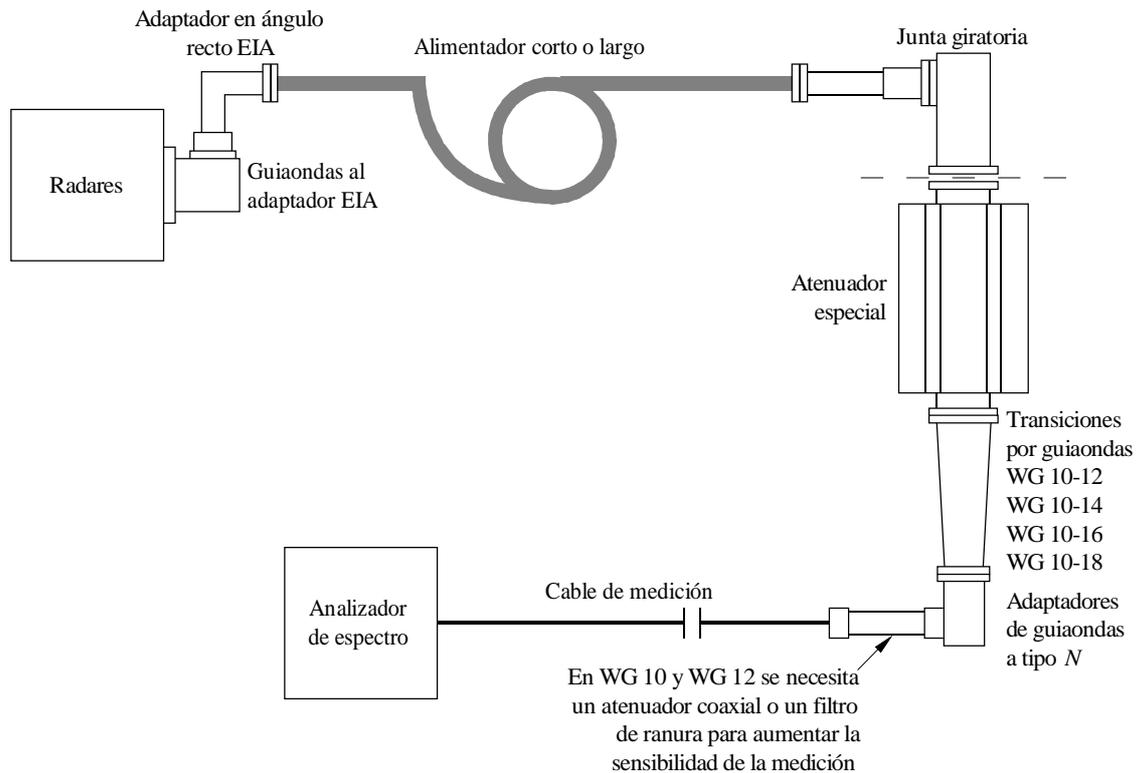
FIGURA 2  
Sistema de radar típico



### 4.1 Medición de la potencia del transmisor

La Fig. 3 representa la disposición típica recomendada para medir el espectro de potencia del transmisor.

FIGURA 3  
Medición en el acceso de la junta giratoria



D03

Para medir pequeños niveles de emisiones no deseadas en presencia del impulso de transmisión principal con una potencia de cresta de quizás 60 kW, este método hace uso de un filtro de ranura fijo. Dicho filtro comprende un guiaondas recto WG 10 con elementos absorbentes que atenúan la señal fundamental ( $\sim 3,05$  GHz) unos 17 dB, atenuando de forma mínima las demás frecuencias. Este atenuador está específicamente diseñado para soportar únicamente el modo  $TE_{10}$  de menor orden. A fin de lograr la atenuación adicional requerida para proteger el equipo de medición, y medir las frecuencias más elevadas, a la salida del filtro de ranura se utilizan guiaondas lineales de sección variable (bocinas).

Los guiaondas de bocina son filtros paso alto que rechazan, reflejándolas, las señales por debajo de la frecuencia de corte. Si se coloca directamente una bocina en el acceso de salida del transmisor radar la frecuencia fundamental se reflejará al transmisor, pero si la bocina se sitúa después del filtro de ranura las señales reflejadas se absorben por segunda vez. De esa manera las pérdidas de retorno a la frecuencia fundamental son de 34 dB, lo suficientemente bajas como para evitar un arrastre de la frecuencia del magnetrón. Las frecuencias superiores a la frecuencia de corte se transmiten a través de las transiciones hasta el equipo de medición.

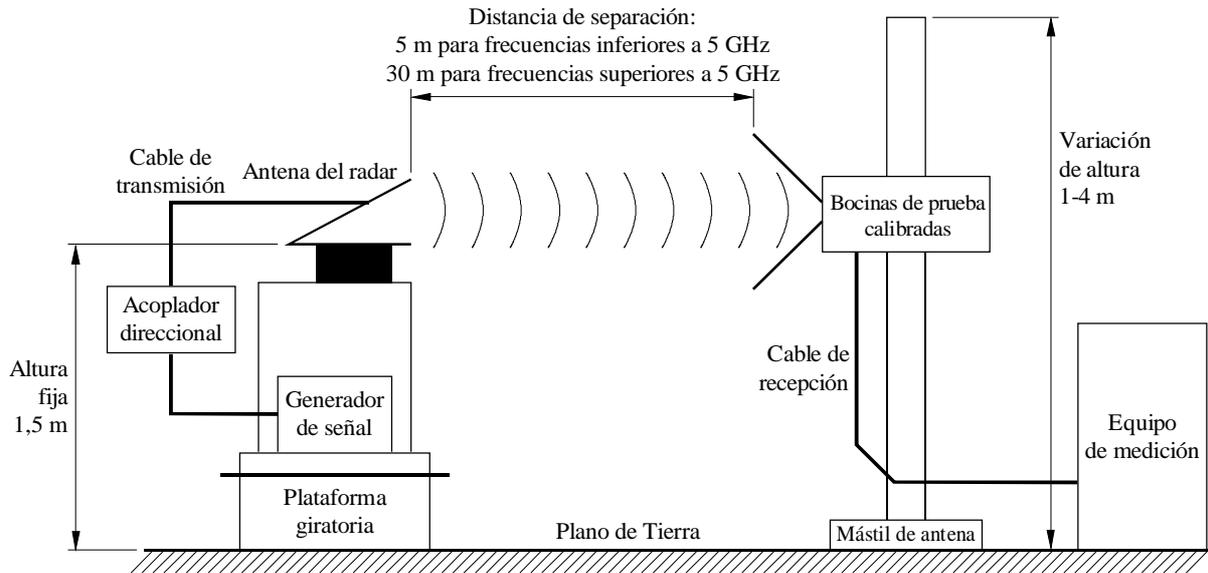
La técnica de medición comprende una búsqueda por exploración de la banda de frecuencias de interés a fin de localizar y señalar las salidas no esenciales significativas, seguida de una nueva medición detallada de la frecuencia y de la amplitud en una anchura de banda de 1 MHz. Por consiguiente, el espectro de medición no es continuo sino que comprende un grupo de impulsos de transmisión a frecuencias discretas.

## 4.2 Medición de la ganancia de antena

El método indirecto recomienda que las mediciones de campo cercano se realicen sobre la antena situada en un «emplazamiento de prueba de zona abierta» a distancias de 5 y 30 m. A continuación se aplican los «factores de corrección» para corregir las mediciones a fin de determinar la ganancia de campo lejano equivalente. En la Fig. 4 se muestra una disposición típica.

FIGURA 4

Disposición para realizar mediciones de ganancia de campo cercano a distancias de 5 m y de 30 m



D04

Las mediciones se realizan normalmente en pasos de 0,2 GHz a lo largo de la gama de frecuencias entre 2 y 18 GHz, efectuando mediciones de frecuencias puntuales para registrar los armónicos específicos y los modos conocidos. En cada frecuencia, la máxima ganancia medida de la antena sometida a prueba se determina girando la antena en acimut y desplazando la bocina de prueba hacia arriba y hacia abajo.

Para obtener una correlación aceptable entre la ganancia de campo lejano y las mediciones de campo cercano, debe utilizarse una distancia de 5 m para frecuencias inferiores a 5 GHz y de 30 m para frecuencias superiores a 5 GHz.

Los cálculos para obtener la ganancia de campo lejano equivalente ( $G_a$ ) de la antena sometida a prueba a partir de un nivel de medición ( $S$ ) vienen dados por la siguiente ecuación:

$$G_a = M - P_i + G_c - G_0$$

con:

$$M = S - G_r + K$$

siendo:

$G_a$ : ganancia de campo lejano de la antena sometida a prueba (dBi)

$M$ : p.i.r.e (dBm)

$P_i$ : potencia de entrada a la antena sometida a prueba (dBm)

$G_c$ : factor de corrección de ganancia (dB) para corregir el frente de onda esférico en el campo cercano a un frente de onda plano. Es función de la frecuencia y del tamaño de la antena. Como valores típicos para antenas de 3,6 m pueden señalarse 15 dB para una distancia de 5 m y frecuencias inferiores de 5 GHz y 12 dB para una distancia de 30 m y frecuencias superiores a 5 GHz

$G_0$ : factor (dB) para corregir la onda reflejada en la superficie del emplazamiento de prueba de zona abierta (6 dB)

$S$ : nivel medido (dBm)

$G_r$ : ganancia de la bocina de prueba de la antena de recepción (dBi)

$$K = 20 \log (4\pi d/\lambda) \quad \text{dB}$$

siendo:

$d$ : distancia de medición (m)

$\lambda$ : longitud de onda de prueba (m).

