

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2505-0
(07/2022)

Estudios de los efectos y peligros para las personas de la transmisión inalámbrica de potencia a través de haces radioeléctricos

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	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

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.2505-0

Estudio de los efectos y peligros para las personas de la transmisión inalámbrica de potencia a través de haces radioeléctricos

(2022)

ÍNDICE

Página

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR).....	ii
1 Introducción.....	2
2 Características radioeléctricas de la TIP por haces	3
3 Estudios sobre los efectos en los sistemas existentes	4
3.1 Estudio A (915-921 MHz)	5
3.2 Estudio B (915-921 MHz)	8
3.3 Estudio C (917-920 MHz, 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz)	11
3.4 Estudio D (2 483,5-2 500 MHz)	24
3.5 Estudio E (915-921 MHz)	27
3.6 Estudio F (61-61,5 GHz)	30
3.7 Estudio G (915-921 MHz, 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz).....	32
4 Peligros para las personas.....	35
5 Resumen	36
Anexo 1 – Control del entorno de exposición a RF para cumplir las Directrices de protección contra radiaciones radioeléctricas, caso de Japón	37
A1.1 Entornos de instalación de TIP por haces.....	37
A1.2 Conformidad con las RRPG	38

Abreviaturas/Glosario

ARIB	Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones (<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>)
CECA	Comunicaciones especializadas de corto alcance
CEI	Comisión Electrotécnica Internacional
CEM	Campo electromagnético
CISPR	Comité Internacional Especial de interferencia radioeléctrica (<i>Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques</i>)
DUT	Dispositivo sometido a prueba (<i>device under test</i>)
GSM	Sistema mundial para comunicaciones móviles (<i>Global System for Mobile Communications</i>)
ICM	Industrial, científico y médico
ICNIRP	Comisión Internacional sobre la protección contra radiaciones no ionizantes (<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales (<i>International Mobile Telecommunications</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LPWA	Red de área extensa de baja potencia (<i>low-power wide-area network</i>)
LTE	Evolución a largo plazo (<i>long term evolution</i>)
OMS	Organización Mundial de la Salud
RF	Radiofrecuencia
RFID	Identificación por radiofrecuencia (<i>radio frequency identification</i>)
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
SETS	Servicio de exploración de la Tierra por satélite
SMS	Servicio móvil por satélite
SRD	Dispositivos de corto alcance (<i>short-range devices</i>)
TIP	Transmisión inalámbrica de potencia

1 Introducción

La tecnología de transmisión inalámbrica de potencia (TIP) se utiliza para transferir energía de forma inalámbrica desde fuentes de energía a dispositivos que utilizan o consumen energía. Las importantes innovaciones en la TIP pueden liberar a los usuarios de la necesidad de disponer de cables eléctricos o cambiar las baterías si la energía eléctrica se suministra de manera inalámbrica. Las tecnologías TIP se clasifican en dos categorías principales. Una es la tecnología TIP sin haces radioeléctricos, que transfiere energía a dispositivos mediante acoplamiento magnético, capacitivo o inductivo en el campo cercano y se utiliza normalmente para cargar dispositivos, como teléfonos móviles y vehículos eléctricos. La otra categoría es la de TIP por haces, que transfiere la energía de forma inalámbrica utilizando ondas radioeléctricas a distancias más largas (de varios metros o más, y con el potencial de cubrir zonas más amplias).

Se están elaborando reglamentos, normas y directrices operativas sobre la TIP por haces a escala nacional, regional e internacional para tecnologías de recarga inalámbrica de dispositivos móviles/portátiles y sensores de Internet de las cosas (IoT) para aplicaciones de TIP por haces radioeléctricos. En el Informe UIT-R SM.2392 – Aplicaciones de transmisión inalámbrica de potencia por haces radioeléctricos, se indican diversas aplicaciones y tecnologías de TIP futuras. El Informe trata de las aplicaciones de las tecnologías TIP que utilizan haces radioeléctricos y subraya que tales dispositivos pueden clasificarse en equipos industriales, científicos y médicos (ICM), dispositivos de corto alcance (SRD) o equipos de radiocomunicaciones. Si bien los dispositivos TIP por haces del tipo ICM y SRD se examinan en el Informe UIT-R SM.2392, en los Anexos al Informe UIT-R SM.1896 figura una lista de gamas de frecuencias para la armonización mundial y regional de los SRD, y en los números **5.138** y **5.150** del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) figura una lista de gamas de frecuencias para los dispositivos ICM. Por otra parte, algunas administraciones clasifican la TIP por haces como un servicio de radiocomunicaciones que requiere un marco normativo para que se pueda aplicar mediante medidas reglamentarias. A fin de mitigar los efectos de los dispositivos TIP en el funcionamiento de los servicios de radiocomunicaciones a medida que aumente la demanda de espectro, se están examinando soluciones que utilizan bandas de frecuencias designadas para aplicaciones ICM y otras soluciones para la compartición del espectro con los servicios de radiocomunicaciones existentes. Para poder comercializar estas tecnologías TIP es necesario realizar estudios relativos a los efectos de los sistemas TIP sobre los sistemas y servicios de radiocomunicaciones.

El presente Informe tiene por objeto mostrar cómo pueden coexistir los sistemas TIP por haces propuestos con los sistemas de radiocomunicaciones, mediante la realización de estudios de la incidencia y la observancia de la reglamentación de radiofrecuencias internacional y/o nacional y de las directrices sobre exposición a las RF. Los estudios incluyen mediciones de pruebas realizadas en laboratorio y en condiciones reales, así como simulaciones y estudios teóricos basados en los sistemas propuestos. Asimismo, el Informe pretende servir para orientar a las administraciones que deseen autorizar la aplicación de las tecnologías TIP por haces en las gamas de frecuencias propuestas a fin de minimizar su posible repercusión en los servicios de radiocomunicaciones. Además, se espera que este Informe contribuya a los debates sobre las gamas de frecuencias y la reglamentación internacional de las aplicaciones de la TIP por haces.

En Japón, las tecnologías TIP por haces también se consideran un servicio de radiocomunicaciones con las correspondientes medidas reglamentarias nacionales, como se muestra en el § 3.3 del Estudio C del presente Informe. Las condiciones técnicas prácticas para la coexistencia con los servicios de radiocomunicación existentes se determinan con arreglo a las gamas de frecuencias y a los objetivos de explotación. De producirse interferencia perjudicial, en algunos casos puede corregirse desplazando o reorientando el dispositivo de carga y/o el dispositivo afectado, o cambiando la frecuencia de funcionamiento del dispositivo de carga o del dispositivo afectado para evitar la utilización de canales de frecuencias superpuestos.

NOTA – Los estudios describen las experiencias nacionales de las administraciones y los distintos enfoques de los Miembros de Sector.

2 Características radioeléctricas de la TIP por haces

En esta sección se presentan ejemplos de las características del sistema TIP por haces.

CUADRO 1

Ejemplos de características radioeléctricas de los sistemas TIP por haces

Sistema	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7
Frecuencia	915-921 MHz	915-921 MHz	915-921 MHz	917-920 MHz	2 410-2 486 MHz	5 738-5 766 MHz	61-61,5 GHz
Potencia de salida	4 W	15 W	Hasta 50 W	1 W	15 W	32 W	50 W
Ganancia de la antena	7 dBi	8,24 dBi	10 dBi	6 dBi	24 dBi	25 dBi	45 dBi ⁽¹⁾
p.i.r.e.	43 dBm	50 dBm	54,8 dBm	36 dBm	65,8 dBm	70 dBm	92 dBm ⁽¹⁾
Ancho de banda	500 kHz	500 kHz	500 kHz	200 kHz	N/A ⁽²⁾	N/A ⁽²⁾	10 MHz
Señales de radiobaliza	Otros sistemas inalámbricos	Otros sistemas inalámbricos	Otros sistemas inalámbricos	Otros sistemas inalámbricos	Otros sistemas inalámbricos	Sistema inalámbrico especializado para la TIP por haces	Otros sistemas inalámbricos
Antena	Antena direccional gran angular	Antena direccional gran angular	Antena direccional gran angular	Antena direccional gran angular	Conformación del haz	Conformación del haz	Enfoque del haz de campo cercano
Aplicaciones	Carga inalámbrica de dispositivos móviles/portátiles Alimentación y carga inalámbricas de redes de sensores						

NOTA – Las especificaciones técnicas que figuran en este Cuadro describen algunas de las características utilizadas en los estudios respectivos y no deben interpretarse como límites reglamentarios, ya que puede haber otros sistemas TIP por haces cuya potencia sea superior a la indicada. En la mayoría de los casos, cada administración establece los límites de emisiones fuera de banda para los dispositivos TIP por haces.

⁽¹⁾ Las cifras correspondientes a la ganancia de antena y a la p.i.r.e. se dan para los casos en que la potencia de recepción del dispositivo se encuentra en el campo lejano del transmisor.

⁽²⁾ En la reglamentación de este sistema se estipula que su ancho de banda ocupado es igual a cero, porque su modulación es una onda continua.

3 Estudios sobre los efectos en los sistemas existentes

Podría ser necesario realizar estudios sobre los efectos causados a los siguientes sistemas existentes:

- LAN inalámbrica (banda de 2,4 GHz, 5,6 GHz);
- CECA (banda de 5,8 GHz);
- IMT (banda de 900 MHz);
- MCA (banda de 920 MHz);
- LPWA (banda de 920 MHz);
- RFID (banda de 920 MHz);
- servicio de aficionados (banda de 2,4 GHz, banda de 5,7 GHz);
- radar (banda de 5,6 GHz);
- enlace por microondas (banda de 5,9 GHz);
- sistema de comunicaciones móviles por satélite (banda de 2,5 GHz);
- radioastronomía (banda de 1,4 GHz, banda de 2,7 GHz, banda de 4,8 GHz);
- SETS (activo) (cofrecuencia 5 470-5 570 MHz, adyacente 5 250-5 470 MHz);

- otros sistemas que funcionan en bandas de frecuencias adyacentes y/o gamas de frecuencias en las que pueden aparecer emisiones de armónicos.

3.1 Estudio A (915-921 MHz)

Se realizaron pruebas sobre los efectos causados por un dispositivo transmisor de carga a distancia (DUT) por ondas radioeléctricas que funciona entre 915 MHz y 921 MHz para demostrar la interoperabilidad con dispositivos y tecnologías inalámbricos que funcionan en la misma banda. El DUT funciona en un solo canal con un ancho de banda inferior a 400 kHz y una máxima potencia media conductiva teórica de 37,4 dBm. El DUT está diseñado para cargar otros dispositivos a una distancia de hasta 30 cm. Además, el DUT cumple con el Título 47, Capítulo I, Subcapítulo A, Parte 15 del Electronic Code of Federal Regulations de Estados Unidos que, entre otras cosas, exige que los dispositivos no causen interferencia perjudicial ni acepten interferencia causada por el funcionamiento de una estación radioeléctrica autorizada, por otro emisor deliberado o no, por equipos industriales, científicos y médicos (ICM) o por un emisor secundario.

Las pruebas se realizaron en dos salas separadas. La primera prueba se realizó en condiciones reales en una sala normal y sobre una mesa de madera donde existían otras señales, como se ilustra en la Fig. 1. Como ejemplo de los tipos de señales presentes, en la sala son detectables las señales a 900 MHz que se emiten periódicamente desde una estación de tren cercana. La segunda sala era una cámara anecoica, como se describe en el Anexo B.1.2 de ETSI EN 302 208 V3.1.1 (2016-11) y se ilustra en la Fig. 2. Esta cámara anecoica se utilizó para demostrar si los resultados obtenidos en la sala normal se podían reproducir en un entorno de espacio libre y si se producía alguna degradación de la señal debida al ruido ambiental. Las pruebas se realizaron exactamente de la misma manera en las dos salas, como se describe en detalle más adelante. Los resultados de cada una de las pruebas no mostraron discrepancia alguna; así, a continuación sólo se presenta un conjunto de resultados.

FIGURA 1

Configuración de las pruebas en la sala 1, espacio abierto

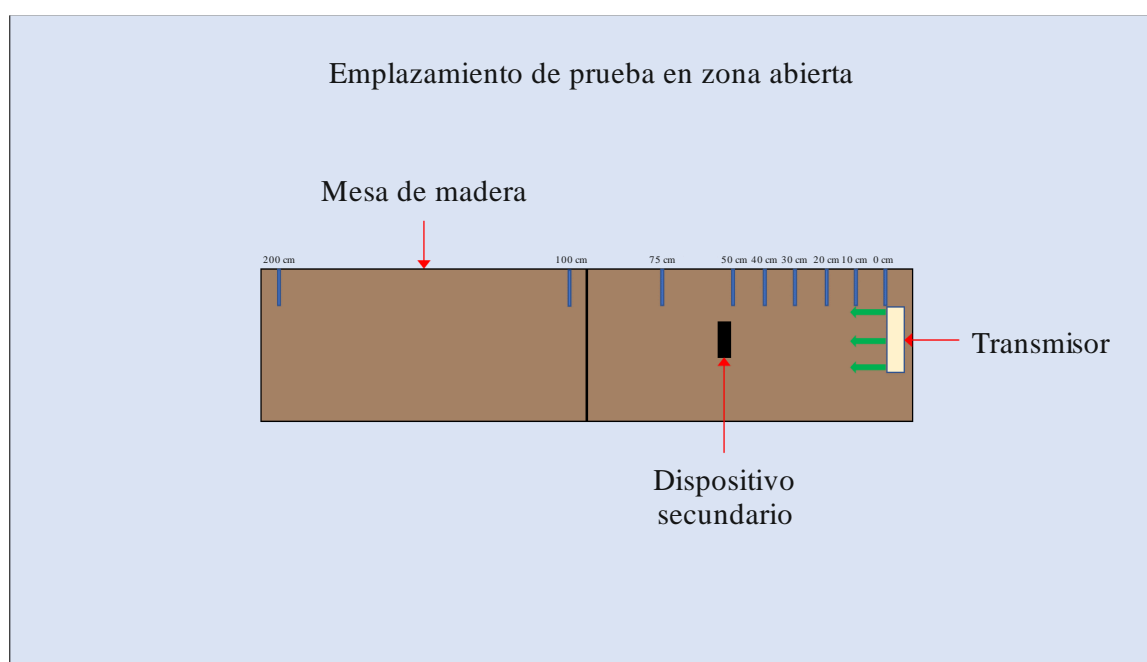
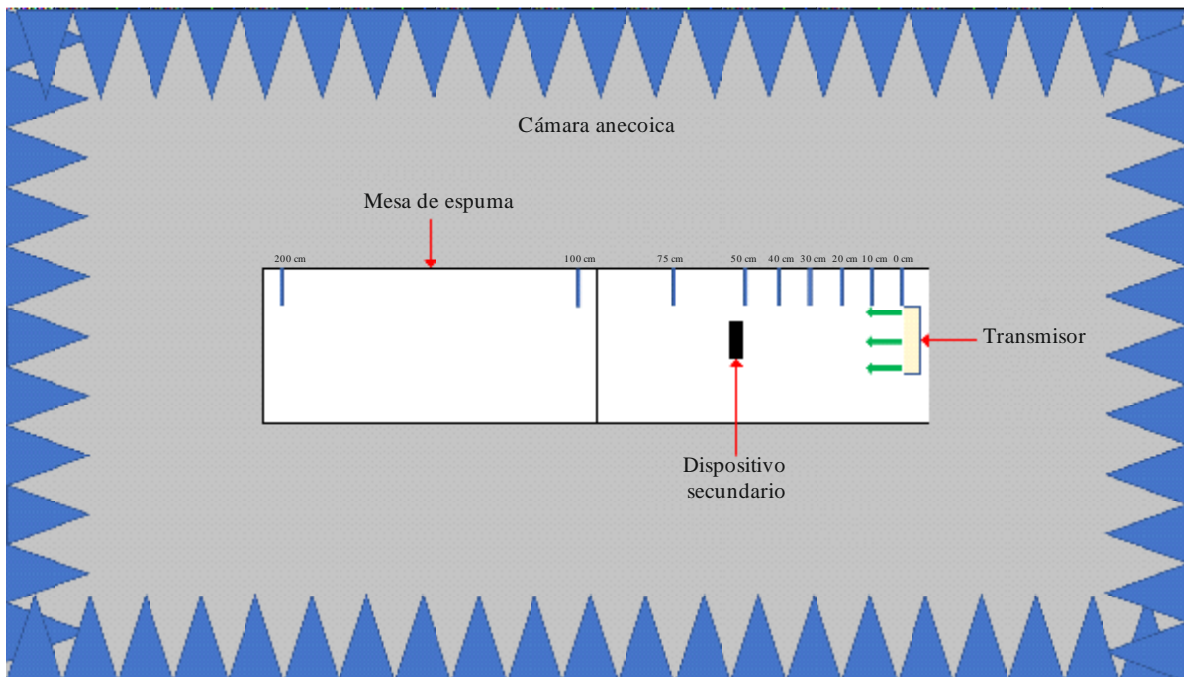


FIGURA 2
Configuración de la prueba en la sala 2, cámara anecoica



Informe SM.2505-2

Las pruebas se realizaron con los siguientes tipos de dispositivos inalámbricos:

CUADRO 2

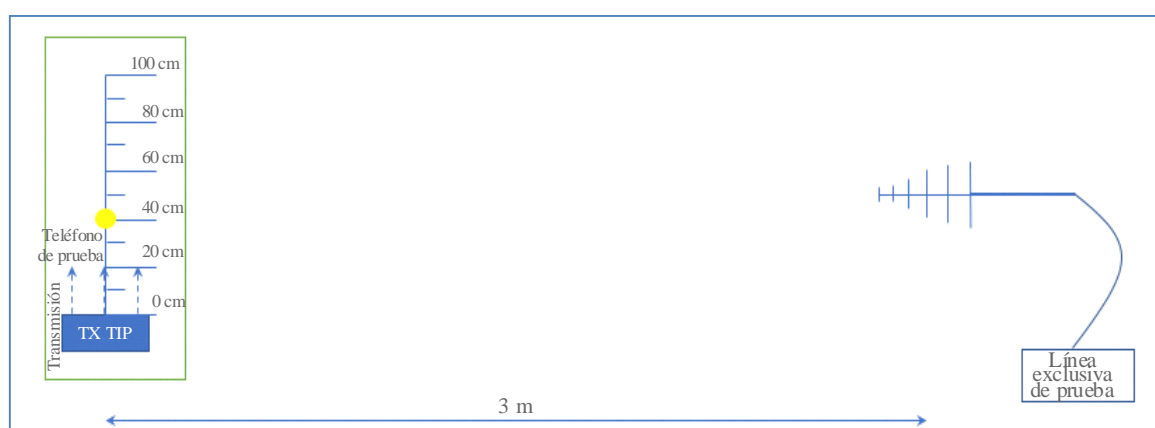
Tipos de dispositivos, frecuencias y distancias utilizados en el Estudio A

Nº	Tipo de dispositivo	Gama de frecuencias (MHz)	Distancias probadas (cm)
1	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
2	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
3	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
4	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
5	Micrófono inalámbrico y estación base	904,45-927,45 Seleccionable por el usuario	0, 10, 30, 100, 200
6	Audífono	863,25-864,75 Seleccionable por el usuario	0, 10, 30, 100, 200
7	Audífono	904,65-926,85 Seleccionable por el usuario	0, 10, 30, 100, 200
8	Lector RFID	903-927 Saltos	0, 10, 30, 100, 200
9	Lector RFID	865-868 Saltos	0, 10, 30, 100, 200

Teléfono celular. El DUT se situó a 100 cm de un teléfono móvil que simulaba un entorno de escritorio. La antena celular, conectada por cable al simulador de estación base, estaba situada a 3 m del DUT y del teléfono móvil. Se efectuó una llamada desde el teléfono móvil a la línea exclusiva de prueba en la banda GSM 900, a una frecuencia específica. Una vez establecida la comunicación, el DUT se encendió a 917,5 MHz. Se verificó la señal de carga con un analizador de espectro situado en la zona de prueba. Se supervisó la llamada durante 60 segundos. Transcurrido ese tiempo, se registró el estado de la llamada (llamada en curso o llamada interrumpida). La distancia entre el DUT y el teléfono móvil se fue disminuyendo gradualmente hasta que el teléfono móvil entró en contacto físico el DUT, es decir, distancia medida de 0 cm. Las pruebas se realizaron en cinco canales diferentes.

FIGURA 3

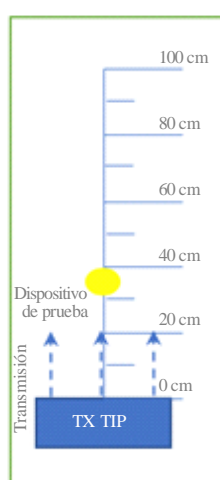
Configuración de la prueba de efectos sobre el teléfono celular



Informe SM.2505-3

FIGURA 4

Otra configuración de prueba de los efectos sobre el dispositivo dentro de la banda



Informe SM.2505-4

Los resultados demostraron que todos los teléfonos eran capaces de funcionar sin interferencia perjudicial en al menos un canal y en todos los canales cuando estaban separados a 1 m o más de distancia del DUT.

Micrófono inalámbrico y estación base. La estación de base (receptor) se situó a 30 cm del DUT y el micrófono (transmisor) se fue desplazando a distintas distancias de prueba. Posteriormente, el micrófono (transmisor) se colocó a 30 cm del DUT y la estación base (receptor) se fue desplazando a diferentes distancias de prueba.

Al ajustar el dispositivo de audio a una frecuencia diferente del DUT no se produjo interferencia perjudicial o ésta fue muy pequeña. En cambio, cuando funcionaba a la frecuencia de transmisión del DUT o a frecuencias próximas a ésta, los dispositivos experimentaron interferencia perjudicial.

Dispositivo de audición asistida. El transmisor se situó a 30 cm del DUT y el receptor se fue desplazando a diferentes distancias de prueba. A continuación, el receptor se situó a 30 cm del DUT y el transmisor se fue desplazando a diferentes distancias de prueba.

Al ajustar el dispositivo de audio a una frecuencia diferente del DUT no se produjo interferencia perjudicial o ésta fue muy pequeña. En cambio, cuando funcionaba a la frecuencia de transmisión del DUT o a frecuencias próximas a ésta, los dispositivos experimentaron interferencia perjudicial.

Lector RFID. Para el primer dispositivo, se realizaron barridos a 903,250; 904,250; 915,250; 915,750; 920,250; 926,750; y 927,250 MHz. El *software* del transmisor se ajustó a 30 dBm. Los marcadores RFID se situaron entonces a 30 cm del DUT. Para el segundo dispositivo, se realizaron barridos a 865,00; 866,00; 867,00; y 868,00 MHz con la configuración por defecto. Los marcadores RFID se situaron entonces a 30 cm del DUT.

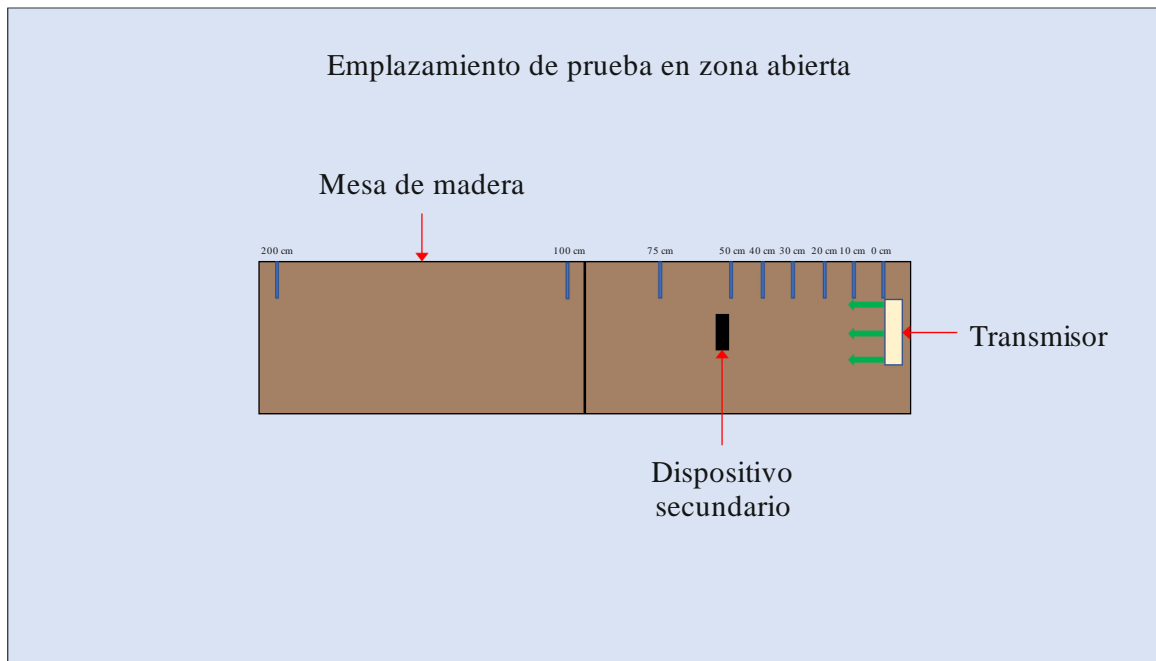
A distancias de separación de 1 m o más entre el DUT y el lector y los marcadores RFID, los lectores funcionaron sin errores.

3.2 Estudio B (915-921 MHz)

Se realizaron pruebas de un solo cargador RF cliente por contacto en el campo cercano, el dispositivo sometido a prueba (DUT), que funciona cuando el dispositivo receptor se coloca en la superficie del cargador, con objeto de demostrar la interoperabilidad con otros dispositivos y tecnologías inalámbricos. El DUT utilizaba Bluetooth de baja energía (BLE) para vincularse con el dispositivo receptor y transmitir una señal portadora continua ajustable entre 915 MHz y 921 MHz. La máxima potencia media teórica era de 33,0 dBm por puerto, con una PRA medida de 1,0 W y una p.i.r.e. de 1,64 W. El DUT está diseñado para cargar otros dispositivos situados sobre su superficie. Además, el DUT cumple con el Título 47, Capítulo I, Subcapítulo A, Parte 15 del Electronic Code of Federal Regulations de Estados Unidos que, entre otras cosas, exige que los dispositivos no causen interferencia perjudicial ni acepten interferencia causada por el funcionamiento de una estación radioeléctrica autorizada, por otro emisor deliberado o no, por equipos industriales, científicos y médicos (ICM) o por un emisor secundario.

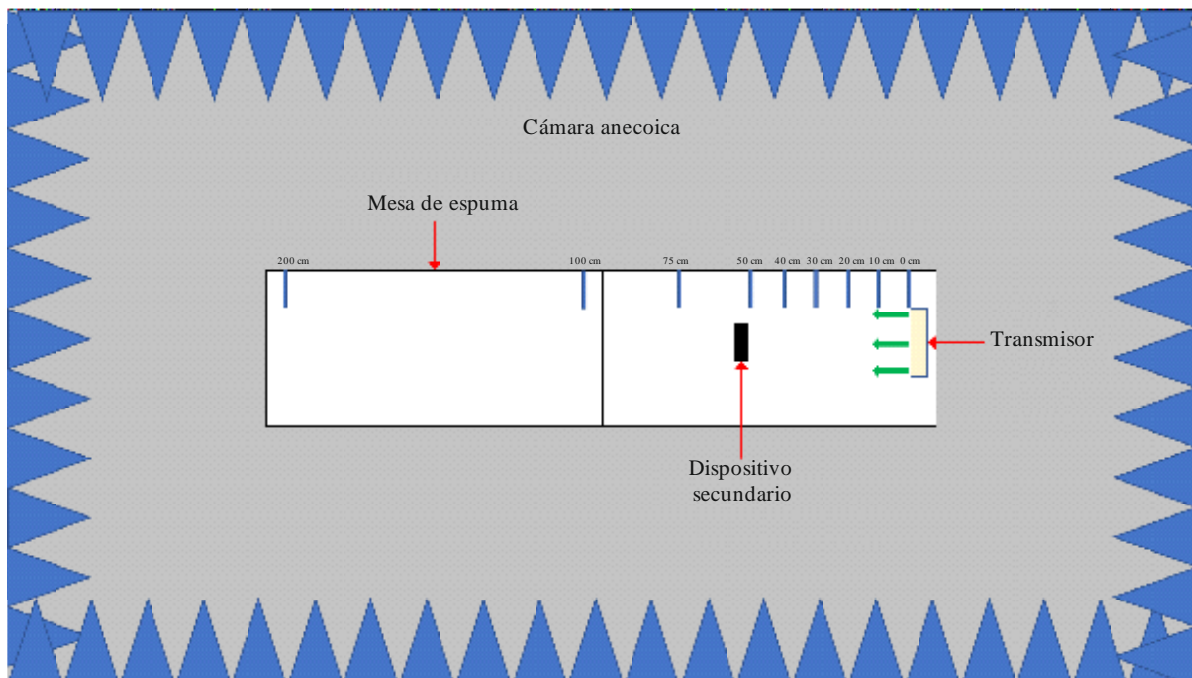
Las pruebas se realizaron en dos salas separadas. La primera prueba se realizó en condiciones reales en una sala normal y sobre una mesa de madera donde existían otras señales, como se ilustra en la Fig. 5. Como ejemplo de los tipos de señales presentes, en la sala son detectables las señales a 900 MHz que se emiten periódicamente desde una estación de tren cercana. La segunda sala era una cámara anecoica, como se describe en el Anexo B.1.2 de ETSI EN 302 208 V3.1.1 (2016-11) y se ilustra en la Fig. 6. Esta cámara anecoica se utilizó para demostrar si los resultados obtenidos en la sala normal se podían reproducir en un entorno de espacio libre y si se producía alguna degradación de la señal debida al ruido ambiental. Las pruebas se realizaron exactamente de la misma manera en las dos salas, como se describe en detalle más adelante. Los resultados de cada una de las pruebas no mostraron discrepancia alguna; así, a continuación sólo se presenta un conjunto de resultados.

FIGURA 5
Configuración de las pruebas en la sala 1, espacio abierto



Informe SM.2505-5

FIGURA 6
Configuración de la prueba en la sala 2, cámara anecoica



Informe SM.2505-6

Las pruebas se realizaron con los siguientes tipos de dispositivos inalámbricos:

CUADRO 3

Tipos de dispositivos, frecuencias y distancias utilizados en el Estudio B

Nº	Tipo de dispositivo	Gama de frecuencias (MHz)	Distancias probadas (cm)
1	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50
2	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50
3	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50
4	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50
5	Micrófono inalámbrico y estación base	904,45-927,45 Seleccionable por el usuario	0, 30, 100, 200
6	Dispositivo de audición asistida	863,25-864,75 Seleccionable por el usuario	0, 30, 100, 200
7	Lector RFID	903-927 Saltos	0, 10, 30, 100
8	Lector RFID	865-868 Saltos	0, 10, 30, 100
9	Nodo inteligente	903-914	10, 30, 100
10	Pulsador	916	10, 30, 100

NOTA – El nodo inteligente (dispositivo N° 9) y el pulsador (dispositivo N° 10) utilizan tecnología LoRa y se probaron conjuntamente.

Teléfono celular. El DUT se situó a 50 cm del teléfono móvil. Se efectuó una llamada desde el teléfono móvil a la línea exclusiva de prueba en la banda GSM 900, a una frecuencia específica. La antena de la línea de prueba se situó a 50 cm del teléfono móvil. Se estableció una comunicación entre la línea de prueba y el teléfono móvil sometido a prueba. A continuación, el DUT se encendió y se fijó a una frecuencia específica. Se supervisó la llamada durante 60 segundos. Transcurrido ese tiempo, se registró el estado de la llamada (llamada en curso o llamada interrumpida). El DUT se acercó 10 cm al teléfono móvil y se repitió el mismo procedimiento. Se procedió así sucesivamente hasta que el DUT entró en contacto físico con el teléfono móvil (distancia = 0 cm).

No se observó interferencia perjudicial en ninguna de las configuraciones de prueba.

Micrófono inalámbrico y estación base. Se realizaron cuatro series de pruebas. En las dos primeras series, la estación base (receptor) se situó a 30 cm del cargador y el micrófono (transmisor) se fue desplazando a distintas distancias de prueba. El DUT funcionaba a 918 MHz para la primera prueba y a 917,5 MHz para la segunda. En las series tercera y cuarta, el micrófono (transmisor) se situó a 30 cm del cargador y el micrófono (transmisor) y la estación base (receptor) se fue desplazando a distintas distancias de prueba. Una vez más, las pruebas se efectuaron una vez con el DUT a 918 MHz y luego otra vez a 917,5 MHz.

El micrófono no experimentó interferencia perjudicial apreciable salvo cuando funcionaba a 917,65 MHz; cuando el DUT funcionaba a 918 MHz, sólo experimentó interferencia perjudicial cuando el micrófono estaba a menos de 30 cm del DUT.

Audífono. Se realizaron cuatro series de pruebas. En las dos primeras series, el transmisor se situó a 30 cm del cargador y el receptor se fue desplazando a distintas distancias de prueba. El DUT funcionaba a 918 MHz para la primera prueba y a 917,5 MHz para la segunda. En las series tercera y cuarta, el receptor se situó a 30 cm del cargador y el transmisor se fue desplazando a distintas distancias de prueba. Una vez más, las pruebas se efectuaron una vez con el DUT a 918 MHz y luego otra vez a 917,5 MHz.

Las pruebas mostraron que el audífono no fue afectado por el DUT debido al desplazamiento de frecuencia entre los dos dispositivos.

Lector RFID. Para el primer dispositivo, se realizaron barridos a 903,250; 904,250; 915,250; 915,750; 920,250; 926,750; y 927,250 MHz. El *software* se configuró para transmitir a 30 dBm y recibir a 0 dBm. El marcador RFID se situó a 30 cm del DUT, para funcionar a las frecuencias de 918 MHz y luego a 917,5 MHz. El segundo lector se configuró para efectuar un barrido a 865,00; 866,00; 867,00; y 868,00 MHz. Se utilizaron ajustes por defecto para las pruebas. El marcador RFID se situó a 30 cm del DUT, para funcionar a la frecuencia de 918 MHz.

Los resultados muestran que los dispositivos RFID que funcionan sin que se produzca una degradación significativa a distancias de separación superiores a 30 cm.

Nodo inteligente con pulsador. El nodo inteligente y el pulsador se utilizaron con las configuraciones por defecto, y el nodo inteligente se situó a 30 cm del DUT. Los resultados demostraron que el nodo inteligente con pulsador funcionaba sin degradación en todas las configuraciones evaluadas.

3.3 Estudio C (917-920 MHz, 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz)

El Estudio C contiene un resumen del estudio realizado en Japón sobre la nueva reglamentación de la tecnología TIP por haces en las bandas 917-920 MHz, 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz. El Ministerio del Interior y Comunicaciones (MIC) de Japón enmendó las ordenanzas ministeriales pertinentes en mayo de 2022 para conceder licencias de «estaciones de radiocomunicaciones interiores» para ciertos tipos de dispositivos TIP por haces. La «estación de radiocomunicaciones interiores» es un tipo existente de estación que no está definida en el RR pero que está contemplada en reglamentos nacionales. En enero de 2022 se creó una nueva organización denominada JWPT (Consejo de coordinación para la transferencia inalámbrica de potencia de Japón) destinada a la coordinación operativa a fin de evitar la interferencia perjudicial entre la TIP por haces y otros servicios de radiocomunicaciones. El MIC examina las solicitudes de licencias para «estaciones de radiocomunicaciones interiores» de TIP basándose en los resultados de la coordinación operativa.

3.3.1 Bandas de frecuencias y servicios y sistemas de radiocomunicaciones existentes considerados en el estudio

En los Cuadros 4, 5 y 6 se enumeran respectivamente los sistemas de radiocomunicaciones existentes y los servicios adyacentes o incluidos en las bandas 917-920 MHz, 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz, que se consideraron en el estudio.

CUADRO 4

**Servicios y sistemas de radiocomunicaciones en la banda 917-920 MHz
considerados en el estudio**

Sistema	Frecuencia (MHz)	Criterios de protección	Referencias
Servicio MCA digital	930-940 (enlace ascendente)	-108,8 dBm/MHz (en la banda) -51 dBm (fuera de banda)	ARIB ⁽¹⁾ STD-T85 (Japón)
	940-945 (enlace descendente)		
Servicio MCA avanzado	895-900 (enlace ascendente)	-110,8 dBm/MHz (en la banda) -44 dBm (fuera de banda, separación de 12,5 MHz)	3GPP TS36 104 v8.3.0 (2008-9)
	850-860 (enlace descendente)		
LTE-A (banda 8)	900-915 (enlace ascendente)	-110,8 dBm/MHz (en la banda) -44 dBm (fuera de banda, separación de 12,5 MHz)	3GPP TS36 104 v8.3.0 (2008-9)
	945-960 (enlace descendente)		
RFID (pasiva)	916,7-923,5	-81 dBm/MHz (en la banda) -30 dBm (fuera de banda, separación de 2 MHz)	ARIB STD-T106 ARIB STD-T107 (Japón)
RFID (activa)	915,9-929,7	-127 dBm/MHz (en la banda) -80 dBm (fuera de banda)	ARIB STD-T108 (Japón)
Radioastronomía	1 400-1 427 MHz	-197,4 dBm/MHz	Rec. UIT-R RA.769-2

⁽¹⁾ Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones (<https://www.arib.or.jp/english/>)

CUADRO 5

**Sistemas y servicios de radiocomunicaciones en la banda 2 410-2 486 MHz
considerados en el estudio**

Sistema	Frecuencia (MHz)	Criterios de protección	Referencias
LAN inalámbrica	2 400-2 497	-92 dBm (cocanal) -66 dBm (canal adyacente), -50 dBm (canal adyacente alterno)	IEEE Std.802.11-2016
Radiocomunicaciones en locales	2 400-2 483,5	-98 dBm (incluida la ganancia de antena de 11 dBi)	ARIB RCR STD-1 ARIB RCR STD-29 (Japón)
Sistema móvil no tripulado de transmisión de imágenes (sistema inalámbrico para drones y otros vehículos no tripulados)	2 483,5-2 494	-98 dBm (cocanal) -72 dBm (canal adyacente), -56 dBm (canal adyacente alterno) (incluida la ganancia de antena de 6 dBi)	Informe sobre el Aviso MIC N° 2034 (Japón)
Servicio móvil por satélite geostacionario	2 500-2 535	-124,9 dBm/MHz (en la banda) -41 dBm (fuera de banda, separación de 10-25 MHz)	Informe sobre el Aviso MIC N° 2032 (Japón)
Servicio móvil por satélite no geostacionario	2 483,55-2 500	-119,4 dBm/MHz	Informe sobre el Aviso MIC N° 82 (Japón)
Servicio de radiodifusión: captura en el terreno (FPU)	2 330-2 370	-102 dBm/MHz (enlace ascendente de retransmisión móvil)	Informe sobre el Aviso MIC N° 2024 (Japón)
Radioastronomía	2 695	-187 dBm/MHz	Rec. UIT-R RA.769-2
Servicio de aficionados	2 400-2 450	-110,83 dBm/MHz	Requisito JARL ⁽¹⁾

⁽¹⁾ La Liga de Radioaficionados de Japón, Inc. (<https://www.jarl.org/English/0-2.htm>)

CUADRO 6

**Sistemas y servicios de radiocomunicaciones en la banda 5 738-5 766 MHz
considerados en el estudio**

Sistema	Frecuencia (MHz)	Criterios de protección	Referencias
LAN inalámbrica (W56)	5 470-5 730	-63 dBm (canal adyacente), -47 dBm (canal adyacente alterno)	IEEE Std.802.11-2016
Comunicación especializada de corto alcance (CECA)	5 770-5 850	-42 dBm (clase 2: rechazo de respuesta en ráfaga), -100 dBm (clase 2)	ARIB STD-T75 (Japón)
Servicio de radiodifusión: enlace estudio a transmisor (STL) y enlace transmisor a transmisor (TTL)	5 850-5 925	-101,6 dBm (nivel de ruido térmico equivalente)	ARIB STD-T75 (Japón)
Servicio de radiodifusión: sistemas de captura en el terreno (FPU) y enlace transmisor a estudio (TSL)	5 850-5 925	-89,4 dBm (estación retransmisora fija de FPU)	ARIB STD-B33 (Japón)
Sistema móvil no tripulado de transmisión de imágenes (sistema inalámbrico para drones y otros vehículos no tripulados)	5 650-5 725	-98 dBm (dentro de banda), -72 dBm (canal adyacente), -56 dBm (canal adyacente alterno)	Informe sobre el Aviso MIC N° 2034 (Japón)
Radar meteorológico	5 250-5 372,5	-120 dBm (ruido), -40 dBm (CW)	Rec. UIT-R M.1849-2
Radioastronomía	4 700-5 140, 3 000-14 000	-187 dBm/MHz	Rec. UIT-R RA.769-2
Servicio de aficionados	5 650-5 825	-110,83 dBm/MHz	Requisito JARL

3.3.2 Especificaciones y parámetros utilizados en el estudio

Las especificaciones previstas y los parámetros del sistema utilizados para el estudio se muestran en el Cuadro 7 y en las Figs. 7 a 9.

CUADRO 7

Especificaciones previstas de los sistemas de TIP por haces comerciales considerados

	Sistema 4 Banda de 4 920 MHz	Sistema 5 Banda de 2,4 GHz	Sistema 6 Banda de 5,7 GHz
Potencia de salida de la antena del transmisor	1 W (30) dBm	15 W (41,8 dBm)	32 W (45,0 dBm)
Canales de frecuencia	918,0 MHz, 919,2 MHz (2 canales)	2 412, 2 437, 2 462, 2 484 MHz (4 canales)	5 740, 5 742, 5 744, 5 746, 5 748, 5 750, 5 752, 5 758, 5 764 MHz (9 canales)
p.i.r.e.	36 dBm máx.	65,8 dBm máx.	70,0 dBm máx.
Tolerancia del ancho de banda ocupado	200 kHz	No especificado	No especificado
Ganancia directiva de la antena del transmisor	6,0 dBi	24,0 dBi	25,0 dBi
Emplazamiento y altura de la antena del transmisor	Zona en interiores localizada	Zona en interiores, fijado al techo orientado hacia abajo	Zona en interiores, fijado al techo orientado hacia abajo
	2,5 m por encima del suelo	5,0 m por encima del suelo	4,6 m por encima del suelo
Diagrama directivo de la antena del transmisor	Figura 7	Figura 8	Figura 9
Entorno de utilización	Interiores	Interiores	Interiores
	Entorno controlado de TIP y/o entorno general de TIP	Entorno controlado de TIP	Entorno controlado de TIP
Modulación	No especificado	CW	CW
Pérdidas por penetración en edificios	10,0 dB	14,0 dB	16,0 dB

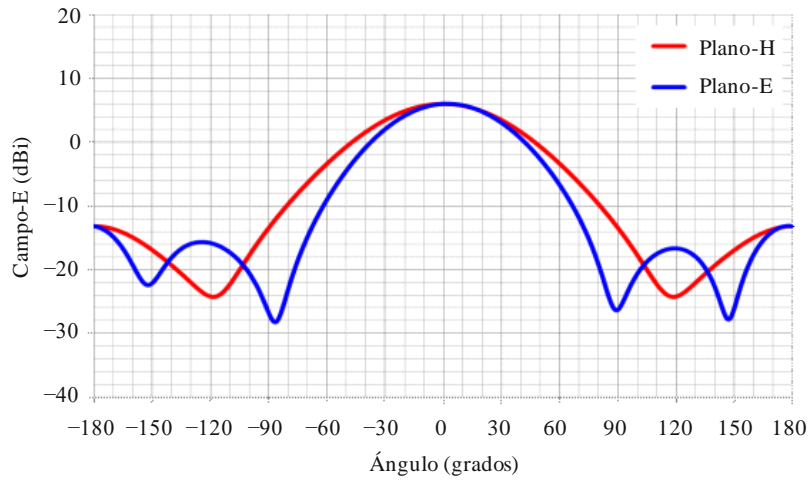
Se definen el «entorno controlado de TIP» y el «entorno general de TIP». El término «entorno controlado de TIP» se define como:

- zona interior y zona cerrada;
- entorno en el que se pueden eliminar los límites previstos en las directrices japonesas de exposición radioeléctrica en una zona controlable, y/o el gestor/administrador puede interrumpir la transferencia de potencia de los sistemas TIP por haces cuando no se puedan cumplir los límites de las directrices japonesas de exposición a las radiocomunicaciones en una zona controlable;
- entorno en que el gestor/administrador puede gestionar y controlar tanto los sistemas TIP por haces como los servicios de radiocomunicaciones existentes a fin de evitar o reducir la interferencia perjudicial causada por los sistemas TIP por haces.

El «entorno general de la TIP» se define como el otro entorno en el que no pueden cumplirse las condiciones anteriores.

FIGURA 7

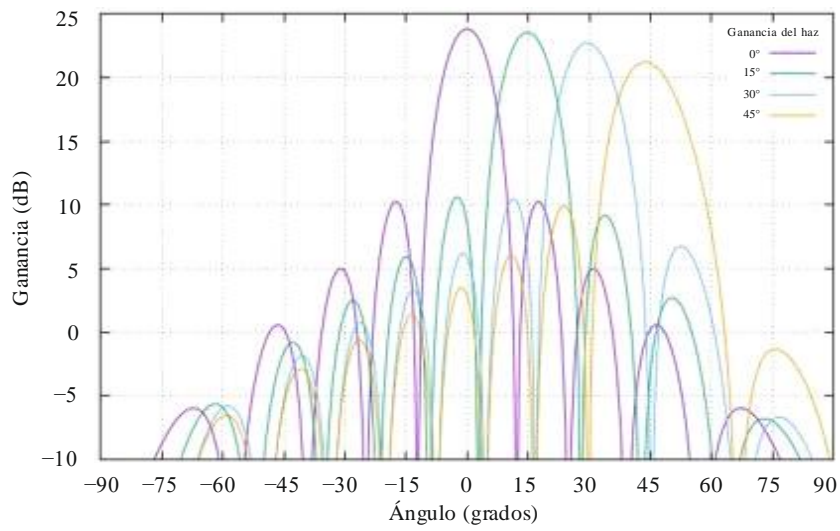
Diagrama directivo de la antena transmisora en la banda de 920 MHz



Informe SM.2505-7

FIGURA 8

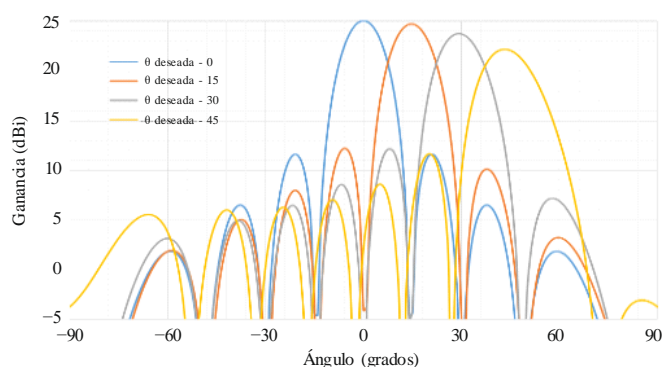
Diagrama directivo de la antena transmisora en la banda de 2,4 GHz



Informe SM.2505-8

FIGURA 9

Diagrama directivo de la antena transmisora en la banda de 5,7 GHz



Informe SM.2505-9

3.3.3 Consideración de las pérdidas por penetración en edificios

El estudio se refiere a las pérdidas debidas a la penetración en edificios, definidas en la Sección 3 de la Recomendación UIT-R P.2109-1.

El valor de las pérdidas por penetración en el edificio depende del material del muro exterior. En la Recomendación UIT-R P.2109-1 se muestran dos tipos de edificios. Uno de ellos es el «térmicamente eficiente» que utiliza un blindaje térmico y material aislante contra el calor con características de reflexión de ondas electromagnéticas elevadas. El otro es el «tradicional», que no utiliza ninguno de los materiales anteriores. El valor mediano de las pérdidas, L_h , puede calcularse mediante la fórmula que se indica a continuación. Además, las pérdidas también dependen de la frecuencia.

$$L_h = r + s \log(f) + t(\log(f))^2$$

donde r , s y t son las constantes indicadas en el Cuadro 8, y f es la frecuencia (GHz). El Cuadro 9 muestra los resultados del cálculo del valor mediano de la pérdida para las frecuencias representativas de las tres bandas de frecuencias utilizadas en los sistemas de transmisión inalámbrica de potencia a través de haces radioeléctricos.

De acuerdo con la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R P.2109-1, el tipo de edificio «térmicamente eficiente» muestra grandes pérdidas, unos 15 dB superiores a las del tipo «tradicional», pero es poco probable que se utilicen materiales de construcción térmicamente eficaces para todos los muros exteriores de los edificios. El examen se basa en el valor del tipo «tradicional».

CUADRO 8

Coefficientes del modelo utilizados para el cálculo de las pérdidas por penetración en edificios en la Recomendación UIT-R P.2109-1

Parámetro	r	s	t
Tradicional	12,64	3,72	0,96
Térmicamente eficiente	28,19	-3,00	8,48

CUADRO 9

Resultados del cálculo de la pérdida mediana para las tres bandas de frecuencias utilizadas en la TIP por haces

Parámetro	920 MHz	2 450 MHz	5 750 MHz
<i>L_h</i> (tradicional)	12,5 dB	14,2 dB	16,0 dB
<i>L_h</i> (térmicamente eficiente)	28,3 dB	28,3 dB	30,8 dB

CUADRO 10

Pérdidas por penetración en edificios utilizadas en los estudios sobre los efectos de la TIP por haces

Parámetro	920 MHz	2,4 GHz	5,7 GHz
Pérdidas por penetración en los muros	10,0 dB	14,0 dB	16,0 dB

3.3.4 Casos de uso y condiciones para los estudios sobre los efectos de la TIP por haces

En el Cuadro 11 se muestran los casos de uso y las condiciones para los estudios sobre los efectos de los sistemas TIP por haces considerados.

El Sistema 4 se utiliza principalmente en TIP para redes de sensores inalámbricas. El Sistema 4 se utiliza en entornos de interiores y controlados en los que los equipos de TIP están controlados por administradores de fábricas, asilos, etc. El consumo de potencia del sensor es igual o inferior a varios cientos de μ W.

El Sistema 5 y el Sistema 6 se utilizan principalmente en TIP para pequeñas pantallas como suplemento de la aplicación del Sistema 4. El Sistema 5 y el Sistema 6 se utilizan en entornos interiores y controlados en los que los equipos de TIP están controlados por administradores de fábricas, plantas industriales, almacenes, etc. La transmisión de potencia a los dispositivos receptores requiere hasta varios vatios.

CUADRO 11

Casos de uso y condiciones para los sistemas de TIP por haces

Sistema TIP por haces	Sistema 4 Banda de 920 MHz	Sistema 5 Banda de 2,4 GHz	Sistema 6 Banda de 5,7 GHz
Entorno de utilización	Fábrica (interior), asilo, etc.	Fábrica (interior), planta (interior), almacén, etc.	Fábrica (interior), planta (interior), almacén, etc.
Aplicación	Carga y alimentación eléctrica de redes de sensores	Carga y alimentación eléctrica de sensores, pantallas y dispositivos de información	Carga y alimentación eléctrica de sensores, pantallas y dispositivos de información
Número de dispositivos receptores por transmisor TIP	5 a 10 dispositivos (recepción simultánea)	1 a varias decenas de dispositivos (recepción sucesiva o secuencial)	1 a varias decenas de dispositivos (recepción sucesiva o secuencial)
Gama de potencia	Varios μ W a varios cientos de μ W	50 mW a 2 W	Varios mW a varios cientos de mW

CUADRO 11 (*fin*)

Sistema TIP por haces	Sistema 4 Banda de 920 MHz	Sistema 5 Banda de 2,4 GHz	Sistema 6 Banda de 5,7 GHz
Distancia de transferencia de potencia	Inferior a 5 m	Inferior a 10 m	Inferior a 10 m
Coexistencia con otros sistemas inalámbricos	Factible. Se han de tomar medidas de reducción de la interferencia y de protección radioeléctrica adecuadas.	Factible. Se han de tomar medidas de reducción de la interferencia y de protección radioeléctrica adecuadas.	Factible. Se han de tomar medidas de reducción de la interferencia y de protección radioeléctrica adecuadas.
Transferencia de energía en presencia de existen cuerpos humanos	Transferencia posible a condición de que se cumplan los límites de las directrices nacionales en materia de exposición radioeléctrica.	Desactivado	Desactivado

3.3.5 Resultados del estudio

Para los sistemas TIP cuyo funcionamiento se prevé en la banda de 920 MHz, los parámetros de sistema supuestos para el estudio de los efectos (véase el Cuadro 7) son conformes con el Reglamento de Radiocomunicaciones, incluidos los intervalos de transmisión para los sistemas RFID que funcionan actualmente en la misma gama de frecuencias. Las distancias de separación mínimas se derivaron de las características de la TIP por haces para el caso en que es necesario regular la distancia de separación geográfica. Además, se realizó una simulación Monte-Carlo a nivel de sistema para evaluar la probabilidad de interferencia causada por la TIP por haces a las redes de comunicaciones móviles LTE y MCA.

Para los sistemas TIP por haces destinados a funcionar en las bandas de 2,4 GHz y 5,7 GHz, el estudio se llevó a cabo con los parámetros de sistema (véase el Cuadro 7) a fin de determinar los requisitos técnicos y las condiciones de funcionamiento necesarios de acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones actual, incluidas la atribución de frecuencias y las condiciones de funcionamiento. A continuación se resumen los resultados de los estudios realizados en las bandas de 2,4 GHz y de 5,7 GHz:

- 1) Se adoptará un mecanismo de evaluación del canal despejado (CCA) para la coexistencia con sistemas WLAN y/o estaciones radioeléctricas de baja potencia especificadas. Resultó que la calidad de funcionamiento del sistema WLAN, como el caudal, puede mantenerse sin interferencia perjudicial añadiendo un mecanismo de CCA.
- 2) Para la radioastronomía, los radares meteorológicos y los servicios de radiobaliza se especificaron distancias mínimas de separación.
- 3) Para los sistemas de radiodifusión, los sistemas de comunicaciones móviles por satélite y el sistema de comunicaciones especializadas de corto alcance (CECA), se especificaron distancias de separación mínimas. Además, se procedió a una coordinación operacional cuando la TIP por haces causaba interferencia perjudicial.

- 4) En el caso de los sistemas móviles no tripulados de transmisión de imágenes (es decir, un sistema de comunicación inalámbrico para drones y otros vehículos no tripulados), los estudios realizados suponiendo casos prácticos de utilización han demostrado que la compartición del espectro sin causar efectos perjudiciales es posible gracias a la coordinación operacional necesaria entre los sistemas TIP y los sistemas móviles no tripulados de transmisión de imágenes.
- 5) Para los servicios de radioaficionados, se especificaron condiciones de instalación TIP por haces para la compartición de espectro. Además, los sistemas TIP por haces no deben utilizar la banda de frecuencias que utilizan los sistemas Tierra-Luna-Tierra (EME) y los sistemas de repetidores. Se llevó a cabo una coordinación operacional entre los sistemas TIP y los sistemas de radioaficionados.

Además, se definió una norma completa de gestión de la TIP por haces en relación con el entorno de funcionamiento de la TIP y los CEM de radiofrecuencias TIP, que puede aplicarse a casos de uso específicos que utilizan las bandas de frecuencias para cumplir las Directrices de protección contra la radiación radioeléctrica. Puede encontrarse más información al respecto en el Anexo 1. Así pues, se determinaron los requisitos técnicos y las condiciones de funcionamiento necesarios para no causar efectos perjudiciales en los sistemas y servicios existentes.

A continuación se presentan los resúmenes de cada estudio por sistema titular.

3.3.5.1 917-920 MHz

(1) Servicio MCA digital

El estudio se basó en a las metodologías de examen y los resultados del anterior estudio de coexistencia, cuando se introdujo el sistema RFID en la banda 917-920 MHz. Se supuso que la TIP por haces en esta banda tenía prácticamente las mismas condiciones técnicas de evaluación que la RFID. En las condiciones previstas, la posibilidad de menoscabo es extremadamente baja y se prevén pérdidas de propagación adicionales debidas a las pérdidas por entrada en los edificios. Entre las condiciones se incluyen la distancia de separación, el ajuste de las condiciones de configuración y las medidas para reducir las interferencias.

(2) Servicio MCA avanzado

Habida cuenta de la directividad vertical, la estación de control (estación base: enlace descendente) puede compartir la TIP.

La estación móvil (enlace ascendente) puede compartirse cuando ambos sistemas no existen en la misma habitación, como muestra la simulación de Monte Carlo utilizando la fórmula de Hata ampliada (300 m o menos).

En el caso de la misma sala, la mejora necesaria es de unos 10 dB, pero puede compartirse porque se espera que sea atenuada por los obstáculos y por los cuerpos humanos presentes en la sala.

Sin embargo, en relación con la utilización del sistema TIP en la misma habitación, se informará a los usuarios de TIP de la posibilidad de interferencia a las estaciones MCA.

(3) LTE-A (banda 8)

El sistema TIP puede compartirse en un entorno general TIP aun cuando no haya límite de tiempo de transmisión. Por otro lado, el sistema TIP puede compartirse en el entorno de gestión limitando el tiempo de transmisión (se detiene la transmisión durante 50 ms cada 4 segundos de la transmisión).

(4) RFID (pasiva)

El sistema TIP y el sistema RFID pueden compartir el mismo canal si se garantiza una distancia de separación de unos 6 m. Si no se puede garantizar la distancia de separación, estos sistemas pueden coexistir cambiando el canal de transmisión de la TIP y/o el canal RFID, o bien si están separados por una pared.

(5) RFID (activa)

Se supone que el sistema RFID pasivo coexiste con el sistema RFID activo. El sistema TIP puede coexistir con el sistema RFID activo debido a que la especificación del sistema TIP es casi la misma que la del interrogador RFID pasivo.

(6) Radioastronomía

Con el modelo de pérdidas en el espacio libre se calculó una distancia de separación mínima a la misma altitud de 37,5 km utilizando un nivel de emisiones no esenciales medido de $-60,5$ dBm/MHz. El sistema TIP estará situado fuera de la zona restringida respetando una distancia de separación mínima con respecto a una estación de radioastronomía. Cuando un sistema TIP o una estación de radioastronomía estén ubicadas a distintas altitudes, la distancia de separación mínima será diferente de la calculada anteriormente.

3.3.5.2 2 410-2 486 MHz

En el Cuadro 1 se muestra un ejemplo de las características radioeléctricas de la TIP por haces (no ICM).

(1) LAN inalámbrica

La simulación utilizando el mecanismo CCA sobre el sistema TIP por haces se llevó a cabo para estudiar la repercusión sobre los dispositivos Wi-Fi ubicados fuera del entorno controlado de la TIP. El declive del caudal de estos dispositivos Wi-Fi podría suprimirse con los parámetros adecuados del mecanismo de CCA, en comparación con el caso en que se utilizase otro punto de acceso Wi-Fi en la misma ubicación en lugar de la TIP por haces en el entorno controlado de la TIP. Deben ajustarse las direcciones de las antenas para que no se enfrenten a fin de evitar dañar el dispositivo.

(2) Radiocomunicaciones en locales

En el entorno controlado de TIP por haces el funcionamiento de las radiocomunicaciones en locales puede ser gestionado y controlado por el mismo operador que la TIP por haces. Además, en un radio de 84,9 m desde la ubicación de la TIP por haces, puede suprimirse la transmisión con el mecanismo CCA cuando las radiocomunicaciones en locales están transmitiendo. Deben ajustarse las direcciones de las antenas para que no se enfrenten a fin de evitar dañar el dispositivo.

(3) Sistema móviles no tripulados de transmisión de imágenes

La distancia de separación entre la TIP por haces y el sistema móvil no tripulado de transmisión de imágenes en exteriores se calculó con el modelo Hata ampliado y es de 3,6 km con configuración cocanal. Sin embargo, como el sistema suele funcionar fuera de las ciudades y están previstos los tiempos y lugares de utilización, la interferencia perjudicial puede evitarse mediante un procedimiento de coordinación.

(4) Servicio móvil por satélite geoestacionario

La distancia de separación se calculó con el caso más desfavorable de interferencia fuera de banda, donde el sentido de directividad de la antena del receptor del SMS OSG estaba perfectamente alineado con el sentido del haz de la TIP del haz. Es de 30 m en la parte septentrional de Japón. Es posible evitar la interferencia perjudicial con una distancia de separación y, de ser necesario, un procedimiento de coordinación. De ser necesario, se lleva a cabo la coordinación operacional entre los sistemas TIP y los sistemas de comunicaciones móviles por satélite.

(5) Servicio móvil por satélite no geoestacionario

La distancia de separación se calculó para la interferencia en banda con el modelo de Hata ampliado y es de 0,96 km. Dado que el servicio móvil por satélite no geoestacionario se utiliza generalmente en emplazamientos donde no llega el sistema móvil celular en Japón y posiblemente no existe la TIP por haces, puede evitarse la interferencia perjudicial. De ser necesario, se lleva a cabo la coordinación operacional entre los sistemas TIP y los sistemas de comunicaciones móviles por satélite.

(6) Servicio de radiodifusión: captura en el terreno (periodismo electrónico móvil)

La distancia de separación se calculó para diversas hipótesis y sistemas y, con la directividad de la antena, no causa interferencia perjudicial si se satisface una distancia de separación de 10 m fuera del entorno controlado de TIP. Los sistemas TIP por haces deben respetar las condiciones de distancia de separación e instalación necesarias.

(7) Radioastronomía

Se calculó la distancia de separación para cada estación de radioastronomía que funciona en 2 695 MHz, teniendo en cuenta las pérdidas por penetración en los edificios. La distancia de separación mínima a la misma altitud es de 5,7 km o de 1,6 km, en función del entorno del emplazamiento. Para evitar la interferencia perjudicial a una estación de radioastronomía, se establecerá una zona limitada con estas distancias de separación en torno a la estación de radioastronomía. La antena TIP por haces está instalada en el techo y radia principalmente hacia abajo. El límite de radiación horizontal se define en términos de la p.i.r.e. Por este motivo, la radiación horizontal desde el interior del edificio hacia el exterior será el caso más desfavorable cuando tanto una estación TIP como una estación de radioastronomía estén a la misma altitud.

Cuando la altitud de la estación de radioastronomía es superior a la de la estación TIP, la ganancia de directividad disminuye y la distancia de separación se reduce. Por otro lado, cuando la altitud de la estación de radioastronomía es inferior a la de la estación TIP, la ganancia de directividad aumenta y la distancia de separación será mayor.

(8) Estudio de los efectos para el servicio de aficionados

La distancia de separación se calculó considerando la pérdida debida a la ocupación del suelo. Dos de las cuatro frecuencias de TIP por haces comparten canal con el servicio de aficionados, lo que hace necesaria una distancia de separación de 4,4 km con respecto a las antenas de aficionados de 18 dBi. Considerando la pérdida directiva de la antena y utilizando la banda adyacente, si es necesario, puede evitarse la interferencia perjudicial. De ser necesario, se lleva a cabo la coordinación operacional entre los sistemas TIP y los sistemas del servicio de aficionados.

3.3.5.3 5 738-5 766 MHz

(1) LAN inalámbrica

Se realizó una simulación para estudiar los efectos del sistema TIP por haces en el sistema Wi-Fi que funciona fuera del entorno controlado de la TIP. Cuando se aplicó al sistema TIP por haces un mecanismo CCA con los parámetros adecuados, el efecto sobre el caudal Wi-Fi fue equivalente a cuando existe otro sistema Wi-Fi en lugar del sistema TIP por haces. En el entorno controlado de la TIP, a condición de que ambos sistemas estén controlados por el mismo operador, la detección de portadora funciona bien. Deben ajustarse las direcciones de las antenas para que no se enfrenten a fin de evitar dañar el dispositivo.

(2) Comunicación especializada de corto alcance (CECA)

Se ha realizado un estudio sobre la distancia de separación para el caso más desfavorable, en el que la directividad de la antena del sistema CECA se adapta perfectamente a la dirección del haz del sistema TIP por haces. La distancia de separación calculada con el modelo de pérdidas en el espacio libre es de 2,6 km desde el sistema TIP con haz a la estación base CECA Clase 2. Cabe esperar que las pérdidas de propagación adicionales por penetración en los edificios y las pérdidas de directividad de la antena CECA contribuyan a evitar la interferencia perjudicial.

(3) Servicio de radiodifusión: enlace estudio a transmisor (STL) y enlace transmisor a transmisor (TTL)

La distancia de separación se calculó con el modelo de pérdidas en el espacio libre y es de 836 m para la señal de ruido fuera de banda desde el haz TIP a la estación base STL/TTL. Cuando la diferencia de altura es superior a 5 m, cabe esperar que una pérdida de directividad de la antena STL/TTL de 20 dB contribuya a evitar la interferencia perjudicial.

(4) Servicio de radiodifusión: sistemas de captura en el terreno (FPU) y enlace transmisor a estudio (TSL)

Se calculó que la distancia de separación entre la TIP por haces y la estación base FPU debe ser de 80 m. Cuando la diferencia en altura es superior a 25 m, cabe esperar que una pérdida de directividad de la antena FPU de 14 dB contribuya a evitar la interferencia perjudicial.

La distancia de separación se calculó con el modelo de pérdidas en el espacio libre y es de 1 485 m para la señal de ruido fuera de banda desde el sistema TIP por haces a la estación base TSL. Cuando la diferencia en altura es superior a 7 m, cabe esperar que una pérdida de directividad de la antena STL/TTL de 20 dB contribuya a evitar la interferencia perjudicial.

(5) Sistema móvil no tripulado de transmisión de imágenes

La distancia de separación se calculó con el modelo de pérdidas en el espacio libre y es de 23 km en el mismo canal y de 185 m en el canal adyacente alternativo desde el sistema TIP por haces al sistema móvil no tripulado de transmisión de imágenes en exteriores. Sin embargo, como el sistema suele funcionar fuera de las ciudades y están previstos los tiempos y lugares de utilización, la interferencia perjudicial puede evitarse mediante un procedimiento de coordinación.

(6) Radar meteorológico

La distancia de separación se calculó con el modelo de pérdidas en el espacio libre y es de 3 308 m para la señal de ruido fuera de banda desde el sistema TIP por haces a cada emplazamiento de radar meteorológico. Para evitar la interferencia perjudicial, debe mantenerse la distancia de separación necesaria.

(7) Radioastronomía

Con el modelo de pérdidas en el espacio libre se calculó que la distancia de separación mínima a la misma altitud es de 1,1 km o de 1,7 km para estaciones de radioastronomía a 4 995 MHz y 10 650 MHz. Para evitar la interferencia perjudicial a una estación de radioastronomía, debe respetarse la distancia de separación mínima. La antena de la TIP por haces está instalada en el techo y radia principalmente hacia abajo. El límite de radiación horizontal se define en términos de la p.i.r.e. Por esta razón, la radiación horizontal desde dentro del edificio hacia el exterior será el caso más desfavorable.

Cuando la altitud de la estación de radioastronomía es superior a la de la estación TIP, la ganancia de directividad disminuye y la distancia de separación se reduce. Por otro lado, cuando la altitud de la estación de radioastronomía es inferior a la de la estación TIP, la ganancia de directividad aumenta y la distancia de separación será mayor.

(8) Estudio de los efectos para el servicio de aficionados

La distancia de separación se calculó considerando la pérdida debida a la ocupación del suelo. La distancia de separación calculada con el modelo de pérdidas en el espacio libre es de 1,5 km y 262 m para antenas de radioaficionados de 30 dBi y 15 dBi, respectivamente. La directividad de la antena y el procedimiento de coordinación pueden evitar la interferencia perjudicial. Deberá efectuarse una coordinación operacional entre los sistemas TIP y los sistemas de radioaficionados.

3.4 Estudio D (2 483,5-2 500 MHz)**3.4.1 Descripción general**

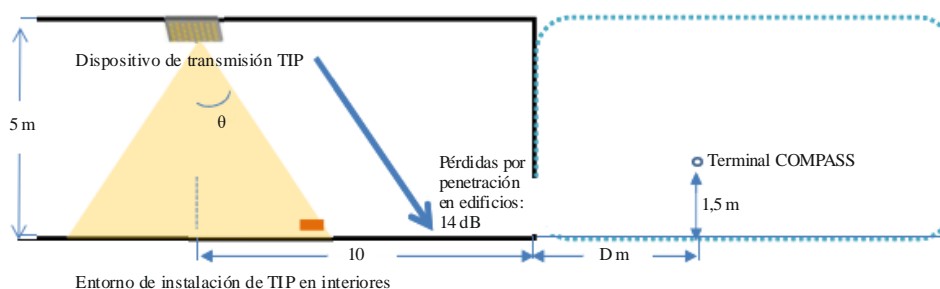
La banda de frecuencias 2 483,5-2 500 MHz se ha utilizado para sistemas del SF, el SM, el SMS, etc., El Estudio D, proporcionado por China, muestra la simulación de un análisis de compatibilidad entre la TIP por haces y el sistema del SMS OSG COMPASS. Los parámetros pertinentes del sistema SMS OSG COMPASS se definen en la Recomendación UIT-R M.1184 – Características técnicas de los sistemas móviles por satélite en las bandas de frecuencias inferiores a 3 GHz para su utilización en el desarrollo de criterios para la compartición para el servicio móvil por satélite (SMS) y otros servicios.

En la Fig. 10 se muestra el caso de simulación correspondiente, donde la TIP por haces se instala en una sala con muros ordinarios sin recubrimiento cortafuegos. Se supone que el transmisor de la TIP por haces está situado por debajo del techo de interior, a 5 m sobre el nivel del suelo. El terminal móvil del SMS OSG COMPASS está situado en el exterior, a 10 m de la región de proyección de la TIP por haces. Cuando el transmisor TIP por haces transmite señales radioeléctricas hacia abajo, las señales penetran en el muro y pueden causar interferencia al terminal móvil del SMS OSG COMPASS.

Utilizando los criterios de protección $I/N = -6$ dB y -10 dB, en este estudio se calcula la distancia de separación de protección entre dicho transmisor TIP por haces y el terminal móvil del SMS OSG COMPASS. Habida cuenta de la falta de parámetros detallados de los dispositivos TIP por haces, el estudio sólo puede implementar los parámetros del Cuadro 12.

FIGURA 10

Casos de TIP por haces con receptor del SMS OSG COMPASS para simulación de interferencia



Informe SM.2505-10

3.4.2 Parámetros utilizados en este estudio

Los parámetros utilizados para la simulación se recogen en el Cuadro 12.

CUADRO 12

Parámetros utilizados en este estudio

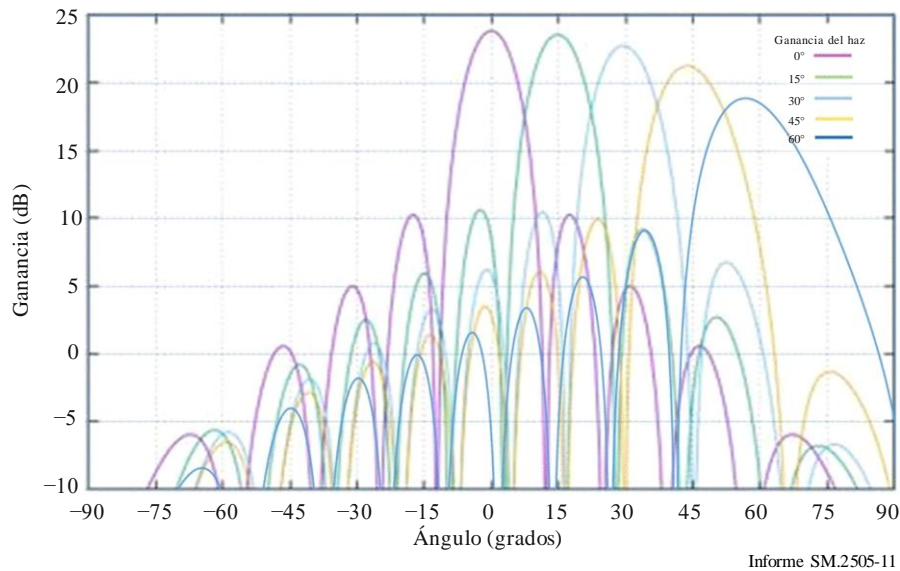
Transmisores TIP por haces	Potencia de salida	15 W (41,8) dBm
	Frecuencia central	2 484 MHz
	Ancho de banda	500 kHz (<i>densidad de potencia</i> = 14,8 dBm/kHz) 10 MHz (<i>densidad de potencia</i> = 31,8 dBm/MHz)
	Emplazamiento y altura de la antena del transmisor	Situado en interiores, fijado al techo y orientado hacia abajo
		5,0 m por encima del suelo
Ganancia de la antena del transmisor	Figura 11 (-5 dBi)	
	Pérdidas debidas a la penetración en edificios	14,0 dB
Receptores del SMS OSG COMPASS	Altura de los receptores	1,5 m
	Frecuencia central	2 491,5 MHz
	Ancho de banda	16,5 MHz
	Temperatura de ruido del terminal	330 K ($N_0 = -113,4142$ dBm/MHz) ($N_0 = -143,4142$ dBm/kHz)
Condiciones de la simulación	Relación interferencia-ruido	-6 dB/-10 dB
	Emplazamiento	Suburbano
	Modelo de propagación	Modelo de Hata $L_{bs} = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - \alpha(h_m) + (44,9 - 6,55 \lg(h_b)) \cdot \log(d) - 5,4 - 2 (\log(f/28))^2$

La Fig. 11 muestra el diagrama de antena del transmisor de TIP. Este diagrama de antena se utiliza en el § 3.3 del Estudio C. Como se muestra en la figura, debido a la utilización de la tecnología de conformación de haces en la TIP, tiene cinco haces con un ángulo con respecto al eje de la antena inferior a 60 grados. Para calcular la distancia máxima de interferencia a los terminales del SMS OSG

COMPASS, este estudio eligió el mismo parámetro que el Estudio C, es decir, se considera principalmente el haz con un ajuste de fase de 60 grados, y el ángulo con respecto al eje de la señal transmitida es próximo a 90 grados cuando se produce la interferencia real (altura de TIP: 5 metros, altura del terminal del SMS: 1,5 metros, la distancia de interferencia máxima entre ambos es superior a 100 metros). Por consiguiente, la ganancia de la antena transmisora puede fijarse en -5 dBi.

FIGURA 11

Diagrama de la antena del transmisor



Informe SM.2505-11

3.4.3 Resultados del estudio

Considerando que el ancho de banda de transmisión de la TIP por haces es de 500 kHz y 10 MHz, respectivamente, las distancias de separación pertinentes pueden determinarse como se muestra en el Cuadro 13. Esta separación oscila entre 820 m y 2 160 m, entre la TIP por haces y el terminal móvil del SMS OSG COMPASS.

Según las descripciones del Informe UIT-R SM.2392, algunos sistemas TIP por haces funcionan en interiores o en exteriores. La situación de interferencia real necesita estudios adicionales caso por caso, a fin de determinar si la distancia de separación es suficiente o no (dado, en particular, que 2 160 m es una distancia de separación complicada de lograr para una situación específica).

También cabe destacar que el resultado de este estudio se basa en los parámetros que figuran en el § 3.4.2, pero aún se desconocen los parámetros de los futuros productos comerciales de la TIP por haces y sus condiciones de implementación. Por consiguiente, también es necesario realizar otros estudios.

CUADRO 13

Distancia de interferencia máxima

TIP por haces Ancho de banda del transmisor	CRITERIOS DE I/N	
	-6 dB	-10 dB
500 kHz	1,72 km	2,16 km
10 MHz	0,82 km	1,03 km

3.5 Estudio E (915-921 MHz)

Se realizaron pruebas sobre los efectos causados por un dispositivo transmisor de carga a distancia (DUT) por ondas radioeléctricas que funciona entre 915 MHz y 921 MHz para demostrar la interoperabilidad con dispositivos y tecnologías inalámbricos que funcionan en la misma banda. El DUT funciona en un solo canal con un ancho de banda inferior a 400 kHz y una máxima potencia media conductiva teórica de 40,0 dBm. El DUT está diseñado para cargar otros dispositivos a una distancia de hasta 300 cm.

Las pruebas se realizaron en dos salas separadas. La primera prueba se realizó en condiciones reales en una sala normal y sobre una mesa de madera donde existían otras señales, como se ilustra en la Fig. 12. La segunda sala era una cámara anecoica, como se describe en el Anexo B.1.2 de ETSI EN 302 208 V3.1.1 (2016-11) y se ilustra en la Fig. 13. Esta cámara anecoica se utilizó para demostrar si los resultados obtenidos en la sala normal se podían reproducir en un entorno de espacio libre y si se producía alguna degradación de la señal debida al ruido ambiental. Las pruebas se realizaron exactamente de la misma manera en las dos salas, como se describe en detalle más adelante. Los resultados de cada una de las pruebas no mostraron discrepancia alguna; así, a continuación sólo se presenta un conjunto de resultados.

FIGURA 12
Configuración de las pruebas en la sala 1, espacio abierto

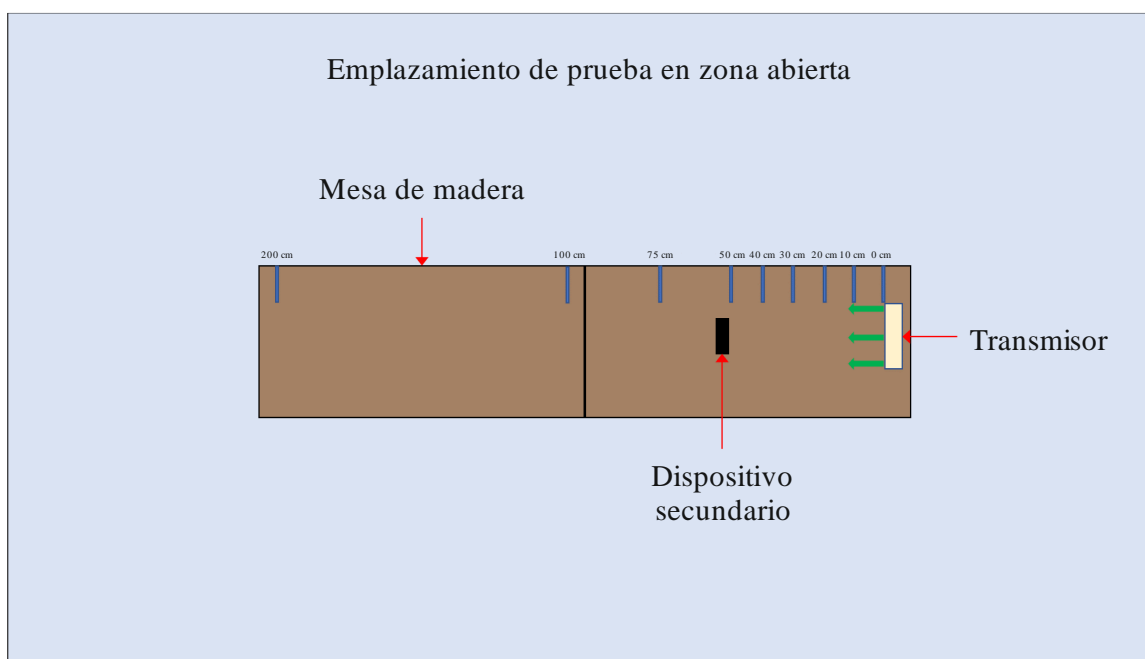
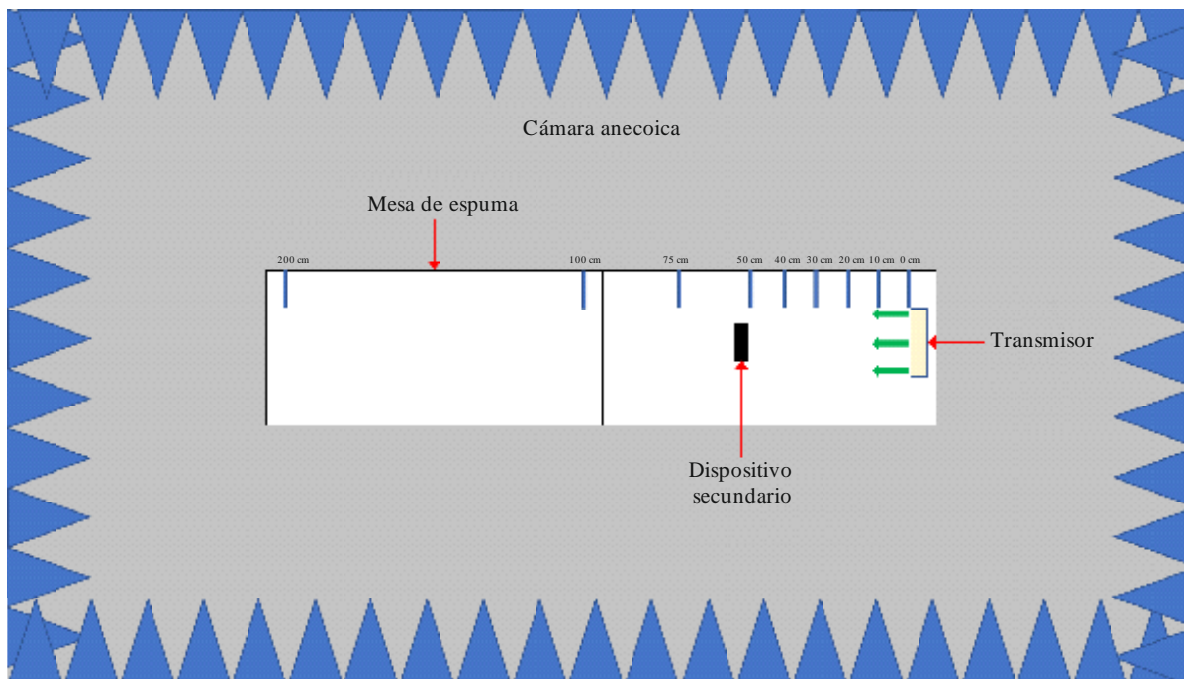


FIGURA 13

Configuración de la prueba en la sala 2, cámara anecoica



Informe SM.2505-13

Las pruebas se realizaron con los siguientes tipos de dispositivos inalámbricos:

CUADRO 14

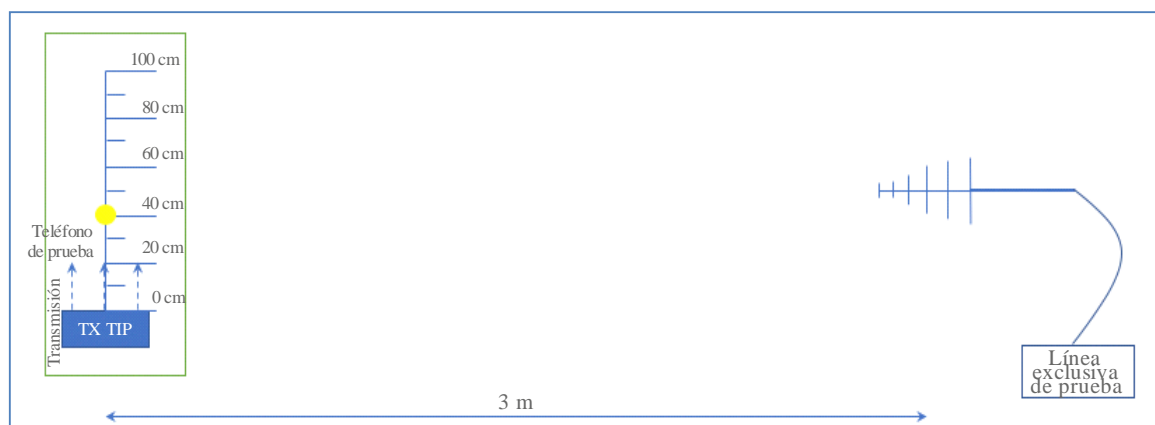
Tipos de dispositivos, frecuencias y distancias utilizados en el Estudio E

Nº	Tipo de dispositivo	Gama de frecuencias (MHz)	Distancias probadas (cm)
1	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
2	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
3	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
4	Teléfono celular	Enlace ascendente: 888,0-915,0 Enlace descendente: 925,2-960,0	0, 10, 20, 30, 40, 50, 70, 100
5	Micrófono inalámbrico y estación base	904,45-927,45 Seleccionable por el usuario	0, 10, 30, 100, 200
6	Audífono	863,25-864,75 Seleccionable por el usuario	0, 10, 30, 100, 200
7	Audífono	904,65-926,85 Seleccionable por el usuario	0, 10, 30, 100, 200
8	Lector RFID	903-927 Por saltos	0, 10, 30, 100, 200
9	Lector RFID	865-868 Por saltos	0, 10, 30, 100, 200

Teléfono celular. El DUT se situó a 100 cm de un teléfono móvil simulando un entorno de escritorio. La antena celular, conectada por cable al simulador de estación base, estaba situada a 3 m del DUT y del teléfono móvil. Se efectuó una llamada desde el teléfono móvil a la línea dedicada de prueba en la banda GSM 900, a una frecuencia específica. Una vez establecida la comunicación, el DUT se encendió a 917,5 MHz. Se verificó la señal de carga con un analizador de espectro situado en la zona de prueba. Se supervisó la llamada durante 60 segundos. Transcurrido ese tiempo, se registró el estado de la llamada (llamada en curso o llamada interrumpida). La distancia entre el DUT y el teléfono móvil se fue disminuyendo gradualmente hasta que el teléfono móvil entró en contacto físico el DUT, es decir, distancia medida de 0 cm. Las pruebas se realizaron en tres canales diferentes.

FIGURA 14

Configuración de la prueba de efectos sobre el teléfono celular



Informe SM.2505-14

FIGURA 15

Otra configuración de prueba de los efectos sobre el dispositivo en banda



Informe SM.2505-15

Los resultados demostraron que todos los teléfonos eran capaces de funcionar sin interferencia perjudicial en al menos un canal y en todos los canales cuando estaban separados a 1 m o más de distancia del DUT.

Micrófono inalámbrico y estación base. La estación de base (receptor) se situó a 30 cm del DUT y el micrófono (transmisor) se fue desplazando a distintas distancias de prueba. Posteriormente, el micrófono (transmisor) se colocó a 30 cm del DUT y la estación base (receptor) se fue desplazando a diferentes distancias de prueba.

Los dispositivos de audio no experimentaron interferencia perjudicial al funcionar en frecuencias próximas a la frecuencia de transmisión del DUT.

Audífono. El transmisor se situó a 30 cm del DUT y el receptor se fue desplazando a diferentes distancias de prueba. A continuación, el receptor se situó a 30 cm del DUT y el transmisor se fue desplazando a diferentes distancias de prueba.

Al funcionar a una frecuencia de transmisión cercana a la del DUT, los dispositivos experimentaron interferencia, pero al alejar la frecuencia del dispositivo de audio de la del DUT, la interferencia perjudicial era escasa o nula.

Lector RFID. Para el primer dispositivo, se realizaron barridos a 903,250; 904,250; 915,250; 915,750; 920,250; 926,750 y 927,250 MHz. El *software* del transmisor se ajustó a 30 dBm. Los marcadores RFID se situaron entonces a 30 cm del DUT. Para el segundo dispositivo, se realizaron barridos a 865,00; 866,00; 867,00 y 868,00 MHz con la configuración por defecto. Los marcadores RFID se situaron entonces a 30 cm del DUT.

A distancias de separación de 1 m o más entre el DUT y el lector y los marcadores RFID, los lectores funcionaron sin errores.

3.6 Estudio F (61-61,5 GHz)

3.6.1 Servicios de radiocomunicaciones considerados en el estudio

Esta sección contiene un estudio que examina los límites de emisiones fuera de banda necesarios para garantizar que se cumplen los criterios de protección del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo) (SETS (pasivo)) y el servicio de radioastronomía (SRA). Este estudio considera la utilización de segmentos de la banda ICM a 61-61,5 GHz para la TIP por haces.

3.6.2 Consideraciones para 61-61,5 GHz

La tecnología considerada a esta frecuencia implica una transmisión de banda estrecha con un ancho de banda de aproximadamente 0,02% en el caso de la banda ICM de 61 GHz. El ancho de banda máximo de 10 MHz procede de tres fuentes: ruido de fase de la fuente de frecuencia, modulación de fase aleatoria incidente en la señal transmitida procedente de ajustes menores continuos de los desfases de fase en los elementos de antena para mantener la puntería en el destino deseado, y modulación de bajo índice de la portadora de onda continua para comunicaciones entre el transmisor y el destino de potencia utilizada para mantener la banda firmemente ajustada al destino y para implementar características de seguridad activas que disminuyan la potencia cuando un objeto o una persona o un animal doméstico se aproximan al volumen de alta densidad de flujo de potencia (dfp) en las proximidades del destino deseado.

3.6.3 Efectos de la TIP por haces en 61-61,5 GHz

Esta banda se considera banda ICM de conformidad con el número **5.138** del RR, según el cual «la utilización de estas bandas para las aplicaciones ICM está sujeta a una autorización especial concedida por la administración interesada de acuerdo con las otras administraciones cuyos servicios de radiocomunicación puedan resultar afectados». Al aplicar esta disposición, las administraciones tendrán debidamente en cuenta las versiones más recientes de las Recomendaciones UIT-R pertinentes. Esta banda está atribuida a título primario al servicio fijo, el servicio entre satélites, el servicio móvil y el servicio de radiolocalización. Además, muchas administraciones han designado

esta banda y bandas próximas para RCA. Estos dispositivos de radiocomunicaciones de corto alcance suelen tener antenas de haz estrecho, gracias a la corta longitud de onda en esta banda, y por tanto son resistentes a las fuentes puntuales de potencia de RF.

La banda más próxima atribuida al SETS (pasivo) es la banda 59-59,3 GHz (1,7 GHz por debajo) y la banda más próxima atribuida al SRA es la banda 76-77,5 GHz, 14,5 GHz por encima. El SETS (banda pasiva) a 59-59,3 GHz se encuentra dentro de la banda de absorción del oxígeno de «60 GHz» y tiene una atenuación de 13 dB/km debida a los gases atmosféricos a nivel del mar para trayectos horizontales, aunque esta atenuación disminuye a altitudes superiores y en trayectos con ángulos de elevación superiores. Las condiciones del número **5.138** del RR parecen adecuadas para proteger otros servicios en relación con la utilización de esta tecnología en esta banda.

3.6.4 Peligros para las personas de la TIP a 61-61,5 GHz

La tecnología considerada para estas bandas utiliza múltiples haces de elementos en fase para centrar la potencia en una pequeña zona a fin de lograr una transferencia eficaz de potencia. Esto crea una alta dfp en la zona de recepción de potencia, y cerca de ella, que podría violar las normas de seguridad aplicables. Esta situación se evita mediante medidas activas que detectan la presencia de objetos cerca del volumen de dfp elevado y reducen o cesan las transmisiones de potencia cuando se detectan dichos objetos.

La estrategia que se sigue es asegurar que se cumplen las normas de seguridad aplicables, los sistemas emplearán múltiples salvaguardas, que funcionarán independientemente y que puedan probarse independientemente, que garanticen el cumplimiento de los requisitos de exposición. Estos sensores pueden disponerse de manera que sólo se transmita una potencia significativa si hay un destino de potencia autorizado en una posición de listo para recibir potencia y sin personas o mascotas en una posición cercana en la que se expondrían a niveles de potencia RF inaceptables. Ejemplos de estos sensores son la capacidad de evaluar la orientación del dispositivo que se está cargando, incluido si se desplaza, está fijo o situado en una superficie estable; la capacidad de detectar pasivamente el movimiento cercano y la interrupción del haz; y la capacidad de detectar señales Doppler procedentes del dispositivo cargado o de personas que se desplazan. De este modo, las distancias entre el haz, el dispositivo de carga y cualquier persona situada en las proximidades pueden calcularse en milisegundos, garantizando que la transferencia de potencia cesará antes de que una persona entre en el trayecto de un haz. Estas características de seguridad independientes son todas nativas del sistema TIP, lo que significa que son inherentes a la función del mecanismo de formación de haz del sistema TIP.

CUADRO 15

Niveles normalizados de seguridad RF para la banda de 61 GHz en Estados Unidos

Banda (GHz)	Exposición permisible máxima (MPE) para la exposición ocupacional/controlada (mW/cm ²)	Exposición permisible máxima (MPE) para la población general/exposición no controlada (mW/cm ²)
61-61,5	5,0	1,0

3.7 Estudio G (915-921 MHz, 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz)

Los radiotelescopios se sitúan en zonas remotas para tratar de limitar la interferencia y de permitir la observación del cosmos en bandas de frecuencias muy utilizadas en zonas urbanas. Para facilitar la consecución de en estas metas, algunos radiotelescopios funcionan en zonas blancas radioeléctricas administradas localmente, donde las emisiones se gestionan en el espectro radioeléctrico como se explica en el Informe UIT-R RA.2259.

Los dispositivos TIP que funcionan en bandas de frecuencias designadas para la utilización de aplicaciones ICM se presentan como un caso que requiere especial atención, dado que funcionan con arreglo al número **5.150** del RR. La radioastronomía se considera un servicio de radiocomunicación que funciona con arreglo al número **4.6** del RR.

3.7.1 Servicios de radiocomunicaciones y bandas considerados en el estudio

El estudio considera la compatibilidad entre las operaciones del servicio de radioastronomía y los dispositivos TIP que funcionan en tres bandas ICM seleccionadas de entre las entradas del Cuadro 1, como se indica en el Cuadro 16. El estudio calcula el aislamiento (en dB) de la radiación de la TIP necesario para alcanzar los niveles de protección del servicio de radioastronomía de la Recomendación UIT-R RA.769, en la frecuencia de funcionamiento de la TIP (Cuadro 16) y en las tres frecuencias utilizadas por el servicio de radioastronomía (Cuadro 17). Los cálculos en las frecuencias de radioastronomía suponen la misma densidad de potencia radiada de $-71,3$ dBW/1 MHz, que muchas administraciones especifican al limitar la radiación procedente de dispositivos ICM por encima de 1 GHz, correspondiente a un campo eléctrico de $500 \mu\text{V/m}$ medido a 3 m en un ancho de banda de 1 MHz, convertido a potencia utilizando la ecuación (2) del Informe UIT-R RA.2131.

3.7.2 Detalles de los cálculos

3.7.2.1 Radiación en las frecuencias de TIP

Las frecuencias, ganancias y niveles de potencia de TIP que figuran en el Cuadro 16 son las de los Sistemas 2, 5 y 6 del Cuadro 1. Las atenuaciones específicas *Aten_hum* y *Aten_seca* (dB/km) se han extraído de la Recomendación UIT-R P.676 para atmósferas secas y normalizadas (norm). La cantidad *T_769* es el flujo de potencia umbral de protección del servicio de radioastronomía interpolado entre los valores de la columna 8 del Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R RA.769-2.

CUADRO 16

Parámetros utilizados en el cálculo de las frecuencias de TIP

Frecuencia (GHz)	P_tip (dBW)	Ganancia_tip (dBi)	T_769 (dBW/m ²)	Aten_seca (dB/km)	Aten_norm (dB/km)	Δ para d = 100 km (dB)
0,920	11,761	8,24 0	-183	0,005	0,005	95 87
2,4	11,761	24 0	-177	0,006	0,006	105 81
5,8	15,051	25 0	-169	0,0075	0,009	114 89

3.7.2.2 Radiación en las frecuencias de radioastronomía

Las características de las bandas de radioastronomía que figuran en el Cuadro 17 proceden de la Recomendación UIT-R RA.769 y del número 5.149 del RR, y los niveles de potencia en las bandas se calculan multiplicando $P'_{tip} = -71,3$ dBW/MHz por el ancho de banda del SRA.

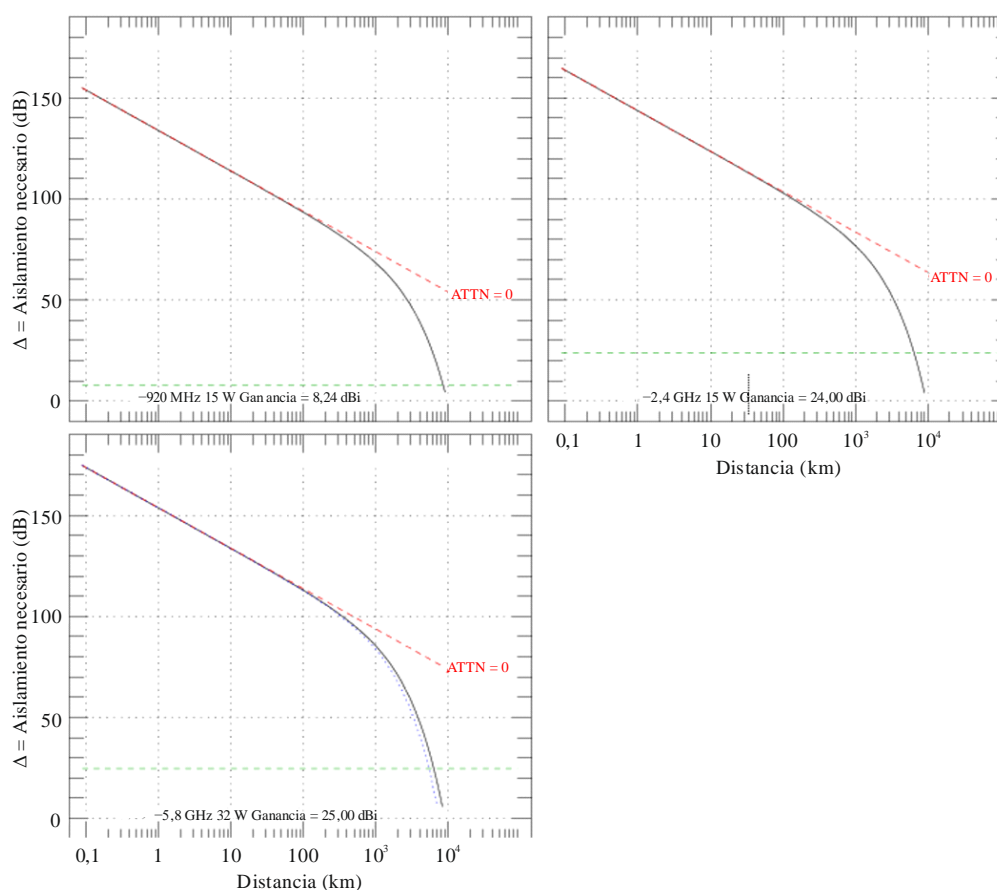
CUADRO 17

Parámetros utilizados en el cálculo de las frecuencias de radioastronomía

Frecuencia (GHz)	P _{tip} (dBW)	Ganancia _{tip} (dBi)	T ₇₆₉ (dBW/m ²)	Aten _{seca} (dB/km)	Aten _{norm} (dB/km)	Δ para d = 100 km (dB)
1,400-1,427	-57,0	0	-180	0,005	0,005	12
2,69-2,70	-61,3	0	-177	0,006	0,006	5
6,65-6,6752	-57,3	0	-168	0,0075	0,009	-1

FIGURA 16

Aislamiento necesario en las frecuencias de TIP



Informe SM.2505-16

3.7.2.3 Cálculos

El estudio calcula el flujo de potencia de la TIP a una distancia $d(m)$ en el espacio libre con una atenuación específica A (dB/km) = $Aten_{seca}$ y $Aten_{norm}$, y toma la diferencia logarítmica entre lo anterior y los valores umbral de la Recomendación UIT-R RA.769. Los resultados se muestran para los valores de ganancia de la TIP en el Cuadro 17, incluso para 0 dBi. La ganancia del sistema de

radioastronomía es de 0 dBi, suponiendo que se fijan niveles umbral de la Recomendación UIT-R RA.769.

Concretamente, el estudio calcula los valores numéricos de

$$\Delta \text{ (dB)} = P_{\text{tip}} + \text{Ganancia}_{\text{tip}} - T_{769} - 10 \log(4\pi) - 20 \log(d) - A*d/1000$$

como se muestra en las Figs. 16 y 17 para los casos de frecuencias de TIP y de SRA, respectivamente. En cada Figura, los resultados se muestran para las atmósferas seca y normalizada, pero la diferencia es apenas detectable. La ganancia de la TIP se muestra para facilitar la obtención del aislamiento en el caso de una ganancia de TIP de 0 dBi.

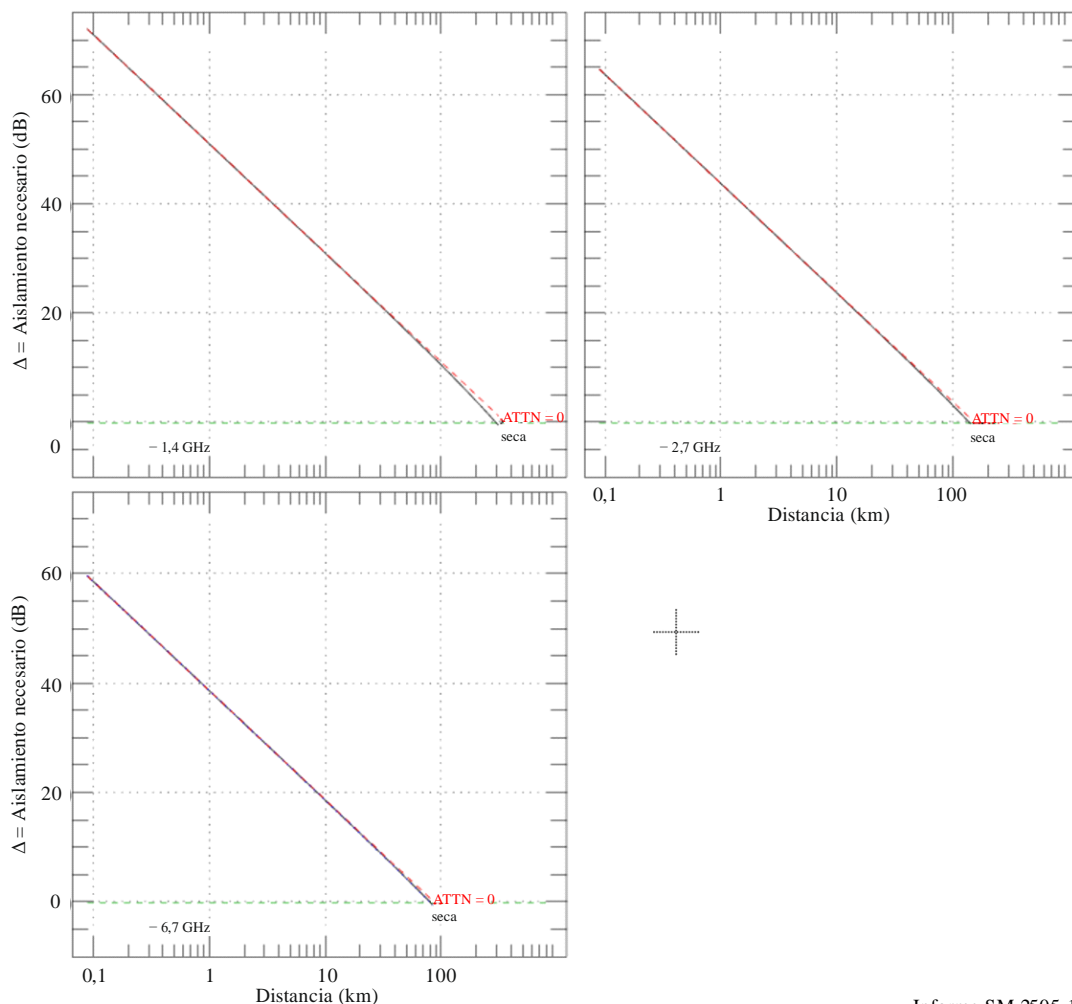
3.7.3 Resultados

En la Fig. 16 se muestran los resultados del cálculo de Δ en las frecuencias de TIP y en la columna situada más a la derecha del Cuadro 16 se muestran los valores de Δ calculados para $d = 100$ km, en este caso entre 80 y 110 dB.

En la Fig. 17 se muestran los resultados en las bandas de radioastronomía y en el Cuadro 17 los valores de Δ para una separación de 100 km con visibilidad directa son de -1 a 12 dB.

FIGURA 17

Aislamiento necesario en las frecuencias de radioastronomía



3.7.4 Resumen

Para cumplir los umbrales de interferencia de la Recomendación UIT-R RA.769 es necesario aislar las instalaciones de radioastronomía de los dispositivos TIP que funcionan en las bandas ICM. En determinadas circunstancias, es necesario considerar zonas de exclusión basadas en los niveles de potencia permitidos y las pérdidas de propagación causadas por el terreno local. Para los sistemas del SRA que funcionan en las bandas fuera de las emisiones fundamentales de los sistemas TIP por haces, los administradores nacionales deben garantizar que las emisiones fuera de banda y no esenciales permitidas en virtud de las normas reglamentarias nacionales vigentes no causen interferencia perjudicial incluyendo consideraciones sobre balances del enlace, pérdidas por penetración en edificios, pérdidas debidas a la ocupación del suelo y pérdidas en el terreno, visibilidad directa y consideraciones de difracción. Esto puede determinarse también sobre la base de una combinación de mediciones y análisis.

4 Peligros para las personas

Se insta a las administraciones a seguir las directrices estipuladas por los grupos de expertos de la ICNIRP y del IEEE, o los límites que fijen sus propios expertos. La exposición de las personas a los campos electromagnéticos (CEM) está a cargo de un cierto número de organismos reguladores, así como de organizaciones internacionales expertas, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y la Comisión Internacional sobre la protección contra radiaciones no ionizantes (ICNIRP). A continuación se presentan las directrices de la ICNIRP sobre CEM:

- 1) ICNIRP (1998): *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*;
- 2) ICNIRP (2020): *Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)*.

IEEE C95.1-2019, *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz*.

La norma IEEE C95.1 (2019) y las Directrices de la ICNIRP (2020) (e ICNIRP (1998)) están en gran medida armonizadas, pues los niveles de densidad de potencia son idénticos para todo el cuerpo por encima de 30 MHz. Al considerar la exposición a los CEM de la TIP por haces, las referencias más importantes son la ICNIRP (2020) y la IEEE C95.1-2019.

La TIP por haces en la implementación práctica emplearía frecuencias a partir de la banda de ondas decimétricas y frecuencias superiores para los sistemas de transmisión. Los ejemplos utilizan la banda 920 MHz, la banda 2,4 GHz y la banda 5,7 GHz para transmitir la potencia. Las microondas pueden transmitirse desde una antena por un haz punto a punto o punto a multipunto a distancias iguales o superiores a varios metros. A diferencia de las comunicaciones inalámbricas, el nivel de potencia electromagnética transmitida necesario para la implementación comercial de la TIP por haces podría ser mayor en cierta medida o considerarse importante. Se considera adecuado evaluar y gestionar la exposición de las personas a los CEM de la TIP por haz (incluidos los dispositivos médicos) con medidas adicionales a fin de que se ajuste a las actuales directrices de planificación y funcionamiento de la TIP por haces.

Para atender a los requisitos técnicos puntuales y permanentes antes mencionados, algunas implementaciones TIP por haces actuales están considerando la adopción de mecanismos de detección del cuerpo humano en la zona donde se prevé una exposición a las RF superior a la prevista en las directrices para cesar la transmisión de potencia y/u orientar la dirección del haz cuando se detecte. Para facilitar la implementación de estas medidas técnicas y garantizar el cumplimiento de las directrices, algunas administraciones también han emprendido estudios sobre las condiciones

medioambientales reglamentarias de la TIP por haces. Puede encontrarse más información al respecto en el Anexo 1.

5 Resumen

Cabe señalar que los estudios indicados en este Informe se refieren principalmente a reglamentaciones nacionales específicas.

Los diversos estudios presentados en este Informe demuestran que los sistemas TIP por haces propuestos pueden, en general, coexistir con las estaciones y servicios de radiocomunicaciones existentes que han sido estudiados. En algunos casos, dependiendo de la reglamentación nacional, pueden ser necesarias algunas medidas de reducción de la interferencia.

En los Estudios A, B y E se presentan datos de prueba para sistemas TIP por haces en la banda 915-921 MHz que funcionan de conformidad con la reglamentación nacional. Los resultados demuestran que tales sistemas pueden coexistir con los dispositivos existentes con muy poca interferencia, como lo permiten las normas, y con métodos de mitigación recomendados para los usuarios.

Los resultados presentados en el Estudio C demuestran que la repercusión de los sistemas TIP por haces en otros dispositivos y tecnologías inalámbricos depende de factores tales como la potencia de salida de la TIP por haces, la distancia entre dispositivos y si se utilizan las mismas frecuencias de funcionamiento. En el caso de los sistemas TIP por haces que funcionan en la banda 915-921 MHz, los resultados de estos estudios, teniendo en cuenta la reglamentación nacional, demuestran que, en la mayoría de los casos, su funcionamiento es viable y causa poca o ninguna interferencia a los siguientes tipos de dispositivos: terminales de usuario IMT, micrófonos inalámbricos y estaciones de base, audífonos, lectores RFID, sensores de puerta/ventana, centros inteligentes y enchufes inteligentes.

En el Estudio D se realizó un estudio de caso sobre el análisis de compatibilidad entre la TIP del haz y el sistema del SMS OSG COMPASS (que funciona en la banda de frecuencias 2 483,5-2 500 MHz). El resultado del estudio muestra que se necesita una separación de entre 820 y 2 160 metros para evitar la interferencia perjudicial de la TIP por haces al sistema COMPASS. Teniendo en cuenta que algunos sistemas TIP por haces funcionan en interiores o en exteriores, y que se desconocen los parámetros y condiciones operativas de la TIP por haces comerciales, es necesario que las administraciones realicen más estudios, incluso caso por caso, para determinar si la distancia de separación es suficiente o no (especialmente dado que 2 160 metros es una distancia de separación difícil de lograr para un caso concreto).

En el Estudio C se presentan además las condiciones de compartición de frecuencias con medidas adicionales de protección del servicio existente y del cuerpo humano frente a la exposición a las RF de la TIP. El resultado obtenido en la TIP por haces en 917-920 MHz con las condiciones técnicas de la TIP equivalentes al sistema RFID existente demuestra la capacidad de coexistencia con sistemas en la misma banda y en bandas vecinas. Otro resultado en las bandas 2 410-2 486 MHz y 5 738-5 766 MHz es la adopción del mecanismo WLAN CCA para los sistemas TIP y disposiciones sobre las distancias de separación necesarias. Como directriz reglamentaria se presenta una regla de gestión operativa completa de la TIP por haces relativa al entorno operativo de la TIP y a los CEM.

El Estudio F establece que, basándose en los análisis de calidad de funcionamiento del sistema, la reglamentación nacional vigente es adecuada para proteger los sistemas establecidos en la banda de frecuencias 61-61,5 GHz.

Según el Estudio G, para cumplir los umbrales de interferencia de la Recomendación UIT-R RA.769 es necesario aislar las instalaciones de radioastronomía de los dispositivos TIP que funcionan en las bandas ICM. En determinadas circunstancias, es necesario considerar zonas de exclusión basadas en

los niveles de potencia permitidos y las pérdidas de propagación causadas por el terreno local. Para los sistemas del SRA que funcionan en las bandas fuera de las emisiones fundamentales de los sistemas TIP por haces, los administradores nacionales deben garantizar que las emisiones fuera de banda y no esenciales permitidas en virtud de las normas reglamentarias nacionales vigentes no causen interferencia perjudicial incluyendo consideraciones sobre balances del enlace, pérdidas por penetración en edificios, pérdidas debidas a la ocupación del suelo y pérdidas en el terreno, visibilidad directa y consideraciones de difracción. Esto puede determinarse también sobre la base de una combinación de mediciones y análisis.

Anexo 1

Control del entorno de exposición a RF para cumplir las Directrices de protección contra radiaciones radioeléctricas, caso de Japón

A1.1 Entornos de instalación de TIP por haces

El Consejo de Información y Comunicación del Ministerio del Interior y Comunicaciones (MIC) de Japón definió los entornos de instalación de la TIP en interiores con los nombres de entorno controlado de la TIP y el entorno general de la TIP para gestionar y controlar la exposición de las personas a los CEM de radiofrecuencias generados por el sistema TIP por haces que utilizan la banda de 920 MHz (915-930 MHz), la banda de 2,4 GHz (2 400-2 499 MHz) y la banda de 5,7 GHz (5 470-5 770 MHz) en Japón para cumplir las Directrices de protección contra las radiaciones radioeléctricas de Japón (RRPG).

A1.1.1 Entorno controlado de TIP

A continuación se resume el entorno controlado de la TIP:

- Se clasifica como de interiores y de espacio cerrado para el funcionamiento de la TIP por haces.
- En el entorno, los niveles de CEM de radiofrecuencias de la TIP se sitúan en la gama admisible especificada para el entorno controlado en las RRPG (la transmisión de potencia se interrumpirá cuando se detecte que una persona entra en la zona en la que los CEM superan los límites del entorno controlado especificado en las RRPG).
- Cuando un sistema TIP por haces funciona en un entorno controlado de TIP, con el fin de evitar y mitigar los efectos perjudiciales a otros sistemas de radiocomunicaciones, el personal de instalación del sistema TIP, el operador del sistema TIP, el titular de la licencia TIP y cualquier otro personal autorizado deberán poder gestionar y controlar de manera integrada la utilización de otros sistemas de radiocomunicaciones y condiciones de instalación de dispositivos.
- Cuando el entorno controlado de la TIP sea fronterizo con otros espacios interiores (por ejemplo, habitaciones colaterales o pisos superiores e inferiores), los niveles de CEM de radiofrecuencias de la TIP deberán ajustarse a la gama admisible de condiciones de compartición de espectro con otros sistemas de radiocomunicaciones especificadas, incluso en esos espacios interiores o el mismo gestor de TIP en el entorno controlado de la TIP interior deberá poder gestionar la compartición de espectro coordinada de manera integrada (esta cláusula se aplica únicamente al funcionamiento en las bandas de 2,4 GHz y 5,7 GHz).

A1.1.2 Entorno general de TIP

El entorno general de la TIP es una de las categorías de entorno de instalación en interiores y significa un entorno de utilización de la TIP que no cumple la definición del entorno controlado de la TIP. (por ejemplo, transmisión inalámbrica de potencia a sensores de gestión de calidad en un almacén logístico (únicamente aplicación en la banda de 920 MHz), transmisión inalámbrica de potencia a dispositivos sensores de observación en una instalación de asistencia sanitaria de la tercera edad (únicamente aplicación en la banda de 920 MHz)).

A1.2 Conformidad con las RRPg

A1.2.1 Distancia de separación

Para cumplir los requisitos de exposición a CEM de radiofrecuencias de las RRPg, se obtuvieron y especificaron las siguientes distancias de separación.

CUADRO A1.1

Distancias de separación para cumplir los límites de exposición a la RF de las RRPg

Banda de frecuencias	Condición ambiental definida en las RRPg	Coeficiente de reflexión K = 1 ⁽¹⁾	Coeficiente de reflexión K = 2,56 ⁽²⁾	Coeficiente de reflexión K = 4 ⁽³⁾	Adición de 6 dB a la intensidad de CEM ⁽⁴⁾	
					Coeficiente de reflexión K = 2,56	Coeficiente de reflexión K = 4
920 MHz	Entorno controlado	0,102 m	0,163 m	0,203 m	0,325 m	0,4065 m
	Entorno general	0,227 m	0,364 m	0,456 m	0,727 m	0,912 m
2,4 GHz	Entorno controlado	2,45 m	3,92 m	4,90 m	7,82 m	9,80 m
	Entorno general	5,48 m	8,76 m	10,95 m	17,49 m	21,90 m
5,7 GHz	Entorno controlado	4,00 m	6,40 m	8,00 m	12,80 m	16,00 m
	Entorno general	9,00 m	14,30 m	17,80 m	28,50 m	35,70 m

⁽¹⁾ No se cuentan reflejos.

⁽²⁾ Reflejos en el suelo contados.

⁽³⁾ Reflejos en la superficie del agua y distintos de los contados en el suelo.

⁽⁴⁾ Se añaden 6 dB si se prevé observar más reflejos causados por los edificios, por ejemplo, un edificio de oficinas, cerca del punto de evaluación.

A1.2.2 Directivas

Para los sistemas TIP por haces considerados para el funcionamiento en la banda de 920 MHz la distancia de separación necesaria para cumplir los límites de las RRPg es relativamente corta; en consecuencia, pueden funcionar en el entorno general de la TIP.

Para los sistemas que utilicen las bandas de 2,4 GHz y de 5,7 GHz se supone la adopción de mecanismos de detección del cuerpo humano en donde se espera una exposición a la RF superior a los límites especificados en las RRPg para cesar la transmisión de potencia en caso de detección.

Además, los sistemas deberán adoptar medidas de seguridad para garantizar el funcionamiento correcto del mecanismo de detección y protección. Por otra parte, también se enviará alguna alerta indicando la zona de atención y estableciendo un vallado.

Los transmisores TIP por haces no deben utilizarse muy cerca (en un radio de 20 cm) del cuerpo humano, según las hipótesis de uso, y deberán adoptarse las medidas de seguridad adecuadas antes mencionadas. Por consiguiente, no es necesario estudiar la tasa de absorción de energía (SAR) específica del cuerpo humano cercano.
