

## Estaciones base en globos aerostáticos a gran altitud

### 1 Introducción

En la investigación científica y en la observación meteorológica se vienen utilizando desde hace años plataformas o globos aerostáticos situados a gran altitud sobre la superficie terrestre. Los avances en aeronáutica para la fabricación con materiales ligeros y reducir el consumo de energía y para mejorar la propulsión, así como las mejoras en la tecnología de baterías y energía solar posibilitan que las plataformas estratosféricas puedan permanecer durante largos periodos de tiempo en una posición cuasi-estacionaria con respecto a la Tierra.

Esta característica permite que esas plataformas sean económicamente viables como emplazamientos para colocar estaciones radioeléctricas y, en particular, para situar estaciones base de telefonía móvil que utilicen las mismas frecuencias y equipos que las redes móviles terrenales, con el fin de proporcionar baja latencia y conectividad de banda ancha fija a los usuarios finales, así como conexión al núcleo de las redes móviles para aumentar la cobertura radioeléctrica de una amplia superficie terrestre en áreas donde otras tecnologías pueden ser difíciles de desplegar debido a la dificultad del terreno o a las largas distancias a los centros de población. En algunas situaciones, también pueden desplegarse rápidamente estas plataformas para la recuperación de las comunicaciones en caso de catástrofe.

Estas plataformas servirían para proporcionar servicios de comunicaciones electrónicas de banda ancha, alta velocidad y baja latencia en zonas rurales y remotas de la España despoblada.

### 2 Definición

El Reglamento de Radiocomunicaciones UIT define “*estación en plataforma a gran altitud*” como la estación situada en un objeto a una altitud de 20 a 50 km y en un punto nominal, fijo y especificado con respecto a la Tierra.

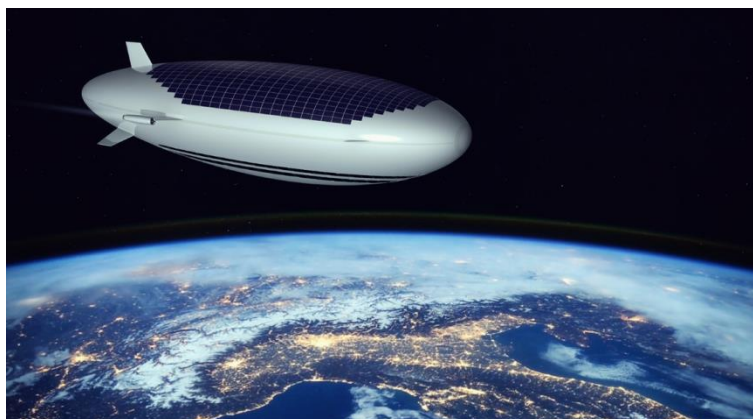
La estación en plataforma a gran altitud se denomina HAPS (High Altitude Platform Station) y, si se trata de una estación base para ofrecer telecomunicaciones móviles internacionales (International Mobil Telecommunications) se denomina HIBS (HAPS IMT Base Station).

En el ámbito de la UIT, las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) son los servicios de comunicaciones electrónicas de banda ancha.

Las HAPS son estaciones estratosféricas, compuestas por un vehículo aéreo y una carga útil, con el fin de proporcionar banda ancha a zonas de difícil acceso y sin servicio, aunque también se pueden utilizar en zonas densamente pobladas, complementando las redes existentes para satisfacer la demanda cada vez mayor y ampliar rápidamente la conectividad. Además, también se pueden utilizar como infraestructura inmediata en caso de catástrofe para las comunicaciones de emergencia y las operaciones de socorro.

### **3 Composición de las plataformas estratosféricas**

Las plataformas son globos aerostáticos cubiertos por múltiples capas extremadamente resistentes y ligeras que contienen gas helio activo, un sistema de mantenimiento en posición constituido por un sensor GPS diferencial, un sistema giroscópico de tres ejes, un sistema de propulsión avanzado, un sistema de control térmico, una carga útil de telecomunicaciones, y paneles solares de capa fina de silicio dopado de alta eficiencia para suministrar energía solar durante el día y la recarga de baterías para las operaciones nocturnas. Una relación potencia-peso optimizada garantiza que la plataforma pueda permanecer por encima de una altitud mínima al amanecer, que es el momento en el que la capacidad de las baterías suele estar en su punto más bajo.



La plataforma se alimenta con la energía eléctrica necesaria para el mantenimiento del sistema y el funcionamiento de la misión de telecomunicaciones, suministrada por las baterías solares que van en la superficie superior del globo y con baterías secundarias que se cargan para la utilización nocturna.

El sistema de propulsión consta de unas hélices de velocidad variable activadas por un motor eléctrico, aunque también pueden emplearse otros tipos de propulsión con características de funcionamiento similares.

Las plataformas utilizan un sensor GPS diferencial para el mantenimiento mediante control en bucle cerrado de su emplazamiento estratosférico.

Un sistema giroscópico de tres ejes contribuye a la estabilización del sistema para compensar el movimiento de la plataforma y mantener una cobertura estable en la superficie de la Tierra.

El sistema de térmico proporciona la refrigeración mediante un fluido presurizado.

Estas características hacen posible que la plataforma permanezca continuamente dentro de la estratosfera desde el lanzamiento, día tras día, manteniendo la posición, realizando las maniobras necesarias y proporcionando suficiente potencia para la conectividad durante la prestación del servicio.

#### **4 Sistema completo**

El sistema HIBS comprende una plataforma a gran altitud, un centro de control, varias estaciones terrestres y numerosas estaciones móviles y fijas.

En la parte inferior de la plataforma habrá una antena con elementos en fase para proyectar numerosos haces puntuales dentro de su zona de cobertura, que permite establecer los enlaces de acceso a las estaciones situadas en el suelo.

El sistema cuenta con un centro de control en tierra, con un funcionamiento durante las 24 horas del día, para el seguimiento, la telemedida, la comunicación con la carga útil en la HIBS, las entidades de operación y gestión de la red, y el resto del sistema.

Las estaciones móviles y fijas del sistema son idénticas a las utilizadas en los sistemas terrenales de comunicaciones electrónicas inalámbricas de banda ancha. Los terminales de usuario son dispositivos portátiles que comunican directamente con la carga útil. Un terminal de usuario consta de una antena y una unidad de interfaz digital.

#### **5 Altitud de las plataformas**

La definición de HAPS se refiere a una altitud de la plataforma entre 20 km y 50 km. A mayor altura mayor será la cobertura radioeléctrica sobre la superficie terrestre, pero también mayor será la zona en la que puedan producirse interferencias.

Además, la densidad atmosférica disminuye significativamente al aumentar la altitud. Por ejemplo, la densidad atmosférica a una altitud de 50 km es, aproximadamente, 1/90 inferior a una altitud de 20 km. Por lo tanto, un globo situado a 50 km de altitud necesita 90 veces más de gas helio que la situada a 20 km, y requiere una longitud de la estructura 4,5 veces mayor.

Por otra parte, la velocidad del viento en la atmósfera superior afecta al mantenimiento en posición de la plataforma. El análisis del perfil medio de la velocidad del viento presenta un mínimo local alrededor de la altitud de 20 km a 25 km, se hace mayor a altitudes superiores a 25 km y es cuatro veces mayor en la altitud de 50 km respecto a la de 20 km. Por lo tanto,

para mantener la posición de la plataforma en un punto nominal fijo en condiciones de viento, se necesita una potencia de propulsión muy superior a 50 km que a 20 km, lo que a su vez exige baterías más pesadas para el funcionamiento nocturno. En definitiva, teniendo en cuenta estas consideraciones, puede concluirse que, desde un punto de vista técnico, la altitud de una plataforma conviene que sea inferior a unos 25 km.

Además, a menor altitud, también se reduce la cobertura sobre la superficie de la Tierra y, en consecuencia, la incompatibilidad radioeléctrica con otros servicios de radiocomunicaciones que utilicen las mismas bandas de frecuencias o las bandas adyacentes.

En el caso de las HIBS, por esos motivos, se contempla una altitud entre 18 km y 25 km. En cualquier caso, se trata de una altitud muy superior a la utilizada en las rutas de los vuelos comerciales y de la mayoría de los aviones militares.

## **6 Colocación en posición**

Las HAPS pueden alcanzar su altitud estratosférica en sólo unas pocas horas. Posteriormente, se desplazan con sus propios motores a través de la estratosfera hasta ubicaciones determinadas para cubrir amplias zonas de servicio en cualquier tipo de geografía, incluso en terrenos difíciles, porque se requiere una infraestructura mínima en tierra.

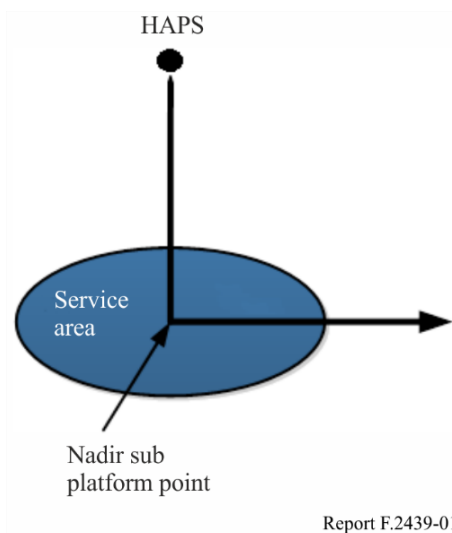
Las plataformas se mantienen casi fijas en el plano horizontal, dentro de un círculo de unos cientos de metros de radio, y se desplazan ligeramente en el plano vertical, con variaciones de cientos de metros en altitud.

En comparación con los satélites de órbita terrestre baja (LEO), que se desplazan a una velocidad orbital media de unos 7,8 km/s (28.000 km/h), aparte de su menor coste económico, las HIBS tienen la ventaja de que al encontrarse en una posición fija su funcionamiento no se ve afectado por el efecto Doppler, y de que al situarse a pocos kilómetros de la superficie terrestre con un tiempo de ida y vuelta reducido (baja latencia) permite aplicaciones industriales en tiempo real, transmisión de video, apoyo en desastres, etc.

Las características de explotación de estas plataformas ofrecen la posibilidad de desplazarse a zonas de mayor demanda de conectividad, y se convierten en una solución de comunicación adecuada para dar soporte, por ejemplo, a las misiones de socorro en caso de catástrofes naturales en zonas que hayan quedado desconectadas repentinamente.

## 7 Cobertura radioeléctrica

Con una única HIBS situada a una altitud entre 18 km y 25 km se puede alcanzar el 100% de cobertura sobre la superficie terrestre en un radio de 100 km desde el centro de la proyección perpendicular de la plataforma (nadir).



Por contra, las HIBS son visibles a distancias incluso superiores a los 500 km y hasta 1000 km de diámetro por encima del horizonte, pudiendo provocar interferencias en servicios muy lejos alejados.

## 8 Servicio de radiocomunicación

Una estación radioeléctrica colocada en una plataforma a gran altitud (HAPS) en la estratosfera, aunque no se encuentre en la superficie terrestre, tiene la consideración de estación terrenal porque se encuentra dentro de la parte principal de la atmósfera de la Tierra. No es una estación espacial ni, por lo tanto, puede enmarcarse dentro de un servicio de radiocomunicación espacial, sino terrenal.

Anteriormente, se consideraba que las estaciones radioeléctricas instaladas en plataformas a gran altitud (HAPS) pertenecían, únicamente, al servicio fijo porque los terminales de usuario en Tierra eran accesibles a través de una antena fija. Sin embargo, ahora que se han seleccionado bandas de frecuencias para ofrecer comunicaciones electrónicas de banda ancha desde estaciones base instaladas en plataformas a gran altitud (HIBS) se consideran integradas en el servicio móvil porque los terminales situados en Tierra pueden encontrarse en movimiento.

## 9 Bandas de frecuencias

Las bandas de frecuencias que se encuentran atribuidas al servicio móvil para comunicaciones electrónicas inalámbricas de banda ancha y que también podrán ser utilizadas por las estaciones base situadas en plataformas a gran altitud (HIBS), son las siguientes:

Banda	RR	Aplicación	Resolución	CNAF
694-960 MHz	5.14A	IMT	Res 213 (CMR-23)	UN-39, UN-40, UN-41, UN-153
1.710-1.980 MHz	5.388A	IMT	Res 221 (Rev CMR-23)	UN-48, UN-140
2.010-2.025 MHz	5.388A	IMT	Res 221 (Rev CMR-23)	UN-48
2.110-2.170 MHz	5.388A	IMT	Res 221 (Rev CMR-23)	UN-48
2.500-2.690 MHz	5.14C	IMT	Res 218 (CMR-23)	UN-52

Estas atribuciones no impiden el uso de estas bandas de frecuencias por ninguna otra aplicación de otros servicios de radiocomunicaciones que también las tengan atribuidas, ni se ha establecido ninguna prioridad en el Reglamento de Radiocomunicaciones y, ni siquiera, las HIBS podrán reclamar protección contra los servicios primarios existentes que puedan causarle interferencias.

Las HIBS pueden desplegarse en estas bandas protegiendo al mismo tiempo a esos otros servicios mediante restricciones en los límites de la densidad de flujo de potencia (dfp) y en los límites de las emisiones fuera de banda.

Al igual que sus estaciones base terrenales homólogas, las HIBS utilizarán haces múltiples para proporcionar conectividad móvil en una zona amplia, que incluirán conformación de haces e inclinación mecánica para garantizar una conectividad móvil estable, así como para proporcionar una experiencia de usuario equivalente y coherente con los sistemas de comunicaciones móviles terrestres existentes, y para soportar diversas aplicaciones y casos de uso.

El principal inconveniente para las HIBS es la indisponibilidad del servicio derivada del desvanecimiento de la señal por hidrometeoros, que será mayor cuanto más alta sea la frecuencia.

En general, las técnicas de mitigación de desvanecimientos se basan en la modificación de alguno de los parámetros del sistema (potencia de transmisión, modulación, velocidad de transmisión...) cuando se detecta un desvanecimiento con el fin de aumentar la robustez del enlace.

Por otra parte, los enlaces entre dos HIBS y los enlaces entre una HIBS y las estaciones terrestres del sistema no se establecen en las bandas atribuidas al servicio móvil, sino que se podrán utilizar las bandas de frecuencias atribuidas al servicio fijo (SF) para ser utilizadas en plataformas a gran altitud (HAPS):

Banda	RR	Aplicación	Resolución	CNAF
31,0-31,3 GHz	5.543B	SF	Res 167 (Rev CMR-23)	UN-149
38,0-39,5 GHz	5.550D	SF	Res 168 (Rev CMR-23)	UN-93
47,2-47,5 GHz	5.552A	SF	Res 122 (Rev.CMR-19)	
47,9-48,2 GHz	5.552A	SF	Res 122 (Rev.CMR-19)	

Nuevamente, a la vista de estas frecuencias tan elevadas, existirá un serio inconveniente para las HAPS por la indisponibilidad del servicio derivada del desvanecimiento de la señal debido a hidrometeoros.

El valor típico del ángulo de elevación mínimo operacional de la estación terrestre para conectarse con la HAPS debe ser mayor de 20° pero, cuanto menor sea ese ángulo de elevación, el trayecto de propagación y la atenuación debida a la lluvia será mayor y, en consecuencia, la p.i.r.e. requerida aumentará, pudiendo dar lugar a dificultades en la compartición de la banda de frecuencias con otros servicios tales como los sistemas de satélite, del servicio fijo, los servicios científicos espaciales, etc. Además, el efecto de la atenuación provocada por los edificios o montañas degradará la disponibilidad del servicio para ángulos de elevación pequeños.

### 9.1 Banda de frecuencias 694-960 MHz

La banda de frecuencias 694-960 MHz, o partes de la misma, está atribuido al servicio móvil para su utilización por las estaciones base en plataformas a gran altitud (HIBS).

En las bandas de frecuencias 694-728 MHz y 830-835 MHz, dicha atribución se limita a la recepción en las HIBS, así como en la banda 805,3-806,9 MHz para proteger las observaciones de radioastronomía en la banda de frecuencias 1.610,6-1.613,8 MHz, debido a los segundos armónicos del enlace descendente de las HIBS.

### 9.2 Bandas de frecuencias 1.710-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz

Las bandas de frecuencias 1.710-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz, o partes de las mismas, están atribuidas al servicio móvil para ser utilizadas por las estaciones base en plataformas a gran altitud (HIBS).

En la banda de frecuencias 1.710-1.785 MHz, dicha atribución está limitada a la recepción en las HIBS para proteger a los sistemas de meteorología por satélite (MetSats), que utilizan la banda de frecuencias adyacente inferior 1.670-1.710 MHz.

En la banda de frecuencias 2.110-2.170 MHz dicha atribución está limitada a la transmisión desde las HIBS para proteger al servicio de investigación espacial, al servicio de operaciones espaciales y al servicio de exploración de la Tierra por satélite que utilizan la banda de

frecuencias adyacente 2.025-2.110 MHz, y también para proteger al servicio de investigación espacial que utiliza la banda de frecuencias 2.110-2.120 MHz.

### 9.3 Banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz

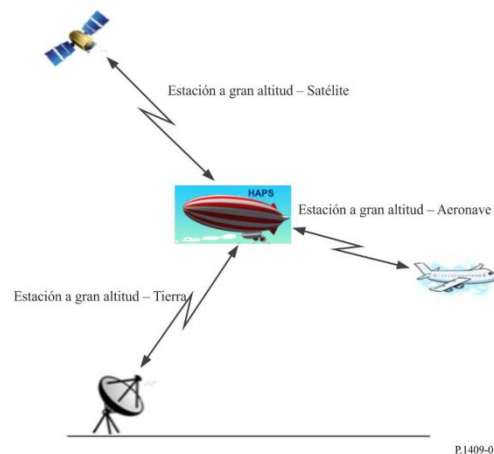
La banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz está atribuida al servicio móvil para su utilización por las estaciones base en plataformas a gran altitud (HIBS).

En la banda de frecuencias 2.500-2.510 MHz dicha atribución está limitada a la recepción en las HIBS.

## 10 Trayectos de propagación

En la planificación y diseño de HAPS, así como en los análisis de compatibilidad radioeléctrica, cabe considerar los siguientes trayectos de propagación (Recomendación UIT-R P.1409-3<sup>1</sup>):

- Trayecto entre la estación HAPS y otras estaciones terrenales.
- Trayecto entre la estación HAPS y estaciones aeronáuticas.
- Trayecto entre la estación HAPS y estaciones espaciales.



En el trayecto de propagación entre la estación situada en la plataforma a gran altitud (HAPS) y otras estaciones terrenales, deben considerarse los siguientes mecanismos y

<sup>1</sup> La Recomendación P.1409-3 se centra en los aspectos de propagación y planificación para enlaces fijos. En la lista de mecanismos y efectos para la planificación se omiten el efecto Doppler y la reflexión, componente fundamental del desvanecimiento multirayecto, que deben ser tenidos en cuenta en entornos móviles, así como las técnicas de mitigación correspondientes, como la diversidad y la codificación de canal.



efectos, necesarios para la planificación y el diseño de sistemas HAPS, y también para la evaluación de la interferencia:

- pérdidas de propagación en espacio libre;
- atenuación atmosférica debida a la absorción gaseosa en la troposfera;
- atenuación debida a hidrometeoros (lluvia, nieve húmeda y nubes);
- dispersión por lluvia;
- centelleo troposférico;
- dispersión troposférica;
- difracción debida a la tierra esférica;
- difracción debida a obstáculos del terreno;
- pérdida debida a la vegetación (Recomendación UIT-R P.833);
- pérdida por penetración en edificios (Recomendación UIT-R P.2109).

En el trayecto de propagación entre la estación situada en la plataforma a gran altitud (HAPS) y las estaciones aeronáuticas, deben considerarse los siguientes mecanismos y efectos, necesarios para la evaluación de la interferencia:

- pérdidas de propagación en espacio libre;
- difracción;
- centelleo troposférico;
- atenuación debida a los gases atmosféricos.

En el trayecto de propagación entre la estación en plataforma a gran altitud (HAPS) y estaciones espaciales, deben considerarse los siguientes mecanismos y efectos, necesarios para la evaluación de la interferencia:

- pérdidas de propagación en espacio libre;
- discriminación por polarización cruzada debida a la rotación de Faraday;
- absorción y centelleo ionosféricos;
- retrodispersión desde la superficie de la Tierra.

## **11 Compatibilidad radioeléctrica**

### **11.1 Banda de frecuencias 694-960 MHz**

Los estudios de compatibilidad radioeléctrica realizados en la banda de frecuencias 694-960 MHz muestran que, bajo determinadas circunstancias, resulta viable que las HIBS compartan espectro con los sistemas terrenales de comunicaciones electrónicas inalámbricas de banda ancha y con el servicio de radiodifusión.

Con el fin de proteger al servicio móvil en la banda de frecuencias 694-960 MHz, incluidos los sistemas terrenales IMT, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los

siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

para la protección de las estaciones móviles IMT:

$$-114 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

para la protección de la estación base IMT:

$$-136 + 0,21 \theta \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ \leq \theta \leq 8,3^\circ$$

$$-121,8 + 0,08 \theta \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 8,3^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

Las HIBS que funcionen en la banda de frecuencias 694-960 MHz no causarán interferencia perjudicial ni reclamarán protección frente al servicio de radiodifusión. El nivel de densidad de flujo de potencia (dfp) de las HIBS no rebasará los  $-135,8 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$  en el punto más elevado entre la altura de los obstáculos del terreno y 10 m. Respecto a la protección del servicio de radiodifusión, aparte de la limitación en la densidad de flujo de potencia (dfp) de las HIBS, existen técnicas de mitigación como apagar el sector implicado de la HIBS, así como estrategias de orientación de antenas y conformación de haces para disminuir las emisiones de HIBS.

### 11.2 Bandas de frecuencias 1.710-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz

Los estudios de compatibilidad radioeléctrica realizados en las bandas de frecuencias 1.710-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz muestran que, en estas bandas de frecuencias, los equipos terrenales de usuario, tanto en FDD (múltiplex por división de frecuencia) como en TDD (múltiplex por división de tiempo), pueden protegerse con una limitación de la densidad de flujo de potencia (dfp) en las HIBS.

Con el fin de proteger al servicio móvil en la banda de frecuencias 1.710-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz, incluidos los sistemas terrenales IMT, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

para la protección de las estaciones móviles IMT:

$$-111 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

para la protección de las estaciones base IMT:

$$-144,55 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ \leq \theta < 11^\circ$$

$$-144,55 + 0,45 (\theta - 11) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 11^\circ \leq \theta < 80^\circ$$

$$-113,55 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

Con el fin de proteger a las estaciones terrenales móviles en la banda de frecuencias 2.170-2.200 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencias (dfp) de las emisiones no deseadas

producida por las HIBS en la banda de frecuencias 2.110-2.170 MHz, sobre la superficie de la Tierra en el territorio de otros países, no rebasará  $-165 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ .

Con el fin de proteger al servicio fijo en la banda de frecuencias 1.710-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

-150	$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para $0^\circ < \theta \leq 2^\circ$
$-150 + 1,78 (\theta - 2)$	$\text{dB(W/(m}_2 \cdot \text{MHz))}$	para $2^\circ < \theta \leq 20^\circ$
$-118 + 0,215 (\theta - 20)$	$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para $20^\circ < \theta \leq 48^\circ$
-112	$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para $48^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Con el fin de proteger al servicio móvil aeronáutico en la banda 1.780-1.850 MHz, los países que pretendan desplegar HIBS a menos de 1.135 km de la frontera del territorio de otro país deben obtener previamente el acuerdo de los países afectados.

En la Recomendación UIT-R M.1456 se describe un método para evaluar el nivel de interferencia cocanal procedente de las HIBS, establece límites de dfp para las HIBS en relación con la interferencia cocanal y la interferencia fuera de banda, y se recomiendan criterios de calidad para los diagramas de antena de las HIBS a fin de proporcionar protección cocanal a otras estaciones.

Los niveles de interferencia fuera de banda producida por la HIBS en estaciones terrenas móviles receptoras, estaciones fijas, estaciones de ciencia espacial y estaciones móviles que operan en canales adyacentes pueden ser reducidos mediante la utilización de filtros o bandas de guarda en las HIBS para limitar los niveles de emisión fuera de banda.

Cuando sea necesario para evitar la interferencia a las estaciones de otros servicios, en la misma banda o en bandas adyacentes, las HIBS deben utilizar técnicas de mejora de la calidad de funcionamiento, como son el filtrado de transmisión de alto rendimiento, la reducción del número de haces puntuales, del número de usuarios y de la potencia de la HIBS.

### 11.3 Banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz

Los estudios realizados en la banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz muestran que la compatibilidad radioeléctrica es factible respecto a las estaciones terrenales del servicio móvil, los servicios fijos, los radares meteorológicos, la radioastronomía, los servicios de radiodifusión por satélite y los servicios de radionavegación aeronáutica con una limitación de la densidad de flujo de potencia (dfp) en las HIBS.

Con el fin de proteger al servicio móvil en la banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz, incluidos los sistemas terrenales IMT, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

para la protección de las estaciones móviles IMT:

$$-109 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

para la protección de las estaciones base IMT:

$$-144,55 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ \leq \theta < 11^\circ$$

$$-144,55 + 0,45 (\theta - 11) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 11^\circ \leq \theta < 80^\circ$$

$$-113,55 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 80^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$$

Con el fin de proteger al servicio fijo en la banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

$$-148 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ < \theta \leq 2^\circ$$

$$-148 + 0,71 (\theta - 2) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 2^\circ < \theta \leq 47^\circ$$

$$-116 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 47^\circ < \theta \leq 90^\circ$$

Con el fin de proteger el servicio de radiodifusión por satélite en la banda de frecuencias 2.520-2.630 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

$$-130,5 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 0^\circ < \theta \leq 20^\circ$$

$$-139,8 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 20^\circ < \theta < 90^\circ$$

Con el fin de proteger al servicio de radionavegación aeronáutica en la banda de frecuencias 2.700-2.900 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) de las emisiones no deseadas producida por las HIBS en la banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz, sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

$$-156,2 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } \theta \leq 7^\circ$$

$$-163 + 15 \cdot \log_{10} (\theta - 4) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 7^\circ < \theta < 30,5^\circ$$

$$-141 + 2,7 \cdot \log_{10} (\theta - 4) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } \theta = 30,5^\circ$$

$$-157 + 14 \cdot \log_{10} (\theta - 4) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } 30,5^\circ < \theta \leq 40,5^\circ$$

$$-101,5 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} \quad \text{para } \theta > 40,5^\circ$$

Con el fin de proteger al servicio de radiolocalización en la banda de frecuencias 2.700-2.900 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) de las emisiones no deseadas producida por las HIBS en la banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz, sobre la superficie de la Tierra, en el territorio de otros países, no rebasará los siguientes límites, siendo  $\theta$  (grados) el ángulo de incidencia de la onda radioeléctrica sobre el plano horizontal:

$-165,6$	$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para $\theta \leq 37^\circ$
$-165,6 + 5,5 (\theta - 37)$	$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para $37^\circ < \theta < 45^\circ$
$-121,6 + 0,33 (\theta - 45)$	$\text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$	para $45^\circ < \theta \leq 90^\circ$

Con el fin de proteger al servicio de radioastronomía en la banda de frecuencias 2.690-2.700 MHz, el nivel de la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS en la banda de frecuencias 2.500-2.690 MHz sobre cualquier observatorio radioastronómico, no rebasará  $-177 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 10 \text{ MHz))}$ .

En cuanto a las estaciones terrenas del servicio de radiodeterminación por satélite, en bandas adyacentes, la compatibilidad solo es factible si existe una distancia de separación geográfica suficiente.

## 12 Condiciones de compartición de las HIBS

Las estaciones base situadas en plataformas estratosféricas no deben causar interferencias perjudiciales a otros servicios existentes, con categoría primaria, en la misma banda de frecuencias o en las bandas adyacentes, incluidas las estaciones base terrenales del servicio móvil.

Tampoco podrán reclamar protección contra los servicios primarios existentes en la misma banda de frecuencias o en las bandas adyacentes. Esos otros servicios primarios deben ser protegidos mediante restricciones a la densidad de flujo de potencia (dfp) producida por las HIBS en la superficie de la Tierra tanto en el propio territorio como en el de los países vecinos, salvo acuerdo explícito de las Administraciones afectadas.

Además, las Administraciones que pretendan instalar HIBS deben comunicar a la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT, con una antelación no superior a tres años a su puesta en servicio, las características técnicas de las HIBS junto al compromiso firme, objetivo, ejecutable, cuantificable, y de carácter obligatorio, para eliminar inmediatamente la interferencia inaceptable causada a los servicios primarios existentes o para reducirla a un nivel aceptable en caso de que tal interferencia se produzca.

### **13 Referencias**

Recomendación UIT-R P.1409-3: *Datos de propagación y métodos de predicción para sistemas que utilizan estaciones en plataformas a gran altitud y otras estaciones elevadas en la estratosfera en frecuencias superiores a 0,7 GHz aproximadamente.*

Recomendación UIT-R M.1456: *Características mínimas de calidad y condiciones de funcionamiento para las estaciones en plataformas a gran altitud que proporcionan IMT-2000 en las bandas 1.885-1.980 MHz, 2.010-2.025 MHz y 2.110-2.170 MHz en las Regiones 1 y 3 y 1.885-1.980 MHz y 2.110-2.160 MHz en la Región 2.*

Recomendación UIT-R F.1569: *Características técnicas y operacionales para el servicio fijo que utiliza estaciones situadas en plataformas a gran altitud en las bandas 27,5-28,35 GHz y 31-31,3 GHz.*

Recomendación UIT-R F.1500: *Características preferidas de los sistemas del servicio fijo que utilizan plataformas de gran altitud en las bandas 47,2-47,5 GHz y 47,9-48,2 GHz.*

*Actas Finales de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2023 (CMR-23), UIT, Dubái, 20 de noviembre a 15 de diciembre de 2023.*