

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Informe UIT-R SM.2270**

(06/2013)

**Tecnología de visualización de la fuente  
radioeléctrica para la comprobación  
técnica del espectro**

**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 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>	Radio astronomía
<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, 2014

© UIT 2014

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.2270

**Tecnología de visualización de la fuente radioeléctrica  
para la comprobación técnica del espectro**

(2013)

**1 Introducción****1.1 Antecedentes**

Con el progreso experimentado por las tecnologías de comunicaciones inalámbricas en los últimos años, cada vez son más las personas que emplean sistemas de comunicaciones inalámbricas. Además, las ondas radioeléctricas se utilizan en una variedad cada vez más amplia de productos electrónicos generales. Como resultado, el número de casos de interferencia ha aumentado debido a dicho incremento del uso del espectro radioeléctrico y la escasez de frecuencias correspondiente.

En particular, en los últimos años se han registrado más casos de interferencia en las gamas de frecuencias más elevadas. Además, como los equipos de comunicaciones son cada vez más sofisticados en cuanto a la sensibilidad, incluso una fuente de interferencia con un transmisor de pequeña potencia puede afectar severamente a los dispositivos situados en las proximidades.

En el esquema de estimación convencional de determinación de la posición de la fuente radioeléctrica utilizando el método del ángulo de llegada, puede detectarse la ubicación de dicha fuente en el mapa bidimensional y sin embargo no puede determinarse la posición de la altura.

Por tanto, en la zona del punto estimado de la fuente radioeléctrica emisora es necesario identificar la posición de dicha fuente utilizando el sistema de radiogoniometría portátil.

La tecnología de visualización de la fuente radioeléctrica (RAVIT, *radio source visualizing technology*) puede fijar visualmente con precisión el emplazamiento de la fuente de emisión a una corta distancia y, por consiguiente, es muy útil en la fase final de identificación exacta de la fuente de emisión una vez detectada la zona donde se encuentra la fuente estimada mediante un sistema de radiogoniometría tradicional.

Este Informe presenta un ejemplo de aplicación a las actividades reales de comprobación técnica del espectro describiendo el esquema, el principio y las características básicas del sistema RAVIT, y propone ese ejemplo de aplicación para el futuro sistema de comprobación técnica del espectro.

En la Fig. 1 se representan las características del sistema RAVIT.

FIGURA 1  
Características del sistema RAVIT



Informe SM.2270-01

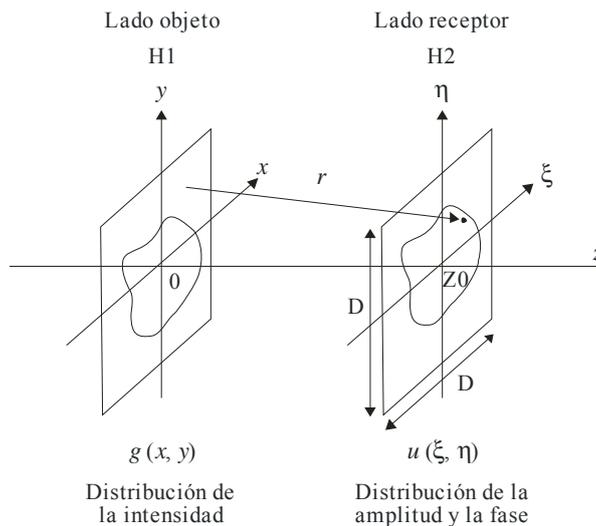
### 1.2 Principio de visualización

En la Fig. 2 se muestra el principio y la ecuación básica de un método de holografía radioeléctrica utilizada en el sistema RAVIT.

En dicha Figura hay una distribución de transmitancia de la intensidad:  $g(x, y)$  en el lado objeto H1. Cuando la onda eléctrica bidimensional (longitud de onda:  $\lambda$ ) se emite verticalmente, en el lado receptor H2 situado a una distancia  $Z_0$  del H1, aparece en H2 el diagrama de difracción  $u(\xi, \eta)$ .

Ello se representa por la fórmula (1) de la integración de difracción de Fresnel Kirschhoff.

FIGURA 2  
Principio del método de holografía radioeléctrica



Informe SM.2270-02

$$u(\xi, \eta) = \frac{j}{\lambda} \iint g(x, y) \frac{\exp(-jkr)}{r} dx dy \tag{1}$$

La ecuación básica de la integración de difracción de Fresnel Kirschhoff es:

$$r = \sqrt{z_0^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2} \quad (2)$$

Cuando la distancia entre el lado objeto H1 y el lado receptor H2 se fija a unas condiciones de campo lejano, y satisface las condiciones de Fraunhofer, la fórmula (1) puede transformarse como se indica más abajo.

En la fórmula (3), la distribución de amplitud y fase  $u(\xi, \eta)$  en el lado receptor H2 se describe mediante el tipo de transformada inversa de Fourier bidimensional de la distribución de intensidad del lado de una fuente radioeléctrica.

$$\begin{aligned} u(\xi, \eta) &= \frac{j}{\lambda \cdot z_0} \exp(-jkz_0) \exp\left(-jk \frac{\xi^2 + \eta^2}{2z_0}\right) \iint g(x, y) \exp\left\{j \frac{2\pi}{\lambda \cdot z_0} (\xi \cdot x + \eta \cdot y)\right\} dx dy \\ &= \text{const} \cdot \text{Fourier} 2^{-1}[g(x, y)] \end{aligned} \quad (3)$$

donde:

- $\text{const}$  es una constante
- $\text{Fourier} 2[\dots]$  es la transformada de Fourier bidimensional.

La distribución de la intensidad de la señal  $g(x, y)$  del lado objeto que se necesita con el sistema RAVIT se describe mediante la transformada de Fourier de la fórmula (4).

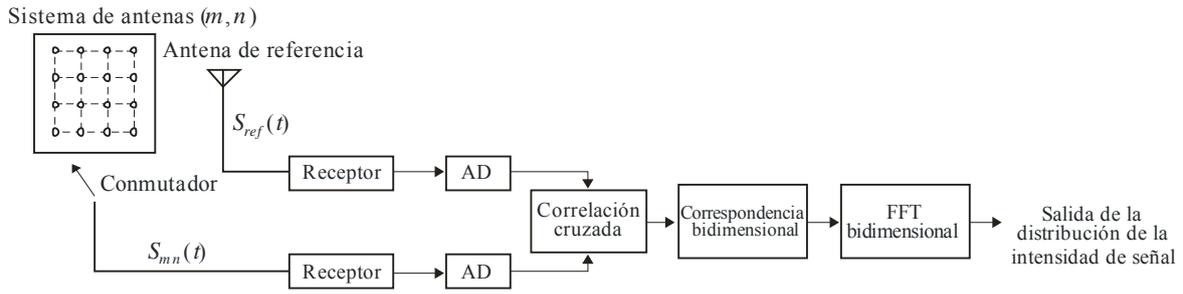
$$g(x, y) = \text{const} \cdot \text{Fourier} 2[u(\xi, \eta)] \quad (4)$$

En el sistema real, para conseguir la distribución de amplitud y fase de un lado receptor, se realiza la correlación cruzada de los datos recibidos de cada uno de los elementos del sistema de antenas y un elemento de la antena de referencia.

La distribución de amplitud y fase  $u(\xi, \eta)$  en un lado receptor se calcula mediante la correspondencia de la forma en un plano bidimensional. La imagen de la distribución de la intensidad de señal de la onda radioeléctrica emitida puede obtenerse llevando a cabo una transformada rápida de Fourier (FFT) bidimensional de este resultado. El cálculo numérico por procesamiento digital de la señal se realiza utilizando el algoritmo mostrado en la Fig. 3.

FIGURA 3

Algoritmo de procesamiento de la señal



$S_{ref}(t)$  Señal recibida en una antena de referencia

$S_{mn}(t)$  Señal recibida en cada elemento  $(n, n)$

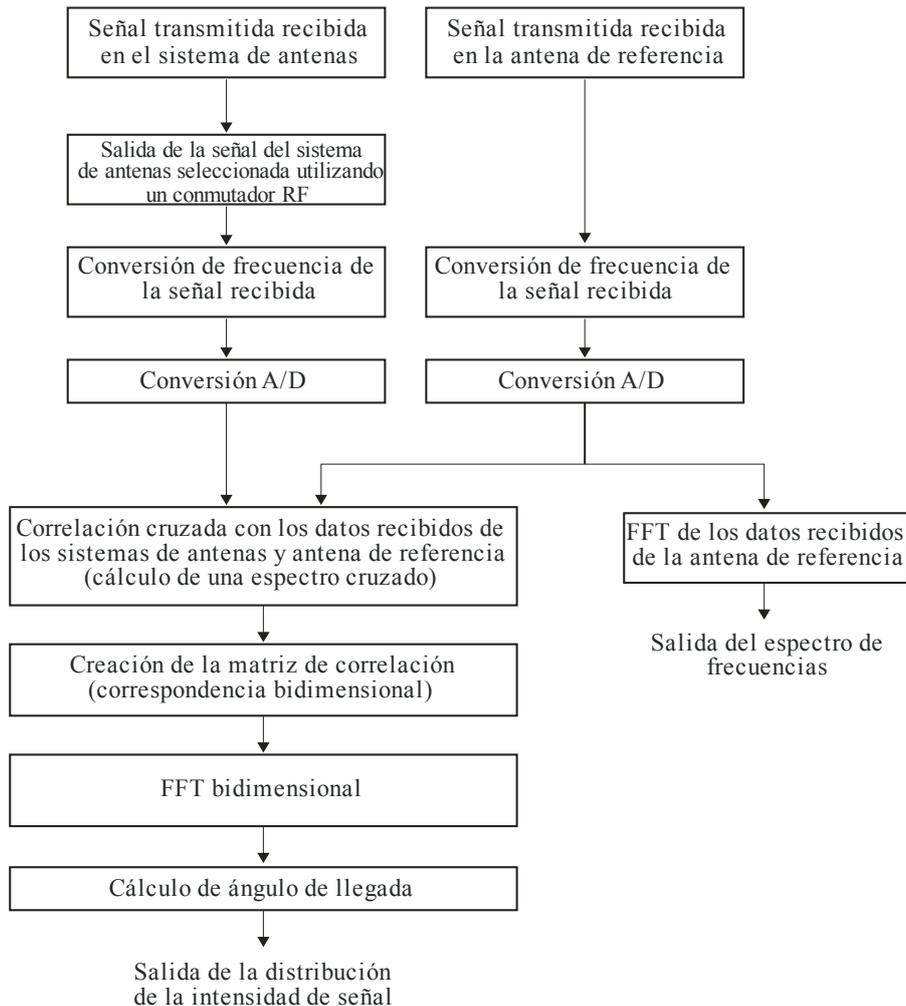
$m = 1, \dots, M \quad n = 1, \dots, N$

Informe SM.2270-03

En la Fig. 4 se representa el organigrama de procesamiento de la señal.

FIGURA 4

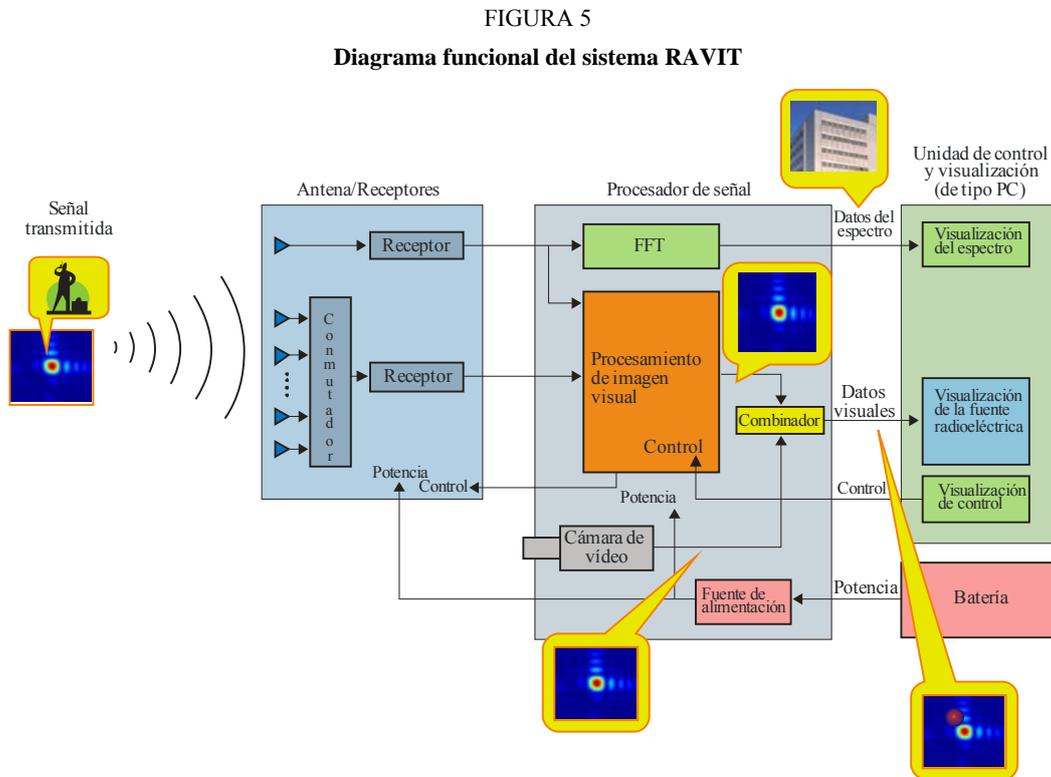
Organigrama de procesamiento de la señal



Informe SM.2270-04

### 1.3 Diagrama funcional en la sistematización

En la Fig. 5 se muestra el ejemplo del diagrama funcional para aplicar el sistema RAVIT al sistema real.



Informe SM.2270-05

En este diagrama, la señal transmitida por la fuente radioeléctrica de emisión se recibe con una antena de referencia y algunos elementos de un sistema de antenas. La señal recibida de cada uno de los elementos de antena se convierte a la señal de FI (frecuencia intermedia) en un módulo de antena/receptor y se digitaliza mediante conversores A/D.

La gama de frecuencias del receptor va desde la banda de ondas decimétricas hasta la banda C y queda cubierta por tres módulos de antena/receptor.

En el módulo del procesador, las señales digitalizadas salen como una señal del espectro de frecuencias y una imagen de distribución de la intensidad de la señal según el flujo de procesamiento de la señal representado en la Fig. 4. Combinando esta imagen de distribución de intensidad de la señal con la imagen de la cámara de video, se genera una imagen de visualización que aparece en un monitor con una señal del espectro.

## 2 Evaluación del comportamiento básico en la cámara anecoica de radiofrecuencia

### 2.1 Contenido del examen

Para evaluar el comportamiento básico del sistema utilizando RAVIT, se determina en la cámara anecoica de radiofrecuencia el comportamiento en cuanto a precisión en posición y en cuanto a separación espacial de la evaluación de las dos señales recibidas del transmisor.

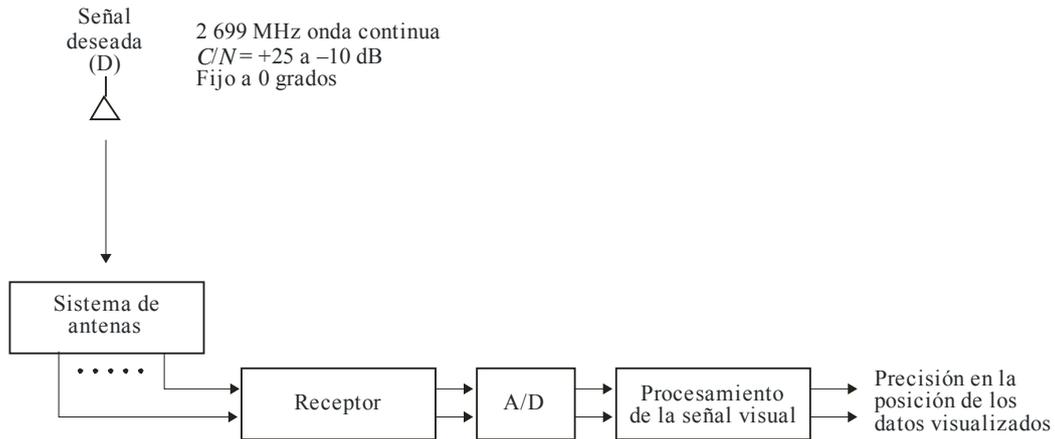
La evaluación de la precisión en la posición al nivel de entrada recibido se determina como sigue:

Se mide la situación de representación de visualización y la precisión del posicionamiento cuando la relación  $C/N$  de la señal recibida varía de +25 dB a -10 dB.

En la Fig. 6 se representa el diagrama esquemático del circuito de prueba de evaluación

FIGURA 6

**Diagrama esquemático del circuito de prueba de evaluación  
(Precisión en cuanto a la posición en el nivel de entrada recibido)**



Informe SM.2270-06

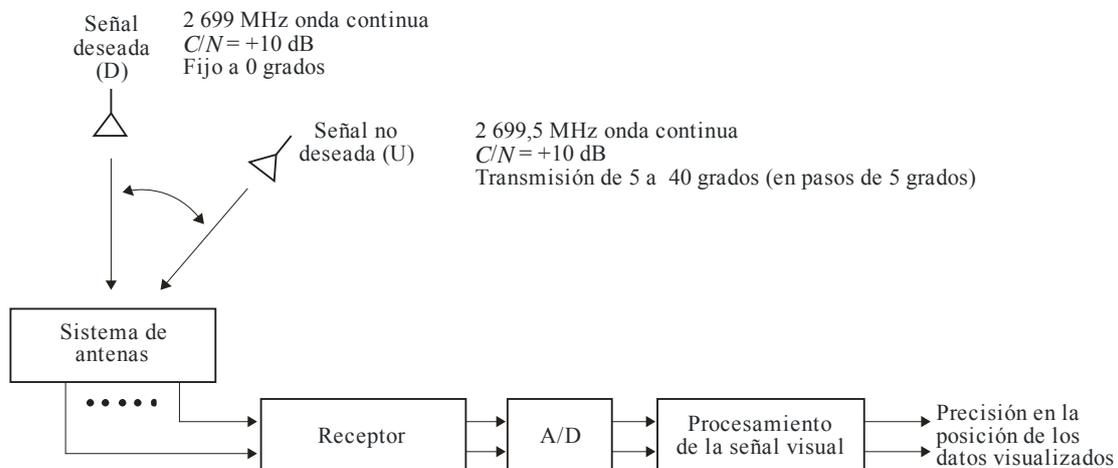
La evaluación de la resolución espacial a la llegada de múltiples señales radioeléctricas se determina como sigue:

Se aplican dos señales transmitidas al equipo de prueba como señal de prueba y la dirección de llegada de una de las dos señales se varía de 5 grados a 40 grados y se miden los datos visualizados de las salidas del monitor para cada uno de los ángulos de llegada.

En la Fig. 7 se representa el diagrama esquemático del circuito de prueba de evaluación.

FIGURA 7

**Diagrama esquemático de evaluación del circuito de prueba  
(Resolución espacial para las dos señales de llegada)**



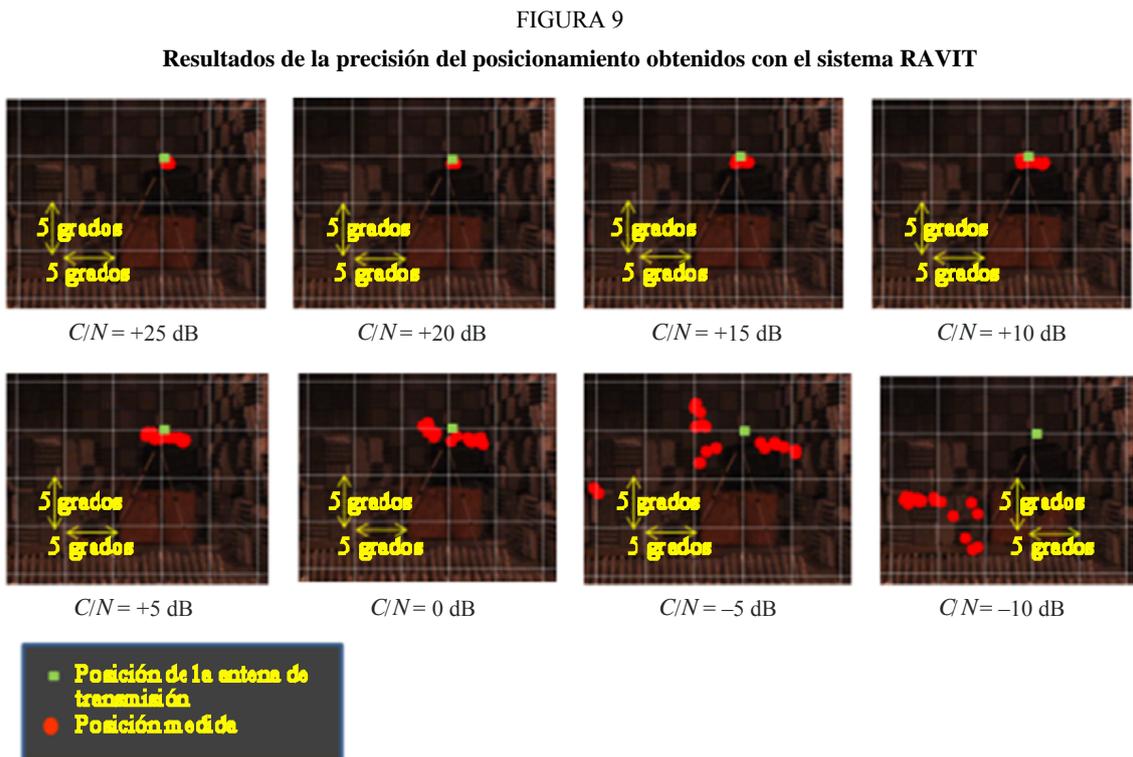
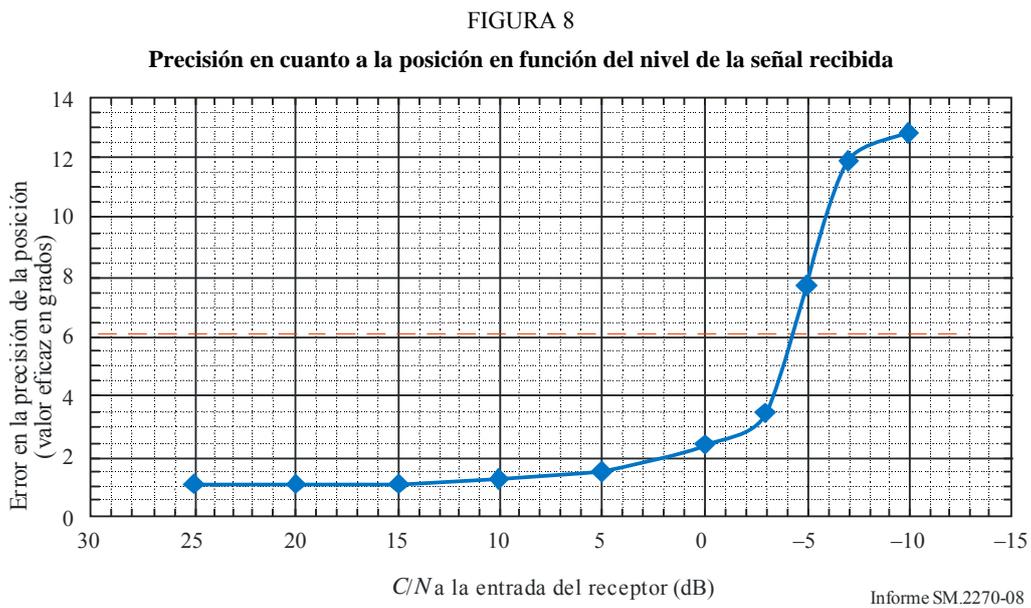
Informe SM.2270-07

## 2.2 Resultados de la prueba en la cámara anecoica

La Fig. 8 muestra los resultados de la medición de la precisión de posicionamiento al nivel de señal recibida del sistema RAVIT. Bajo la condición de una señal de entrada de bajo nivel, la precisión del posicionamiento se degrada debido al efecto del ruido térmico del receptor.

La especificación de la precisión de posicionamiento del sistema toma un valor eficaz de 6 grados. El nivel de  $C/N$  de recepción que satisface la especificación es  $-4$  dB.

La Fig. 9 representa el resultado mostrado para cada nivel de entrada del receptor. En dicha Figura los puntos rojos son los resultados de la posición medida y los puntos amarillos son las posición de la antena del transmisor.

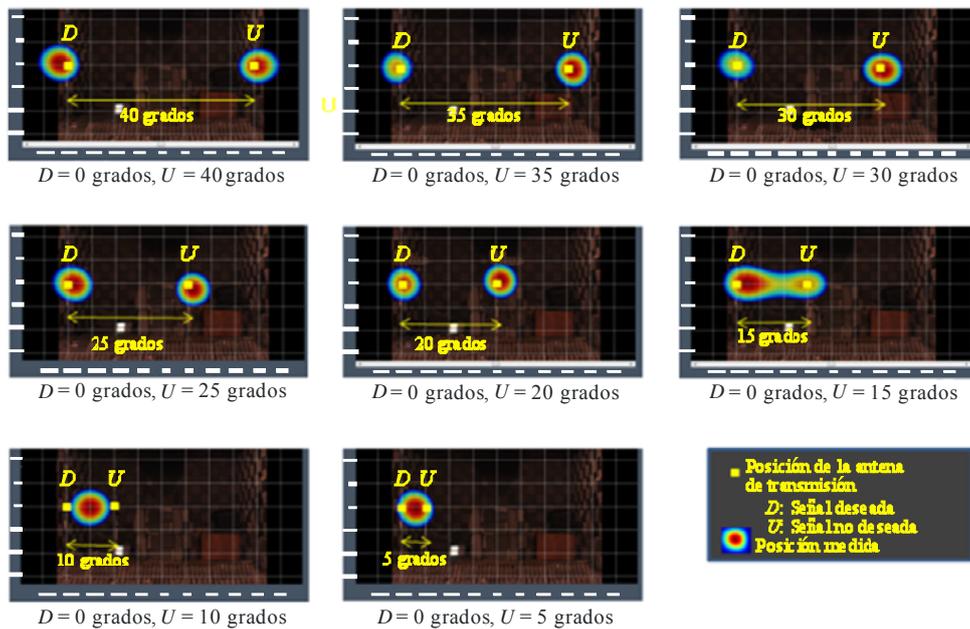


Los resultados de la medición de separación espacial medida a la llegada de las dos señales transmitidas se representan en la Fig. 10 en la que los puntos rojos son los resultados del procesamiento RAVIT y los puntos amarillos son las posiciones de las dos antenas del transmisor.

Cuando la diferencia angular entre las dos señales incidentes se fija entre 40 grados y 15 grados, el sistema RAVIT puede separar dos señales transmitidas. No obstante, cuando dicha diferencia angular entre dos señales se fija entre 10 grados y 5 grados, no pueden separarse las dos señales transmitidas por lo que la imagen visualizada de la fuente radioeléctrica emisora aparece en la posición central de las dos antenas de transmisión como una sola fuente radioeléctrica.

FIGURA 10

**Resultados de la medición de la separación espacial a la llegada de múltiples (dos) señales**



Informe SM.2270-10

### 3 Evaluación en el espacio de campo

#### 3.1 Detección de un sistema inalámbrico (walkie-talkie)

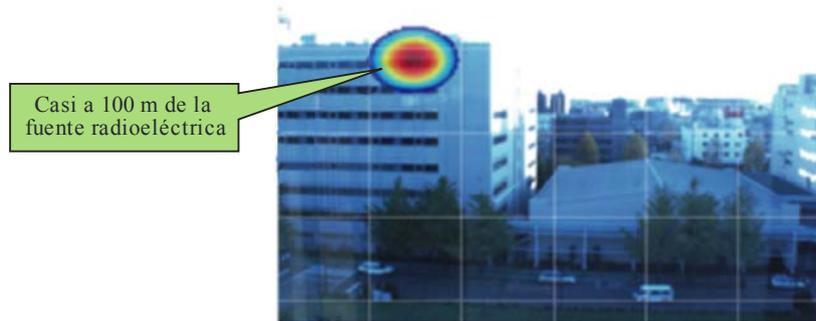
La Fig. 11 muestra un ejemplo de cómo fue detectado el emplazamiento de un sistema inalámbrico personal (walkie-talkie) desde una distancia de casi 100 m. Este sistema inalámbrico personal emitía ondas radioeléctricas a 900 MHz.

La Figura ilustra la manera en que el sistema RAVIT puede identificar no sólo el edificio sino incluso el piso en el que está situada la fuente de emisión.

FIGURA 11

**Ejemplo de imagen visualizada: walkie-talkie portátil**

Imagen visualizada de un sistema inalámbrico (walkie-talkie) en la banda de 900 MHz



Informe SM.2270-11

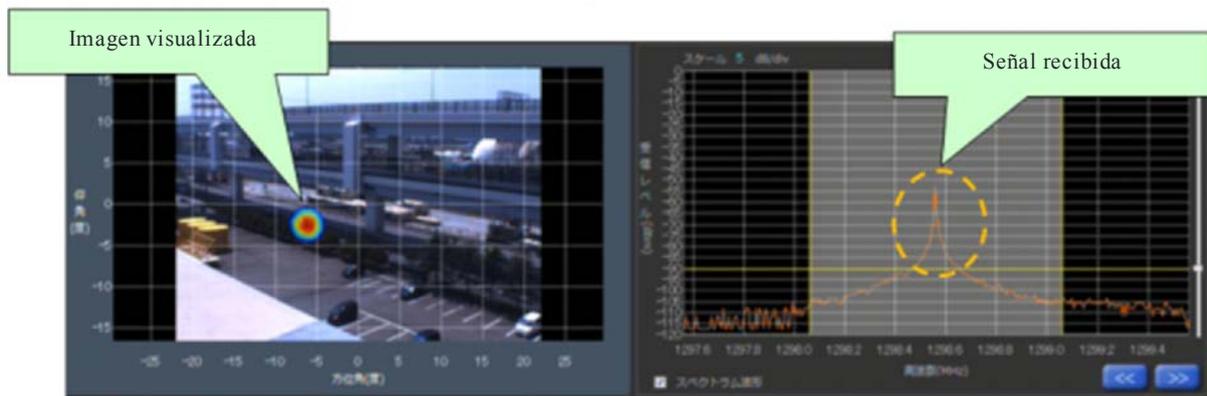
**3.2 Detección de un sistema inalámbrico (radioaficionado)**

La Fig. 12 muestra un ejemplo de cómo se visualizaron las emisiones procedentes de una emisora de radioaficionado instalada en un vehículo. En este caso, el objetivo se encontraba relativamente cerca del punto de comprobación técnica de manera que la onda radioeléctrica emitida por la emisora de radioaficionado podía distinguirse fácilmente.

FIGURA 12

**Ejemplo de imagen visualizada: walkie-talkie en un vehículo**

Imagen visualizada de un sistema inalámbrico (radioaficionado) en la banda de 1 200 MHz



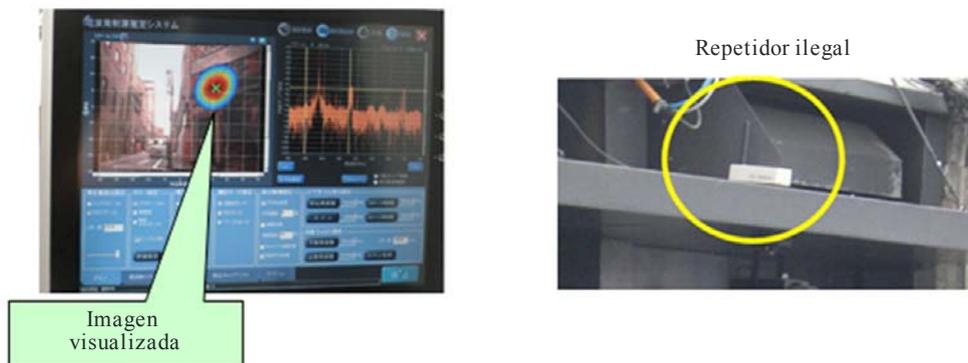
Informe SM.2270-12

**3.3 Detección de una estación repetidora ilegal de un sistema de telefonía celular**

La Fig. 13 muestra un ejemplo de cómo se detectó una estación repetidora ilegal ubicada en la zona céntrica de una ciudad. Este repetidor (circulo amarillo) está ilegalmente instalado y puede provocar interferencias a las estaciones de base de telefonía celular situadas en las proximidades.

FIGURA 13

**Detección de una repetidor ilegal ubicado en la zona centro de una ciudad**  
**Búsqueda de un repetidor ilegal de un sistema de telefonía celular**



Informe SM.2270-13

**4 Aplicación en el futuro**

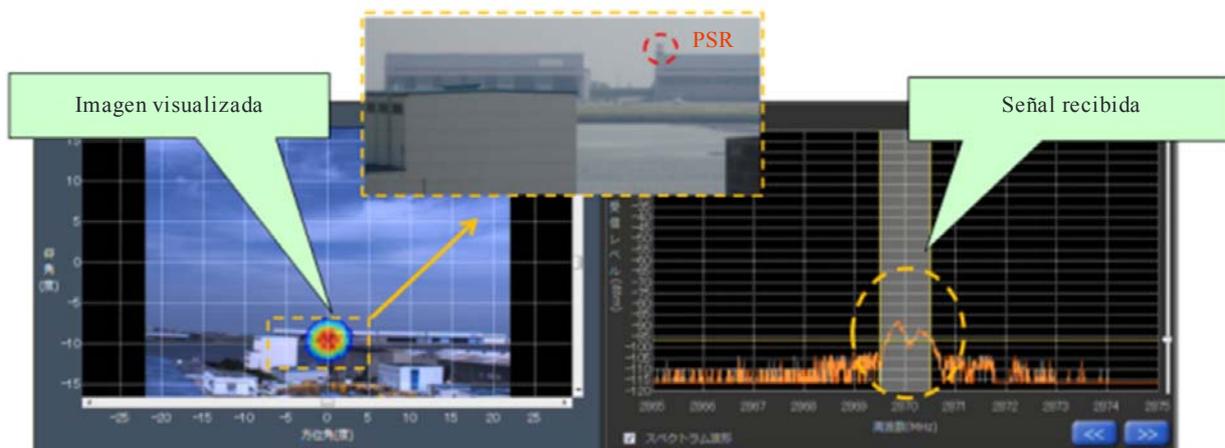
**4.1 Detección de la señal impulsiva (onda de radar)**

El sistema RAVIT también puede detectar las ondas radioeléctricas impulsivas. Por tanto, cabe esperar que sea de utilidad para la detección de interferencias con sistemas de comunicaciones en las gamas de frecuencias elevadas por encima de 3 GHz.

La Fig. 14 muestra un ejemplo de una imagen visualizada de ondas transmitidas por un sistema de radar de vigilancia primario del Aeropuerto de Haneda en Tokio. En este caso, el equipo de RAVIT se situó en el tejado de un edificio ubicado a 2 km del aeropuerto para supervisar las ondas impulsivas del citado radar.

FIGURA 14

**Ejemplo de imagen visualizada (radar de vigilancia primario)**  
**Imagen visualizada del sistema de radar (PSR)**  
**en la banda de 2,7 GHz**

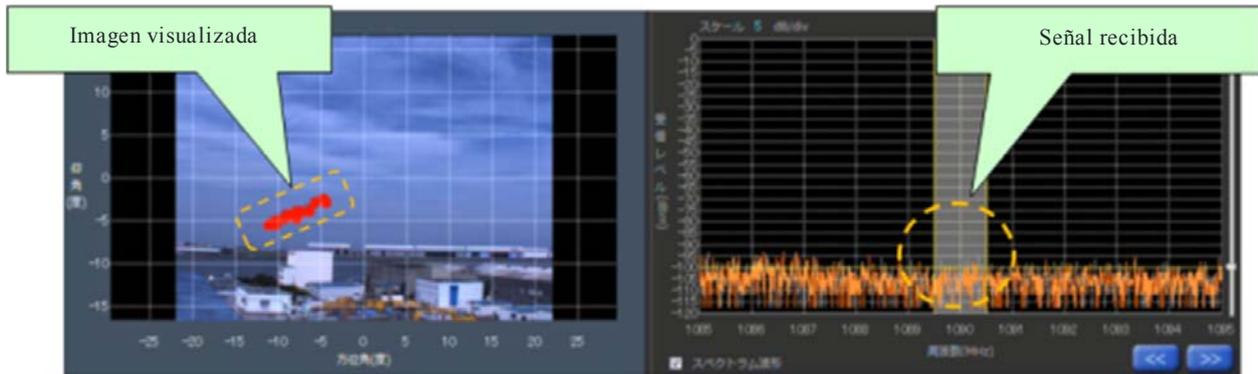


Informe SM.2270-14

La Fig. 15 muestra un ejemplo de imagen visualizada de las ondas de un transpondedor desde una aeronave.

En este caso, una aeronave en fase de despegue emite ondas desde su transpondedor dirigidas hacia un radar de vigilancia secundario (SSR).

FIGURA 15  
**Ejemplo de imagen visualizada**  
 (ondas de una transpondedor enviadas a un sistema de SSR desde una aeronave)  
 Imagen visualizada del sistema de radar (SSR) en 1 090 MHz



Informe SM.2270-15

#### 4.2 Aplicación a las futuras misiones de búsqueda y salvamento

El sistema RAVIT puede visualizar señales radioeléctricas procedentes de pequeños transmisores tales como teléfonos móviles, de manera que cabe esperar que sea útil para futuras aplicaciones en misiones de búsqueda y salvamento.

La Fig. 16 muestra imágenes de aplicación a futuras misiones de búsqueda y salvamento.

FIGURA 16  
**Imágenes de aplicaciones a futuros sistemas de búsqueda y salvamento**



Detección de las ondas radioeléctricas de teléfono móvil que envía una llamada de socorro

## **5 Conclusión**

En los últimos años, el número de casos de interferencia está aumentando debido al incremento de las fuentes radioeléctricas utilizadas y a la correspondiente escasez de frecuencias.

El sistema RAVIT puede visualizar y determinar el emplazamiento exacto de la fuente de emisión, de manera que se trata de un sistema efectivo para identificar rápidamente las fuentes de interferencia.

Además, también puede aplicarse en el futuro a misiones de búsqueda y salvamento.

---