

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Informe UIT-R SM.2125-1**  
(06/2011)

**Parámetros y procedimientos de medición  
de las estaciones y receptores de  
comprobación técnica en las bandas de  
ondas decamétricas/métricas/decimétricas**

**Serie SM**  
**Gestión del espectro**



## 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 los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión sonora
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	<b>Gestión del espectro</b>

*Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2011

© UIT 2011

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

## INFORME UIT-R SM.2125-1\*

**Parámetros y procedimientos de medición de las estaciones  
y receptores de comprobación técnica en las bandas  
de ondas decamétricas/métricas/decimétricas**

(2007-2011)

**Resumen del contenido**

Este Informe describe los procedimientos de medición para determinar los parámetros técnicos de los receptores y sistemas de comprobación técnica del espectro. El Informe no propone todas las posibles soluciones ni supone automáticamente siempre la mejor solución para determinar un parámetro.

En un punto del Informe se describe la verificación de los parámetros fundamentales de un receptor de comprobación técnica y en otro punto la verificación de los parámetros técnicos de las estaciones de comprobación técnica y otros sistemas integrados tales como los radiogoniómetros. Ambos puntos pueden superponer su contenido e incluso llevar el mismo nombre. Sin embargo estos elementos deben considerarse como parámetros distintos.

La razón de dividir las especificaciones de los parámetros fundamentales y los parámetros de la estación es el hecho de que los receptores de comprobación técnica pueden adquirirse como dispositivos separados o dispositivos integrados en un sistema en el que algunas veces no se pueden determinar los distintos parámetros del receptor.

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Introducción..... 2
2	Parámetros principales del receptor..... 2
2.1	IP <sub>2</sub> /IP <sub>3</sub> ..... 2
2.2	Sensibilidad..... 3
2.3	Factor de ruido del receptor ..... 3
2.4	Características del filtro de FI..... 4
2.5	Velocidad de exploración del receptor ..... 5
2.6	Parámetros principales para los receptores de radiogoniometría..... 6
3	Procedimientos de medición de los parámetros de comprobación técnica y de estaciones de radiogoniometría ..... 6
3.1	Mediciones de IP <sub>2</sub> /IP <sub>3</sub> en una estación de comprobación técnica y de radiogoniometría..... 7

---

\* La Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones introdujo modificaciones redaccionales en este Informe en 2012.

3.2	Medición de la sensibilidad de una estación de comprobación técnica y una estación de radiogoniometría .....	9
3.3	Parámetros fundamentales para las estaciones de radiogoniometría.....	19

## 1 Introducción

El Manual del UIT-R «Comprobación técnica del espectro» (Edición de 2011), contiene especificaciones típicas de receptores de comprobación técnica y estaciones de radiogoniometría/comprobación técnica pero no especifica los procedimientos de medición para determinar estas especificaciones. El Manual no tiene en cuenta, además, las especificaciones de sistemas complejos tales como el de una estación completa de comprobación técnica/radiogoniometría construida en torno a un receptor de comprobación técnica.

NOTA 1 – El Manual del UIT-R sobre Comprobación técnica del espectro, no tiene por objeto establecer una serie de normas sino ofrecer orientaciones sobre todos los aspectos de la comprobación técnica del espectro.

El presente Informe indica los parámetros principales del receptor y los parámetros de la estación. Los parámetros discutidos pueden ser determinados ya sea por el fabricante ya sea por el usuario final.

## 2 Parámetros principales del receptor

### 2.1 $IP_2/IP_3$

Los receptores de comprobación técnica funcionan en un entorno donde están presentes al mismo tiempo señales intensas y débiles. Por lo tanto, una propiedad importante de un receptor es su capacidad de manejar estas señales al mismo tiempo sin que se produzca distorsión. Esta propiedad se conoce como linealidad del receptor y una manera de cuantificar esta linealidad es mediante los valores  $IP_2$  e  $IP_3$ .

Aunque el extremo frontal de receptor es el que contribuye en mayor medida a los valores de  $IP_2$  e  $IP_3$ , los filtros del amplificador de FI en el caso de un receptor de comprobación técnica digital y cualquier otro amplificador también tienen influencias sobre dichos valores. En consecuencia, todos estos componentes deben tenerse en cuenta cuando se llevan a cabo las mediciones de  $IP_2$  e  $IP_3$ . Estas mediciones se realizan introduciendo dos señales a la entrada del receptor y midiendo la respuesta del mismo. En caso de no linealidad, se generan productos de las dos señales introducidas y se mide el nivel de estos productos para determinar el grado de no linealidad del receptor. Además de la linealidad de los propios componentes del receptor, los valores medidos de  $IP_2$  e  $IP_3$  también dependen de los siguientes parámetros:

- la diferencia en frecuencia y nivel entre las dos señales de prueba aplicadas;
- las frecuencias de prueba seleccionadas.

#### 2.1.1 Principio de cálculo del producto de intermodulación de segundo orden

Se aplican a la entrada de la antena del receptor de comprobación técnica dos señales de prueba de la misma potencia eficaz ( $P_{in}$ ) a las frecuencias  $f_1$  y  $f_2$  ( $f_1 < f_2$ ). Debido a las no linealidades, pueden aparecer dos productos de intermodulación a las frecuencias  $f_3$  y  $f_4$ :

$$f_3 = f_2 - f_1 \text{ y } f_4 = f_2 + f_1$$

Estas frecuencias también pueden expresarse utilizando el parámetro  $\Delta f$  (diferencia de frecuencia), que depende del tipo de medición:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ y } f_2 = 2 \times f_3 + \Delta f, \text{ con } \Delta f = 2 \times f_1 - f_2$$

A continuación se calcula el producto de intermodulación de segundo orden a la entrada:

$$IP_2 = Pin + a$$

siendo:

- $IP_2$ : producto de intermodulación de segundo orden a la entrada del receptor de comprobación técnica sometido a prueba
- $Pin$ : valor eficaz de la potencia (dBm) de las dos señales de prueba introducidas
- $a$ : diferencia (dB) entre el nivel de las señales de prueba y el nivel del producto de intermodulación más elevado a la entrada.

### 2.1.2 Principio de cálculo del producto de intermodulación de tercer orden

Se aplican a la entrada de la antena del receptor de comprobación técnica dos señales de la misma potencia eficaz ( $Pin$ ) a las frecuencias  $F_1$  y  $F_2$  ( $F_1 < F_2$ ). Debido a las no linealidades, pueden aparecer dos productos de intermodulación a las frecuencias  $F_3$  y  $F_4$ :

$$f_3 = [(2 \times f_1) - f_2] \text{ y } f_4 = [(2 \times f_2) - f_1]$$

Estas frecuencias también pueden expresarse utilizando el parámetro  $\Delta f$  (diferencia de frecuencia), que depende del tipo de medición:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ y } f_2 = f_3 + 2 \times \Delta f, \text{ con } \Delta f = f_2 - f_1$$

A continuación se calculan los productos de intermodulación de tercer orden:

$$IP_3 = Pin + a/2$$

siendo:

- $IP_3$ : producto de intermodulación de tercer orden a la entrada del receptor de comprobación técnica sometido a prueba
- $Pin$ : valor eficaz de la potencia (dBm) de las dos señales de prueba introducidas
- $a$ : diferencia (dB) entre el nivel de las señales de prueba introducidas y el nivel de los productos de intermodulación más elevados a la entrada.

## 2.2 Sensibilidad

La sensibilidad de un receptor de comprobación técnica del espectro se define como la mínima tensión de la señal ( $\mu V$ ) a la entrada del receptor de comprobación técnica que permite la demodulación y la escucha audible de la señal recibida.

El mínimo nivel de señal audible puede determinarse efectuando una medición de la relación señal/interferencia incluyendo el ruido y la distorsión (SINAD).

### 2.3 Factor de ruido del receptor

El factor de ruido es una de las especificaciones principales de un receptor de comprobación técnica. Este factor está estrechamente ligado a la sensibilidad del receptor de comprobación técnica. El factor de ruido de un receptor de comprobación técnica es el factor según el cual aumenta la potencia de ruido entregada por un receptor de comprobación técnica cuando se aplica al mismo un ruido de referencia; el factor de ruido se mide a la entrada del receptor de comprobación técnica.

El factor de ruido de un receptor de comprobación técnica puede medirse utilizando varios métodos:

- método de la ganancia;
- método del «factor Y» (método del diodo de ruido);
- método de la sensibilidad.

### 2.4 Características del filtro de FI

Para la mayoría de las aplicaciones de comprobación técnica y mediciones son de gran importancia tanto la forma como la anchura de banda y la calidad de los diversos filtros de FI. Básicamente se utilizan cuatro parámetros para describir las características del filtro de FI.

#### 2.4.1 Anchura de banda de FI

Se trata de la anchura de banda especificada como la distancia entre los puntos de  $-3$  dB y  $-6$  dB del filtro de FI del receptor.

#### 2.4.2 Rizado y asimetría de la banda de paso del filtro de FI

La forma en que se especifica el rizado en la banda de paso depende del fabricante. Fundamentalmente hay dos formas y cada una tiene sus ventajas para el filtrado digital o analógico. En el caso de filtros analógicos se utiliza el valor cresta a cresta puesto que no hay ranuras y la distribución del rizado no es uniforme. En los filtros digitales se emplea el valor cresta a media puesto que existen ranuras y el rizado presenta una distribución uniforme (véase la Fig. 1).

FIGURA 1

#### Ejemplos de rizado de la banda de paso del filtro



Ejemplo de rizado de filtro digital



Ejemplo de rizado de filtro analógico

I 2125-01

#### 2.4.3 Curva de la banda de paso del filtro de FI y supresión fuera de banda

La supresión fuera de banda es la eliminación de las señales a partir de los bordes del filtro especificados a una cierta distancia del centro del filtro. Dependiendo de la construcción del filtro, pero también de su montaje y terminación, pueden aparecer distintos valores para los diversos receptores ofrecidos. Este parámetro es especialmente importante en receptores con filtros digitales en los que la supresión fuera de banda depende de los conversores A-D utilizados. Esta supresión puede depender de la distancia de medición real desde la frecuencia central del filtro debido a las anomalías provocadas por una terminación inadecuada del filtro.

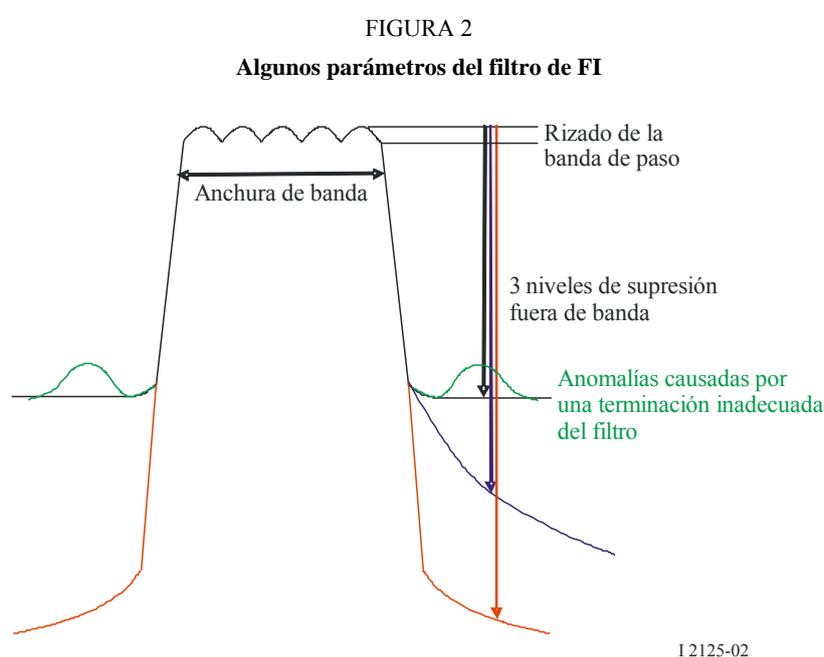
#### 2.4.4 Factor de forma del filtro de FI

El factor de forma se define como la relación entre la anchura de banda a  $n$  dB y la anchura de banda a  $-6$  dB. El factor  $n$  debe especificarse para cada filtro; por ejemplo  $n = 60$  dB o  $n = 50$  dB (véase la Fig. 2).

#### 2.4.5 Retardo de grupo del filtro de FI

El retardo de grupo es la diferencia mutua en tiempo que lleva a un cierto número de señales desplazarse a través del filtro de FI de un receptor.

En un filtro ideal todas las señales aplicadas a distintas frecuencias dentro del filtro de FI se desplazan con el mismo retardo, de manera que la diferencia de fase entre las señales a la entrada es la misma diferencia de fase entre las señales a la salida del filtro. El retardo de grupo también puede denominarse linealidad de fase del filtro.



Un retardo de grupo elevado puede presentarse fundamentalmente cerca de los bordes de la banda de paso del filtro, pero en filtros de orden alto este retardo también es importante dentro de la banda de paso. Como regla general puede decirse que los filtros de banda estrecha y los filtros con un factor de forma bajo (bordes del filtro abruptos) presentan un retardo de grupo más elevado, lo que supone una calidad de funcionamiento menor. En este aspecto no hay diferencia básicamente entre los filtros digitales y los filtros analógicos.

¿Qué significa esto para el usuario de un receptor de comprobación técnica? Los filtros de borde abrupto y banda amplia se utilizan en receptores para demodular las señales digitales y, en particular, disminuye la calidad de funcionamiento de los demoduladores de fase si el retardo de grupo del filtro es demasiado elevado. Además la comprobación técnica auditiva puede ser un ejercicio muy fatigoso si el retardo de grupo del filtro es muy alto, pues el sonido de las señales aparece distorsionado y ruidoso. En un filtro de un receptor de comprobación técnica polivalente el retardo de grupo debe encontrarse dentro de ciertos límites para cada filtro de FI.

Una forma de medir el retardo de grupo es utilizar un analizador de red y realizar un barrido a través de la banda de paso del filtro, registrando los cambios en el comportamiento de la fase/frecuencia. El retardo de grupo se expresa en tiempo (microsegundos, nanosegundos).

## 2.5 Velocidad de exploración del receptor

La velocidad de exploración (a veces denominada velocidad de barrido) es una medida de la rapidez con la que un receptor puede proporcionar los valores del nivel de la señal en un cierto número de frecuencias dentro de una banda de frecuencias determinada. Se mide en MHz por segundo.

La velocidad de exploración deberá incluir el efecto de cualquier tiempo de conmutación de banda, tiempo de retrasado de fin de barrido, tiempo de ajuste del oscilador local y tiempo de cálculo. En otras palabras, el parámetro velocidad de exploración puede utilizarse para calcular el periodo de revisita. Opcionalmente, los distintos elementos que afectan la velocidad de exploración pueden señalarse por separado de manera que los usuarios pueden determinar el tiempo de revisita para cualquier gama de frecuencias arbitraria.

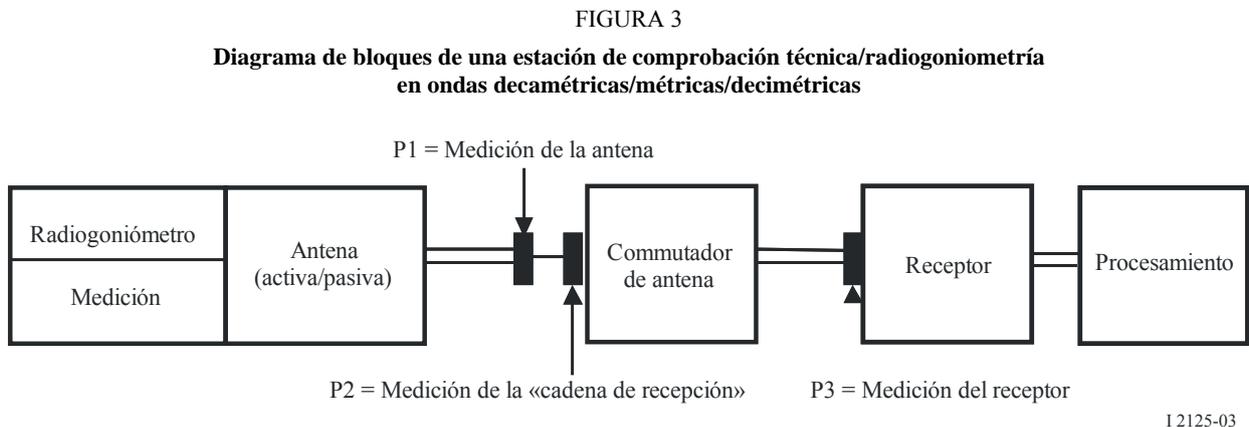
## 2.6 Parámetros principales para los receptores de radiogoniometría

Dependiendo de los parámetros que van a medirse, el receptor de radiogoniometría deberá considerarse como un receptor de comprobación técnica de una cadena de recepción de estación de radiogoniometría, y deberán llevarse a cabo los procedimientos de medición de los parámetros correspondientes.

## 3 Procedimientos de medición de los parámetros de comprobación técnica y de estaciones de radiogoniometría

En la Fig. 3 aparece un diagrama de bloques típico de una estación de comprobación técnica del espectro (así como de estación de radiogoniometría).

Pueden definirse varios puntos de medición para caracterizar la antena (P1), la cadena de recepción (P2) o el receptor (P3).



La antena está constituida generalmente por un cierto número de antenas elementales (de dipolo o de otro tipo). Estas antenas elementales pueden contener amplificadores conmutables, células de adaptación, etc. Estos componentes deben ser parte integrante de la antena si están asociados a una sola antena elemental.

Por otro lado, los conmutadores de antena utilizados para seleccionar varias antenas elementales (de radiogoniometría o de comprobación técnica) no deberán considerarse partes integrantes de la antena sino del conmutador de antena en la cadena de recepción. De forma similar, los amplificadores, los filtros comunes a varias antenas elementales y los componentes de cambio o transposición de frecuencia no deberán considerarse parte de la antena sino parte de la cadena de recepción.

Este punto describe las mediciones realizadas en la antena (P1) y en la cadena de recepción (P2); las mediciones efectuadas en el receptor de comprobación técnica (P3) se describen en el § 2.

Los cables utilizados para mediciones en la estación (y en la cadena de recepción) deben ser representativos de una estación operativa:

- para una estación móvil, los cables utilizados para las pruebas deberán ser de 10 m;
- para una estación fija, los cables utilizados para las pruebas serán de 20 m.

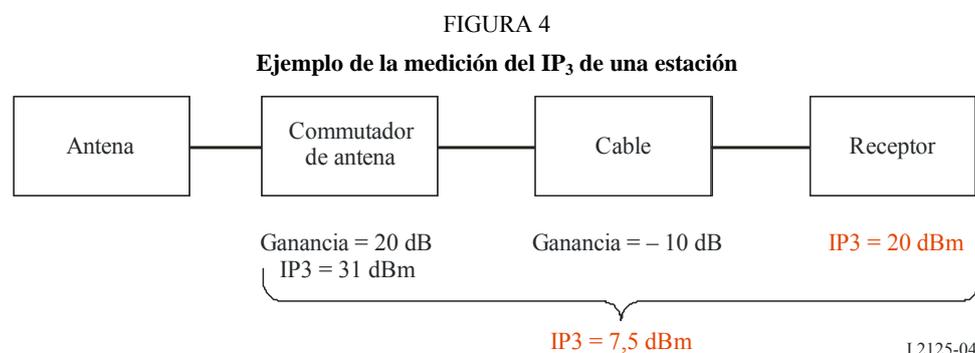
### 3.1 Mediciones de $IP_2/IP_3$ en una estación de comprobación técnica y de radiogoniometría

Las mediciones de intermodulación dependen de las condiciones en que se realicen. En consecuencia, para que los usuarios finales puedan comparar el comportamiento de los receptores de comprobación técnica y de las estaciones de comprobación técnica del espectro y de radiogoniometría es importante especificar los procedimientos para medir los productos de intermodulación de segundo orden ( $IP_2$ ) y de tercer orden ( $IP_3$ ).

Los productos de intermodulación de segundo y tercer orden se generan a todos los niveles en una estación de comprobación técnica del espectro o de radiogoniometría: en las antenas (antenas de radiogoniometría y/o de escucha) en los conmutadores de antena y en los cables, y en el receptor.

Por consiguiente, para poder comprender los fenómenos resultantes de la intermodulación es necesario conocer la intermodulación generada por toda la estación de comprobación técnica.

En el ejemplo que se expone gráficamente en la Fig. 4, el  $IP_3$  del receptor es 20 dBm, pero el mismo  $IP_3$  medido a la salida de la antena se reduce a 7,5 dBm. Este ejemplo muestra que el comportamiento del receptor no refleja necesariamente el comportamiento de la estación



Las antenas pueden generar productos de intermodulación que deben caracterizarse. Estas no linealidades vienen producidas por elementos activos y/o transformadores de adaptación. Realizando una medición se obtendrá el valor de salida de los  $IP_2$  e  $IP_3$  de las antenas (P1).

Los valores de los  $IP_2$  e  $IP_3$  de la cadena de recepción deberán medirse en la estación completa sin su antena y se darán a la entrada de la cadena de recepción (P2).

En el § 2.1 se describen las mediciones de los  $IP_2$  e  $IP_3$  del receptor de comprobación técnica.

#### 3.1.1 Medición del $IP_2$ y del $IP_3$ de la antena

Las señales de prueba se aplican mediante una antena de transmisión.

La principal diferencia con el procedimiento realizado en el receptor es que la referencia de medición es la salida de la antena y, por consiguiente, las fórmulas son ligeramente distintas:

El producto de intermodulación de segundo orden a la salida de la antena se calculará, por tanto, como sigue:

$$IP_{2S} = P_{salida} + a$$

siendo:

- $IP_{2S}$ : producto de intermodulación de segundo orden a la salida de la antena
- $P_{salida}$ : valor cuadrático medio (eficaz) de la potencia (dBm) de las dos señales de prueba aplicadas medido a la salida de la antena
- $a$ : diferencia (dB) entre el nivel de las señales de prueba aplicadas y el nivel de los productos de intermodulación más elevados a la salida.

El producto de intermodulación de tercer orden a la salida de la antena se calcula como sigue:

$$IP_{3S} = P_{salida} + a/2$$

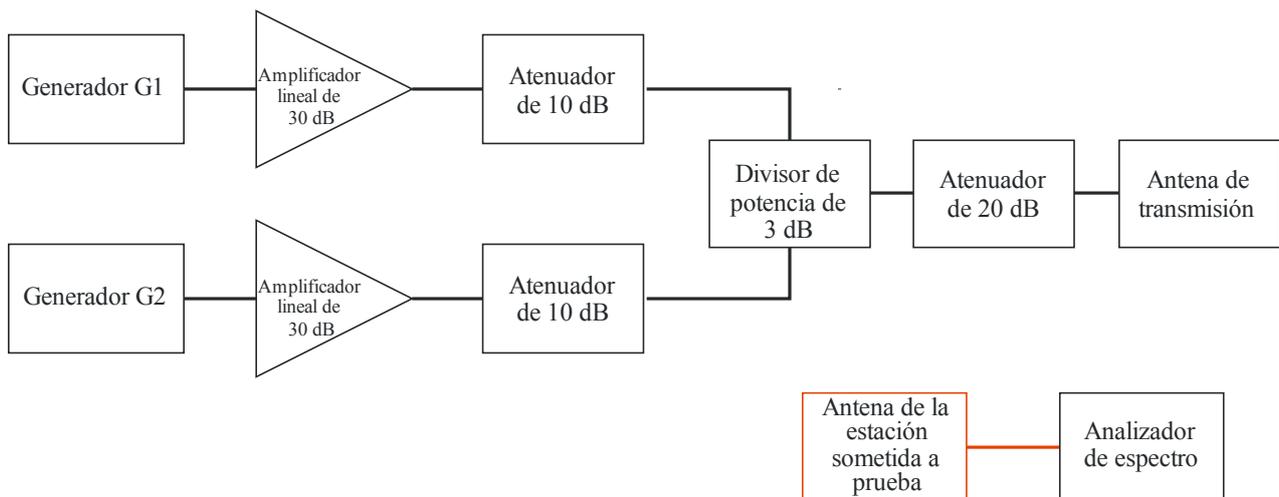
siendo:

- $IP_{3S}$ : producto de intermodulación de tercer orden a la salida de la antena
- $P_{salida}$ : valor eficaz de la potencia (dBm) de las dos señales de prueba aplicadas medido a la salida de la antena
- $a$ : diferencia (dB) entre el nivel de las señales de prueba aplicadas y el nivel de los productos de intermodulación más elevados a la salida.

Las señales a la salida de la antena deberán estar disponibles para su medición. Si no lo están debido a restricciones de integración, las mediciones deberán realizarse en una antena de referencia idéntica a aquella en la que está disponible la señal de salida.

El montaje de medición propuesto en la Fig. 5 (incluida la antena de transmisión) deberá tener un comportamiento mejor que el receptor de comprobación técnica medido. Los productos de intermodulación del montaje de medición deberán estar 10 dB por encima de los productos de intermodulación que van a medirse.

FIGURA 5  
Montaje de medición del  $IP_2/IP_3$  de la antena



I 2125-05

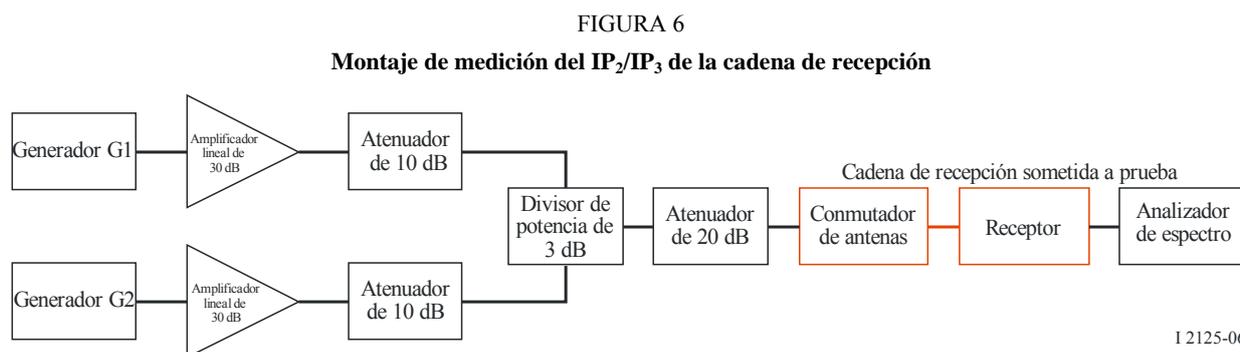
La medición del nivel debe tener una precisión mejor de 1 dB.

### 3.1.2 Medición del $IP_2$ y del $IP_3$ de la cadena de recepción

Deberá aplicarse el mismo principio que se ha utilizado en la medición del receptor de comprobación técnica descrito en el § 2.1.

Este principio se aplicará para las estaciones de comprobación técnica o las estaciones de radiogoniometría. Si existen varios canales, uno de ellos puede utilizarse para la prueba.

Esta medición se define tanto para las estaciones de comprobación técnica como para las estaciones de radiogoniometría. En la Fig. 6 se representa un montaje propuesto para efectuar la medición.



La medición del nivel debe tener una precisión mejor de 1 dB.

### 3.2 Medición de la sensibilidad de una estación de comprobación técnica y una estación de radiogoniometría

Al realizar las mediciones en una estación de comprobación técnica o de radiogoniometría, el entorno radioeléctrico puede influenciar la medición. Cuando se recibe una señal débil, cercana al límite de sensibilidad de la estación, las reflexiones procedentes de obstáculos cercanos, el ruido ambiente y otras señales radioeléctricas pueden interferir en la medición.

Los errores resultantes del medio de propagación, los efectos multitrayecto y la interferencia no deben incluirse en la medición de la sensibilidad de la estación. Por consiguiente, es difícil llevar a cabo dicha medición en un emplazamiento no controlado.

Se proponen dos entornos de prueba:

- medición sobre una plataforma utilizando frecuencias definidas;
- mediciones en un emplazamiento de prueba en zona abierta (EPZA) utilizando frecuencias restringidas en donde no puedan interferir las reflexiones procedentes de obstáculos cercanos, el ruido ambiente u otras señales radioeléctricas.

Los resultados de las mediciones llevadas a cabo en una plataforma deberán publicarlos los fabricantes. Las mediciones realizadas en un EPZA se utilizarán a fin de confirmar para frecuencias restringidas las mediciones efectuadas en la plataforma.

En una estación de ondas miriámétricas/kilométricas/decamétricas situada en un EPZA no deberán realizarse mediciones de sensibilidad por las siguientes razones:

- las longitudes de onda de las señales miriámétricas/kilométricas/decamétricas imponen grandes distancias transmisor/receptor;
- la interferencia procedente del ruido atmosférico es difícil de controlar (depende de la actividad de las manchas solares, de la hora del día, etc.).

Por consiguiente, dichas mediciones sólo deberán realizarse en plataformas (de 9 kHz a 30 MHz). Las mediciones de la sensibilidad de las estaciones de ondas métricas/decimétricas se realizarán tanto en plataformas como en EPZA.

### 3.2.1 Principio de medición de la sensibilidad en plataformas

Para caracterizar la sensibilidad de una estación de comprobación técnica deben efectuarse tres mediciones principales:

- caracterización del **factor de antena** (véase la Fig. 3 – punto de medición P1);
- caracterización del **ruido de fondo de la antena** (véase la Fig. 3 – punto de medición P1);
- caracterización de la **sensibilidad de la cadena de recepción** (véase la Fig. 3 – punto de medición P2).

La medición de la sensibilidad en plataforma se divide en:

- medición del factor de antena, para obtener la potencia entregada por la antena en función del campo recibido. Esta medición se describe en el § 3.2.1.1;
- medición del ruido de fondo de la antena, que caracteriza la contribución de la antena al ruido de la estación. Esta medición se describe en el § 3.2.1.2;
- medición de la sensibilidad de la cadena de recepción. Esta medición se describe en el § 3.2.1.3 para la estación de comprobación técnica y en el § 3.2.1.4 para la estación de radiogoniometría.

La determinación de la sensibilidad de la estación con el factor de antena, del ruido de fondo de la antena y de la sensibilidad de la cadena de recepción se realiza en dos pasos.

El primer paso consiste en calcular la contribución de la antena al ruido de la estación:

$$NFa = 10 \times \log \left[ 10^{\left( \frac{174 + Nfondo}{10} \right)} + 10^{\left( \frac{NFrc}{10} \right)} - 1 \right] - NFrc$$

siendo:

*NFa*: contribución de la antena al ruido de la estación (dB)

*NFrc*: factor de ruido de la cadena de recepción de la estación (dB)

*Nfondo*: ruido de fondo de la antena, en dBm/Hz (medido – véase el § 3.2.1.2).

El procedimiento de medición del factor de ruido para la cadena de recepción (Fig. 3 – punto de medición P2) es exactamente el mismo que para la medición del factor de ruido del receptor.

El segundo paso consiste en calcular la sensibilidad:

$$S = AF + Src + NFa$$

siendo:

*S*: sensibilidad de la estación (dB(μV/m))

*AF*: factor de antena (dB(μV/m)) (medido – véase el § 3.2.1.1)

*Src*: límite de sensibilidad de la cadena de recepción de la estación (dBm) (véanse los § 3.2.1.3 y 3.2.1.4)

*NFa*: contribución de la antena al ruido de la estación (dB), calculado anteriormente.

NOTA 1 – Si la antena o la antena de la subbanda es pasiva, la contribución de ruido de la antena puede considerarse nula y, en consecuencia, la sensibilidad de la estación es:

$$S = AF + Src$$

### 3.2.1.1 Factor de antena

La definición del factor de antena aparece en el § 4.4.1.1.2 del Manual del UIT-R «Comprobación técnica del espectro» (Edición de 2011). El factor de antena de una antena receptora es la intensidad de campo eléctrico de una onda plana dividido por la tensión eléctrica de salida ( $V_0$ ) de la antena conectada a su carga nominal (normalmente  $50 \Omega$ ):

$$AF = E - V_0$$

siendo:

$AF$ : factor de antena (dB/m)

$E$ : campo eléctrico (dB( $\mu$ V/m))

$V_0$ : tensión de salida en  $50 \Omega$  (dB( $\mu$ V)).

La medición del factor de antena se realiza en dos pasos:

- medición del campo eléctrico recibido por una antena de referencia;
- medición de la tensión entregada por la antena sometida a prueba (antena de comprobación técnica o de radiogoniometría).

El principio de medición consiste en producir un campo eléctrico homogéneo conocido al nivel de la antena de medición y medir la tensión de salida de la antena. En la Fig. 7 aparece un montaje para realizar esta medición.

Para antenas en las que se desconoce el centro de fase (con estructuras log periódicas), y donde se utilizan distancias de prueba cortas (cámara anecoica) es conveniente utilizar un analizador de red a fin de determinar el centro de fase exacto. El centro de fase de la antena de referencia y de la antena sometida a prueba debe ser el mismo.

El cálculo es independiente del tipo de antena:

$$AF_{ant} = AF_{ref} - Lev_{ant} + Lev_{ref}$$

siendo:

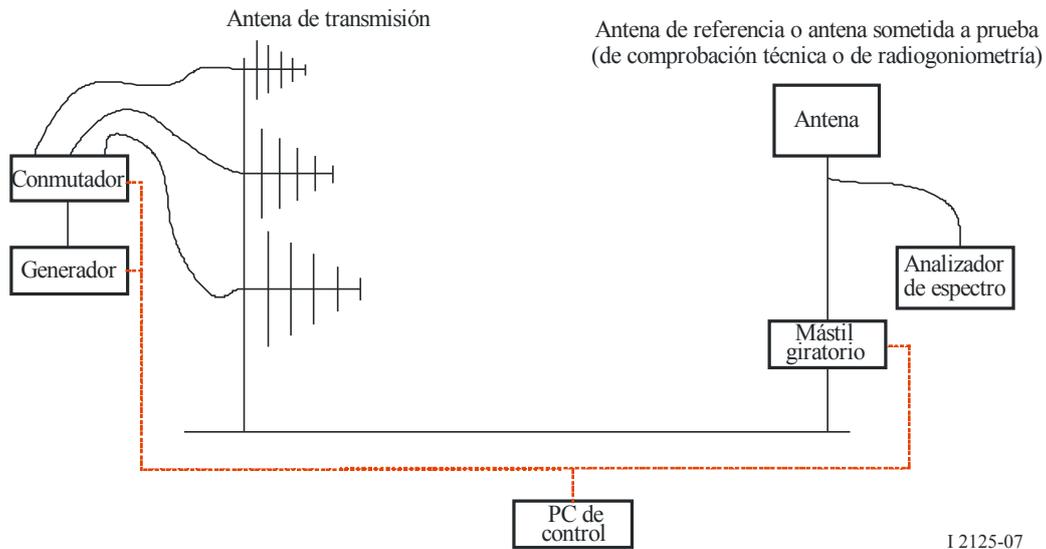
$AF_{ant}$ : factor de antena de la antena de radiogoniometría o de comprobación técnica (dB/m)

$AF_{ref}$ : factor de antena de la antena de referencia (dB/m)

$Lev_{ant}$ : tensión de salida de la antena de radiogoniometría en  $50 \Omega$  (dB $\mu$ V)

$Lev_{ref}$ : tensión de salida de la antena de referencia (dB $\mu$ V).

FIGURA 7

**Montaje de medición del factor de antena**

I 2125-07

La antena de referencia deberá seleccionarse como sigue:

- el número de antenas dependerá de la gama de frecuencias que debe cubrirse. La gama de frecuencias en la antena sometida a prueba deberá estar completamente cubierta por las antenas;
- la antena de «referencia» deberá tener factores de antena conocidas con su correspondiente precisión. El factor de antena o la ganancia de antena deberá ser conforme a una norma nacional o internacional.

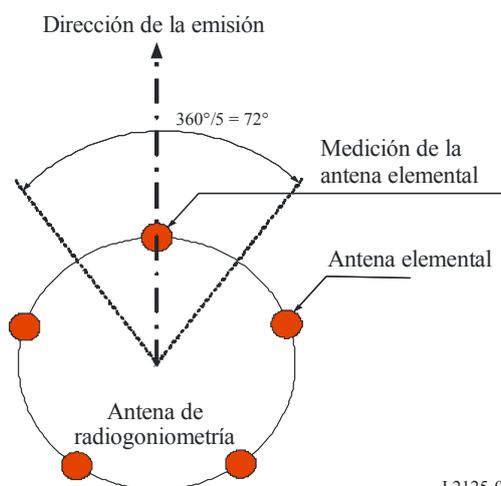
Las pérdidas en los cables no se incluyen en el cálculo pero deben ser las mismas en las mediciones de la antena de referencia que en las mediciones de las antenas sometidas a prueba.

**Caso de una antena de radiogoniometría**

Una antena de radiogoniometría está compuesta de  $N$  antenas elementales, cada una de ellas con un ángulo de apertura de  $360^\circ/N$ . La medición se realizará en este ángulo de apertura para una antena elemental.

Por ejemplo, en el caso de una antena con cinco dipolos elementales, representada en la Fig. 8, la medición se realizará a lo largo del arco de  $72^\circ$ .

FIGURA 8  
Medición del nivel para una antena de radiogoniometría



I 2125-08

Se realizan 10 mediciones del nivel distribuidas a lo largo de un ángulo de  $-(360^\circ/N)/2$  a  $+(360^\circ/N)/2$ .

Se calcula la señal recibida para cada frecuencia de medición:

$$Lev_{ant} = \frac{\sum(N_{mes})}{10}$$

NOTA 1 – Para radiogoniómetros de Watson-Watt o radiogoniómetros basados en el efecto Doppler este método no es adecuado porque su precisión depende de las dimensiones del sistema total de antenas.

NOTA 2 – Los cables y el dispositivo de medición (anализador de espectro o estación de medición) deben ser los mismos para la medición de la antena de referencia que para la medición de la antena de radiogoniometría.

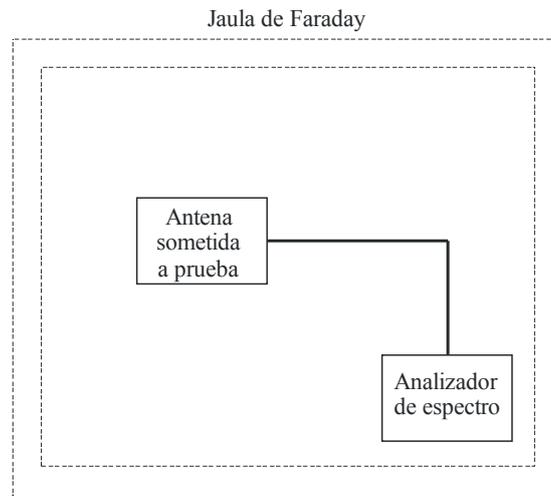
### 3.2.1.2 Ruido de fondo de la antena

Las antenas activas están constituidas por elementos alimentados por una tensión o corriente continuas. Se trata de amplificadores de transistores, conmutadores o elementos de adaptación. Los componentes activos generan una densidad de potencia de ruido que degrada la sensibilidad del sistema.

La medición del ruido de fondo deberá realizarse en una jaula Faraday como la representada en la Fig. 9. El ruido de fondo (dBm/Hz) se medirá directamente a la salida de la antena utilizando un analizador de espectro.

La antena se situará en un entorno eléctricamente silencioso y alejada de cualquier estructura que pueda afectar su impedancia o su ganancia. En la práctica puede servir una sala apantallada (como una jaula de Faraday).

FIGURA 9

**Montaje para la medición de la densidad de potencia del ruido de una antena**

I 2125-09

El analizador de espectro deberá tener un ruido de fondo 10 dB superior a la densidad de ruido proporcionada por la antena sometida a prueba. Puede que sea necesario utilizar un amplificador de bajo nivel de ruido.

### 3.2.1.3 Definición de la sensibilidad de la cadena de recepción de una estación de comprobación técnica

La sensibilidad de la cadena de recepción de una estación de comprobación técnica del espectro (*Src*) se define como la mínima tensión de señal ( $\mu\text{V}$ ) a la entrada de la cadena de recepción que permite la demodulación y la escucha de audio de la señal recibida.

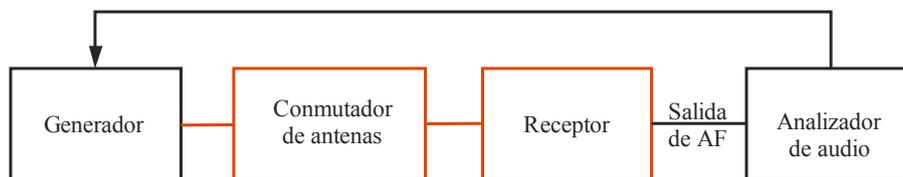
La medición es la misma que en el caso de los parámetros de los receptores de comprobación técnica. En la Fig. 10 se representa un montaje propuesto para efectuar esta medición.

El mínimo nivel de señal audible se determinará mediante una medición de la SINAD.

El generador se utiliza para aplicar las señales con las amplitudes deseadas a la cadena de recepción.

FIGURA 10

### Montaje para la medición de la sensibilidad de la cadena de recepción de una estación de comprobación técnica



I 2125-010

### 3.2.1.4 Definición de la sensibilidad de la cadena de recepción de una estación de radiogoniometría

Una mejora en la sensibilidad amplía la cobertura de un radiogoniómetro o mantiene la precisión necesaria en el caso de señales débiles.

La medición de la sensibilidad se basa en la degradación de la precisión de la radiogoniometría cuando se reduce el nivel de la señal recibida. En la Fig. 11 se representa un montaje propuesto para efectuar esta medición.

El generador se utilizará para aplicar las señales con las amplitudes y fases deseadas a la cadena de recepción.

A tal efecto deberá conectarse a la cadena de recepción un simulador de ángulo de llegada.

FIGURA 11  
Montaje para la medición de la sensibilidad de la cadena de recepción de una estación de radiogoniometría



I 2125-011

Con  $N$  mediciones asociadas a una señal intensa, se calcula el ángulo de llegada (que debe ser estable):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

Reduciendo el nivel de la señal hasta alcanzar el error de acimut:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

siendo:

- $\delta$ : error cuadrático medio entre la medición en el límite de la sensibilidad y la medición con señal intensa (grados)
- $\theta_0$ : acimut medido con señal intensa (grados)
- $\theta_{mes}$ : acimut medido para cada nivel del generador (grados)
- $N$ : número de lecturas del acimut para cada nivel del generador.

El límite de la sensibilidad se alcanza cuando:

- $\delta$  es mayor que  $+2^\circ$  (valor eficaz), o
- el radiogoniómetro ya no produce ningún resultado.

Si el error de acimut aceptable  $\delta$  es diferente a  $2^\circ$  (valor eficaz) en algunas subgamas de frecuencias, deberá comunicarse este error de acimut junto con la especificación de la sensibilidad.

Las mediciones se realizarán utilizando los siguientes parámetros:

- se elegirá un valor del tiempo de integración próximo a 1 s;
- la anchura de banda seleccionada deberá ser lo más cercana posible a 1 kHz.

### 3.2.2 Principio de medición de la sensibilidad en un emplazamiento de prueba en zona abierta

En este punto se explica otro método para medir la sensibilidad.

Un emplazamiento en espacio libre o emplazamiento de prueba en zona abierta (EPZA) es un emplazamiento especialmente preparado para realizar mediciones de antena (ganancia, diagrama de radiación).

La medición de la sensibilidad de una estación en un emplazamiento en espacio libre o EPZA se realiza en la estación completa. En la Fig. 12 se representa un montaje propuesto para realizar esta medición.

La antena de transmisión deberá ser directiva y estar dirigida hacia la antena de recepción. Se elegirá de manera que pueda transmitir potencia suficiente sin provocar intermodulación y sin radiar señales no esenciales a las frecuencias de medición.

La antena de recepción debe estar ubicada en un mástil giratorio que permita una orientación precisa de la antena.

En caso de medición de la sensibilidad de un radiogoniómetro, el campo recibido por la antena debe ser homogéneo y, por consiguiente, debe presentar la misma fase a lo largo de toda la estructura de la antena. La distancia de la antena de transmisión y la antena de recepción deberá ser al menos igual a la longitud de onda de la señal que va a medirse o debe elegirse una distancia tal que la diferencia de fase a lo largo de toda la estructura de la antena sea inferior a  $5^\circ$  para un error de radiogoniometría inferior a  $0,5^\circ$ .

El entorno del emplazamiento deberá seleccionarse de manera que garantice que las reflexiones procedentes de obstáculos cercanos, el ruido ambiente y otras señales radioeléctricas no interfieren con la medición.

El emplazamiento seleccionado deberá:

- estar libre de edificios en sus alrededores;
- no tener superficies metálicas cercanas;
- no tener carreteras cercanas que puedan dar lugar a interferencias debidas a los vehículos;
- estar a una distancia suficiente de cualquier transmisor interferente (de radiodifusión, de telefonía móvil, aeropuertos, etc.);
- estar a una distancia suficiente de fuentes de ruido tales como líneas de alimentación de alta tensión, líneas telefónicas, etc.

La distancia entre la antena receptora y transmisora debe ser mayor que el tamaño de la antena.

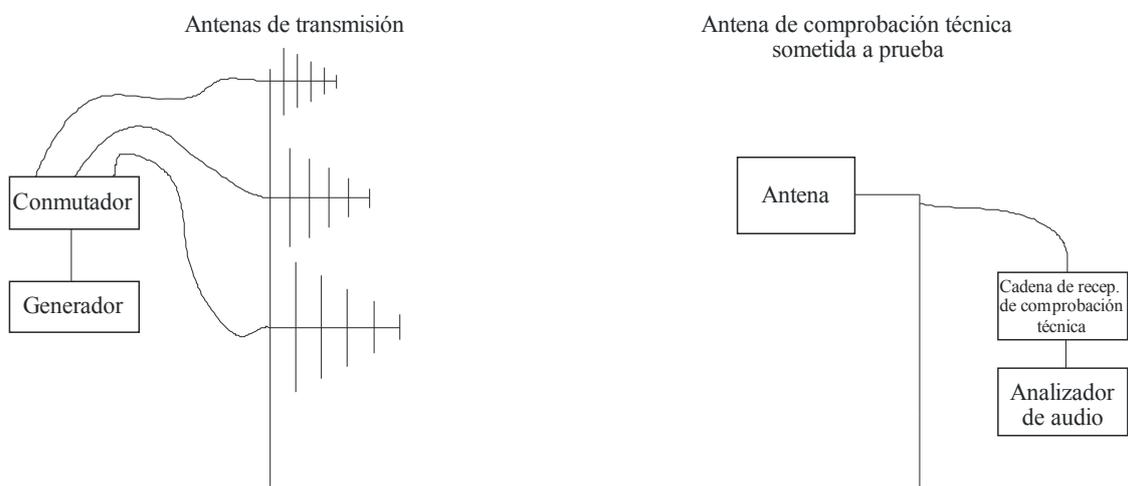
Las frecuencias deberán elegirse dentro de bandas de frecuencias sin interferencia.

Deberá realizarse un estudio de las bandas de frecuencias ocupadas y se rechazarán todas aquellas frecuencias que puedan dar lugar a degradación de las mediciones. En la Fig. 13 aparece un montaje propuesto para realizar esta medición.

### 3.2.2.1 Medición de la sensibilidad en un EPZA para una estación de comprobación técnica

FIGURA 12

Montaje de medición de la sensibilidad en un EPZA para una estación de comprobación técnica



I 2125-12

*Procedimiento de medición:*

La sensibilidad viene dada por:

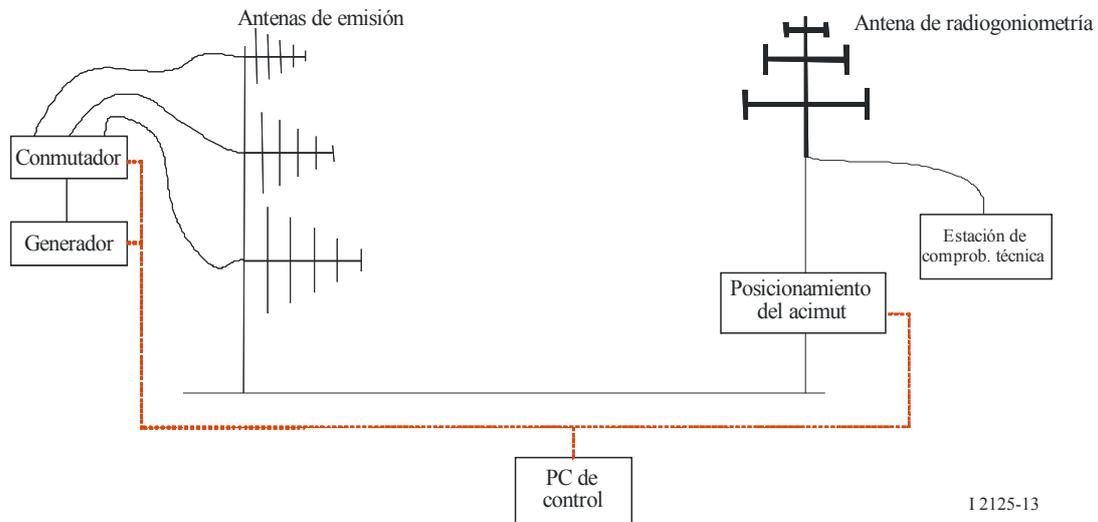
$$S = E_0 + (L_1 - L_0)$$

siendo:

- $S$ : sensibilidad de la intensidad de campo de la estación de comprobación técnica (dB( $\mu$ V/m))
- $E_0$ : valor de la intensidad de campo medida (dB( $\mu$ V/m))
- $L_0$ : nivel de señal introducido en la antena transmisora con una buena SNR (dB( $\mu$ V))
- $L_1$ : nivel de señal introducido en la antena transmisora cuando se alcanza la sensibilidad (en dB( $\mu$ V)).

FIGURA 13

**Montaje de la medición de la sensibilidad en un EPZA para una estación de radiogoniometría**



**3.2.2.2 Montaje para la medición de la sensibilidad en un EPZA de una estación de radiogoniometría**

Con  $N$  mediciones asociadas a una señal intensa, se calcula el ángulo de llegada (que debe ser estable):

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

Se anota el nivel del generador y se lleva a cabo una medición de campo en la posición de la antena del radiogoniómetro.

Reduciendo el nivel de la señal hasta alcanzar el error de acimut:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

siendo:

- $\delta$ : error cuadrático medio entre la medición en el límite de la sensibilidad y la medición a nivel elevado (grados)
- $\theta_0$ : acimut medido con un nivel alto (grados)
- $\theta_{mes}$ : acimut medido para cada nivel del generador (grados)
- $N$ : número de lecturas del acimut para cada nivel del generador.

El límite de la sensibilidad se alcanza cuando:

- $\delta$  es mayor que  $+2^\circ$  (valor eficaz), o
- el radiogoniómetro ya no produce ningún resultado.

Cuando se alcanza el límite de sensibilidad, se anota el nivel del generador  $L_1$  y a continuación se calcula la sensibilidad:

$$S = E_0 - L_0 + L_1$$

siendo:

- $S$ : sensibilidad de la intensidad de campo especificada de la estación (dB( $\mu$ V/m))
- $E_0$ : valor de la intensidad de campo (dB( $\mu$ V/m))
- $L_0$ : nivel de la señal introducida en la antena de transmisión (dB( $\mu$ V)) con una señal intensa
- $L_1$ : nivel de la señal introducida en la antena de transmisión cuando se alcanza la sensibilidad (dB( $\mu$ V)).

Si el error del acimut aceptable  $\delta$  es distinto de  $2^\circ$  (valor eficaz) en algunas subgamas de frecuencias, deberá comunicarse este error de acimut junto con la especificación de la sensibilidad.

### 3.2.3 Parámetros de la estación para la medición de la sensibilidad

A fin de reproducir las condiciones operacionales lo más fielmente posible, durante las mediciones deberán utilizarse los siguientes parámetros:

- deberá desconectarse el CAG del receptor;
- todos los amplificadores de las antenas, los conmutadores de antenas y el receptor, en caso de existir, deberán ajustarse a su máxima amplificación;
- todos los atenuadores de las antenas, los conmutadores de antenas y el receptor, en caso de existir, deberán ajustarse a su mínima atenuación.

### 3.2.4 Presentación de los resultados

Cuando se proporcionan los valores de sensibilidad deberán indicarse los parámetros de medición descritos en los § 3.2.1.4 a § 3.2.2.2.

Estos valores de la sensibilidad deberán garantizarse a lo largo de toda la banda de frecuencias o en la subbanda especificada por el fabricante. El fabricante puede proporcionar un valor medio o un valor típico.

El fabricante indicará las condiciones de cálculo de dicho valor medio o valor típico.

Los valores indicados por el fabricante serán:

- la sensibilidad de campo de la estación de comprobación técnica (dB( $\mu$ V/m)) con los siguientes parámetros:
  - tipo de modulación (A3E o F3E);
  - anchura de banda del filtro de análisis (kHz);
  - índice de modulación o desviación de frecuencia;
  - SINAD utilizada (dB),
- la sensibilidad de campo de la estación de radiogoniometría (dB( $\mu$ V/m)) con los siguientes parámetros:
  - tiempo(s) de integración;
  - anchura de banda del filtro de análisis (kHz).

### 3.3 Parámetros fundamentales para las estaciones de radiogoniometría

#### 3.3.1 Precisión (angular) de la radiogoniometría: Precisión del sistema

Los procedimientos de medición de la precisión de radiogoniometría no se especifican en el Manual del UIT-R «Comprobación técnica del espectro» (Edición de 2011). Este Manual describe únicamente las clases de marcaciones (Clases A, B, C y D) con respecto a la Recomendación UIT-R SM.854, pero no la caracterización de los receptores de radiogoniometría.

La precisión del sistema de radiogoniometría es el valor eficaz o valor cuadrático medio de la diferencia entre el acimut verdadero y la marcación de pantalla.

Para realizar una medición precisa de radiogoniometría pueden aplicarse tres métodos:

- una prueba en un entorno real que represente el entorno de funcionamiento final;
- mediciones en un EPZA utilizando frecuencias restringidas donde no haya reflexiones procedentes de obstáculos cercanos, ruido de ambiente u otras señales radioeléctricas que puedan interferir con la medición;
- mediciones en una plataforma: la estación de radiogoniometría sin su antena se conecta a un simulador y un generador.

La primera prueba se utiliza principalmente a fin de determinar la precisión del sistema o la precisión práctica para un uso típico del sistema. Los otros dos métodos se emplean para calcular la precisión del instrumento y pueden utilizarse, por ejemplo, a efectos de calibración.

##### 3.3.1.1 Pruebas de precisión de la radiogoniometría en un entorno real

###### Introducción a pruebas en entorno real

La precisión de un sistema de radiogoniometría, incluidos los radiogoniómetros autónomos así como la funcionalidad de radiogoniometría integrada y que forma parte de un sistema de comprobación técnica del espectro, puede medirse de varias formas. Un sistema puede probarse sin sus antenas en un laboratorio, conectando un generador de señal a un dispositivo (como por ejemplo un divisor de potencia y cables de RF de longitudes adecuadas) que simule las tensiones y fases incidentes en las antenas, y conectando este simulador al sistema de radiogoniometría sin sus antenas. Un sistema puede ubicarse dentro de una cámara anecoica y pueden generarse señales de prueba utilizándolas para medir la precisión del sistema. Puede situarse el sistema en un banco de pruebas o en un polígono de pruebas, dentro de un entorno electromagnéticamente limpio sin reflexiones o estructuras que puedan producir dispersión, resonancias o rerradiación, y puede probarse con señales intensas. En esos entornos limpios la mayoría de los sistemas de radiogoniometría presentan un excelente comportamiento y tales mediciones sirven para determinar la «precisión de instrumento» del sistema. Sin embargo, las mediciones del comportamiento en tales condiciones no permiten la discriminación entre los sistemas de radiogoniometría puesto que no se dan las condiciones de funcionamiento en el «mundo real» que puede manejar un sistema de alta calidad y que no puede manejar un sistema de calidad inferior. Una administración puede adquirir un sistema que responda perfectamente en pruebas de laboratorio y observar posteriormente que no funciona adecuadamente una vez instalado y en funcionamiento real.

Para proporcionar una medición precisa de la calidad de funcionamiento de un sistema de radiogoniometría, las pruebas deben realizarse en condiciones de funcionamiento reales similares a las que el sistema se encontrará en la práctica y esa medición sirve para determinar la «precisión del sistema». El resto de este punto describe el procedimiento recomendado para determinar dicha «precisión del sistema»; es decir, para probar los sistemas de radiogoniometría en condiciones de funcionamiento reales con una variedad de modulaciones y utilizando señales con la mínima relación señal/ruido especificada por el fabricante del sistema. Los § 3.3.1.3 y 3.3.1.4 describen los

procedimientos para determinar la «precisión del instrumento»; es decir, para probar los sistemas de radiogoniometría en un polígono de pruebas utilizando señales intensas.

### **Definición del procedimiento de medición**

Un sistema de radiogoniometría debe probarse en condiciones de funcionamiento reales, preferentemente en emplazamientos típicos donde el sistema será utilizado por la administración que lo adquirió. Las «pruebas operativas de fábrica» son una alternativa aceptable pero deben realizarse bajo condiciones lo más parecidas posibles a las que se encontrará el sistema una vez instalado y en funcionamiento.

Antes de llevar a cabo las pruebas de precisión de radiogoniometría, debe efectuarse un análisis para determinar la zona de cobertura tanto de los transmisores de prueba que se instalarán a efectos de realizar las pruebas como de las estaciones de radiodifusión conocidas y otros transmisores (denominados «blancos de oportunidad»). Este análisis ayudará a localizar los transmisores de prueba y a seleccionar los blancos de oportunidad que debe recibir el radiogoniómetro con una intensidad de señal que proporcionará una mínima relación señal/ruido cuyo valor sea al menos como el especificado por el fabricante del sistema.

Los equipos de prueba deben prepararse para la realización de las pruebas. Estos equipos incluyen los transmisores de prueba y los generadores de modulación para permitir todos los tipos de modulación, tanto analógicas como digitales, en una variedad de anchuras de banda, incluidas señales de anchura de banda estrecha y amplia. En el caso de las modulaciones digitales los impulsos deben ser tan estrechos como 0,5 ms, con una longitud del impulso aleatorizada. Estos equipos deben ubicarse en un vehículo que disponga de un sistema mundial de determinación de la posición (GPS) y una fuente de alimentación adecuada; el vehículo se dirigirá a ubicaciones seleccionadas aleatoriamente a lo largo de carreteras situadas en la zona de cobertura calculada, para obtener al menos 36 valores de acimut bien distribuidos.

El nivel de señal del transmisor de prueba debe ajustarse para producir una señal en el sistema de radiogoniometría que satisfaga el valor de la relación señal/ruido especificado por el fabricante para el sistema sometido a prueba. Los blancos de oportunidad deben elegirse de manera que cumplan la relación señal/ruido especificada y deben evitarse las señales que produzcan relaciones señal/ruido que superen en más de 20 dB a la relación señal/ruido especificada.

Para cada medición realizada se calcula el error de marcación como la diferencia entre el acimut verdadero (ángulo de la antena de prueba del transmisor) y la marcación mostrada en el equipo de radiogoniometría.

Durante las pruebas deben registrarse los datos de las mediciones para al menos 36 valores de acimut bien distribuidos en los 360°. Específicamente, debe haber un número significativamente grande de emplazamientos de prueba que cubran toda la gama de 360° con diversas separaciones de acimut (aleatorizadas) para obtener mediciones con resoluciones tan bajas como 10° pero no exactamente cada 10° y no cada 10°. Los puntos de medición deben estar separados un mínimo de 6° y un máximo de 14° con una separación media de 10° para proporcionar flexibilidad a la hora de elegir en el terreno los emplazamientos de medición adecuados.

Por ejemplo, un conjunto de mediciones «adecuado» puede consistir en 36 emplazamientos de pruebas situados en las siguientes marcaciones con respecto a la antena de radiogoniometría:

1°, 8°, 14°, 27°, 39°, 46°, 60°, 72°, 85°, 92°, 104°, 118°, 131°, 144°, 156°, 165°, 172°,  
179°, 189°,  
198°, 206°, 215°, 222°, 235°, 247°, 258°, 268°, 276°, 286°, 299°, 310°, 319°, 327°, 334°,  
346°, 354°

Ese conjunto presenta un incremento mínimo de 6° (8° a 14°) y un incremento máximo de 14° (46° a 60°; 104° a 118°), y con 36 mediciones un incremento «medio» de 10°.

El error de marcación debe medirse para al menos nueve frecuencias por década bien distribuidas en la gama de frecuencias del radiogoniómetro, incluido el principio y el final de la escala, con al menos cinco frecuencias situadas dentro de la gama operacional cuando ésta no abarca una década completa.

Deben recopilarse los datos para cada acimut y frecuencia, y para muchos casos de modulaciones en cada acimut y frecuencia, incluidas las modulaciones analógica y digital, de banda estrecha y de banda amplia. Las distintas mediciones de radiogoniometría pueden promediarse a fin de obtener un resultado de radiogoniometría compuesto para cada caso de acimut, frecuencia y modulación, descartando al menos el 10% de las medidas de radiogoniometría individuales como «datos salvajes». La medida radiogoniométrica resultante se compara posteriormente con el ángulo de llegada conocido y se calcula el error, o  $\Delta$ , introduciéndolo a continuación en el cuadro de datos de prueba.

La mayoría de los sistemas de radiogoniometría utilizan antenas con polarización vertical para la recepción porque las antenas de recepción con polarización horizontal suponen un coste y complejidad añadidos a un sistema de radiogoniometría y porque las señales de interés normalmente están polarizadas verticalmente o, debido a las imperfecciones de la polarización o a los efectos de propagación, pueden recibirse mediante una antena con polarización vertical. Específicamente:

- a) Las ondas decamétricas que se propagan por la ionosfera experimentan una rotación de la polarización en la propia ionosfera de manera que una polarización, generalmente vertical, es suficiente para recibir señales en ondas decamétricas originadas con polarización vertical u horizontal. Las ondas de superficie en la banda de ondas decamétricas se propagan como señales con polarización vertical porque las señales con polarización horizontal no pueden propagarse como ondas de superficie.
- b) La mayoría de las señales en ondas métricas/decimétricas (distintas a algunas señales de TV) presentan normalmente polarización vertical (o, al menos, polarización doble como muchas señales de radiodifusión en frecuencia modulada), por lo que la medición más importante se efectúa con polarización vertical. Las pocas señales con polarización horizontal únicamente (como algunas señales de radiodifusión de TV) proceden normalmente de emplazamientos bien conocidos y, por consiguiente, no es necesario efectuar una medida de radiogoniometría precisa de estas señales. Debido a la sencillez de construcción de las antenas en ondas métricas/decimétricas verticales, especialmente para plataformas móviles, la mayoría de los transmisores de interés utilizan antenas verticales, y éste es el requisito más importante para la radiogoniometría.
- c) Algunas tecnologías en ondas decimétricas utilizan señales que pueden tener polarización horizontal, o cuya polarización puede variar dependiendo de la orientación momentánea de la antena transmisora (tales como en los sistemas celulares móviles), y puede ser interesante caracterizar el comportamiento del sistema de radiogoniometría frente a las señales transmitidas con polarización horizontal.

Por lo tanto, la mayoría de las pruebas de radiogoniometría se realizan generalmente con polarización vertical. Sin embargo, estas pruebas de radiogoniometría pueden efectuarse con señales transmitidas con polarización horizontal además de la polarización vertical. La polarización de las señales de prueba debe indicarse en el cuadro de datos de prueba.

En el Cuadro 1 aparece un ejemplo de dicho cuadro de datos de prueba; esos cuadros se utilizan para cada una de las modulaciones analógicas y modulaciones digitales que se prueban.

## CUADRO 1

**Muestra de cuadro de datos de prueba**

Modulación de la señal \_\_\_\_\_ Polarización de la señal \_\_\_\_\_

Índice	Verdadero	Frecuencia 1		Frecuencia 2		Frecuencia 3		Frecuencia 4		Frecuencia M	
	Acimut	RG	$\Delta$								
1	1°										
2	8°										
3	14°										
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
36	354°										

En el Cuadro, RG (radiogoniometría) se refiere al acimut medido y  $\Delta$  es la diferencia entre el acimut medido y el verdadero.

Para llevar a cabo las pruebas, el vehículo debe dirigirse al primer emplazamiento. Debe utilizarse el sistema mundial de determinación de la posición a fin de calcular el emplazamiento preciso a partir del cual se determina la marcación entre el sistema de radiogoniometría y el sistema de prueba. A continuación, debe introducirse el acimut en todos los cuadros de datos para las distintas modulaciones y deben realizarse las pruebas para las diferentes frecuencias y modulaciones, registrándose los datos en los cuadros de datos. Una vez completadas todas las mediciones en un emplazamiento, el vehículo debe desplazarse a otro emplazamiento que es un incremento aleatorizado aproximadamente 10 dB mayor que la marcación anterior y debe repetirse el procedimiento de medición. Este procedimiento debe reiterarse hasta que se hayan efectuado las mediciones de todos los acimutes necesarios.

El valor eficaz o cuadrático medio del error de marcación se calcula como sigue:

$$\Delta_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2}$$

siendo:

$N$ : cómputo de la medición.

Durante la revisión internacional de este proyecto, deben considerarse alternativas al cálculo del error cuadrático medio. Por ejemplo, puede considerarse una función distribución acumulativa del error donde se determine el porcentaje de mediciones totales que caen dentro de un cierto error de acimut. Como ejemplo, para un sistema determinado se puede determinar:

Porcentaje de mediciones	Error en acimut
50%	< 0,1°
67%	< 1,7°
90%	< 5,5°

Utilizando el percentil del 90% como referencia en este caso, se obtendría para este sistema una especificación de error < 5,5°.

Con objeto de garantizar la fiabilidad de los resultados deben observarse los siguientes requisitos:

- a) El acimut del transmisor en relación con la estación de radiogoniometría (acimut verdadero) debe establecerse con una precisión de al menos  $0,1^\circ$  de valor eficaz o una décima de la precisión de radiogoniometría estimada, tomando entre ambos valores el más restrictivo, y considerando un nivel de confianza del 95,45%.
- b) Hasta el 10% de emplazamiento en la zona de cobertura (ángulos de acimut) pueden descartarse para tener en cuenta los problemas de ubicación y cobertura y otros problemas operacionales, siempre que se establezca un proceso o procedimiento adecuado para descartar dichos datos.
- c) La precisión declarada del sistema de radiogoniometría debe ser el valor eficaz calculado de todos los puntos de datos distintos de los descartados.

Considerando, por ejemplo, un sistema de radiogoniometría que funcione con dos conjuntos de antenas, pueden definirse los siguientes puntos de prueba como una prueba mínima coherente con esta norma:

- a) Antena en la gama de 80 MHz a 1 300 MHz
  - 36 puntos de acimut bien distribuidos en  $360^\circ$ .
  - 13 puntos de frecuencia, 2 puntos en la primera década de la gama operacional (80 MHz y 90 MHz), 9 puntos en la segunda década (de 100 MHz a 900 MHz) más 2 puntos para completar la gama en la tercera década (1 000 MHz y 1 300 MHz).
  - Un total de  $N = 36 \times 13 = 468$  puntos de prueba para cada una de las diversas modulaciones analógicas y digitales.
- b) Antena en la gama de 1 300 MHz a 3 000 MHz
  - 36 puntos de acimut bien distribuidos en  $360^\circ$ .
  - 5 puntos de frecuencia como mínimo ya que la gama no comprende toda la década logarítmica (1 300, 1 640, 1 980, 2 320, 2 660, 3 000 MHz).
  - Un total de  $N = 36 \times 5 = 180$  para cada una de las diversas modulaciones analógicas y digitales.

### 3.3.1.2 Consideraciones adicionales para las mediciones de radiogoniometría en la banda de ondas decamétricas

La medición de la precisión de radiogoniometría en ondas decamétricas se enfrenta a algunas restricciones:

- la longitud de onda de la señal en ondas decamétricas impone distancias importantes entre transmisores y receptores,
- las variaciones en los ruidos atmosféricos no son fácilmente controlables (dependen de la actividad solar, del día o la noche y otras variables).

Por consiguiente, las mediciones de la precisión de radiogoniometría en ondas decamétricas deberán ser las mismas que las efectuadas para determinar la precisión de radiogoniometría en ondas métricas/decimétricas salvo que:

- el transmisor deberá ser un transmisor de radiodifusión real con características conocidas (acimut, nivel), o
- un transmisor en ondas decamétricas situado en un vehículo que se encuentre en una posición conocida.

*Ejemplo de una especificación de hoja de datos:*

Precisión de la radiogoniometría:  $\leq 2,5^\circ$  valor cuadrático medio (80 MHz a 1 300 MHz, basándose en pruebas operacionales) (con arreglo a las Recomendaciones UIT-R SM pertinentes).

Precisión de la radiogoniometría:  $\leq 2,0^\circ$  valor cuadrático medio (1 300 MHz a 3 000 MHz, basándose en pruebas operacionales) (con arreglo a las Recomendaciones UIT-R SM pertinentes).

### 3.3.1.3 Definición de los procedimientos de prueba de precisión de la radiogoniometría en un EPZA

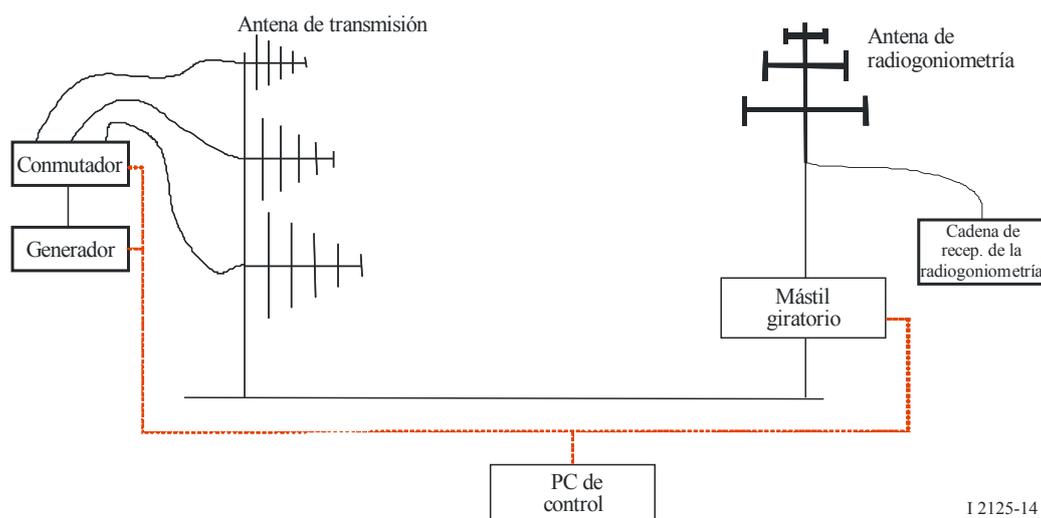
Puede probarse un sistema sin sus antenas en un laboratorio, conectando un generador de señal a un simulador de antena y conectando posteriormente este simulador al sistema de radiogoniometría sin sus antenas. Puede ubicarse un sistema en un EPZA dentro de un entorno electromagnéticamente limpio sin reflexiones o estructuras que puedan causar dispersión, resonancias o rerradiación, y puede probarse con señales intensas. Véase la Fig. 14. Las mediciones en dicho entorno limpio sirven para determinar la «precisión del instrumento» del sistema. Esta precisión del instrumento normalmente no es una medida adecuada de cómo se comportará un sistema de radiogoniometría en condiciones de funcionamiento real, porque la mayoría de estos sistemas presentan un funcionamiento adecuado en un entorno controlado de un laboratorio o un banco de pruebas cuando se utilizan señales de prueba intensas.

Para esta prueba se mide la precisión de radiogoniometría del radiogoniómetro utilizando un transmisor de prueba situado en los alrededores de la antena de radiogoniometría, en un entorno sin reflexiones. La disposición de prueba debe permitir variar el acimut de la antena de prueba del transmisor en unos incrementos definidos para cubrir toda la gama de marcaciones de  $360^\circ$ .

Deben descartarse las frecuencias para las cuales el medio de propagación o los efectos multitrayecto dan lugar a errores en las mediciones radiogoniométricas.

FIGURA 14

#### Montaje para la medición de la precisión de radiogoniometría en una estación de radiogoniometría ubicada en un EPZA



I 2125-14

Se calcula el error en acimut medido:

$$\theta_{(F,\theta)} = (\theta_{mes} - \theta_{theo})$$

siendo:

$\theta_{mes}$ : ángulo medido para una frecuencia determinada y con el acimut seleccionado (grados)

$\theta_{theo}$ : ángulo teórico con el acimut seleccionado (grados).

Se calcula el resultado de la precisión de radiogoniometría calculando la media cuadrática de todos los valores para las frecuencias concretas y los acimuts seleccionados.

$$\theta = \sqrt{\frac{\sum_{\theta} \sum_{F} \theta_{(F,\theta)}^2}{N}}$$

$\theta$ : medición del acimut (grados, valor cuadrático medio)

$\theta_{(F,\theta)}$ : ángulo medido para una frecuencia determinada y con el acimut seleccionado (grados)

$N$ : número de puntos de medición.

Es posible compensar el error debido a la instalación de la antena de radiogoniometría teniendo en cuenta la desviación media de todas las mediciones, como sigue:

$$\theta = \theta - \frac{\sum_{\theta} \sum_{F} \theta_{(F,\theta)}}{N}$$

La medición de la precisión de radiogoniometría en ondas decamétricas se enfrenta a algunas restricciones:

- la longitud de onda de la señal de ondas decamétricas impone distancias importantes entre transmisores y receptores;
- las variaciones en los ruidos atmosféricos no son fácilmente controlables (dependen de la actividad solar, el día o la noche ...).

Por consiguiente, las mediciones de la precisión de radiogoniometría en ondas decamétricas deberán ser las mismas que las efectuadas para determinar la precisión de radiogoniometría en ondas métricas/decimétricas, salvo que:

- el transmisor deberá ser un transmisor de radiodifusión real con características conocidas (acimut, nivel); o
- un transmisor en ondas decamétricas situado en un vehículo que se encuentre en una posición conocida.

#### *Distribución de los puntos de medición*

Para permitir una distribución equitativa de las frecuencias sobre la totalidad de la banda, estas frecuencias deberán seleccionarse como sigue:

- la distribución se hará por octavas;
- el número de mediciones por subbanda deberá ser fijo e igual o mayor que 1;
- los puntos de medición se seleccionarán de forma aleatoria.

Para mediciones en emplazamientos situados en espacios abiertos, los acimuts de medición se seleccionarán como sigue:

- el número de acimuts de medición deberá ser fijo e igual o mayor que 2;
- los acimuts de medición se seleccionarán de forma aleatoria a lo largo de los 360°.

Deberá garantizarse la precisión de la radiogoniometría. La precisión de la radiogoniometría publicada deberá ser válida en toda la gama de temperaturas indicada en la hoja de datos.

### 3.3.1.4 Definición del procedimiento de prueba de precisión de la radiogoniometría en una plataforma

La precisión de la radiogoniometría se lleva a cabo utilizando un simulador de acimut de llegada. Este dispositivo hace posible aplicar a cada antena elemental de una antena de radiogoniometría una señal con una amplitud y fase correctas. Véase la Fig. 15.

FIGURA 15

Montaje para una medición de la precisión de radiogoniometría de una estación de radiogoniometría situada en una plataforma



El método de medición es el mismo que en el caso de un EPZA salvo que el acimut teórico viene dado por el simulador de antena.

### 3.3.2 Velocidad de exploración de la medición de radiogoniometría

La velocidad de exploración de radiogoniometría caracteriza el número de transmisores que puede analizar una estación de radiogoniometría en un periodo de tiempo determinado. Este parámetro depende de dos factores:

- la velocidad del receptor (emplazamiento de los osciladores locales, filtros ...);
- la velocidad de procesamiento digital (FFT, mediciones radiogoniométricas ...).

La velocidad de exploración es la capacidad que tiene el radiogoniómetro de medir una velocidad de detección de radiogoniometría de las señales entrantes en una banda de frecuencias determinada comprendida entre  $F_{\text{mín}}$  y  $F_{\text{máx}}$ . El valor de la velocidad de exploración viene dado en MHz/s.

La velocidad de exploración de radiogoniometría es independiente de la antena utilizada y, por consiguiente, la medición se realizará sin antena. La velocidad de exploración medida deberá ser la velocidad de exploración de la cadena de recepción de la estación de radiogoniometría como se define en la Fig. 10.

El comportamiento viene garantizado por dos mediciones:

- cálculo del acimut válido de una ráfaga, que prueba a la velocidad a la que la banda ha sido explorada;
- cálculo del acimut válido de varias ráfagas simultáneas sin repercusión sobre la velocidad a la que la banda ha sido explorada.

Para la medición de la velocidad de exploración sólo se tendrán en cuenta las mediciones de acimut válido.

**Presentación de los resultados**

Deberá garantizarse la velocidad de exploración de radiogoniometría.

La velocidad de exploración publicada deberá ser válida en toda la gama de temperaturas indicada en la hoja de datos.

**3.3.3 Mínima duración de la señal de radiogoniometría***Principio de medición*

La mínima duración de la señal caracteriza el tiempo mínimo en que una señal debe estar presente a fin de poder ser detectada y medida por el radiogoniómetro.

Este tiempo depende de:

- la velocidad de procesamiento digital (FFT, medida radiogoniometría ...);
- el filtro de FI seleccionado.

El principio de medición consiste en generar un impulso igual en tiempo a la mínima duración de la señal y calcular la probabilidad de detección, que debe ser superior al 95%.

**Presentación de los resultados**

Deberá garantizarse la mínima duración de la señal.

La mínima duración de la señal publicada deberá ser válida en toda la gama de temperaturas indicada en la hoja de datos.

---