

RECOMENDACIÓN UIT-R RS.1165-2

Características técnicas y criterios de calidad de los sistemas de radiosondas del servicio de ayudas a la meteorología en las bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz

(1995-1997-2006)

Cometido

En esta Recomendación se presentan las características técnicas y los criterios de calidad de los sistemas de radiosondas del servicio de ayudas a la meteorología en las bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz.

Se abordan todos los sistemas del servicio de ayudas a la meteorología: radiosondas, sondas descendentes y cohetes sondas.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las mediciones meteorológicas efectuadas en la alta atmósfera por las radiosondas son un elemento fundamental del Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial de la Organización Meteorológica Mundial (OMM);
- b) que muchos servicios militares despliegan sistemas de radiosondas para soportar diferentes operaciones independientes del Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial;
- c) que muchos sistemas de radiosondas se utilizan para supervisar a nivel local y regional las condiciones de contaminación atmosférica, así como para seguir las trayectorias de las descargas peligrosas provocadas por las catástrofes naturales o antropogénicas;
- d) que los sistemas de radiosondas que funcionan en el servicio de ayudas a la meteorología (MetAids) deben cumplir requisitos de radiocomunicación especiales;
- e) que los sistemas de radiosondas, radiosondas descendentes y cohetes sondas del servicio MetAids funcionan principalmente en las bandas de frecuencias 400,15-406 MHz (denominada banda de 403 MHz) y 1 668,4-1 700 MHz (denominada banda de 1 680 MHz) con las limitaciones establecidas en el número 5.379E del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- f) que las radiosondas del servicio de ayudas a la meteorología son transportadas por globos y cohetes y pueden funcionar con estaciones en tierra o en barcos;
- g) que otros tipos de radiosondas del servicio de ayudas a la meteorología son lanzadas desde aeronaves y funcionan con estaciones instaladas en aeronaves;
- h) que los objetivos de calidad de las transmisiones hacia y desde las radiosondas deben estar en consonancia con los requisitos funcionales previstos y con las limitaciones de la calidad vinculadas con los sistemas y las bandas de frecuencias que se utilicen para atender estos requisitos;

- j) que la finalidad de los objetivos de calidad de los sistemas representativos que funcionan en el servicio de ayudas a la meteorología es proporcionar orientaciones para el desarrollo de sistemas reales destinados a funcionar en un entorno de compartición de frecuencias;
- k) que se pueden determinar los objetivos de calidad de ciertos sistemas utilizando una metodología similar a la descrita en la Recomendación UIT-R SA.1021;
- l) que los objetivos de calidad son indispensables para poder determinar criterios de interferencia;
- m) que en la Recomendación UIT-R RS.1263 figuran los criterios de interferencia de los sistemas del servicio de ayudas a la meteorología que funciona en las bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz,

recomienda

- 1 que las características del Anexo 1 se consideren típicas del servicio de ayudas a la meteorología que funciona en las bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz;
- 2 que en la elaboración de los criterios de interferencia y la realización de estudios de compartición con otros servicios se tengan en cuenta los criterios de calidad especificados en el Cuadro 3.

Anexo 1

1 Introducción

1.1 Operaciones meteorológicas diarias

El servicio de ayudas a la meteorología¹ se utiliza principalmente para realizar mediciones directas de variables meteorológicas en la alta atmósfera (presión, temperatura, humedad relativa y velocidad y dirección del viento) hasta una altura de 36 km. Las mediciones son vitales en lo que concierne a la capacidad de predicción del tiempo de un país (y, por tanto, para los servicios de alerta meteorológica al público con el fin de garantizar la protección de vidas y bienes). El servicio de ayudas a la meteorología y de seguimiento asociados proporcionan mediciones simultáneas de la estructura vertical de la temperatura, la humedad relativa y la velocidad y dirección del viento en toda la gama de alturas requeridas. La variación de dichas variables meteorológicas en dirección vertical contiene el grueso de la información indispensable para la previsión del tiempo. Los sistemas de ayudas a la meteorología son los únicos sistemas de observación meteorológica que pueden proporcionar regularmente la resolución vertical que los meteorólogos necesitan para las cuatro variables. La identificación de las alturas donde sobrevienen cambios repentinos de una variable es crucial. Por ello, resulta esencial mantener la continuidad de las mediciones fiables en todo el ascenso de la radiosonda.

¹ La presente Recomendación aborda las radiosondas, las radiosondas descendentes y los cohetes sonda que funcionan en el servicio de ayudas a la meteorología (MetAids). El término MetAids se aplica cuando el análisis hace referencia a los tres tipos de sistemas. El nombre del sistema específico (radiosonda, radiosonda descendente y cohete sonda) se aplica cuando el análisis hace referencia a uno o dos de los tipos de sistemas específicos.

Las observaciones del servicio de ayudas a la meteorología son efectuadas por radiosondas transportadas por globos ascendentes que se lanzan desde estaciones en tierra o barcos, por sondas descendentes desplegadas desde aviones que son transportadas por paracaídas y por cohetes sonda propulsados a la atmósfera mediante cohetes que descienden gracias a un paracaídas durante la recopilación de datos. Estas observaciones las efectúan de manera sistemática casi todos los países entre dos y cuatro veces por día. Una vez realizadas, los datos correspondientes se comunican inmediatamente a los demás países en unas cuantas horas a través del Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT) de la OMM. Los sistemas de observación y la difusión de datos se organizan en el marco del Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM.

La red de radiosondas constituye la fuente mundial primaria de mediciones en tiempo real *in situ*. El Reglamento Técnico de la OMM (Manual sobre el Sistema Mundial de Proceso de Datos (SMPD)) estipula que las mediciones de las radiosondas se efectúen y distribuyan a los centros del SMPD en todo el mundo, a nivel nacional, regional y mundial, con miras a la predicción numérica del tiempo. Durante la primera década del siglo XXI se necesitan estaciones de observación en todo el mundo, con una separación horizontal inferior o igual a 250 km y con una frecuencia de observación de una a cuatro veces por día. No obstante, los modelos de predicción numérica del tiempo correspondientes a los fenómenos meteorológicos de pequeña escala (por ejemplo, tormentas eléctricas, vientos locales, tornados) y las urgencias ambientales exigirán de hecho la realización de observaciones locales en la alta atmósfera cada hora, cada dos horas o cada tres horas, con una resolución horizontal de entre 50 y 100 km. Las observaciones habrán de proporcionarse desde diferentes sistemas de observación, escogidos con arreglo a las necesidades de las administraciones nacionales, incluidas las mediciones de ayudas a la meteorología, las mediciones de radar de perfil del viento y las mediciones de satélite.

Las observaciones de radiosonda resultan esenciales para mantener la estabilidad del Sistema Mundial de Observación de la OMM. Las telemediciones de satélites no tienen la resolución vertical que permiten las radiosondas. Para deducir de manera satisfactoria la estructura de la temperatura vertical a partir de estas mediciones de satélite, normalmente habrá que hacer cálculos, basándose ya sea directamente en las estadísticas de las radiosondas o bien en la propia previsión numérica del tiempo. En este último caso, las mediciones de radiosonda garantizan que la estructura vertical en estas previsiones siga siendo precisa y estable con el tiempo. Además, las mediciones de radiosonda se utilizan para calibrar las observaciones de satélites mediante varias técnicas. Se considera, en consecuencia, que las observaciones de radiosonda seguirán siendo absolutamente necesarias para realizar operaciones meteorológicas en un futuro previsible.

1.2 Supervisión del cambio climático

En los últimos 20 años se han producido grandes cambios en la temperatura y el ozono atmosféricos en todo el mundo y muchos de los cambios más importantes se han registrado a alturas comprendidas entre 12 y 30 km por encima de la superficie de la Tierra. Los cambios tienen la suficiente entidad como para que preocupe la seguridad de la salud pública en el futuro. Las observaciones de radiosonda efectuadas sistemáticamente todos los días a alturas superiores a 30 km permiten identificar la distribución en la dirección vertical de los cambios sobrevenidos y, por tanto, evaluar las causas de los mismos. Las mediciones mediante sonda del ozono a alturas similares permiten determinar la distribución vertical del agotamiento del ozono, que actualmente se produce, al parecer, en el invierno y la primavera del Hemisferio Sur y Norte. Muchos países lanzan sondas de ozono al menos tres veces por semana durante dichas estaciones, para supervisar la evolución de la situación.

El muestreo exitoso de los cambios climáticos requiere la utilización de radiosondas con características de error sistemáticas fijadas. La necesidad de continuidad de las series temporales de las mediciones en la alta atmósfera en todo el mundo hace que los nuevos diseños de radiosondas sólo se lleven a la práctica después de varios años de pruebas intensivas, que se llevan a cabo tanto en laboratorio como en la atmósfera libre.

1.3 Otros usuarios

Los institutos de investigaciones nacionales y otros usuarios pueden desplegar otros sistemas MetAids independientemente de la principal organización meteorológica civil. Las investigaciones específicas incluirán contaminación ambiental, hidrología, radioactividad en la atmósfera libre, fenómenos climáticos significativos (por ejemplo, tormentas invernales, huracanes, tormentas con aparato eléctrico, etc.), y la investigación de una amplia gama de propiedades físicas y químicas de la atmósfera. Este uso no ha disminuido con el tiempo, ya que, debido a la moderna automatización, hoy día resulta más fácil explotar eficazmente sistemas móviles y sistemas a bordo de barcos sin necesidad de contar con operadores muy cualificados ni gran cantidad de equipo de soporte. En el funcionamiento de los sistemas de MetAids se deben acomodar estos usuarios, lo que amplía el espectro de radiofrecuencias requerido para la explotación de dichos sistemas. Ello reviste una importancia crucial cuando los lugares de lanzamiento de las sondas para esos otros usuarios se encuentran a menos de 150 km de los lugares de lanzamiento de las sondas para las organizaciones meteorológicas.

2 Características de las operaciones de radiosonda

Aunque muchas de las operaciones relativas a las radiosondas se realizan normalmente basándose en un calendario específico, también pueden llevarse a cabo en cualquier momento del día o de la noche en respuesta a necesidades operacionales, condiciones atmosféricas o requisitos de prueba concretos. Las observaciones con radiosondas sinópticas se efectúan en todo el mundo para proporcionar los datos que requiere la previsión diaria del tiempo. Las observaciones normalizadas se efectúan nominalmente a 0000 y 1200 UTC, pero las horas reales de lanzamiento varían con arreglo a la práctica nacional y, en ciertos casos, tendrán un adelanto de al menos tres cuartos de hora con respecto a la hora nominal. El lanzamiento puede retrasarse también hasta dos horas después de la hora nominal si se plantean problemas en la preparación de la radiosonda antes del vuelo, si existen normas reglamentarias locales sobre el tráfico aéreo que limitan los tiempos de lanzamiento o si se registra un funcionamiento defectuoso durante el vuelo inicial. En varios países se realizan además, de manera sistemática, observaciones intermedias a las 0600 y 1800 UTC. Los operadores sinópticos lanzan periódicamente radiosondas y sondas descendentes adicionales, a menudo desde emplazamientos temporales mediante la utilización de sistemas móviles, para hacer frente a condiciones meteorológicas anormales o porque los requisitos de la prueba así lo exigen. Se programan vuelos no sinópticos a fin de satisfacer necesidades operacionales.

Los servicios meteorológicos nacionales implementan y explotan las redes de radiosondas de conformidad con las prácticas y procedimientos recomendados y convenidos internacionalmente por la OMM. El número actual de estaciones de radiosonda que informan regularmente es de unas 900. Anualmente se lanzan de manera sistemática unas 800 000 radiosondas, en asociación con la red de la OMM, y se estima que aproximadamente se utilizan otras 400 000 radiosondas con propósitos militares y para aplicaciones especializadas. El nivel actual de la utilización de radiosondas no satisface adecuadamente las necesidades meteorológicas debido a los costes de funcionamiento.

3 Espectro de radiofrecuencias utilizado en las operaciones para los informes de la OMM

3.1 Resultados de la encuesta de la OMM

En el Cuadro 1 se presentan estimaciones de las radiofrecuencias utilizadas en las estaciones de radiosonda sinópticas que informan diariamente a las centrales de datos meteorológicas de la OMM. Esta información se basa en el Catálogo de Radiosondas y Sistemas de Observación de Vientos en Altitud de la OMM utilizado por los miembros. Los resultados de la encuesta se agrupan por regiones para ilustrar la variación de los usos en todo el mundo. Una información más detallada está disponible en el Catálogo de la OMM antes mencionado. En las propuestas de segmentación de bandas habría que tener en cuenta el hecho de que las bandas atribuidas internacionalmente al servicio de ayudas a la meteorología a título primario no se encuentran disponibles para este servicio en todos los países. Por ejemplo, en Australia, no se dispone actualmente de al menos la mitad de la banda de frecuencias de 403 MHz para la realización de operaciones de ayudas a la meteorología.

CUADRO 1
Resumen de la utilización de radiofrecuencias por radiosondas
para operaciones sinópticas diarias

Región	Número total de emplazamientos	Número de emplazamientos que utilizan 400 MHz	Número de emplazamientos que utilizan 1 680 MHz	Número de emplazamientos que utilizan 1 780 MHz ⁽¹⁾
Europa y Rusia Occidental	184	122	12	50
Asia y Rusia Oriental	370	139	127	104
África	74	65	9	0
América del Norte	166	55	109	2
América del Sur y Antártida	74	63	7	4
Australia y Oceanía	100	73	27	0
Sistemas de barcos	36	36	0	0
Total	1004	553	291	160

⁽¹⁾ La banda de 1 780 MHz (1 774-1 790 MHz) es empleada por unos pocos países en todo el mundo, pero no está atribuida al servicio de ayudas a la meteorología en el RR.

La utilización de las dos bandas de frecuencias principales atribuidas al servicio de ayudas a la meteorología (bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz) varía ampliamente en las distintas partes del mundo. Los sistemas que funcionan en la banda de 1 680 MHz son explotados principalmente en Estados Unidos de América, Japón y China. Estos sistemas proporcionan actualmente datos sinópticos al SMT de la OMM. En estos países otros usuarios utilizan fundamentalmente la banda de 403 MHz para las operaciones no sinópticas. En Europa, la banda de 403 MHz se emplea intensamente para soportar las operaciones de las radiosondas sinópticas. La Federación de Rusia y un cierto número de países que han concertado acuerdos de cooperación utilizan frecuencias en torno a 1 780 MHz para las operaciones relativas a las radiosondas. Se prevé que los países que emplean la banda de 1 780 MHz transferirán sus operaciones a una de las dos bandas principales a fin de poder beneficiarse de los equipos disponibles comercialmente.

3.2 Espectro de radiofrecuencias utilizado en Europa occidental y septentrional

En las zonas occidentales y septentrionales de Europa la red de radiosondas es densa y sus estaciones se explotan para realizar operaciones meteorológicas sistemáticas y de supervisión del medio ambiente, así como una serie de operaciones militares. La mayoría de las radiosondas funciona en la banda de 403 MHz. En la actualidad, casi todas estas radiosondas son analógicas, pero se prevé que evolucionarán hacia las comunicaciones digitales en el futuro.

Se han elaborado normas europeas armonizadas que abarcan los requisitos esenciales relativos a la plantilla del espectro y la potencia de transmisión de todas las radiosondas digitales que se emplean en Europa. No existe una norma armonizada para las radiosondas analógicas y, en consecuencia, su utilización está sujeta a la aprobación de cada país.

3.3 Espectro de radiofrecuencias utilizado en América del Norte y América del Sur

El servicio civil de meteorología de Estados Unidos de América es actualmente el principal usuario de la banda de 1 680 MHz. Otros usuarios de este país utilizan la banda de 403 MHz. Aunque existe una atribución que cubre la gama 1 668,4-1 700 MHz, las operaciones del servicio civil de meteorología se encuentran concentradas en la banda 1 675-1 683 MHz para evitar la incompatibilidad con otros servicios en las bandas 1 668,4-1 675 MHz y 1 683-1 700 MHz. El servicio civil de meteorología explota varios sistemas en la banda de 403 MHz en emplazamientos donde la interferencia provocada a una estación terrena principal de un satélite meteorológico representa un problema o donde no es posible instalar una antena de seguimiento parabólica de gran tamaño.

Recientemente se ha hecho un estudio de la utilización de radiosondas en la banda de 403 MHz en Estados Unidos de América, estudio que confirma que los usuarios no sinópticos han instalado un gran número de sistemas. Al menos otros 40 sistemas son utilizados por universidades y otros organismos de Estados Unidos de América. Algunos de estos sistemas se han instalado en grupos con una separación en la dirección horizontal inferior a 250 km, como soporte de las investigaciones que se efectúan a largo plazo en emplazamientos científicos nacionales.

4 Condiciones de funcionamiento

Además de la precisión, las principales características que se exigen a las radiosondas es que sean fiables, sólidas, livianas, pequeñas y que consuman poca energía. Como una radiosonda se utiliza generalmente una sola vez, debe ser diseñada para que pueda ser producida a bajo coste. También es importante que la calibración del sensor pueda ser realizada de manera sencilla y estable. Una radiosonda debe ser capaz de suministrar datos a una distancia de radioenlace de por lo menos 200 km y funcionar dentro de una gama de temperaturas de $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a que la tensión de una batería varía en el tiempo y con la temperatura, la radiosonda debe ser diseñada para

que pueda aceptar estas variaciones sin rebasar los requisitos de precisión y de deriva de radiofrecuencia. El equipo en tierra correspondiente no debe ser excesivamente complicado ni requerir un mantenimiento frecuente por personal altamente calificado. Sin embargo, es preferible que las propias radiosondas sean lo más simples posibles aun a expensas de una mayor complejidad del equipo en tierra, ya que una avería en este equipo puede repararse fácilmente y que el coste del equipo de vuelo prescindible debe ser mínimo.

El periodo ascensional de un vuelo de radiosondeo completo dura de 90 min a 120 min y el descenso dura aproximadamente la mitad del ascenso si se utiliza un paracaídas. Habitualmente la radiosonda sigue transmitiendo mientras desciende. La distancia máxima de recepción adecuada de las señales de la radiosonda se encuentra en la gama de 200 a 350 km dependiendo de la concepción del sistema. La velocidad ascensional es de aproximadamente 5 m/s y la trayectoria depende del viento. En general, dentro de una zona de aproximadamente 400 a 650 km de radio en torno a la estación de radiosondeo no se puede usar la misma frecuencia de enlace descendente. En los sitios de alta densidad hay más de 10 operadores de radiosondas dentro de la zona efectiva de una radiosonda.

En Europa occidental y septentrional la red de radiosondas es densa. Además, las actividades de investigación y supervisión del medio ambiente y de meteorología y los sistemas de defensa afines comparten la banda de frecuencias con las observaciones sinópticas. Para evitar interferencias entre las radiosondas de diferentes estaciones es necesaria una coordinación entre sus operadores.

5 Futuras necesidades de espectro

Se prevé que las operaciones con radiosonda seguirán siendo necesarias en las bandas de 403 y 1 680 MHz del servicio MetAids. Conviene reconocer que aunque el servicio MetAids dispone de una atribución mayor de 30 MHz en la banda 1 668,4-1 700 MHz, una gran parte de esa banda no puede ser aprovechada para dicho servicio debido a la incompatibilidad con otros servicios que tienen atribuciones en la misma banda. En muchas partes del mundo, solo se dispone de la subbanda 1 675-1 683 MHz para las operaciones del servicio MetAids. Los factores que se indican a continuación influirán probablemente en la elección nacional de la banda que se utilice.

5.1 Vientos en altitud muy fuertes

La fuerza media de los vientos en altitud varía dependiendo del lugar geográfico considerado. Japón y muchas zonas costeras de Europa Noroccidental experimentan por lo general, entre la superficie y alturas de 16 km, vientos mucho más fuertes que el resto del Hemisferio Norte. La situación se agrava en el caso de las operaciones con radiosonda en Europa noroccidental, ya que en latitudes más elevadas los vientos entre 16 y 30 km pueden ser a menudo incluso más fuertes que en las capas más bajas durante gran parte del invierno. Por ello, debe efectuarse un seguimiento periódico de las radiosondas a distancias muy superiores a 150 km en ángulos de elevación muy bajos. Las condiciones de viento fuerte pueden persistir durante varias semanas y aparecerán lagunas importantes en los registros climáticos si los datos de las radiosondas a niveles altos no pueden recibirse durante ese periodo.

Las observaciones invernales tienen mucha importancia para las investigaciones sobre el desgaste de la capa de ozono y es fundamental que la mayor cantidad de información posible se obtenga en niveles altos mediante las radiosondas que transportan sensores de ozono y que se utilizan en estas condiciones. Por tal motivo, la recepción superior proporcionada en 403 MHz se considera esencial para las operaciones con radiosonda en emplazamientos que sufren de fuertes vientos en altitud por prolongados periodos de tiempo. Esto es así, con independencia de que se utilice un seguimiento NAVAID o de radar primario para medir los vientos en altitud.

Por consiguiente, en los lugares en los que normalmente se producen vientos de alta velocidad, es preferible utilizar la banda de 403 MHz para el servicio MetAids por dos motivos. En primer lugar, porque las características de la propagación en 403 MHz generan una mayor fiabilidad de los enlaces a largas distancias. En segundo lugar, porque el multitrayecto constituye una limitación de la precisión de los radioteodolitos en ángulos de elevación próximos al horizonte. Así pues, es fundamental utilizar el sistema basado en NAVAJD en 403 MHz, incluso con un coste posiblemente alto del sistema mundial de determinación de posición (GPS) si se desea realizar mediciones precisas del viento en estas condiciones extremas.

5.2 Eficacia del personal derivada de la utilización de sistemas muy automatizados

Anteriormente, un gran número de los servicios meteorológicos nacionales de todo el mundo pasaron a utilizar el sistema de determinación del viento NAVAJD (principalmente Loran-C) para el servicio MetAids en la banda de 403 MHz, para mejorar la eficacia de las operaciones del personal. Los sistemas explotados en la banda de 403 MHz son generalmente más fáciles de operar y menos difíciles de mantener. El coste adicional de la radiosonda de determinación del viento de NAVAJD ha quedado compensado con creces por las grandes economías que se derivan de una mayor eficacia por la realización de las operaciones por un solo hombre y las importantes reducciones del gasto en mantenimiento del sistema de tierra.

No obstante, actualmente se fabrican radiosondas GPS que pueden funcionar también en la banda de 1 680 MHz. Estas radiosondas ofrecen algunas ventajas que antes sólo estaban disponibles en las radiosondas basadas en el sistema NAVAJD que funcionaban en la banda de 403 MHz. El funcionamiento de los sistemas convencionales terrenales NAVAJD, tales como LORAN-C, cesó entre 1997 y 2001 en la mayor parte del mundo. A largo plazo, existe la posibilidad de que ciertos países que actualmente utilizan sistemas que funcionan en 403 MHz vuelvan a efectuar operaciones de radioteodolito en 1 680 MHz si el coste de las radiosondas GPS es mucho mayor que el de las radiosondas NAVAJD que se utilizaban antes. Es posible que se sigan utilizando radiosondas LORAN-C en aquellas zonas del mundo en las que continúe el funcionamiento de este sistema.

5.3 Cuestiones relacionadas con el coste de las radiosondas

La principal limitación en cuanto a la observación mediante radiosondas en la red mundial es el coste. En los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), el coste de las radiosondas supone aproximadamente un cuarto de los costes totales de la observación mediante radiosondas. La estructura de los costes es notablemente diferente en los países en desarrollo, donde el coste de las radiosondas representa el elemento más importante. En la medida en la que se mundializa la necesidad de disponer de datos meteorológicos, algunos países desarrollados donan sistemas y parte de las radiosondas a algunos países en desarrollo a fin de que puedan llevar a cabo observaciones en la alta atmósfera. Por ello es muy importante que el precio de las radiosondas sea lo más bajo posible, para que pueda existir una continuidad en estas observaciones que son vitales para la meteorología de explotación, incluidos los aspectos relacionados con la protección de la vida. En el coste total de la radiosonda, los sensores y los detectores del viento representan la parte principal, mientras que los transmisores se hacen deliberadamente lo más sencillos posible para que el precio total sea reducido. El coste de los transmisores representa aproximadamente entre el 15% y el 35% del coste actual del equipo electrónico de una radiosonda.

La utilización de las bandas de 1 680 MHz conviene en los países en que la ocurrencia de vientos altos es poco frecuente y/o existe cierta preocupación respecto al coste de utilizar en el futuro radiosondas basadas en el GPS en la banda de 403 MHz del servicio MetAids. La banda de 1 680 MHz posibilita la utilización de radiogoniometría para la medición de vientos en lugar de emplear una radiosonda GPS de coste elevado. Las radiosondas utilizadas en las operaciones meteorológicas con radioteodolitos o radares primarios son las de diseño más elemental, lo que hace

que su coste medio sea el más bajo. Aunque la adquisición de una estación terrestre más compleja conlleva un coste inicial más elevado, pueden hacerse economías al reducir los costes de funcionamiento anuales si se adquiere un gran número de radiosondas y los costes de personal no son los más importantes.

5.4 Independencia con respecto a los sistemas NAVAID internacionales

Es posible que algunos países tengan, como requisito propio, el que los sistemas de sondeo en la alta atmósfera sean capaces de funcionar de manera independiente con respecto a los sistemas NAVAID internacionales. Puede ocurrir que estos últimos sistemas no estén disponibles en momentos de emergencia. Si tal es el caso, la utilización de radioteodolitos en las bandas de 1 680 MHz o de radares primarios en la banda de 403 MHz son opciones viables.

5.5 Congestión del espectro

En algunas partes del mundo resultaría insuficiente una sola banda para satisfacer las necesidades de espectro de los usuarios del servicio MetAids. En esas zonas se emplean ambas bandas a fin de proporcionar espectro suficiente para las operaciones sinópticas, operaciones militares, investigación atmosférica y demás aplicaciones.

5.6 Mejora actual de la eficacia de utilización del espectro

Una forma de mejorar la eficacia de utilización del espectro necesario para las radiosondas es desarrollar la aplicación de la telemetría digital. Entre las ventajas de esos sistemas está, en primer lugar, la ocupación de una anchura de banda más reducida que permite que las radiosondas hagan una utilización simultánea del espectro más elevada. La introducción de una norma del ETSI para las radiosondas digitales (Tipo B en el Cuadro 4) especifica que la deriva de frecuencia no debe ser mayor de ± 20 kHz con una anchura de banda ocupada de 200 kHz.

Los países de Europa occidental que explotan redes densas se han visto forzados en la última década a utilizar transmisores controlados por cristal o transmisores estables especialmente seleccionados como soporte de operaciones rutinarias.

Algunos países siguen utilizando Loran-C como el método de determinación del viento, debido a que es más económico que el GPS. La explotación de redes sumamente densas (es decir, con una separación de 100 km) resultará difícil, debido a la gran anchura de banda de las radiosondas Loran-C.

La OMM está alentando a otras regiones del mundo, que utilizan radares de banda muy ancha para la determinación del viento, a que implementen sistemas de banda más estrecha, debido a la necesidad de compartir el espectro radioeléctrico con otros sistemas.

Los sistemas en la banda de 1 680 MHz no se han utilizado en redes con separaciones tan reducidas y no se han exigido aún progresos equivalentes en la estabilidad de los transmisores a los principales proveedores. Por esta razón, en algunas partes del mundo que requieren más de unos 8 MHz, es posible un cierto grado de mejora en la eficacia del espectro en esta banda, teniendo en cuenta que pueden introducirse cambios en una escala de tiempo que no provoque un incremento significativo de los costes de las radiosondas suministradas.

En cualquier segmentación de una banda que se proponga habrá que tomar en consideración el hecho de que las bandas atribuidas internacionalmente al servicio MetAids a título primario no se encuentran disponibles para este servicio en todos los países. Por ejemplo, en Australia no se dispone actualmente de al menos la mitad de la banda de frecuencias de 403 MHz para la realización de operaciones MetAids.

5.7 Detección/corrección de errores

La eficacia espectral correspondiente a los sistemas digitales MetAids puede mejorarse mediante la utilización de potencias de transmisión más bajas siempre que pueda mantenerse la característica de disponibilidad de los datos. Un método para mejorar la proporción de bits erróneos (BER) consiste en utilizar corrección de errores en recepción (FEC). La codificación consiste en añadir bits a los datos en el transmisor, que se emplean en el receptor para detectar los errores; por ejemplo, en la codificación por bloques, conocida más específicamente como codificación Reed-Solomon. Los códigos Reed-Solomon se utilizan ampliamente en las comunicaciones digitales actuales como es el caso de los discos compactos y las comunicaciones móviles y por satélite. El código de corrección de bits con errores permite mejorar la calidad de funcionamiento de los enlaces de telemetría.

La codificación Reed-Solomon se especifica en la forma $RS(n, k)$, donde n es la longitud de la palabra de código y k representa el número de símbolos de datos. El codificador selecciona k símbolos de datos de s bits y añade un símbolo de paridad para formar una palabra de código de longitud n . Existen $n - k$ símbolos de paridad de s bits. Por lo general, la máxima longitud de la palabra de código puede calcularse a partir de $n = 2^s - 1$. Un decodificador Reed-Solomon puede corregir hasta t símbolos que contengan errores en una palabra de código, donde $2t = n - k$. La aplicación de la codificación Reed-Solomon puede mejorar la calidad de funcionamiento del enlace del orden de 5 dB.

6 Requisitos de disponibilidad del servicio MetAids

La no disponibilidad del enlace radioeléctrico representa la causa principal de la no disponibilidad de los datos, aparte de un fallo en la radiosonda o una ruptura prematura del globo, lo cual puede producir un sondeo reiterado. Hay dos causas principales que provocan la degradación de la disponibilidad del enlace radioeléctrico, las condiciones de propagación y la interferencia.

A diferencia de los sistemas de telecomunicaciones en los cuales la no disponibilidad se distribuye estadísticamente a lo largo de toda la duración de la operación, la no disponibilidad de los sistemas de radiosondas se concentra particularmente en la última porción de las mediciones cuando la radiosonda se encuentra a la altura más elevada con respecto a la tierra y normalmente en la mayor gama de distancias oblicuas desde el receptor.

El balance del enlace de la radiosonda se controla principalmente mediante la distancia entre ésta y el receptor, que, por lo general, aumenta al hacerlo la altitud. Cualquier reducción de la disponibilidad del enlace de la radiosonda, por la razón que fuere (por ejemplo, interferencia), repercutiría principalmente en las mediciones de gran altitud que representan una parte crítica de los datos recopilados (que se perderían por no disponer de redundancia en el sistema de transmisión) y, en consecuencia, limitarían de hecho la gama operativa de las radiosondas.

Los sistemas de radiosonda realizan mediciones in situ de la presión atmosférica, la temperatura y la humedad relativa (PTU). La dirección y velocidad del viento se determinan por el método NAVAID o por radiogoniometría (RDF), midiendo el acimut y el ángulo de elevación de la radiosonda en relación con la antena de recepción.

En las radiosondas de 1 680 MHz, las pérdidas de señal de más de 10 s de duración provocan generalmente la pérdida del seguimiento del receptor en tierra. Cuando se pierde contacto con una radiosonda, muy raramente se recupera, por lo que se pierde toda la información del vuelo incluso si desaparece la señal interferente. El receptor radioeléctrico sigue la señal de máxima amplitud en su anchura de banda instantánea (1,3 MHz).

6.1 Condiciones de propagación

La Recomendación UIT-R P.528 trata de las «Curvas de propagación para los servicios móvil aeronáutico y de radionavegación aeronáutica que utilizan las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas». En particular, se proporcionan las condiciones de propagación en la gama de 300 y 1 200 MHz que pueden compararse razonablemente bien con las pruebas en funcionamiento real realizadas respectivamente en las bandas de 403 y 1 680 MHz.

En las Figs. 1 y 2 se presentan extrapolaciones de las curvas de pérdidas de transmisión de la Recomendación UIT-R P.528 para un caso específico de radiosondas según las siguientes hipótesis:

- disponibilidad de tiempo del 97% (se empleó la fórmula de la Recomendación UIT-R P.618 para extrapolar a partir de la disponibilidad del 95% propuesta en la Recomendación UIT-R P.528);
- clima templado continental;
- máxima distancia de trayecto oblicuo de 300 km;
- Casos A, C y E de altura de antena correspondientes a una antena de recepción de 15 m y una altura de antena de transmisión de 1 000, 10 000 y 20 000 m respectivamente;
- atenuación adicional de 2,6 y 2,9 dB en, las bandas de 403 MHz y 1 680 MHz, respectivamente, para tener en cuenta la diferencia de frecuencia con referencia a las que se describen en la Recomendación UIT-R P.528.

FIGURA 1
Pérdidas de transmisión durante el 97% del tiempo en la banda de 403 MHz

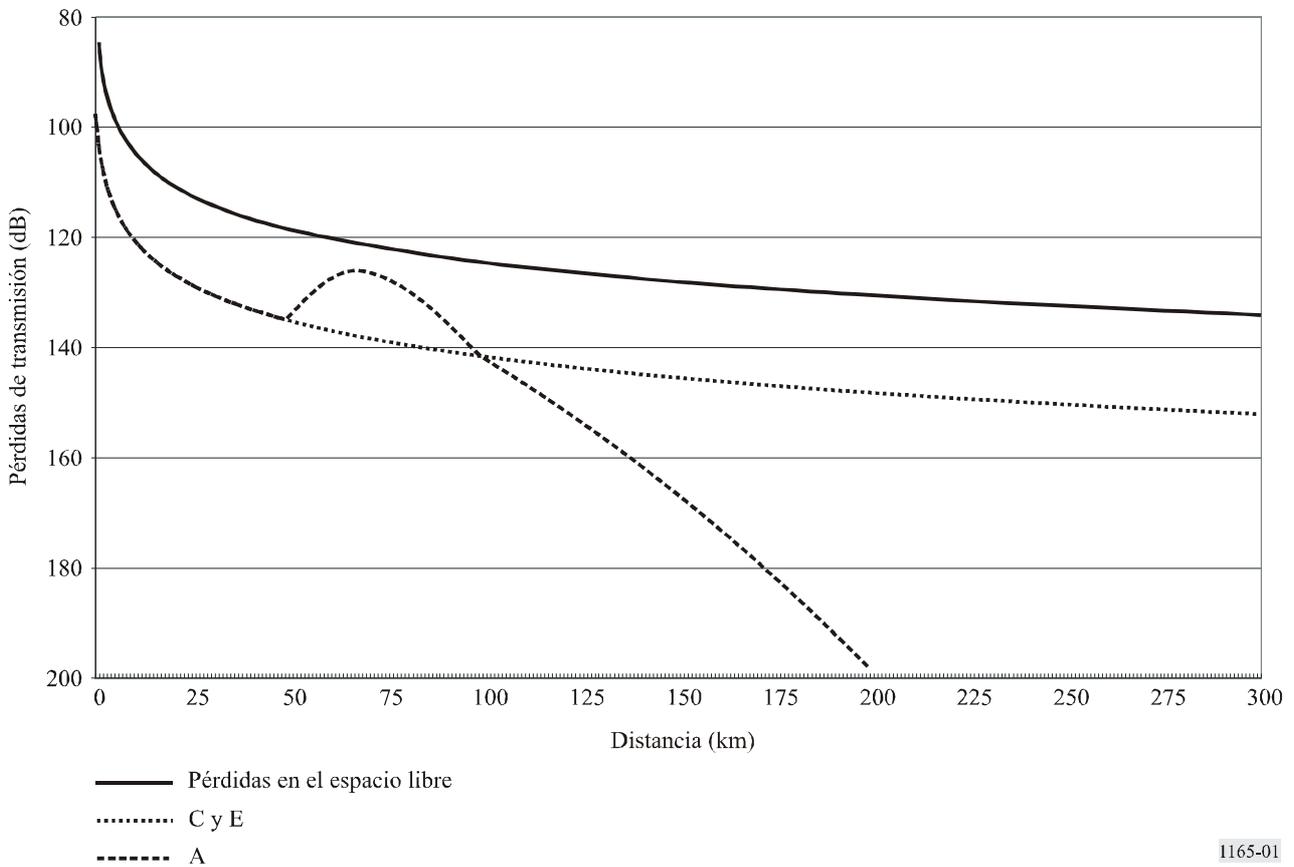
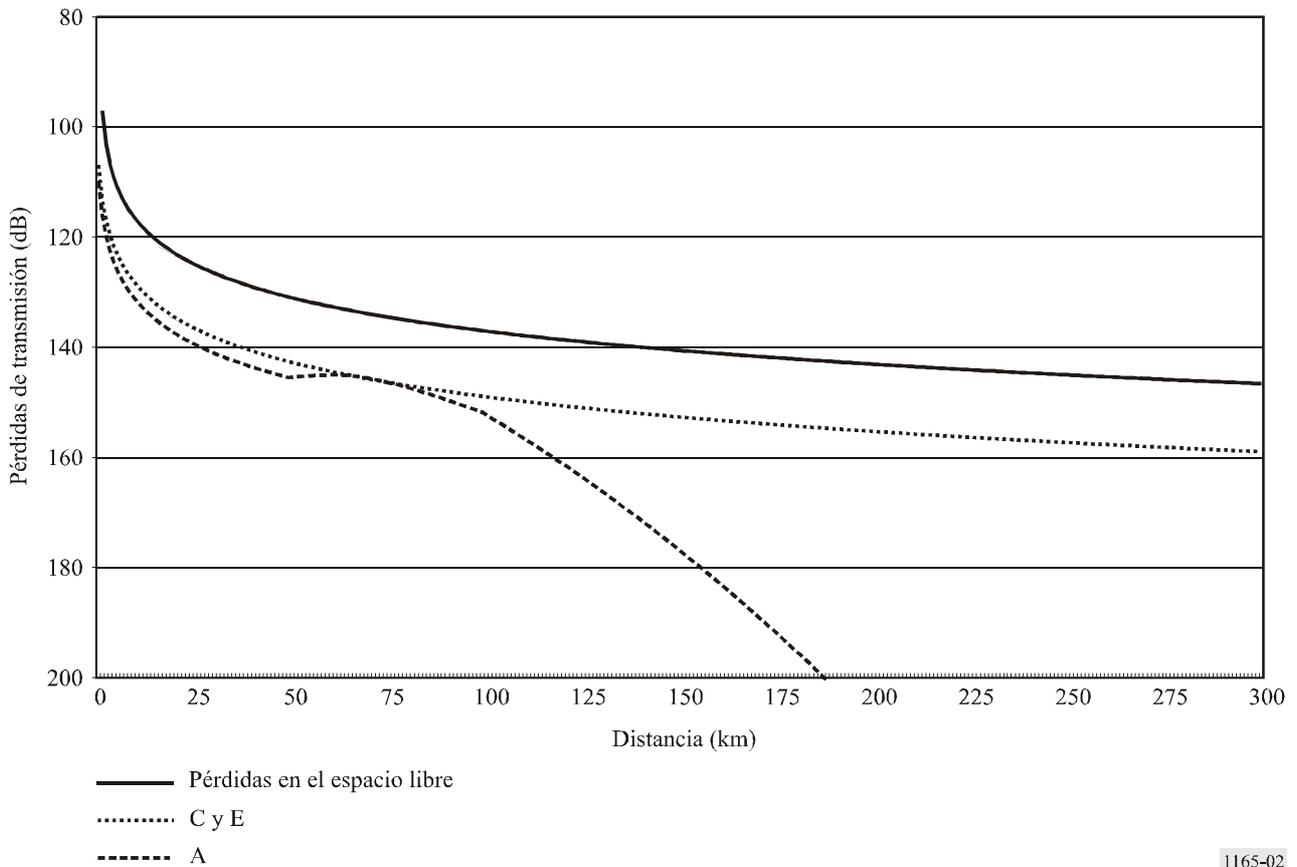


FIGURA 2

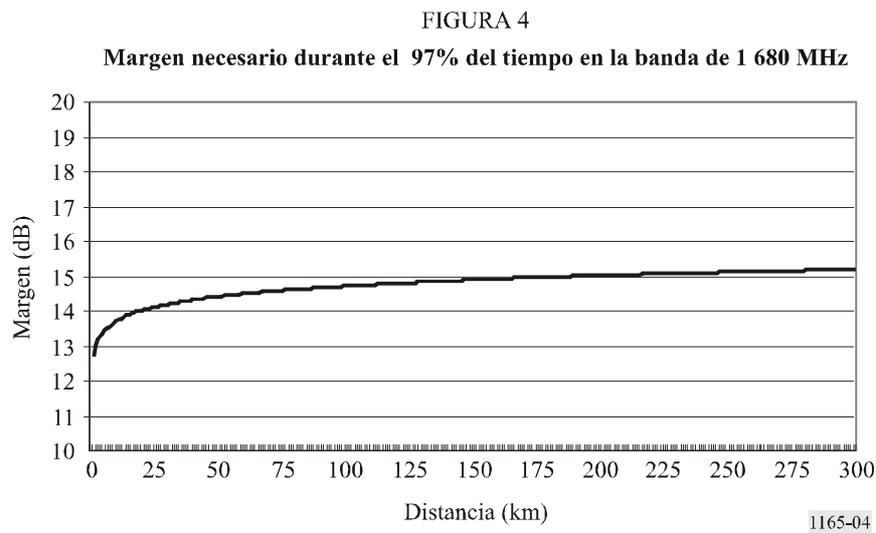
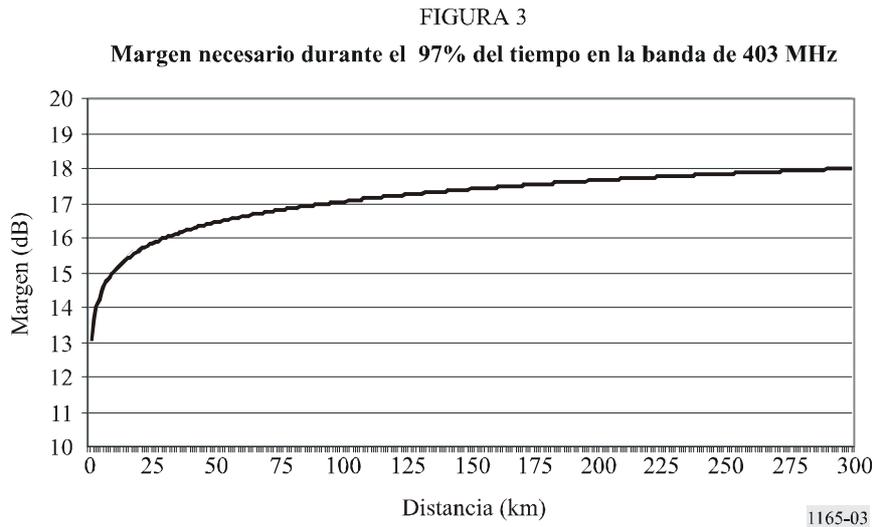
Pérdidas de transmisión durante el 97% del tiempo en la banda de 1 680 MHz



1165-02

Obsérvese en estas curvas que, en la gama de las distancias representativas de las operaciones de radiosondas, las Curvas C y E son similares. Asimismo, en el caso de la Curva A que corresponde a una altura de radiosonda de 1 000 m, se producen pérdidas de transmisión similares hasta aproximadamente 50 km, mientras que a una distancia superior puede observarse una variación apreciable. Sin embargo, lo más probable es que, a 1 000 m de altitud, una radiosonda estaría a una distancia de trayecto oblicuo inferior a 50 km, lo que significa que, para las dos bandas de frecuencias, las curvas de propagación relacionadas con esta altura de radiosonda serían similares a las de las alturas superiores, como en el caso de la curva azul.

Sobre esta base, en las Figs. 3 y 4 se proporciona el margen necesario para las operaciones de radiosondas con una disponibilidad del 97%, a fin de representar la diferencia entre las curvas de pérdidas en el espacio libre y las curvas de pérdidas de transmisión.

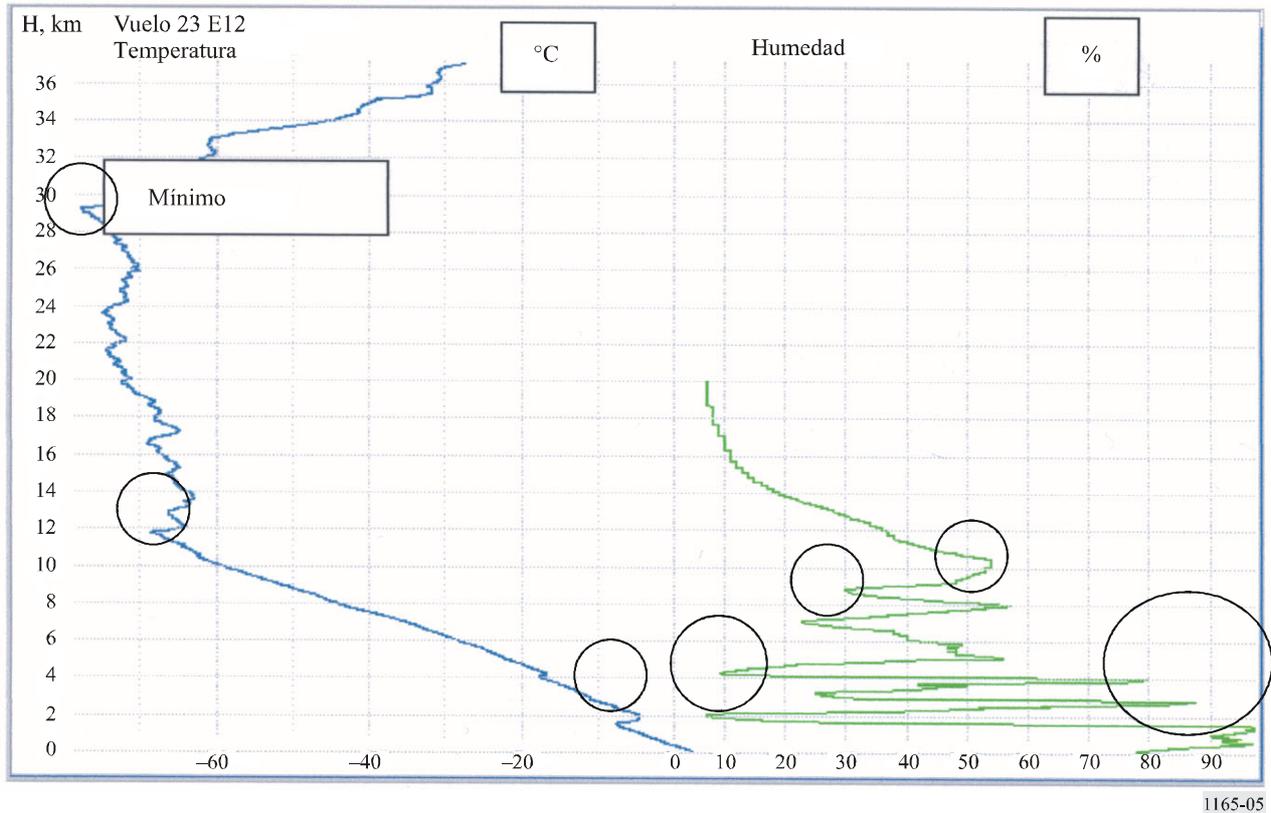


6.2 Periodos cruciales del vuelo

Por lo general, en todos los vuelos de radiosondas hay periodos de tiempo durante los cuales los datos son más importantes que en otros periodos. Pero esos periodos de tiempo no pueden especificarse desde el punto de vista de tiempo o altitud. El ejemplo de la Fig. 1 se adoptó del Manual de la OMM/UIT – Utilización del espectro radioeléctrico en meteorología (Edición de 2002). El Manual proporciona la representación de la temperatura y la humedad de un vuelo de radiosonda. Aunque la recepción de los datos es importante durante el vuelo, la pérdida de datos durante un cambio brusco de (mostrados en círculos en la Fig. 5) temperatura, humedad o viento pueden afectar significativamente las capacidades de previsión ya que no podrá determinarse con precisión ese punto de transición particular. En el caso de estudios de interferencia, todo el perfil de datos debe considerarse igualmente importante.

FIGURA 5

Ejemplo de representación del perfil de temperatura y humedad de una radiosonda



1165-05

6.3 Requisitos de disponibilidad de datos de una radiosonda de operaciones sinópticas

Los requisitos de disponibilidad de datos varían incluso con las redes sinópticas. Aunque pueden existir otros requisitos establecidos por servicios meteorológicos individuales, para esta Recomendación pueden determinarse tres categorías diferentes. La primera incluye todos los sistemas de radiosondas que funcionan en la banda de 403 MHz. Éstos se representan mediante los sistemas A y B del § 7. La segunda considera los sistemas de radiosondas antiguos que funcionan en la banda de 1 680 MHz. Los que pertenecen a esta categoría son los sistemas C y D del § 7. La última categoría engloba a los nuevos sistemas en proceso de instalación en la banda de 1 680 MHz. El sistema E del § 7 se encuentra dentro de esta categoría.

6.3.1 Sistemas de radiosondas que funcionan en la banda de 403 MHz

Los requisitos de los sistemas que funcionan en la banda de 403 MHz son algo diferentes.

En el caso de las radiosondas analógicas que funcionan en la banda de 403 MHz, son aceptables periodos sin datos sobre la presión, temperatura, humedad y viento con un límite máximo de 4 min. Durante esos periodos el sistema de tratamiento de datos de la radiosonda interpolará los valores. Una vez rebasado dicho periodo de 4 min sin datos, se considerará que los datos se perdieron y, por consiguiente, los datos correspondientes a esos periodos no se emplean para ningún resultado. Si se supone un vuelo de 120 minutos, los 4 min de tiempo de no disponibilidad se traducen en una disponibilidad del 97%. El sistema aplica un criterio adicional: si el periodo sin datos de viento del GPS supera los 30 min desde la superficie, puede programarse un nuevo vuelo. La disponibilidad de los datos tiene la misma importancia en todos los niveles durante el vuelo. Tras haber examinado una muestra de datos de radiosonda de aproximadamente 65 000 vuelos, la disponibilidad de datos de presión, temperatura, humedad y viento es del 98,5%.

En el caso de las nuevas radiosondas digitales que funcionan en la banda de 403 MHz, los requisitos de disponibilidad de datos se encuentran aún sujetos al análisis de los usuarios. No obstante, los requisitos provisionales son los siguientes:

- la pérdida de datos durante el lanzamiento de las radiosondas no es aceptable (<100 m);
- para los datos relativos a la velocidad del viento:
 - de 100 m a 3 km por encima de la superficie, la disponibilidad de los datos debe ser al menos del 97%;
 - de 3 km al final del vuelo, la disponibilidad de los datos debe ser al menos del 95%;
- para los datos de presión, temperatura, humedad y viento, la disponibilidad de los datos debe ser al menos del 96% con 120 min de vuelo;
- además, la pérdida continua de datos por más de 5 min es inaceptable.

En este momento la gran mayoría de los usuarios con operaciones en la banda de 403 MHz están utilizando las antiguas radiosondas analógicas. El coste más elevado de las radiosondas digitales y los prolongados periodos de transición necesarios para instalar la tecnología correspondiente constituyen un factor limitante para el uso de las radiosondas digitales a corto plazo. Debe tenerse en cuenta la instalación real de radiosondas tanto digitales como analógicas.

Por último, y a modo de resumen, parece que el requisito de disponibilidad de datos para ambos sistemas de radiosondas analógicos y digitales en la banda de 403 MHz es del 97%.

6.3.2 Sistemas de radiosondas antiguos que funcionan en la banda de 1 680 MHz

En el Cuadro 2 se enumeran los requisitos de disponibilidad del enlace de la radiosonda propuestos que se aplican a los antiguos sistemas de radiosondas que funcionan en la banda de 1 680 MHz. Para cumplir el objetivo deben satisfacerse todos los límites indicados en la columna de pérdida de datos. Los números no son acumulativos; cada uno de los requisitos se aplica sólo al periodo de tiempo especificado. Además de los requisitos del Cuadro 2, no debe producirse la falta y/o rechazo de datos de presión o temperatura por más de tres min consecutivos en ningún punto durante el vuelo.

CUADRO 2

Objetivos de calidad de funcionamiento de las operaciones sinópticas correspondientes a las radiosondas que se utilizan en América del Norte

Tiempo de vuelo (min)	Máxima pérdida de datos durante no más del 2% de los sondeos (por emplazamiento, por mes ⁽¹⁾)
0-120 (vuelo completo)	15 min (12,5 %)
0-5	60 s (20%)
5-15	2 min (20%)
15-30	3 min (20%)
30-60	6 min (20%)
60-120	12 min (20%)

⁽¹⁾ Los sondeos que no pueden cumplir con el requisito del 2% se consideran vuelos fracasados y requerirán un segundo lanzamiento si la determinación del fallo se realiza en los 30 min transcurridos tras el lanzamiento. Los vuelos que no pueden cumplir con el requisito después de 30 min se clasifican como fracasos.

El objetivo de disponibilidad de datos especificado se aplica a la pérdida de datos causada por todas las fuentes (interferencia, error del operador, fallo de equipo, fallo de radiosonda y error de datos del sensor). Durante el periodo que abarca el final del vuelo (60-120 min), puede producirse una pérdida máxima de datos del 20%. Además, si un vuelo no llega al punto final de 120 min, también se clasifica como fracaso. Muchos factores pueden reducir la longitud de un vuelo, incluida la interferencia que, por lo general, provoca pérdida del enganche de la señal deseada por el sistema receptor. Si la señal no puede recuperarse en un tiempo suficientemente breve (aproximadamente 1 s o menos), el control automático de frecuencia del receptor (CAF) volverá a sintonizar el receptor a otra señal con intensidad suficiente para lograr el enganche de la misma. En los sistemas de radiogoniometría (RDF), el problema se agrava aún más por la antena RDF con una pequeña anchura de haz que pierde el movimiento de la radiosonda. Para este sistema particular, se puede producir la pérdida del vuelo con pérdidas de enlace superiores a 0,8 s.

6.3.3 Nuevos sistemas que funcionan en la banda de 1 680 MHz

Los sistemas que se encuentran en proceso de instalación actualmente, y que se instalaron en los últimos años en la banda de 1 680 MHz, han aprovechado la nueva tecnología para mejorar las características y la calidad de funcionamiento de RF de los sistemas de radiosondas. Esos cambios fueron necesarios para aumentar la disponibilidad y precisión de los datos a fin de utilizarlos en modelos más complejos que son sensibles a las pérdidas de datos significativas. Se diseñó un sistema que sirve de ejemplo con un objetivo de disponibilidad del 98%. Las pruebas correspondientes han demostrado que este sistema satisface ese requisito de disponibilidad. Como fue el caso con los antiguos sistemas, el valor de disponibilidad se aplica a todas las fuentes de pérdida de datos. La disponibilidad máxima de 2% debe prorratearse entre todas las fuentes de pérdida de datos, incluyendo el fallo del enlace debido a desvanecimiento e interferencia.

En la banda de 1 680 MHz, se están instalando sistemas de radiosondas con otras características y otros requisitos de disponibilidad de datos. La OMM ha identificado dos conjuntos de requisitos adicionales que deben tenerse en cuenta.

El primer requisito nuevo se aplica a un sistema de radiosondas formado por una radiosonda de tipo E y un sistema de recepción E. El requisito de disponibilidad de datos se establece de la siguiente manera:

- Ninguna radiosonda debe perder más de un total de 4,0 min de datos meteorológicos durante un vuelo de 120,0-min de una radiosonda que se eleva a una velocidad de 300 ± 50 m por min a una gama de distancias oblicuas de 250 km. En el caso de vuelos de menos de 120,0 min debido a que el globo revienta o a una distancia excesiva, la pérdida de datos total permisible será igual al cociente entre el tiempo de vuelo real en minutos dividido por 120, multiplicado por la máxima pérdida de datos especificada en esta Recomendación para los datos termodinámicos o los datos de la velocidad del viento y la posición de la radiosonda.
- Además, en el caso de pérdida de datos en segmentos pequeños, el sistema no debe perder más de 15 s de datos de presión, temperatura, humedad relativa, posición del GPS o velocidad del viento en cualquier periodo de 5 min de tiempo de vuelo. Un fallo de cualquiera de estos requisitos dará lugar a un vuelo no satisfactorio.

El segundo requisito identificado por la OMM se aplica a un sistema al que no se hace referencia en esta Recomendación. Este sistema es vulnerable a la pérdida de datos durante la fase inicial del ascenso hasta 1 km (es decir, unos 200 s después del lanzamiento), donde la velocidad angular del movimiento de la radiosonda bajo condiciones de viento y geometría no favorables puede ser muy elevada a efectos de seguimiento satisfactorio en presencia de interferencia. Esto puede arrojar datos erróneos o que faltan correspondientes a la capa límite. La falta de dos o más niveles isobáricos normales (~10-15 min), por encima de 1 km, se considera como una pérdida de datos

inaceptable y provoca la terminación del tratamiento de los datos. Los intervalos en los perfiles superiores a 20 hPa deben marcarse como faltantes. Basándose en experiencias prácticas, en condiciones normales, puede deducirse que el nivel de la pérdida de datos para este sistema es despreciable en cuanto a la telemetría y el seguimiento.

Por último, y a modo de resumen, parece que el requisito de disponibilidad de datos para los nuevos sistemas de radiosondas en la banda de 1 680 MHz es del 98%.

6.4 Resumen de los requisitos en cuanto a disponibilidad de datos

CUADRO 3

Criterios de calidad de los sistemas del servicio MetAids

Sistema	Emplazamiento del receptor	Máximo alcance del enlace (km)	Mínima relación S/N del sistema (dB)	Requisito de disponibilidad de datos durante todo el vuelo (%)	Requisito de disponibilidad de datos a corto plazo
Sistema de radiosondas RDF que funciona en 1 680 MHz	Tierra	250	12	87,5	Véase el § 6.3.2
Sistema de radiosondas GPS que funciona en 1 680 MHz	Tierra	250	12	97	15 s/5 mn (95%)
Sistema de radiosondas NAVAID que funciona en 403 MHz con antena de recepción de alta ganancia	Tierra o barco	250	12	97	No disponible
Sistema de radiosondas NAVAID que funciona en 403 MHz con antena de recepción de baja ganancia	Tierra o barco	150	12	97	No disponible
Sistema de radiosondas NAVAID que funciona en 403 MHz con antena de recepción de alta ganancia y receptor digital	Tierra o barco	250	7	97	No disponible
Sistema de radiosondas NAVAID que funciona en 403 MHz con antena de recepción de baja ganancia y receptor digital	Tierra o barco	250	7	97	No disponible

7 Características de radiocomunicación de los sistemas de radiosondas actuales

Los sistemas de radiosondas se componen de los transmisores de las radiosondas y de las estaciones receptoras en tierra en las que se asocia un receptor y una antena.

7.1 Características de los transmisores

Las características típicas de los sistemas de transmisión que se emplean actualmente en las bandas de 403 MHz y 1 680 MHz se presentan en los Cuadros 4 y 5.

CUADRO 4

Características de radiocomunicaciones de los transmisores de radiosondas en la banda de 403 MHz

Parámetro	Tipo A (analógico)	Tipo B (digital)
Gama de sintonía (MHz)	400,15-406	400,15-406
Deriva máxima en vuelo (kHz)	± 800	±20
Potencia de salida nominal (dBm)	+24,0	+23,0
Ganancia máxima de antena (dBi)	2	2
Tipo de emisión UIT-R	F9D	
Modulación	MF	GMSK
Señal PTU moduladora (kHz)	7-10	No disponible
Desviación de la señal PTU (kHz)	45 ± 15	4,8
Desviación ocasionada por la señal del radioenlace del sistema Loran-C en ondas miramétricas (kHz)	100/300	No disponible
Anchura de banda ocupada por el sistema Loran-C (kHz) (a un nivel de -40 dBc)	480	No disponible
Anchura de banda ocupada por el GPS (kHz) (a un nivel de -40 dBc)	200	200
Velocidad de información equivalente de la señal PTU (bit/s)	1 200 ⁽¹⁾	No disponible
Velocidad de información equivalente de la señal PTU y GPS (bit/s)	2 400	2 400
Emisión fuera de banda (dBc)	< -43	< -48

⁽¹⁾ La velocidad de transmisión de la información tiene como objetivo indicar la velocidad real de los datos transmitidos desde la radiosonda al receptor en tierra. Debido a las técnicas de modulación utilizadas actualmente por los sistemas de radiosonda, se necesitan más estudios para estimar estos valores.

CUADRO 5

**Características de radiocomunicación de los transmisores
de radiosonda en la banda de 1 680 MHz**

Parámetro	Tipo C (analógico)	Tipo D (analógico)	Tipo E (digital)
Gama de sintonía (MHz)	1 668,4-1 700	1 668,4-1 700	1 675-1 683
Deriva máxima en vuelo (MHz)	±4	±4	±1
Potencia de salida nominal (dBm)	+24,0	+24,0	+23,8
Ganancia máxima de la antena (dBi)	2,0	2,0	2,0
Ganancia mínima de la antena	< -10	< -10	-4
Modulación	MA, 100%	MF	FSK
Señal PTU moduladora (kHz)	0,7-1,0	7-10	No disponible
Desviación	No aplicable	45 ± 15	< 50 kHz
Determinación del viento	Detección de los ángulos de recepción	Detección de los ángulos de recepción	GPS
Anchura de banda ocupada	-40 dBc: 0,5 MHz -50 dBc: 1,0 MHz	180 kHz	120 kHz
Velocidad de información (bit/s)	1 200	1 200	2 400
Emisión fuera de banda (dBc)	< -43	< -43	< -48

7.2 Sistemas de recepción

7.2.1 Banda de 403 MHz

En el Cuadro 6 se presentan las características típicas de los receptores utilizados en la actualidad en la banda de 403 MHz.

CUADRO 6

Características de los receptores en la banda de 403 MHz

Parámetro	Sistema A	Sistema B
Tipo	Analógico	Digital
Gama de frecuencias (MHz)	400,15-406	400,15-406
Sensibilidad (dBm para la S/N o E_b/N_0 necesaria)	-104	-124
S/N requerida	12 dB	No disponible
E_b/N_0 requerida	No disponible	9,6 dB
CAG (dB)	110	No disponible
Anchura de banda en FI (kHz)	300	6
Tipos de radiosondas	A	B

Independientemente del transmisor de la radiosonda, estos receptores pueden asociarse con las diferentes antenas típicas como se describen en el Cuadro 7.

CUADRO 7

Características de las antenas en la banda de 403 MHz

	Antena 1	Antena 2	Antena 3
Tipo	Omnidireccional (dipolo, plano de tierra)	Reflector diédrico directivo, seis ángulos	Kathrein
Gama de frecuencias (MHz)	397-409	400-406	400-406
Ganancia horizontal (dB)	Omnidireccional	8	2,15
Ganancia vertical (dB)	Omnidireccional	-3	-15
Factor de ruido del amplificador (dB)	< 3,5	< 2,5	< 3,0
Ganancia del amplificador (dB)	13	20	20
Pérdida de inserción en el filtro paso de banda	No disponible	0,5	0,5
Anchura de banda del filtro paso de banda	No disponible	400-406 MHz	400-406 MHz

Las antenas A y C son omnidireccionales en el plano horizontal de modo que no se requiere ningún movimiento de la antena o conmutación de los elementos para realizar un seguimiento de la señal de la radiosonda. La antena B es una red de elementos de seis reflectores diédricos y una antena dipolo. Los reflectores diédricos y la antena dipolo se conmutan mediante un conmutador de diodos de manera que se conecte al receptor el elemento más apropiado para obtener la mejor recepción.

FIGURA 6

Diagrama de radiación de la antena C

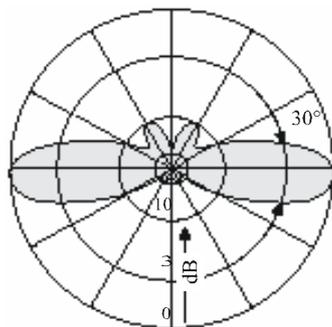


Diagrama vertical 1165-06

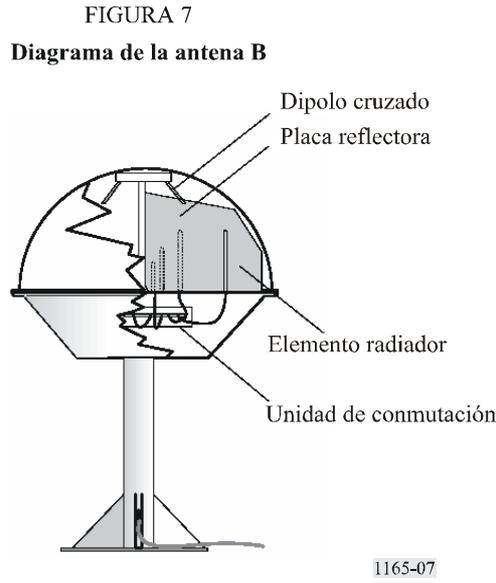
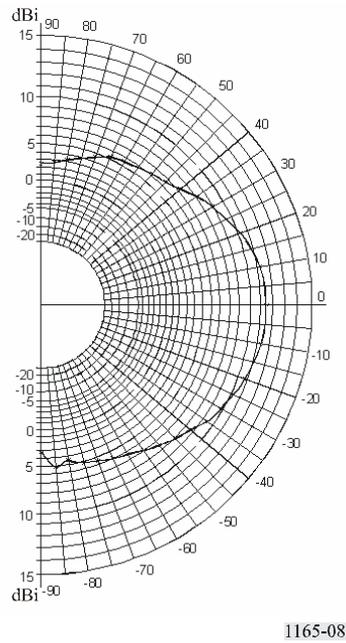


FIGURA 8
Diagrama de radiación (plano-H, ángulo de 12°) de la antena B



7.2.2 Banda de 1 680 MHz

En el Cuadro 8 se presentan las características típicas de los sistemas de recepción utilizados en la actualidad en la banda de 1 680 MHz.

CUADRO 8

Características de los sistemas de recepción en la banda de 1 680 MHz

	Sistema C	Sistema D	Sistema E
Tipo	Red de elementos en fase	Exploración cónica	Exploración cónica ⁽¹⁾
Gama de frecuencias (MHz)	1 668,4-1 700	1 668,4-1 700	1 668,4-1 700
Anchura de haz a 3 dB (grados) (horizontal)	20	8,8	8,0
	(vertical)	15	8,8
Ganancia (dBi)	16	28	26
Atenuación del lóbulo lateral (dB)	> 20 en la dirección de reflexión especular en el suelo sobre terreno plano cuando la elevación > 14°	15 a ± 60° con respecto al eje de puntería	>20
Sensibilidad (dBm) para una S/N de 12 dB	-110	-97	-106,8
Control automático de ganancia (dB)	110		123
Anchura de banda en FI para la medición de PTU (kHz)	300	180	150
	- Seguimiento (MHz)	No aplicable	1,3
Utilizado con el tipo o tipos de radiosonda	C	D	E

⁽¹⁾ El sistema no emplea una exploración cónica verdadera cuando un reflector giratorio en la bocina de alimentación hace girar el haz principal en torno al eje de la línea central de la antena. Este sistema tiene cuatro elementos discretos en la bocina de alimentación que forman cuatro haces discretos en los sentidos arriba, abajo, izquierda y derecha para fines de comparación y seguimiento del nivel de señal.

8 Características de radiocomunicación de los sistemas de las sondas descendentes

Las sondas descendentes son paquetes de sensores meteorológicos que se transportan por avión y se dejan caer con un paracaídas para obtener los datos del perfil de la atmósfera. Aunque pueden utilizarse sobre la masa continental, normalmente se emplean sobre las zonas oceánicas donde no es posible explotar un emplazamiento de radiosondas. Las sondas descendentes se emplean ampliamente para supervisar las condiciones en el interior de las tormentas tropicales, huracanes y tifones ya que la aeronave puede dejarlas caer en puntos clave conforme atraviesa la tormenta. Las sondas descendentes transmiten los datos de los sensores a un receptor a bordo de la aeronave. Ésta puede recibir datos de hasta ocho sondas descendentes simultáneamente, gracias a la utilización de un sistema receptor multicanal.

Las sondas descendentes lanzadas desde una aeronave atraviesan muy rápidamente la atmósfera descendiendo en un paracaídas. La pérdida de datos aun por un breve periodo de tiempo puede dar lugar a la pérdida de grandes porciones de datos correspondientes a partes significativas de la atmósfera. Aunque todos los datos durante el descenso son esenciales, muchas aplicaciones atribuyen una importancia adicional al último punto de datos antes de que la radiosonda se pose

sobre la superficie. El último punto de datos representa las condiciones sobre la superficie, que son críticas para las aplicaciones relativas a las previsiones meteorológicas.

8.1 Prácticas operacionales relativas a las sondas descendentes

Las sondas descendentes se dejan caer desde altitudes que van de 3 000 a 21 400 m, y se lleva a cabo su seguimiento hasta la superficie de la Tierra. Una aeronave que lanza radiosondas puede dar seguimiento y recibir datos de hasta ocho radiosondas simultáneamente. Esto permite que el vuelo de la aeronave siga un patrón a través de la tormenta, soltando las radiosondas y recopilando datos de los puntos clave dentro de la tormenta. Las sondas descendentes emplean GPS para calcular los vientos. Los datos del GPS del emplazamiento de la sonda descendente se combinan y transmiten con los datos medidos de presión, temperatura y humedad.

La aplicación más común de las sondas descendentes es la supervisión de las condiciones dentro de las tormentas, huracanes y tifones tropicales. Las sondas descendentes permiten obtener el perfil de la atmósfera dentro de grandes tormentas mientras aún se encuentran lejos de la tierra. Los datos son esenciales para supervisar la intensidad de la tormenta y poder predecir la fuerza y el seguimiento futuros.

Las sondas descendentes también han sido utilizadas en todo el mundo para la investigación meteorológica y climatológica sobre los océanos y la tierra. Asimismo, permiten el despliegue rápido de una alta densidad de paquetes de sensores en zonas en las que no es posible la instalación de estaciones de radiosondas. Su utilización posibilita además una reconfiguración rápida de la red para hacer frente a los cambios de las condiciones; algunas estaciones de radiosondas basadas en tierra no pueden responder rápidamente.

8.2 Características del sistema de sondas descendentes

Los sistemas de sondas descendentes se conciben de modo que puedan funcionar con el receptor a bordo de una aeronave. Las antenas de alta direccionalidad necesarias para las operaciones en la banda de 1 680 MHz no son prácticas. Las sondas descendentes se conciben de modo que puedan funcionar en la banda de 403 MHz adjudicada al servicio MetAids en el que pueden emplearse antenas omnidireccionales de baja ganancia.

CUADRO 9

Características del transmisor de la sonda descendente

Gama de frecuencias	400,15-406 MHz
Potencia de salida del transmisor	21 dBm
Tipo de antena	Monopolo vertical
Ganancia de la antena	2 dBi en el horizonte -10 dBi en el cenit y nadir
Modulación	MF (640 BPS MDF y 1 200 BPS MDAF)
Anchura de banda de emisión	15 kHz
Altitud de operación	Superficie a 21 400 m

CUADRO 10

Características del receptor de la sonda descendente

Gama de frecuencias (multicanal)	400,15-406 MHz (multicanal)
Número de canales de recepción	8
Sensibilidad del receptor (para una S/N de 12 dB)	-121 dBm
Mínima S/N para la recepción de datos	12 dB
Anchura de banda en FI (3 dB)	18 kHz
Tipo de antena	Antena laminar omnidireccional
Altitud de operación	Superficie a 21 400 m

8.3 Planes futuros para las sondas descendentes

Se están teniendo en cuenta varias adaptaciones de la sonda descendente actual para propiciar aplicaciones más avanzadas. Estas aplicaciones posibilitarán la recopilación de datos adicionales y de datos en zonas donde es difícil recoger datos en la actualidad.

La primera modificación de la sonda descendente a corto plazo consiste en incluir la capacidad para poder realizar una función batitermográfica prescindible aerotransportada (AXBT, *airborne expendable bathythermograph*) una vez que cae en el océano. La sonda descendente AXBT, además de proporcionar un perfil de las condiciones atmosféricas, aportará datos sobre las condiciones oceánicas, dotando a los meteorólogos de datos adicionales que pueden aplicarse en los modelos de predicción.

Asimismo, se encuentran en estudio algunas aplicaciones en las que las sondas descendentes se desplegarán mediante un globo empujado por el viento o un vehículo aéreo no tripulado. Estos sistemas permitirán la recogida de datos rutinaria en zonas sobre los océanos donde la recopilación es escasa o inexistente en la actualidad.

9 Características de radiocomunicación de los sistemas de cohetes sonda

Los cohetes sonda son utilizados por las agencias espaciales y otros usuarios que tienen requisitos de datos que no pueden satisfacerse con las radiosondas o las sondas descendentes. Los sistemas basados en cohetes sonda, como las sondas descendentes, recopilan datos atmosféricos conforme descienden a través de la atmósfera. En lugar de dejarlas caer desde una aeronave, como en el caso de las sondas descendentes, los cohetes sondas se lanzan rápidamente a la atmósfera en un cohete pequeño de combustible sólido y los datos se recogen conforme la sonda regresa a la tierra en paracaídas.

9.1 Prácticas operacionales correspondientes a los cohetes sonda

Los cohetes sonda se despliegan con fines de mediciones atmosféricas mediante un cohete pequeño de combustible sólido. Se emplean sistemas de cohetes sonda tanto de baja altitud como de elevada altitud. Su aplicación no es muy extensa, aunque resultan cruciales cuando sólo su calidad única en cuanto a la recopilación de datos puede satisfacer los requisitos de datos.

La versión de baja altitud se emplea para desplegar muy rápidamente un paquete de medición a una altura de aproximadamente 1 000 m de manera que puedan medirse las condiciones de la capa límite. En esta versión, el paquete con los sensores se expulsa del cuerpo del cohete durante el apogeo.

La versión de gran altitud se aprovecha para desplegar paquetes de medición atmosférica a altitudes (por encima de 32 km) que no pueden alcanzarse con radiosondas soportadas por globos. Tras el lanzamiento, el motor del cohete se consume rápidamente a baja altitud (~2 000 m) y se separa de un módulo que transporta la carga útil del cohete sonda hasta el apogeo (73 a 125 km). En el apogeo la carga útil del cohete sonda se expulsa del módulo y desciende a través de la atmósfera en un paracaídas. Además de la transmisión de los datos meteorológicos desde el cohete sonda, el paracaídas está construido de una película Mylar aluminizada que permite el seguimiento por radar para la medición de vientos atmosféricos. El periodo de tiempo desde el despliegue en el apogeo hasta la terminación de la recopilación de datos a 14 km es por lo general de 100 min. El seguimiento por radar se realiza en una banda de radiodeterminación y no en una de las bandas adjudicadas a las ayudas a la meteorología.

9.2 Características del sistema de cohetes sonda

Los sistemas de cohetes sonda funcionan en las bandas de 403 MHz y 1 680 MHz. En los puntos siguientes se presentan las características correspondientes.

CUADRO 11

Transmisores de cohetes sonda de baja altitud que funcionan en la banda de 403 MHz

Gama de sintonía (MHz)	400,15-406
Potencia del transmisor (dBm)	15,0
Modulación	GFSK
Máxima altitud (con relación a la elevación de la zona de lanzamiento) (m)	~ 1 000
Máximo alcance (km)	20

Por lo que se refiere a las características de los sistemas receptores que se emplean en los sistemas de cohetes sonda en la banda de 403 MHz, véase el Sistema B en el Cuadro 6. En cuanto a los sistemas de antena que se usan con los cohetes sonda que funcionan en la banda de 403 MHz, véase la antena 1 en el Cuadro 7.

CUADRO 12

Transmisores de los cohetes sonda que funcionan en la banda de 1 680 MHz

Gama de sintonía (MHz)	1 680-1 684
Potencia del transmisor (dBm)	26,5
Modulación	MF
Máxima altitud (con relación a la elevación de la zona de lanzamiento) (km)	82

CUADRO 13

Sistema de antena/receptor del cohete sonda en la banda de 1 680 MHz

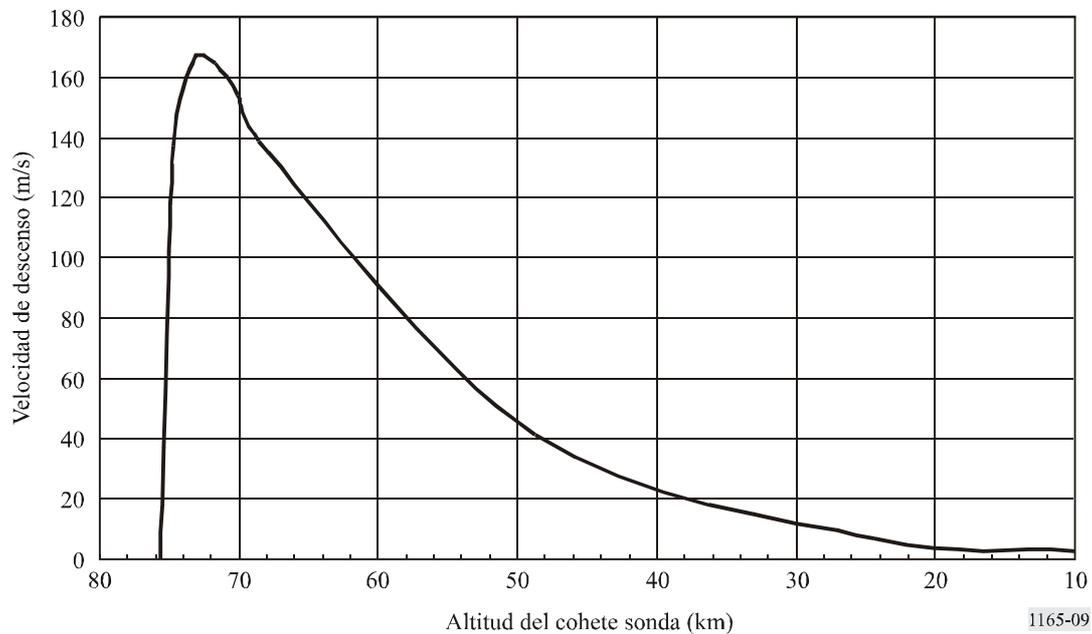
Gama de sintonía (MHz)	1 660-1 700
Anchura de haz de la antena (grados)	5,4
Ganancia de antena (dBi)	29
Polarización de antena	Circular dextrógira
Gama de elevación (grados)	-5 a 95
Factor de ruido del receptor (dB)	6,4 dB
Modulación	MA y MF
Máximo alcance (km)	300

9.3 Perfil del descenso del cohete sonda

El descenso de un cohete sonda no es lineal. El perfil del descenso puede resultar una parte esencial de los cálculos o las simulaciones que se lleven a cabo para poder determinar la compatibilidad con otros servicios radioeléctricos. En las Figs. 9 y 10 se ilustran un perfil representativo del lanzamiento/ descenso de un cohete sonda de gran altitud.

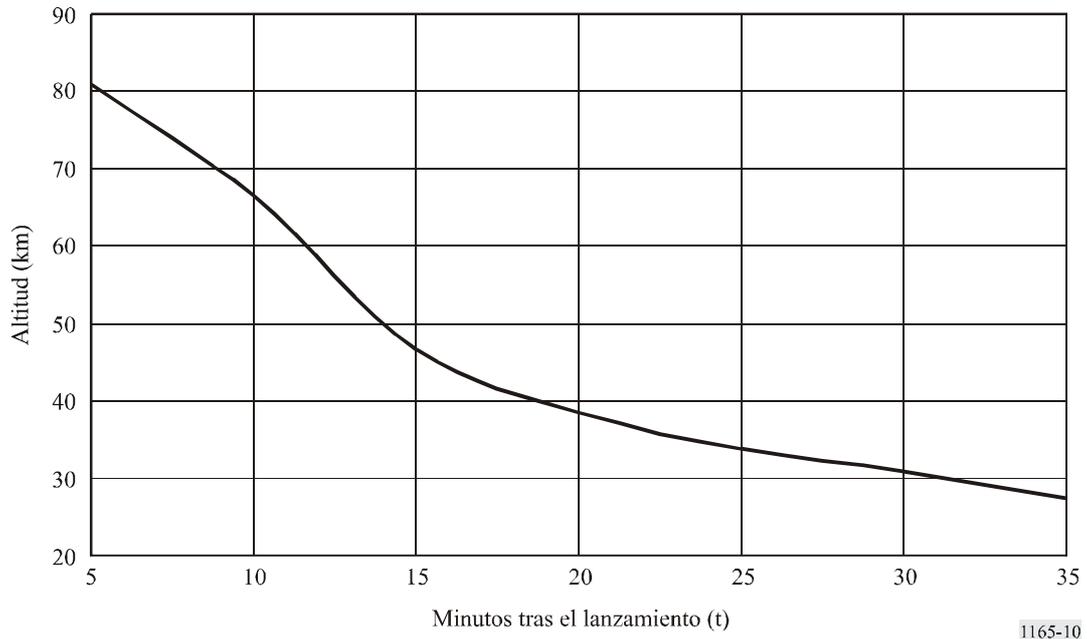
FIGURA 9

**Perfil del descenso de un cohete sonda de gran altitud
(altitud en función de la velocidad de descenso)**



1165-09

FIGURA 10
Perfil del descenso de un cohete sonda de gran altitud
(altitud en función del tiempo)



1165-10
