

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2503-0

(07/2022)

**Evaluación de las perturbaciones
electromagnéticas radiadas de los aparatos
electrodomésticos y sus interferencias sobre
una red de la Internet de las cosas en
la banda de frecuencias de 915 MHz**

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 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
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	Radio astronomía
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

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, 2023

© UIT 2023

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.2503-0

Evaluación de las perturbaciones electromagnéticas radiadas de los aparatos electrodomésticos y sus interferencias sobre una red de la Internet de las cosas en la banda de frecuencias de 915 MHz

(2022)

Alcance

Los dispositivos electrónicos y sus redes, incluidas las que no se utilizan para las telecomunicaciones, pueden producir perturbaciones electromagnéticas significativas que pueden afectar al funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones actuales y futuros, como la Internet de las cosas (IoT) y sus aplicaciones. En el presente Informe se evalúan los niveles de las perturbaciones electromagnéticas generadas por los aparatos electrodomésticos y la manera en que estas interferencias pueden afectar al funcionamiento de una red de sensores inalámbricos (WSN) que opera en la banda de 915 MHz en algunas administraciones, un sistema que se utiliza ampliamente en la IoT debido a su flexibilidad técnica y bajo coste. El trabajo se dividió en tres fases. En la primera fase se evaluaron las perturbaciones electromagnéticas procedentes de los aparatos electrodomésticos, la segunda etapa consistió en caracterizar las WSN a través de la evaluación de la indicación de intensidad de la señal recibida (RSSI) y la tasa de error de paquetes (PER), y la tercera etapa consistió en la medición de la RSSI y la PER con la introducción de los aparatos electrodomésticos en la prueba. Los resultados muestran que los aparatos electrodomésticos investigados no se ajustan a los límites reglamentarios y afectan de manera significativa el funcionamiento de una WSN.

Acrónimos y abreviaturas

ABNT	Asociación brasileña de normas técnicas
CEI	Comisión electrotécnica internacional
CISPR	Comité internacional especial de perturbaciones radioeléctricas
NBR	Norma de brasil
PER	Tasa de error de paquetes (<i>paquet error rate</i>)
RSSI	Indicación de intensidad de la señal recibida (<i>received signal strength indication</i>)
SAC	Cámara semianecoica (<i>semi-anechoic chamber</i>)
Vca	Voltios de corriente alterna
WSN	Red de sensores inalámbrica (<i>wireless sensor network</i>)

1 Introducción

Los modernos equipos eléctrico-electrónicos y sus redes, incluidas las redes que no están destinadas a las telecomunicaciones, pueden producir perturbaciones electromagnéticas importantes.

Estos casos están relacionados con la dinámica de funcionamiento de sus sistemas electrónicos, la presencia de fuentes de alimentación conmutadas, cargas no lineales, dispositivos electromecánicos y circuitos lógicos, entre otros. Estas influencias eléctricas pueden manifestarse tanto de manera radiada como conducida y, si no se reducen en su origen, pueden degradar y contaminar el espectro electromagnético.

Esta situación puede tener consecuencias graves en un entorno residencial, con una gran densidad, cantidad y diversidad de equipos eléctrico-electrónicos junto con sus redes, que pueden afectar directamente la funcionalidad de los servicios de radiocomunicaciones en el ámbito de los usuarios y los consumidores.

En este estudio se ha evaluado el comportamiento de una red de sensores inalámbricos (WSN) cuando se somete a las perturbaciones causadas por los aparatos electrodomésticos mediante el análisis de la indicación de intensidad de la señal recibida (RSSI) y la tasa de errores en paquetes (PER).

El trabajo se dividió en tres fases. En la primera se midieron las emisiones electromagnéticas de los aparatos electrodomésticos. A continuación, se llevó a cabo la caracterización de una WSN con sus respectivos RSSI y PER. Por último, se midió la WSN con los mismos criterios una vez introducidos los aparatos electrodomésticos en la prueba.

2 Equipos e instalaciones

Todas las mediciones se realizaron dentro de una cámara semianecoica (SAC) ETS-LINDGREN con un funcionamiento entre 9 kHz y 220 GHz, con una plataforma giratoria.

Se utilizaron dos antenas UltraLog, modelo HL562E, para las mediciones entre 30 MHz y 1 GHz, y una antena de guía de onda de doble cresta, modelo 3117, para las mediciones entre 30 MHz y 6 GHz.

El medidor fue un receptor de prueba ESIB 40 EMI de Rohde & Schwarz con anchuras de banda seleccionables de 200 Hz, 9 kHz, 120 kHz y 1 MHz y detectores de cresta, media y cuasi cresta, como requiere la especificación CEI CISPR 16-1.

Los atenuadores variables de JFW Industries, de los modelos 50R-029 (de 0 a 70 dB con una precisión de 0,5 dB) y 50R-019 (de 0 a 10 dB con una precisión de 0,2 dB) aplicados a la WSN. Para evaluar estos atenuadores se utilizó un analizador de red de Agilent Technologies, modelo E5071B.

El módulo radioeléctrico fue un BE900, homologado por Anatel (Agencia Nacional de Telecomunicaciones). Incluye comunicaciones inalámbricas para aplicaciones de supervisión y control con modulación MDF-2 con un máximo de 250 kbit/s. Dispone de un procesador ATmega328 AVR programable, un transceptor de radiofrecuencia CC1101 con 10 dBm de salida de potencia, una sensibilidad de -112 dBm con 1% de PER, utilizando un filtro paso-banda ajustado para funcionar en las bandas de frecuencias industriales, científicas y médicas (ICM) 902-907,5 MHz y 915-928 MHz.

En este trabajo se consideran las mediciones realizadas utilizando como aparatos electrodomésticos dos batidoras (de 220 Vca y 127 Vca) y una aspiradora. Además, se utilizó un horno de microondas y un refrigerador para realizar mediciones combinadas. Se eligieron porque son típicos de los entornos residenciales y estaban disponibles en el momento de la investigación, y se utilizaron con el fin de conseguir resultados más completos.

Las mediciones se llevaron a cabo en el *Instituto de Pesquisas Eldorado* como parte de una investigación de postgrado en la *Universidade Pontifícia de Campinas* (Sao Paulo, Brasil).

3 Metodología

En primer lugar se efectuó la validación de la cámara semianecoica de acuerdo con la metodología indicada en la norma técnica ABNT NBR IEC/CISPR 22¹. También se realizó el análisis del ruido de fondo efectuando un barrido del espectro con antenas de 1 a 4 metros de altura, en posición vertical

¹ Aplicación de la Publicación 22 del CISPR en Brasil.

y horizontal. Se analizaron también los atenuadores de 400 MHz a 1 000 MHz con el analizador de red para obtener su calidad de funcionamiento en relación con la hoja de características.

A fin de realizar las mediciones de las perturbaciones electromagnéticas radiadas, los aparatos electrodomésticos se situaron a 80 cm del suelo en una mesa de madera y sobre la plataforma giratoria, manteniendo una distancia de 10 metros a la antena de medición, como puede verse en la Fig. 1.

Las mediciones se realizaron en la gama de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz, de acuerdo con los requisitos establecidos en la norma CISPR 14-1; mientras que se utilizó la norma CISPR 22 para las mediciones hasta 6 GHz.

En el primer análisis se utilizó un detector de cresta, mientras que las mediciones finales se basaron en casi-cresta en las crestas por encima del límite y cerca de las frecuencias de la WSN, especialmente en la banda de 915 MHz, considerando el diagrama de la Fig. B.1 de la ABNT NBR CEI/CISPR 22. Para llevar a cabo estas mediciones se utilizó el software EMC32 de Rohde & Schwarz.

Para evaluar la WSN se creó un programa de computadora utilizando el lenguaje de programación Python. Se envió un paquete de 52 bytes en serie a través de la conexión USB de la computadora con la base de la WSN. La detección se realizó en la WSN para evaluar el RSSI (en el enlace ascendente y el enlace descendente) y la PER. Se situó todo dentro de la SAC para evaluar el comportamiento de la red en un entorno controlado, como se muestra en la Fig. 2. Se insertaron los atenuadores antes de la base para evaluar el nivel de sensibilidad. La computadora utilizada para la recopilación de datos se situó bajo el suelo de la cámara SAC para evitar su influencia sobre las mediciones. La distancia entre la base y el nodo sensor era de aproximadamente 4,5 metros, situados sobre un trípode a 1 metro del suelo.

FIGURA 1

Configuración de prueba utilizada para medir las perturbaciones electromagnéticas

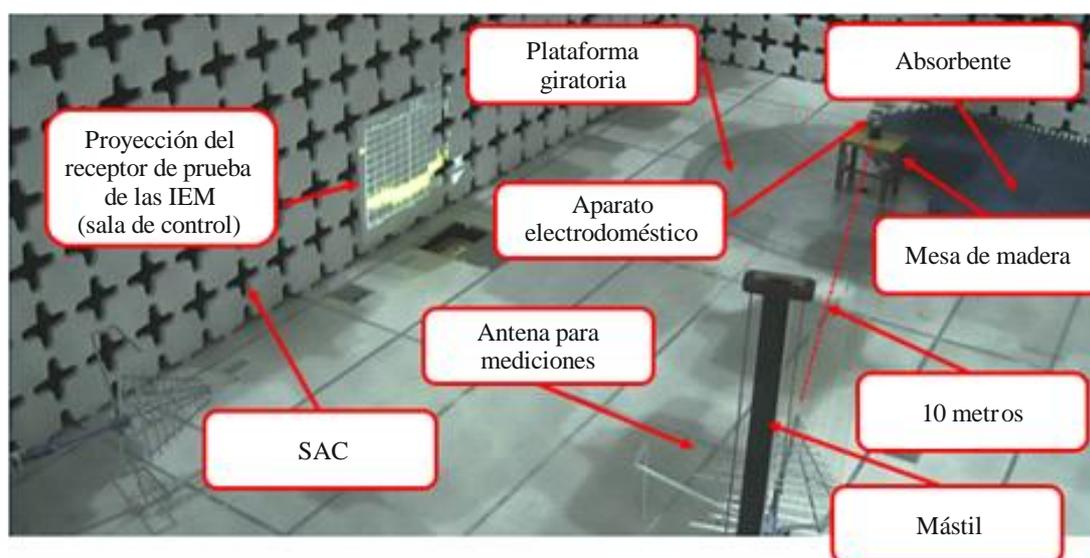
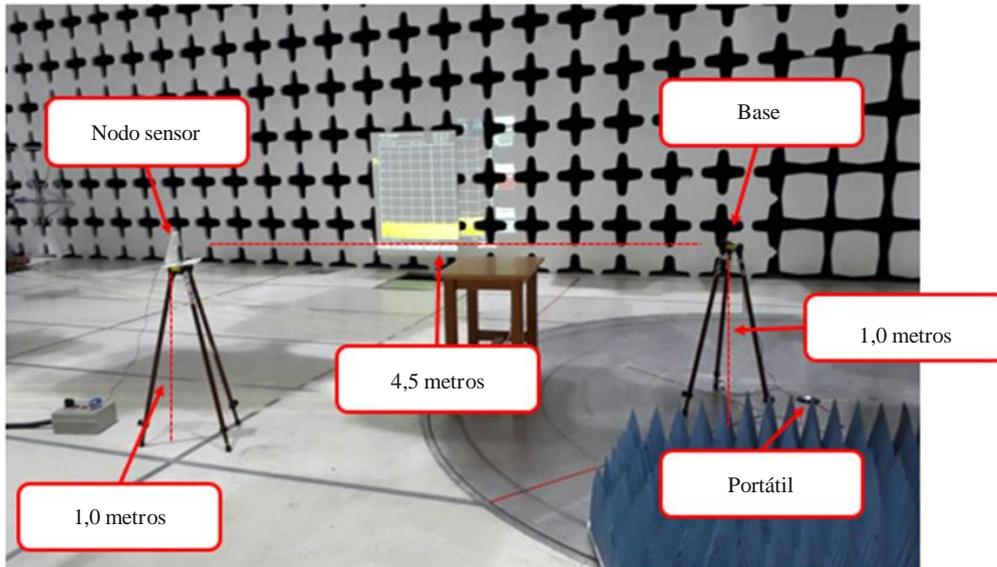


FIGURA 2

Configuración de la WSN dentro de la cámara semianecoica sin los aparatos electrodomésticos



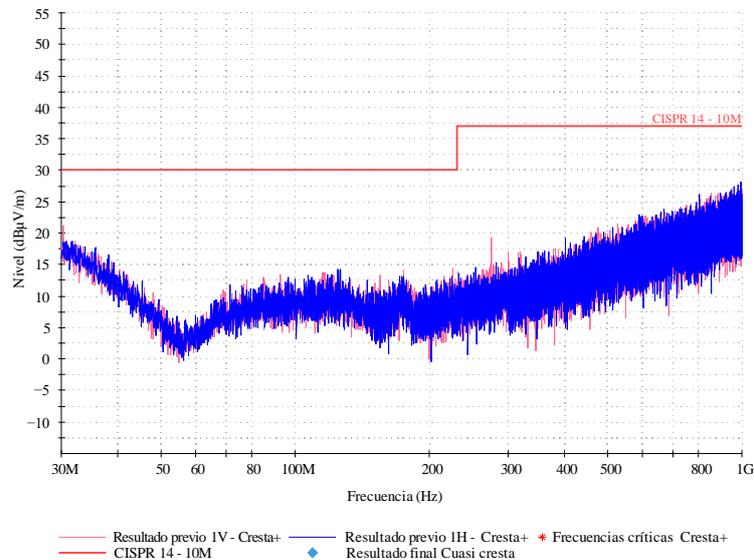
Report SM.2503-2

4 Mediciones de las perturbaciones

En la Fig. 3 se muestra el ruido de fondo medido con los aparatos electrodomésticos desconectados. En las Figuras de 4 a 7 se muestran los resultados obtenidos en las mediciones de las perturbaciones electromagnéticas radiadas con los electrodomésticos encendidos.

FIGURA 3

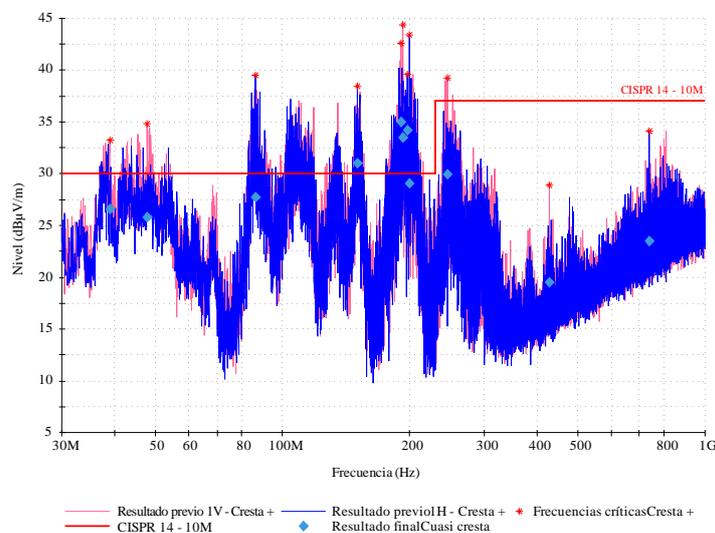
Resultado de la medición de las perturbaciones – Ruido de fondo



Report SM.2503-3

Como puede observarse en la Fig. 4, en la exploración de cresta los valores obtenidos están por encima del límite reglamentario. Las frecuencias próximas a 150, 190, 193 y 197 MHz estuvieron por encima del límite para mediciones de cuasi cresta, con un nivel máximo de 4,97 dB respecto del límite. Es posible concluir que la aspiradora no cumple los requisitos reglamentarios.

FIGURA 4

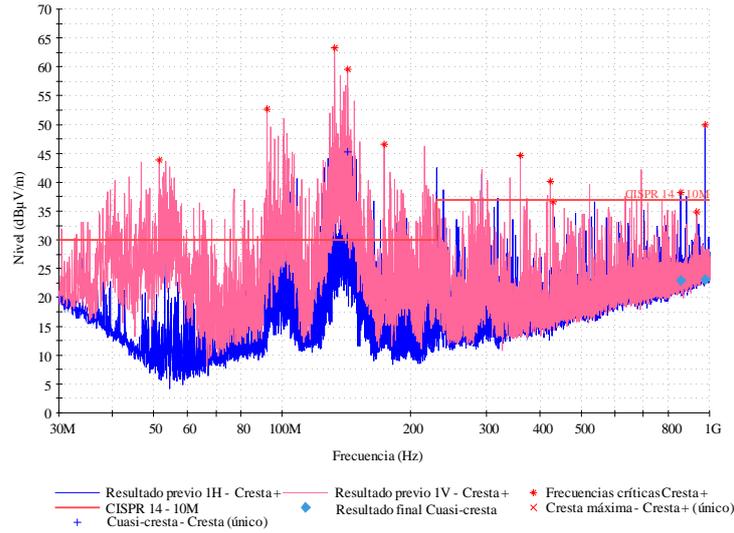
Resultado de la medición de las perturbaciones – Aspiradora

Report SM.2503-4

La Fig. 5 muestra la medición de las perturbaciones de una batidora de 127 Vca. Los valores obtenidos en la exploración de cresta estuvieron por encima del límite reglamentario. En la evaluación de las mediciones de cuasi-cresta, los valores estuvieron por debajo del límite cerca de 900 MHz; sin embargo, en la evaluación deben considerarse todas las frecuencias de prueba para cumplir los requisitos. De manera clara, el dispositivo presentaba un alto nivel de perturbaciones en la zona cercana a 150 MHz, pero no solo en dicha zona.

FIGURA 5

Resultado de la medición de las perturbaciones – Batidora de 127 Vca

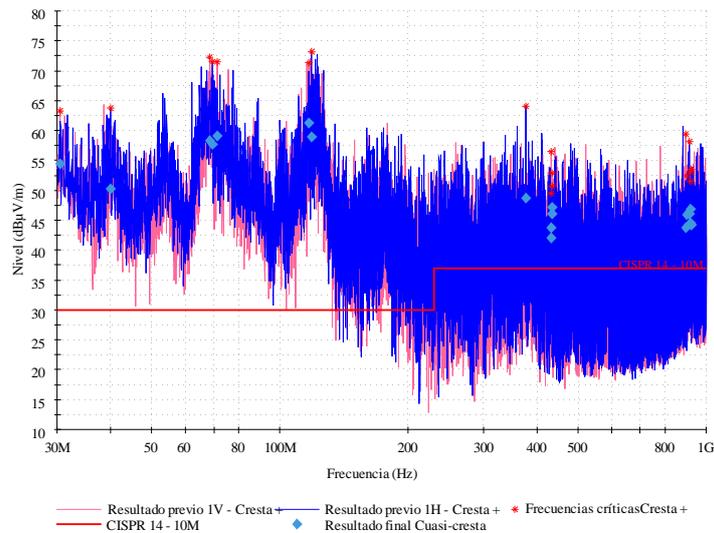


Report SM.2503-5

La Fig. 6 muestra la medición de las perturbaciones de una batidora de 220 Vca. Muestra un nivel significativo de perturbaciones electromagnéticas, superior al límite reglamentario en más de 25 dB. En la gama de frecuencias de la WSN, las perturbaciones estuvieron cerca de unos 10 dB por encima del límite reglamentario. Con esta medida, y debido a los altos niveles de perturbación, se eligió este dispositivo para utilizarlo en la evaluación con la WSN.

FIGURA 6

Resultado de la medición de las perturbaciones – Batidora de 220 Vca

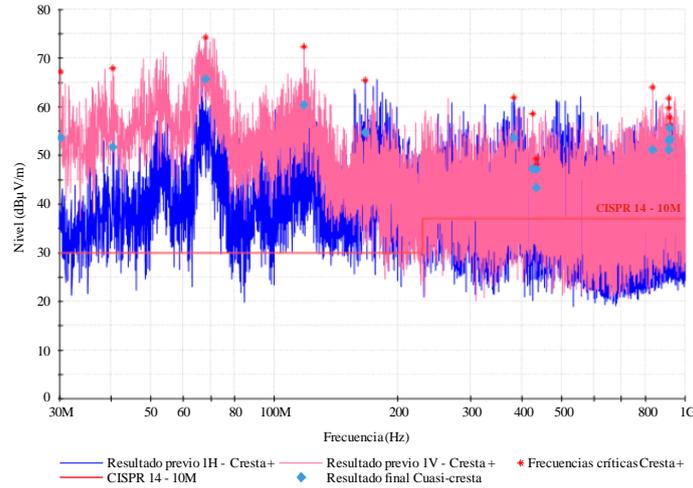


Report SM.2503-6

La Fig. 7 muestra la medición de las perturbaciones cuando ambas batidoras funcionan simultáneamente. Los niveles rebasan el límite reglamentario en más de 30 dB y, en la gama de frecuencias de la WSN; las perturbaciones estuvieron aproximadamente 15 dB por encima del límite reglamentario.

FIGURA 7

Resultado de la medición de las perturbaciones – Batidora de 127 Vca y batidora de 220 Vca

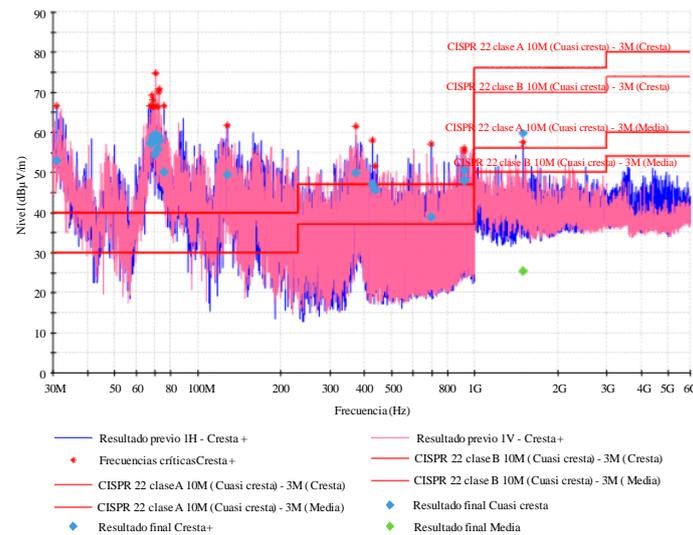


Report SM.2503-7

Además, se efectuaron mediciones de las perturbaciones combinadas procedentes de diferentes tipos de electrodomésticos. La Fig. 8 muestra las mediciones con un horno de microondas, un refrigerador y una batidora de 127 Vca. Los niveles rebasaron los límites en varias frecuencias, incluso por encima de 1 GHz.

FIGURA 8

Resultado de la medición de las perturbaciones – horno de microondas, refrigerador, batidora (127 Vca)

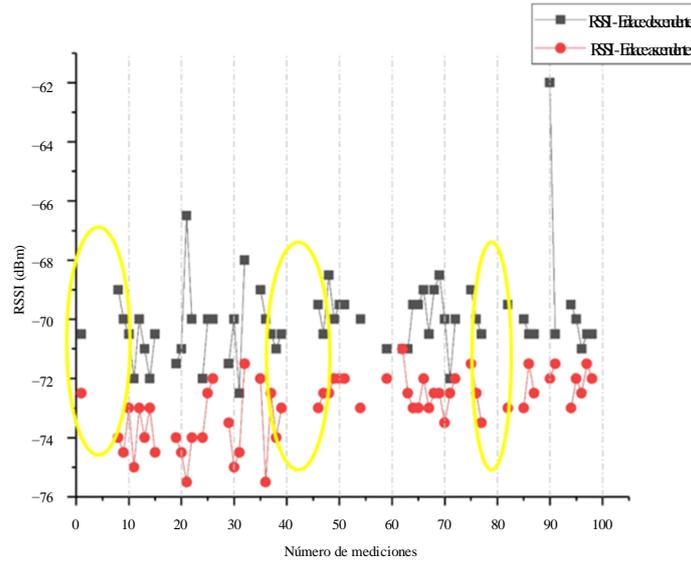


Report SM.2503-8

5 Evaluación de las interferencias

En la Fig. 9 se muestra la recopilación de 100 mediciones de la RSSI de la WSN con el electrodoméstico (batidora de 220 Vca) en el SAC. Las indicaciones en amarillo muestran las pérdidas de paquetes causadas por la interferencia electromagnética procedente de la batidora. La PER obtenida fue del 42%, lo que provocó una pérdida significativa de tráfico de datos en el funcionamiento de la WSN.

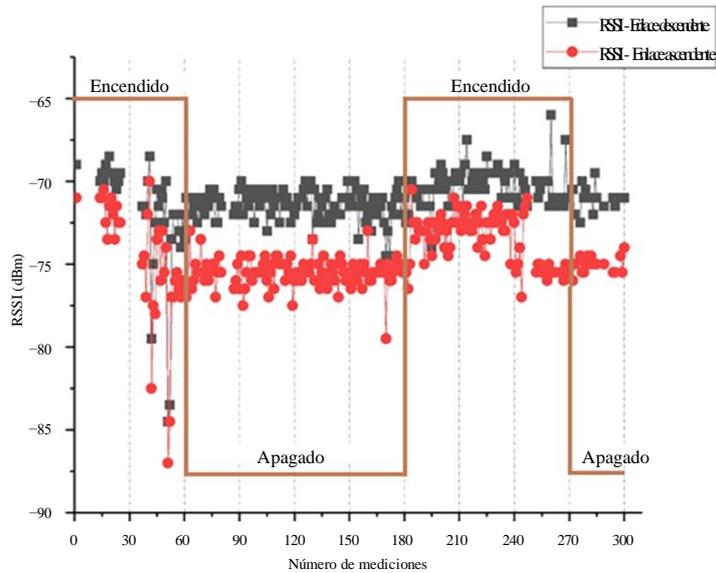
FIGURA 9
Análisis de RSSI con los aparatos electrodomésticos – 100 mediciones



Report SM.2503-9

La Fig. 10 muestra 300 mediciones llevadas a cabo a lo largo del tiempo, encendiendo y apagando el aparato electrodoméstico. En las mediciones de 60 a 180, cuando se desconectó el aparato electrodoméstico, la WSN mantiene la RSSI estable; sin embargo, en las mediciones de 180 a 270, se encendió el aparato electrodoméstico y se perdieron paquetes con una RSSI inestable.

FIGURA 10
Análisis de RSSI con los aparatos electrodomésticos – 300 mediciones



Report SM.2503-10

6 Conclusiones

Sobre la base de los resultados presentados, puede concluirse que los aparatos electrodomésticos investigados presentan unos niveles de perturbaciones electromagnéticas radiadas superiores al límite reglamentario, que son capaces de afectar de manera significativa el funcionamiento de una WSN.

Con el fin de verificar el nivel de repercusión de estas perturbaciones sobre la WSN, se recogieron los niveles de la RSSI y la PER a lo largo de un tiempo dentro de una cámara SAC. La RSSI tuvo niveles estables sin pérdida de paquetes cuando la red no estaba en presencia del aparato electrodoméstico. Al introducir en la prueba el aparato electrodoméstico seleccionado, fue posible detectar una RSSI inestable y un 42% de PER, llegando a la conclusión de que las interferencias producidas por el aparato electrodoméstico investigado afectaban significativamente el funcionamiento de la red.

Este trabajo se centró en las redes de sensores inalámbricos IoT en torno a la banda de 915 MHz; sin embargo, se detectaron y midieron perturbaciones producidas por los aparatos electrodomésticos en muchas frecuencias, algunas de las cuales presentan niveles mucho más altos que los indicados para la mayor parte de la banda estudiada. Por consiguiente, otros servicios de radiocomunicaciones también podrían verse afectados por las perturbaciones. En este estudio no se tomaron en consideración las frecuencias por debajo de 30 MHz, donde las interferencias podrían ser aún más importantes.

En este Informe se alienta a las investigaciones a que analicen estos y otros casos de interferencia potencial y se muestra la necesidad de proseguir los estudios sobre estos fenómenos en las bandas de frecuencias utilizadas o previstas para el funcionamiento de redes IoT, a fin de estudiar las perturbaciones y las interferencias que pueden producirse en los aparatos electrodomésticos sobre otras configuraciones de red IoT.

Considerando una visión más amplia de este trabajo, es posible planificar o diseñar nuevas tecnologías como la IoT, pero cuando se sitúan en la práctica del mundo real, especialmente en los entornos residenciales, las redes pueden no funcionar adecuadamente debido a interferencias no previstas procedentes de diferentes tipos de emisores no intencionados, que pueden poner en peligro el avance de la tecnología y sus aplicaciones.
