

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1753

Método para medir el ruido radioeléctrico

(Cuestión UIT-R 1/45)

(2006)

Cometido

Para efectuar mediciones del ruido radioeléctrico y obtener resultados de los diferentes sistemas de medición que sean exactos, reproducibles y comparables, es necesario contar con un método de medida uniforme e independiente de las frecuencias. En la presente Recomendación se señala un conjunto de procesos o pasos que habrá que integrar en un procedimiento de medición para obtener resultados comparables.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que, debido a la introducción de nuevos sistemas (por ejemplo, tecnología de banda ultraancha y comunicación por línea de potencia), podrían aumentar los niveles de ruido radioeléctrico especificados en la Recomendación UIT-R P.372;
- b) que, para gestionar el espectro radioeléctrico de manera eficiente, las administraciones necesitan determinar exactamente los niveles de ruido;
- c) que se hace sentir la necesidad de armonizar los métodos de medición del ruido para obtener resultados reproducibles que puedan compararse,

visto

- a) que el Manual de comprobación técnica del espectro contiene una gran cantidad de información sobre equipo de medición y comprobación técnica de las emisiones;
- b) que para realizar medidas del ruido hay que disponer de especificaciones adicionales en relación con el receptor,

recomienda

- 1** que las mediciones del ruido radioeléctrico se efectúen según se describe en el Anexo 1.

Anexo 1

Método para medir el ruido radioeléctrico

1 Introducción

En esta Recomendación se describe un método independiente de las frecuencias para medir el ruido radioeléctrico en el marco de aplicaciones prácticas de radiocomunicación.

2 Propiedades del ruido

En la Recomendación UIT-R P.372 se define el ruido radioeléctrico como la suma de los ruidos causados por emisiones de múltiples fuentes que no tienen su origen en los transmisores de radiocomunicaciones. Si en una ubicación dada no domina una sola fuente de ruido, el ruido radioeléctrico se caracteriza por una distribución normal de amplitud y puede considerarse como ruido gaussiano blanco. Las señales procedentes de fuentes únicas, por ejemplo impulsos y portadoras continuas quedan fuera del alcance de la medición del ruido radioeléctrico, según se describe ésta en esta Recomendación, y, por tanto, no deben considerarse.

3 Especificaciones del equipo

3.1 Receptor

Para realizar la medición puede emplearse un receptor o un analizador de espectro normalizados y transportables, pero sujetos a una serie de requisitos adicionales, por ejemplo, un nivel inferior de ruido de equipo, alta frecuencia y estabilidad de ganancia, características que resultan esenciales para medir el ruido. En el Cuadro 1 no se describe un nuevo conjunto de especificaciones del receptor de medición y se señalan únicamente los requisitos adicionales o específicos necesarios para utilizar un receptor con el fin de medir el ruido radioeléctrico. Asimismo, la determinación de la banda de frecuencia que deba utilizarse se basará en la implementación práctica de un sistema de medición del ruido y no apunta a un sistema de recepción específico.

La selectividad de la frecuencia intermedia entre 6 y 60 dB debe conocerse exactamente para calcular la anchura de banda de ruido equivalente, cuando han de compararse las mediciones obtenidas con diferentes filtros de frecuencia intermedia.

3.2 Amplificador de ruido de baja frecuencia

Se requiere un amplificador de ruido de baja frecuencia (LNA) para frecuencias $>$ a 20 MHz.

A fin de garantizar una exactitud razonable en la medición es necesario mantener el ruido que se esté midiendo al menos por encima en 10 dB del umbral de ruido del equipo, si se utiliza un detector RMS. Un amplificador de ruido de baja frecuencia puede contribuir al logro de este objetivo. Los requisitos aplicables a dicho amplificador pueden verse en el Cuadro 2, en el que no se describe un nuevo conjunto de receptores de medición o de especificaciones aplicables al LNA y se señalan únicamente los requisitos adicionales o específicos que requiere un LNA con miras a su utilización para realizar mediciones del ruido.

CUADRO 1

Receptor

Función	Gama de frecuencias		
Gama de frecuencia	9 kHz-30 MHz	30-500 MHz	0,5-3 GHz
Relación de ondas estacionarias a la entrada (entrada de la antena)	50 Ω , nominales < 1,5		
Intercepción de 3 ^{er} orden	≥ 20 dBm (> 3 MHz)	≥ 10 dBm	≥ 0 dBm
Intercepción de 2 ^{do} orden	≥ 60 dBm (> 3 MHz)	≥ 50 dBm	–
Preselección	Conjunto de filtros de suboctava de banda o filtro de seguimiento	Filtro de seguimiento o fijo Filtro con paso de banda bajo/elevado	
Valor del ruido	15 dB (> 2 MHz)		
Sensibilidad (500 Hz en la banda inferior)	–10 dB μ V	–7 dB μ V	–7 dB μ V
Ruido de fase bajo	–120 dBc/Hz en un desplazamiento de la frecuencia portadora de 10 kHz	–100 dBc/Hz en un desplazamiento de la frecuencia portadora de 10 kHz	–100 dBc/Hz en un desplazamiento de la frecuencia portadora de 10 kHz
Rechazo de frecuencia intermedia	> 80 dB	> 90 dB	> 100 dB
Rechazo de imagen	> 80 dB	> 90 dB	> 100 dB
Control automático de ganancia (CAG)	No se aplicará CAG a los resultados de la medición		
Compatibilidad electromagnética de la configuración de medición, configuración que incluye los computadores y la interfaz	La interferencia generada y recibida por la configuración debería estar > en más de 10 dB del ruido medio que ha de medirse		

CUADRO 2

Amplificador LNA

Función	Gama de frecuencias		
Gama de frecuencias	20-50 MHz	50-500 MHz	0,5-3 GHz
Relación de ondas estacionarias a la entrada (entrada de la antena)	50 Ω , nominal < 1,5		
Ganancia	≤ 18 dB	≤ 25 dB	≤ 25 dB
Estabilidad de la ganancia	$\leq 0,1$ dB a 10-30° C		
Valor del ruido	≤ 2 dB	≤ 2 dB	≤ 2 dB
Platitud de la ganancia a lo largo de la gama de frecuencias que interesa	< 0,1 dB	< 0,2 dB	< 0,5 dB

Cuando se utilice un LNA, hay que estar atento a no sobrecargar el receptor. Cabe la posibilidad de aplicar un filtro de banda externa para impedir la sobrecarga.

3.3 Antenas

Si bien no existe una sola antena que pueda utilizarse universalmente para realizar todo tipo de mediciones del ruido o una sola medición a todas las gamas de frecuencia, en este contexto rigen ciertos requisitos generales. En efecto, debe optimizarse el diagrama de radiación de la antena en función del modo de propagación del ruido que ha de medirse, por ejemplo, en onda ionosférica u onda directa. Por otra parte, es preciso que la ganancia sea lo más constante posible a lo largo de la correspondiente apertura del receptor. Pese a quedar afectado por las condiciones ambientales, en sí mismo el ruido no está polarizado, por lo cual sería ideal disponer de una antena o una combinación de antenas independientes de la polarización. Tratándose de antenas situadas en un entorno en que las fuentes de ruido se encuentran distribuidas uniformemente alrededor de la antena, el diagrama de radiación de antena reviste menos importancia que en los casos en que el ruido se recibe con un ángulo definido. En el primer caso, sólo es necesario utilizar como factor de corrección la eficiencia de la antena o la ganancia media a lo largo de la apertura total de la antena, como sucede sobre todo cuando se realizan mediciones en las gamas más elevadas de frecuencias. Mientras menor sea la frecuencia más influirán las propiedades tridimensionales del diagrama de antena.

3.4 Análisis de la incertidumbre

El resultado final de la medición debería reflejar el valor real que pueda ser reproducido aun cuando se utilice otra configuración para efectuar la medición. Habrá que determinar no sólo la exactitud media sino también los límites más allá de los cuales no puedan variar los valores. Para cada medición debe determinarse la incertidumbre global producto de todas las fuentes de incertidumbre. En la «Guía para la formulación de la incertidumbre en las mediciones» de la ISO, figura información sobre el particular.

4 Método/ algoritmo de medición

En esencia, es posible medir el ruido con un detector RMS para determinar la potencia del ruido o mediante muestreo de datos sin tratar utilizando un detector de muestras. Los resultados de ambos métodos son los mismos, pese a que ambos brinden diferentes posibilidades para presentar y procesar los datos. Aunque el primero de ambos métodos resulta más idóneo para realizar mediciones en bandas decamétricas, el método con muestreo de datos sin tratar resulta más adecuado, si lo que se desea es efectuar mediciones en bandas de ondas métricas y decimétricas.

4.1 Selección de la frecuencia o la banda de frecuencias

Cabe la posibilidad de efectuar mediciones en una sola frecuencia (canal) o en una determinada banda de frecuencias (por ejemplo, 100 kHz). Es posible realizar estas observaciones de manera automática y procesar los resultados con arreglo a un protocolo predefinido.

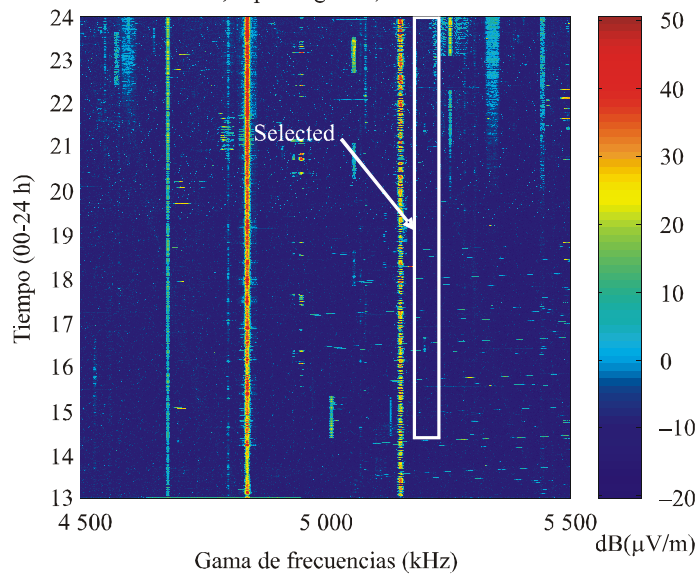
Si se trata de examinar una banda de frecuencias, los mejores resultados en cuanto a calidad se obtienen midiendo dicha banda con el menor número posible de señales fuertes. Cabe la posibilidad de utilizar datos derivados de mediciones históricas o realizar una medición de prueba para elegir una banda poco ocupada donde efectuar las mediciones definitivas. Si lo que se desea es medir en una sola frecuencia, es necesario que la frecuencia esté ocupada únicamente por señales interferentes durante un reducido porcentaje del tiempo durante el registro. En este caso, es posible también recurrir a datos históricos. Aunque el método de datos sin tratar puede utilizarse junto con una exploración de frecuencias, resulta más práctico medir en una sola frecuencia.

En la Figura 1 se mide en la gama de 4 500-5 500 kHz durante 24 h y se preselecciona la gama 5 250-5 350 kHz para realizar más mediciones. En la Fig. 2 puede verse el resultado de una medición en esta banda durante 24 h, resultado que se utiliza para determinar el nivel de ruido.

FIGURA 1

Determinar una gama de frecuencias en la banda 5 MHz

© TSO NERA, espectrograma, fecha: 04-09-2003

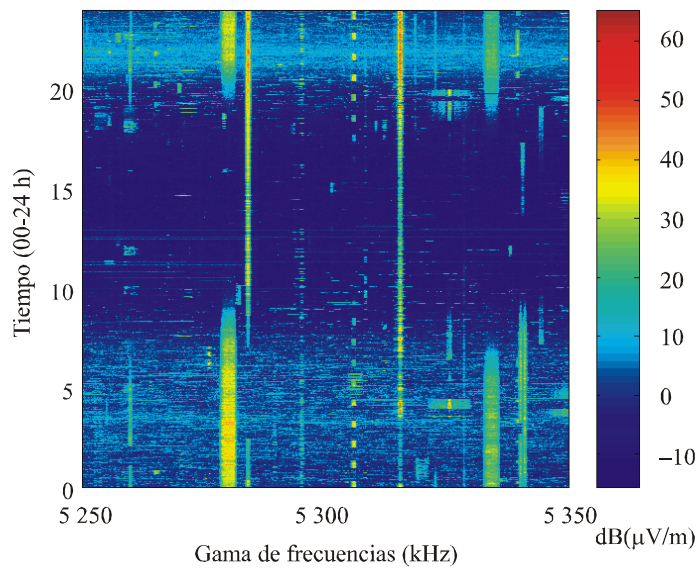


1753-01

FIGURA 2

Selección de la banda 5 250-5 350 kHz

© TSO NERA, espectrograma, fecha: 05-09-2003



1753-02

4.2 Disposición de los analizadores/receptores

En el Cuadro 3 figuran ciertas disconfiguraciones que arrojan resultados utilizables.

CUADRO 3

Disposición de los analizadores/receptores

Tiempo de la medición	Resulta práctico obtener un resultado cada 10 ó 20 s, por lo cual conviene que el tiempo del barrido, el tiempo de la exploración o el tiempo del procesamiento de los datos sin tratar oscilen entre 10 y 20 s
Gama de frecuencias	La gama de frecuencias para realizar las observaciones dependerá exclusivamente de la utilización de la banda de frecuencias que se elija. Esta banda de frecuencias puede incluso dividirse en subbandas o en frecuencias, dependiendo de sus características
Explotación en banda inversa (RBW)	Cuando se aplica el método de examen de frecuencias, la anchura de banda del filtro aplicado estará en función del tramo de frecuencias dividido por la resolución requerida. El método de muestreo de datos sin tratar hace necesario proceder a una RBW de al menos dos veces la frecuencia de muestreo. El factor de forma del filtro debe determinarse para que puedan compararse los resultados de las mediciones efectuadas a partir de diferentes receptores
Detector	Tratándose de mediciones de la potencia del ruido es necesario contar con un auténtico detector (RMS), ya que cualquier otro resultaría inadecuado. Cuando los valores medidos resulten inferiores en 10 dB al umbral de ruido del equipo, habrá que calibrar este detector con arreglo a las especificaciones del cliente. Para aplicar el método de los datos en bruto debe recurrirse a un detector de muestras, ya que el procesamiento, incluidos los cálculos del valor cuadrático medio (RMS), se efectúa posteriormente
Atenuador	3 dB Es necesario disponer de un atenuador para obtener una impedancia definida a la entrada del receptor a fin de garantizar que la incertidumbre de la medición sea reducida.
Preselector	Activado

4.3 Periodo de la medición

El periodo durante el cual se efectúa la medición debe escogerse de tal modo que se tenga presente el tiempo durante el cual cabe esperar que se produzcan cambios significativos en el ruido medido. Por ejemplo, para tomar en consideración las diferencias diurnas y nocturnas, es preciso medir normalmente cada banda de altas frecuencias durante un periodo de 24 h o más. Para tener en cuenta las variaciones estacionales, las mediciones deben repetirse varias veces cada año. Por otra parte, hay razones independientes de la propagación que aconsejan realizar mediciones durante periodos de 24 h o más. Así por ejemplo, el ruido de origen local puede modificarse a lo largo de un periodo de 24 h si el equipo se conecta durante horas laborables.

4.4 Postprocesamiento

Un analizador de espectro examina una banda de frecuencias siguiendo una serie de pasos (sectores de frecuencias). El número normal de sectores que cabe explorar con los analizadores de espectro modernos varía entre 500 y 10 000. Si el tiempo de examen es, por ejemplo, de 10 s, las mediciones generan una base de datos (matriz) de $500 \times 8\,600$ a $10\,000 \times 8\,600$ valores de intensidad del campo. Quien desee estar en condiciones de excluir ciertas partes de la medición y aplicar

diferentes métodos estadísticos, debe procesar ulteriormente esta base de datos con soporte lógico especializado.

4.4.1 Orden de procesamiento y representación

En el Cuadro 4 pueden verse las diferentes etapas del procesamiento que requieren los distintos métodos de medición.

CUADRO 4

Etapas de procesamiento

Eta pa de procesamiento	Examen de frecuencia	Frecuencia única	Muestreo de datos sin tratar
Corregir los resultados obtenidos para el factor K de antena (véase el § 4.5.1)	x	x	x
Corregir los resultados obtenidos respecto al ruido del equipo (véase el § 4.5.2)	x	x	x
Introducir las correcciones necesarias para tener en cuenta la forma/la anchura de banda del filtro (véase el § 4.5.3)	x	x	x
Representar la PDF de las muestras de datos sin tratar			x
Calcular el RMS para cada bloque de muestras de datos sin tratar			x
Seleccionar las muestras que contengan ruido: <ul style="list-style-type: none"> – Seleccionando las exploraciones de la matriz en orden ascendente – Separando las muestras con ruido y sin ruido para lo cual se desecha el 20% (o el $x\%$) de los valores inferiores – Validando el porcentaje seleccionado del 20% (o el $x\%$) (véase el § 4.6) – Introduciendo las correcciones necesarias para tomar en consideración el 20% (o el $x\%$) de los valores (véase el § 4.5.4) 	x	x	Opcional
Calcular la media del $x\%$ elegido de valores en cada exploración	x	x	Opcional
Calcular los valores mínimo, medio y máximo correspondientes a cada 10 o n exploraciones	x	x	Opcional
Representar los resultados mínimo, medio y máximo	x	x	Opcional

4.5 Correcciones

En las diferentes etapas del postprocesamiento, debe realizarse, como se señaló en el § 4.4.1, una serie de correcciones.

4.5.1 Corrección de los resultados obtenidos respecto al factor K de antena

Es necesario corregir cada punto de frecuencia medido aplicando el factor K idóneo, especialmente en el caso de antenas de banda estrecha utilizadas para realizar mediciones en semibanda ancha. Hay que tener presente el hecho de que las antenas de banda estrecha no deben explotarse fuera de la gama de frecuencias que les corresponde, debido a los cambios que podrían introducirse en el diagrama de antena. Como se indicó en el § 3.3 la aplicación de factores de corrección dependerá de la situación de la medición.

4.5.2 Introducción de correcciones para tener en cuenta el ruido del equipo

Las señales objeto de medición son, de hecho, señales sobreimpuestas al ruido del equipo, motivo por el cual es preciso proceder del siguiente modo a efectos de corrección. Efectuar la medición durante un breve periodo sin fuente conectada (antena pasiva), pero con amplificadores de ruido bajo conectados y con la terminación adecuada y empleando las configuraciones utilizadas para realizar la medición original. A continuación, seleccionar las muestras con el valor más bajo, aplicando el método y el porcentaje correspondientes a la medición original y substrayendo linealmente este valor del valor medio medido.

4.5.3 Introducción de correcciones para tener en cuenta el 20% o el $x\%$ de los valores

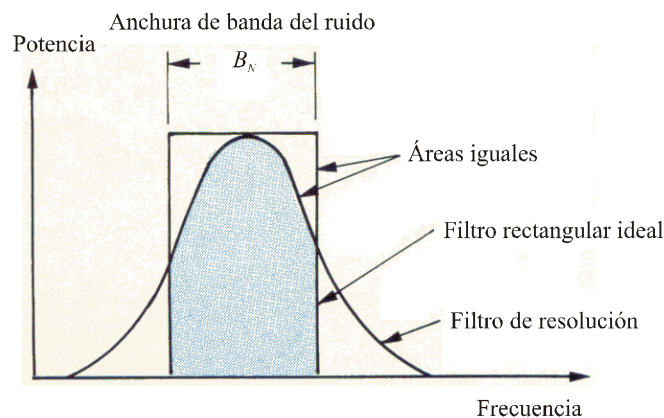
Al aplicar el método del 20%, se filtran los componentes de ruido no deseado, por ejemplo, las portadoras. Ahora bien, este método hace que se filtre también el ruido deseado, motivo por el que habrá que aplicar un factor de corrección para compensar el error introducido, error que puede determinarse recurriendo a una fuente de ruido gaussiano y las configuraciones que han de utilizarse para efectuar las mediciones (filtro FI, filtro de vídeo y porcentaje $x\%$ deseado). Cuando lo que se desea es medir un tipo específico de ruido habrá que utilizar fuentes alternativas de ruido.

4.5.4 Introducción de correcciones para tener en cuenta la forma/la anchura de banda del filtro

Cuando se trata de la comprobación técnica de las emisiones se tiende a hablar de niveles de ruido y el ruido se expresa casi siempre en potencia/anchura de banda, por lo cual debe integrarse la anchura de banda del filtro y representarse básicamente en forma rectangular.

FIGURA 3

Representación rectangular de la anchura de banda del filtro



Si se desea comparar mediciones efectuadas con dos RBW distintas, habrá que aplicar un factor de corrección a uno de los resultados que sea igual a la relación existente entre ambas RBW. Así pues, para convertir las mediciones efectuadas con la RBW_1 a las realizadas con la RBW_2 , debe aplicarse una corrección de:

$$10 \log (RBW_2/RBW_1)$$

de los valores medidos (dB).

Para obtener resultados independientes de la anchura de banda, se normalizan los valores medidos al nivel de ruido térmico, que puede calcularse como sigue:

$$P_0 = K T_0 B$$

donde:

K : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ W/Hz

T_0 : temperatura ambiente (K)

B : anchura de banda equivalente de ruido del filtro de medición.

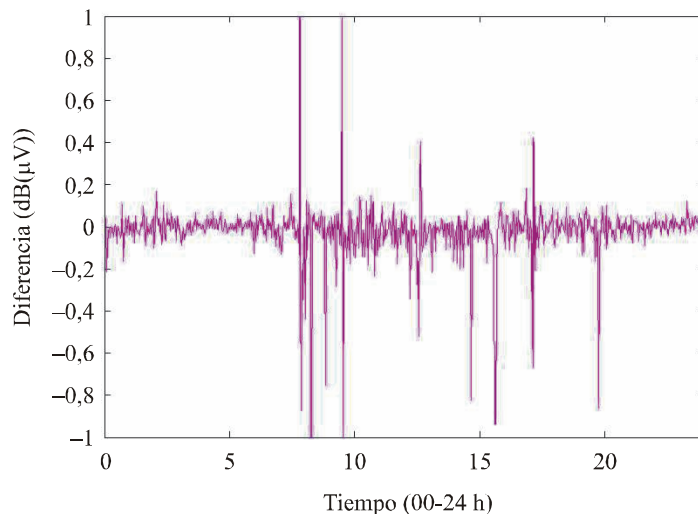
4.6 Validación del porcentaje $x\%$ seleccionado

Tratándose de frecuencias elevadas resulta práctico utilizar como valor el 20% de los valores más bajos para determinar el nivel del ruido. En el caso de otras gamas de frecuencias, hay que verificar si este valor del 20% es el correcto o habría que aplicar otro valor. Se supone que el $x\%$ de los valores contiene únicamente muestras de ruido. De ser así, deben coincidir los valores mediano y medio. Para cerciorarse, una prueba práctica es determinar la diferencia entre el valor medio y el mediano, diferencia sobre la cual ejercen sin duda influencia las señales procedentes de fuentes distintas del ruido.

FIGURA 4

Diferencia entre los valores medio y mediano (20% seleccionado)

© TSO NERA diferencia entre la mediana y la media ($x\%$),
banda de frecuencias: 10,2-10,4 MHz, fecha: 27-07-2004



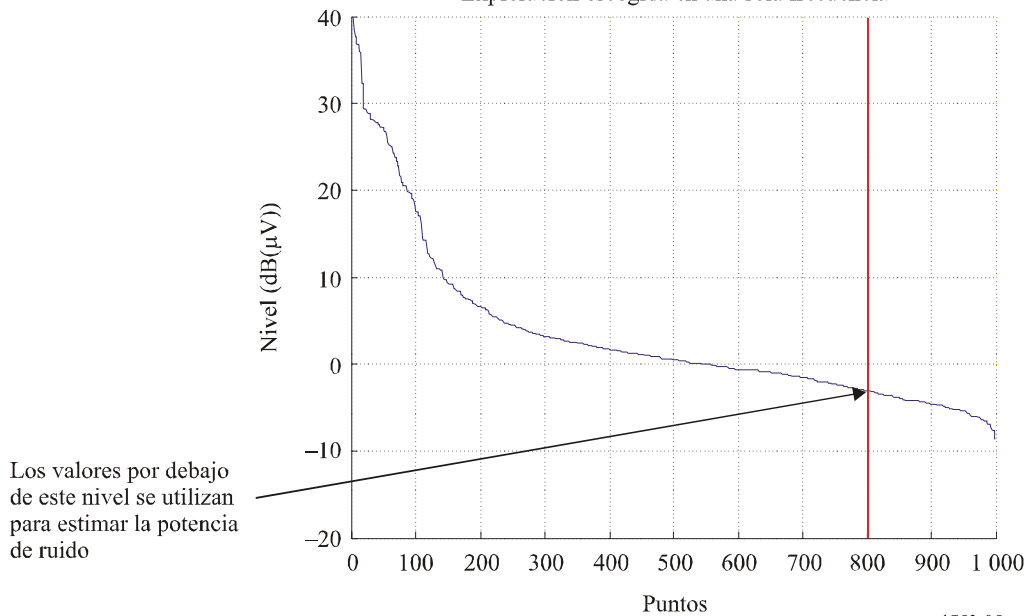
El gráfico anterior indica a modo de ejemplo la diferencia entre los valores medio y mediano para todas las exploraciones y con un porcentaje fijo del 20%. El periodo de observación es de 24 h (00.00 a 23.59 h). Entre las 07.00 h y las 20.00 h sobrevienen tormentas que hacen que la curva que representa la distribución del 20% de los valores inferiores tenga grandes pendientes y, por tanto, que indique diferencias notables entre los valores de potencia medio y mediano.

Otra prueba consistiría en verificar si la zona de la curva situada a la derecha del punto «20%» tiene pocas variaciones y una pendiente poco acentuada. Los dos métodos de prueba mencionados exigen proceder a una calibración a priori. Asimismo, hay que señalar que es preciso emplear en el cálculo un número significativo de muestras. Así, por ejemplo, para efectuar este tipo de pruebas no puede utilizarse una sola muestra.

FIGURA 5

Exploración elegida al azar con valores seleccionados

Exploración escogida en una sola frecuencia



1753-05

5 Gráficos

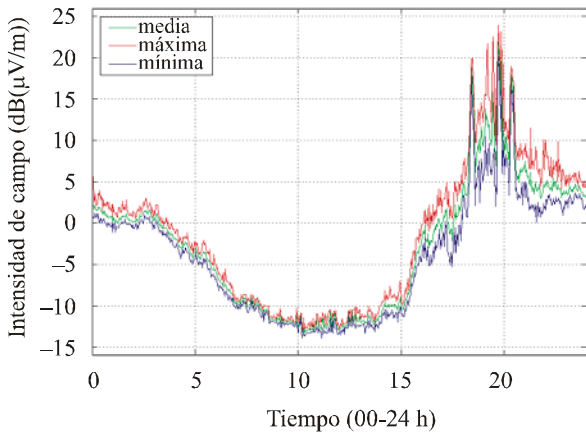
En las gamas de frecuencias por debajo de 30 MHz el ruido radioeléctrico varía significativamente a lo largo del día, motivo por el cual los resultados calculados deben presentarse por periodos de 24 h.

A continuación, se ejemplifican los resultados de la medición a 5 MHz (4,9-5,1 MHz). Los valores máximo, medio y mínimo durante 24 h se calculan del mismo modo que en el § 4.4.1 y se señalan en el gráfico izquierdo. A la derecha puede verse el espectrograma que contiene las exploraciones efectuadas durante 24 h.

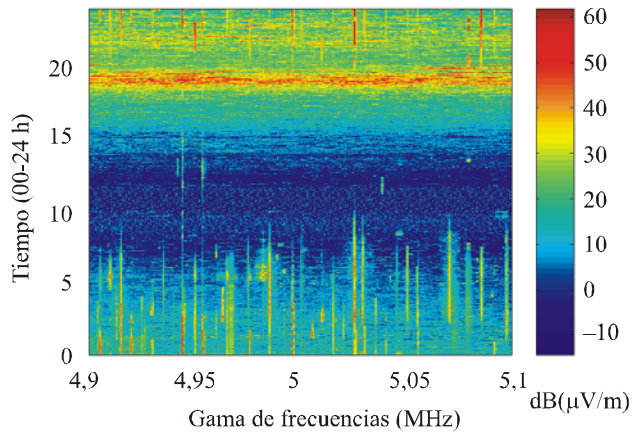
FIGURA 6

Valores medio, máximo y mínimo y espectrograma durante un periodo de 24 horas

© TSO NERA valores de nivel de ruido
 banda de frecuencias: 4,9-5,1 MHz
 fecha: 17-07-2004



© TSO NERA, espectrograma, fecha: 17-07-2004



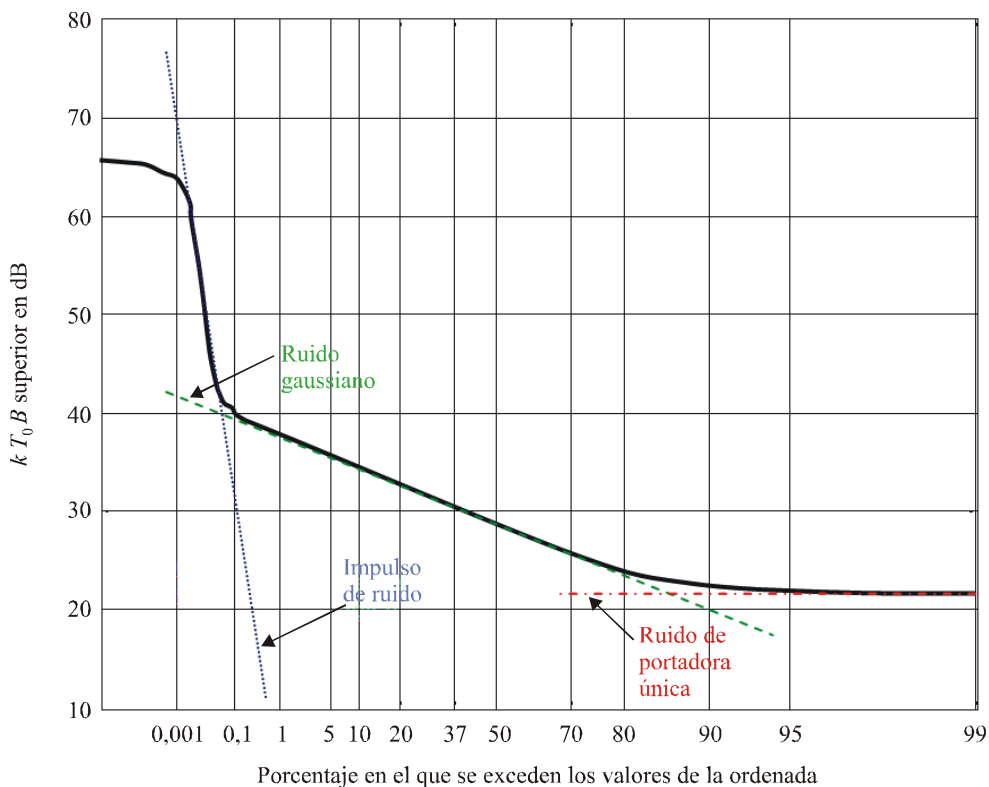
1753-06

Si bien en la gama de ondas métricas y decimétricas el nivel de ruido radioeléctrico es constante durante el día, depende esencialmente del tipo de lugar donde se mida (por ejemplo ciudad/empresa, hogares, campo). Si la idea es condensar todas las muestras para obtener un valor característico, resulta preferible el así llamado gráfico APD, en el que se indica el porcentaje de muestras medidas que sobrepasa una cierta amplitud.

En la Fig. 7 pueden verse los resultados de la medición efectuada en 410 MHz y un entorno residencial.

FIGURA 7

Distribución de amplitud de probabilidades (APD)



1753-07

Los valores de la abscisa del gráfico APD siguen una escala de Rayleigh, escala que permite separar fácilmente los diferentes tipos de ruido: el ruido blanco se indica con una recta en pendiente (en medio del gráfico); el perfil ascendente a la izquierda indica el ruido impulsivo procedente de fuentes únicas, y la parte derecha de la curva con escasa pendiente se debe a portadoras únicas de fuentes próximas.

El valor eficaz global es del 37%.
