

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SM.2097-0
(08/2016)

**Precisión de las mediciones *in situ* de
un sistema de radiogoniometría fijo**

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2017

© UIT 2017

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

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.2097-0

Precisión de las mediciones *in situ* de un sistema de radiogoniometría fijo

(2016)

Cometido

En esta Recomendación se ofrece orientación sobre los métodos de prueba normalizados de la precisión de la puntería de un radiogoniómetro fijo en su entorno final y los resultados en términos de presentación de informes. Puede servir como parte de la prueba de aceptación *in situ* para los dispositivos de comprobación técnica tras su instalación.

Palabras clave

Precisión del radiogoniómetro, medición *in situ*, entorno realista

Recomendaciones e Informes de la UIT relacionados

Recomendación UIT-R SM.2060

Informe UIT-R SM.2125

NOTA – Siempre debe utilizarse la edición más reciente de cada Recomendación/Informe.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el UIT-R ha publicado especificaciones típicas sobre la precisión de radiogoniometría¹ en el Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro (edición de 2011);
- b) que en el Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro (edición de 2011) se remite al Informe UIT-R SM.2125 – Parámetros y procedimientos de medición de las estaciones y receptores de comprobación técnica en las bandas de ondas decamétricas/métricas/decimétricas, donde se define la precisión de radiogoniometría y se facilitan algunos procedimientos de prueba pertinentes;
- c) que la especificación de la precisión de radiogoniometría depende de los procedimientos de prueba aplicados;
- d) que los datos de rendimiento de las especificaciones de los radiogoniómetros suelen representar las condiciones de prueba ideales y no contemplan la influencia de los obstáculos, los reflejos y las señales de radiofrecuencias perturbadoras en el emplazamiento de instalación definitivo;
- e) que la precisión de un sistema de radiogoniometría *in situ* puede verse fuertemente influida por esas condiciones ambientales², así como por la naturaleza de la señal (intensidad de la señal, modulación de la señal, incluidas las señales con variación temporal y de fase, ciclo de trabajo de la

¹ A los efectos de esta Recomendación, por «precisión de radiogoniometría» se entiende la precisión de la puntería de un sistema de radiogoniometría con respecto a las señales procedentes del horizonte con independencia de las señales recibidas desde otros ángulos de elevación, como las ondas ionosféricas.

² En los entornos operativos reales las condiciones de trayectos múltiples pueden ser simples o complejas, estáticas o con variación en el tiempo, y pueden ser distintas en diferentes entornos. Esas condiciones también variarán en el mismo emplazamiento en función de la altura de la antena del radiogoniómetro.

señal, polarización de la señal y duración de la señal) y por el tiempo de integración del radiogoniómetro;

f) que, en función de los requisitos definidos, una o más de esas condiciones específicas pueden revestir mayor o menor importancia e incluso, en ocasiones, pueden omitirse;

g) que el emplazamiento y la instalación del sistema de radiogoniometría pueden tener consecuencias directas sobre su precisión y adecuación para efectuar determinadas tareas de comprobación técnica,

recomienda

que se utilicen los procedimientos de prueba del Anexo 1 para determinar la precisión de un sistema de radiogoniometría instalado en su emplazamiento definitivo y rendir informe de la misma.

Anexo 1

1 Introducción

En la presente Recomendación se propone un procedimiento de prueba general que puede utilizarse para evaluar la precisión de radiogoniometría de los sistemas radiogoniométricos en su entorno radioeléctrico realista. Si bien la precisión de radiogoniometría indicada por el fabricante en la especificación técnica es una medida del rendimiento en condiciones de recepción puras y controladas (como se indica en la Recomendación UIT-R SM.2060), con las pruebas que se indican en la presente Recomendación se pretende evaluar la precisión de radiogoniometría en el entorno radioeléctrico en el que está instalado el sistema radiogoniométrico en cuestión. Se supone que ese entorno estará influido por los inmuebles circundantes, obstáculos, reflejos de los objetos cercanos y en movimiento y, en algunos casos, la presencia de señales radioeléctricas intensas.

Con las mediciones del rendimiento en entornos puros y controlados se obtienen resultados adecuados para efectuar comparaciones de la precisión de la radiogoniometría. Sin embargo, si el sistema no funciona adecuadamente en un entorno operativo, su utilidad se ve degradada. Por consiguiente, se recomienda aplicar procedimientos de pruebas bien definidos para las instalaciones en emplazamientos fijos a fin de analizar la precisión de la radiogoniometría en entornos operativos reales, en particular como parte de las pruebas de aceptación de un sistema.

Es evidente que cuando se mide la precisión de la radiogoniometría en el entorno operativo real, ésta puede ser peor a lo indicado en la especificación técnica debido a los efectos generalmente negativos del entorno radioeléctrico operativo. Sin embargo, la posible compensación (parcial) de los errores de radiogoniometría medidos *in situ* (por ejemplo, mediante tablas de corrección) dependerá del diseño del sistema.

Cabe señalar que los resultados de precisión de la radiogoniometría obtenidos con los métodos descritos en esta Recomendación serán propios a cada instalación de radiogoniometría y no podrán simplemente extrapolarse a otros sistemas de radiogoniometría en entornos radioeléctricos diferentes, aunque se trate de sistemas del mismo tipo.

También cabe señalar que este procedimiento no pretende ser una prueba de aceptación de emplazamiento completa. Aunque puede servir de base para una prueba de aceptación de emplazamiento, el usuario suele especificar requisitos más detallados en función de sus objetivos de cobertura y rendimiento.

Se recomiendan dos tipos de pruebas: (1) pruebas empleando un transmisor de prueba cuya frecuencia y ubicación puede controlarse y que transmitirá señales de onda continua a un nivel ajustado para que la SNR sea igual o superior a 20 dB en el sistema que se prueba; y (2) pruebas con señales de estaciones de radiodifusión conocidas existentes y de otros transmisores cuyo emplazamiento es fijo y conocido (denominados «blancos de oportunidad»), cuyos niveles de señal y tipos de modulación pueden ser variables, a condición de que sólo se utilicen las señales de los blancos de oportunidad para lograr una SNR como mínimo igual al valor mínimo especificado por el fabricante del sistema que se prueba.

2 Configuración de la medición

Un sistema de radiogoniometría debe probarse en condiciones de funcionamiento reales en el emplazamiento real donde el sistema será utilizado por la administración que lo adquirió. Las «pruebas operativas de fábrica» pueden ser una alternativa aceptable, pero deben realizarse bajo condiciones lo más parecidas posibles a las condiciones previstas en el emplazamiento de instalación del sistema.

Determinación de la zona de cobertura para la prueba

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, como de las estaciones de radiodifusión conocidas y otros transmisores (denominados «blancos de oportunidad») cuya ubicación se conoce. Un blanco de oportunidad adecuado debe tener una potencia de salida estable y ser capaz de ofrecer una SNR suficiente a lo largo de la duración de la prueba. Pueden utilizarse herramientas de simulación para analizar la cobertura en función de la potencia, la frecuencia, la modulación y la ubicación del transmisor requeridas. Este análisis ayudará a planificar los emplazamientos de los transmisores de prueba y a seleccionar los blancos de oportunidad.

Consideraciones sobre la potencia de salida del transmisor de prueba

Los transmisores de prueba controlados deben transmitir una señal de onda continua con una potencia suficiente para ofrecer una SNR recibida igual o superior a 20 dB. Sin embargo, si así lo acuerdan la administración y el fabricante, podrán utilizarse señales con la SNR mínima con la que se logra la precisión especificada (documentada por el fabricante). Los blancos de oportunidad necesariamente utilizarán los niveles de señal y los tipos de modulación transmitidos, pero no se utilizarán señales con una SNR recibida inferior al mínimo especificado por el fabricante.

Consideraciones sobre el transmisor y la antena de prueba

El equipo de prueba se ha de preparar para la evaluación/prueba *in situ*. Ese equipo comprende transmisores para generar señales en la gama de frecuencias de interés con la potencia necesaria para lograr la SNR deseada. El equipo de prueba (incluidos el transmisor, las antenas transmisoras, etc.) debe calibrarse para garantizar la validez de los datos.

Para simular con la mayor precisión posible las condiciones operativas se recomienda utilizar con los transmisores antenas omnidireccionales. Sin embargo, si así lo acuerdan la administración y el fabricante, podrá utilizarse una antena direccional para pruebas con un blanco específico. Tales casos se anotarán en los resultados de la prueba.

Emplazamientos de los transmisores de pruebas

El equipo de prueba debe situarse en un sistema con sistema de posicionamiento global y con la alimentación adecuada (vehículo de prueba); el vehículo irá de un emplazamiento a otro por carretera dentro de la zona de cobertura calculada a fin de obtener, como mínimo, ocho valores de acimut bien

distribuidos a 360 grados (dos por cuadrante).³ Los puntos de prueba deberán tener visibilidad directa con el radiogoniómetro. La diferencia entre dos ángulos de prueba adyacentes no será inferior a 30 grados. Cuando tal distribución de los emplazamientos transmisores no sea posible, podrán utilizarse otras distribuciones, respetando preferentemente las dos medidas por cuadrante, siempre y cuando quede cubierta la zona de interés.

Se utilizarán, como mínimo, ocho puntos de prueba, cuya distancia con respecto al sistema de radiogoniometría será variable y oscilará desde la cercanía al límite exterior de la zona de cobertura. El punto de prueba más distante se situará en el límite de la cobertura en que se pueda mantener una SNR de 20 dB. Para los puntos de prueba cercanos, basta con que se sitúen en el campo lejano. Las administraciones pueden seleccionar los puntos de prueba. Asimismo, si así lo acuerdan el fabricante y la administración, podrán utilizarse puntos de prueba adicionales a fin de que las administraciones puedan comprender mejor el rendimiento del sistema en su entorno.

Selección de la frecuencia del transmisor

Las frecuencias seleccionadas deben estar bien distribuidas a lo largo de la gama de frecuencias. Sin embargo, deben estar suficientemente separadas (en frecuencia) de las de los «blancos de oportunidad» antes identificados de manera que el resultado de la puntería para la señal de transmisión de la prueba no se vea influido por la señal de un blanco de oportunidad adyacente⁴. La metodología empleada para seleccionar las frecuencias de prueba puede ajustarse a la Recomendación UIT-R SM.2060 (El número definitivo de frecuencias de prueba puede estar limitado por restricciones de licencia o por otros factores).

Configuración de la modulación del transmisor de prueba

La prueba debe realizarse con portadoras no moduladas (onda continua) utilizando los transmisores de prueba y los blancos de oportunidad, como ya se ha indicado. Los blancos de oportunidad deben incluir señales analógicas y digitales con tipos de modulación típicos de las señales que recibirá el sistema radiogoniométrico instalado y típicos del entorno operativo.⁵

Si la prueba se realiza con portadoras no moduladas, el ancho de banda del radiogoniómetro deberá fijarse de conformidad con la Recomendación UIT-R SM.2060. Si la prueba se realiza utilizando una señal con modulación analógica o digital, el ancho de banda del radiogoniómetro se ajustará en función del ancho de banda de la señal.

Informe de la configuración de la prueba

Deberán anotarse en el informe todas las configuraciones de la prueba (nivel de la señal de prueba en $\mu\text{V/m}$, tipo de señal de prueba, ancho de banda del radiogoniómetro, ángulo de orientación de prueba, distancia de prueba, tipos de antena, etc.).

3 Procedimiento de medición

Se ha de conducir el vehículo de prueba hasta el primer emplazamiento. Se utilizará el sistema de posicionamiento global para determinar con precisión el emplazamiento desde el cual se calculará el

³ Se trata de la situación óptima para un sistema de radiogoniometría con cobertura a 360 grados. Puede haber motivos para modificar esta premisa, cuando esté previsto que el radiogoniómetro cubra menos cuadrantes.

⁴ En la práctica puede resultar difícil de alcanzar con ciertas señales o ciertos tipos de modulación, cuando puede haber múltiples señales ocupando la misma gama de frecuencias. Se ha de procurar evitar esas situaciones y puede ser necesario incluir una nota indicando la excepcionalidad.

⁵ Si así lo acuerdan las administraciones y los fabricantes, podrá especificarse la prueba de ciertos tipos de señales moduladas.

apuntamiento verdadero desde el sistema de radiogoniometría al transmisor de prueba. El acimut del transmisor de prueba en relación con la estación de radiogoniometría (acimut verdadero) debe establecerse con una precisión de al menos 0,1° 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%.

El nivel de la señal del transmisor de prueba se ajustará para verificar que la intensidad de la señal transmitida, como la recibe la antena del radiogoniómetro, tiene una SNR igual o superior a 20 dB, a menos que la administración y el fabricante hayan acordado realizar la prueba con una SNR equivalente a la intensidad mínima de la señal con la que, según el fabricante, se logra la precisión especificada. Además, antes de encender el transmisor de prueba, se debe verificar que la frecuencia seleccionada esta «libre», lo que significa que el radiogoniómetro no está recibiendo ninguna otra señal.

Se toma nota del acimut del sistema de radiogoniometría y se introduce en las tablas de datos. La prueba debe repetirse con las distintas frecuencias. Una vez completadas todas las mediciones en un emplazamiento, el vehículo de prueba debe desplazarse a otro emplazamiento y debe repetirse el procedimiento de medición. Este procedimiento debe reiterarse hasta que se hayan efectuado las mediciones de todos los acimuts necesarios⁶.

Además de las mediciones del transmisor de prueba, se realizarán los apuntamientos indicados a los «blancos de oportunidad» seleccionados y se introducirán los resultados en la tabla junto con los apuntamientos verdaderos calculados. Para las pruebas de los blancos de oportunidad, se introducirán en la tabla la SNR recibida y la modulación de la señal.

En el Cuadro 1 se muestra un ejemplo de tabla de resultados. Se utiliza una tabla para las señales no moduladas (onda continua) y otra tabla semejante con columnas adicionales para consignar la SNR y la modulación de la señal para las pruebas de los blancos de oportunidad.

CUADRO 1
Muestra de tabla de datos de prueba

Modulación de la señal _____ Polarización de la señal _____

Índice	Real	Frecuencia 1		Frecuencia 2		Frecuencia 3		Frecuencia 4			Frecuencia M	
	Acimut	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ		DF	Δ
1	1°											
2	28°											
3	77°											
8	354°											

Obsérvese que Δ es el error de apuntamiento para cada medición. Se calcula como la diferencia entre el acimut real y el apuntamiento indicado en el equipo de radiogoniometría.

⁶ Este tipo de prueba reiterativa puede realizarse eficazmente con un software para controlar el transmisor y el sistema de radiogoniometría, recopilar los datos y efectuar un informe de los resultados.

4 Análisis de los datos de prueba

Si las mediciones se realizan en el emplazamiento operativo real como parte de una prueba de aceptación, se deberán incluir en la tabla de resultados todos y cada uno de los valores. El usuario podrá utilizarlos como punto de partida para la elaboración de tablas de corrección más completas que permitan compensar de alguna manera el error de apuntamiento con posterioridad.⁷

Si las mediciones se realizan como «pruebas operativas de fábrica», se mediará cada una de las mediciones del radiogoniómetro para obtener un resultado de radiogoniometría compuesto para cada acimut, frecuencia y, si procede, modulación, descartando como mucho el 10% de las mediciones como extremos estadísticos («datos brutos»).

El valor eficaz o RMS (cuadrático medio) del error de apuntamiento, Δ_{RMS} para cada gama de frecuencias, se calcula a partir de muestras mediadas (una vez excluidos los extremos) utilizando la fórmula siguiente:

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

siendo:

N : cómputo de la medición.

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

- a) Hasta el 10% de las mediciones de muestra efectuadas en la gama del radiogoniómetro en la zona de cobertura (ángulos de acimut) pueden descartarse para tener en cuenta los problemas operativos, siempre que se establezca un proceso o procedimiento adecuado para descartar dichos datos.
- b) La precisión declarada del sistema de radiogoniometría debe ser el valor eficaz calculado de todos los puntos de datos distintos de los descartados. Deben indicarse en el informe de la prueba los datos descartados.

5 Consideraciones adicionales para la medición de radiogoniómetros en ondas decamétricas (HF)

La medición de la precisión de radiogoniometría en HF presenta otras limitaciones:

- la longitud de onda de la señal HF exige distancias importantes entre los transmisores y los receptores, pero la distancia entre un transmisor de prueba y un sistema de radiogoniometría tiene que cumplir las condiciones del campo lejano;
- la variación del ruido atmosférico no se puede controlar (depende de la actividad solar, del día o la noche y otras variables). A menudo es considerablemente superior al ruido del sistema de radiogoniometría, por lo que puede resultar difícil lograr una SNR mínima de 20 dB.

Las mediciones de la precisión de radiogoniometría en HF deberán ser las mismas que las efectuadas para determinar dicha precisión en VHF/UHF, salvo que:

- el transmisor podrá ser un transmisor de radiodifusión real de características conocidas (acimut, nivel);

⁷ Se deberán probar ángulos y frecuencias adicionales para crear tablas de corrección razonables para un sistema instalado.

- puede recurrirse a un transmisor HF situado en un vehículo en un posición conocida en el campo lejano;
- el número de acimuts puede estar limitado por las características geográficas u otros factores;
- el tipo de pruebas descrito aquí sólo tiene en cuenta la precisión de radiogoniometría de la onda terrestre para los sistemas radiogoniométricos en HF, pero para otros tipos de pruebas será necesario considerar las señales de onda ionosférica.

6 Ejemplo de resultados de la prueba

Los resultados de la prueba se presentarán en función de la gama de frecuencias físicas de cada antena del radiogoniómetro y, para los blancos de oportunidad, el tipo de modulación de la señal de prueba, el ancho de banda del radiogoniómetro y otros parámetros.

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
 - 8 puntos de acimut bien distribuidos en 360°.
 - 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).
 - $N_t = 8 \times 13 = 104$ pruebas para cada portadora no modulada.
 - N_0 = número de pruebas realmente realizadas con modulaciones analógicas y digitales de los blancos de oportunidad.
 - Total $N = N_t + N_0$
- b) Antena en la gama de 1 300 MHz a 3 000 MHz
 - 8 puntos de acimut bien distribuidos en 360°.
 - 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).
 - $N_t = 8 \times 5 = 40$ pruebas para cada portadora no modulada.
 - N_0 = número de pruebas realmente realizadas con modulaciones analógicas y digitales de los blancos de oportunidad.
 - Total $N = N_t + N_0$

El Informe basado en los datos de pruebas operativas podría ser entonces:

- Precisión de radiogoniometría: $\leq 2,5^\circ$ RMS (80 MHz a 1 300 MHz, medida de conformidad con la Recomendación UIT-R SM.2097-0);
 - Precisión de radiogoniometría: $\leq 2,0^\circ$ RMS (1 300 MHz a 3 000 MHz, medida de conformidad con la Recomendación UIT-R SM.2097-0).
-