

RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1165-1

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y CRITERIOS DE CALIDAD DE LOS SISTEMAS DE RADIOSONDAS DEL SERVICIO DE AYUDAS A LA METEOROLOGÍA

(Cuestión UIT-R 144/7)

(1995-1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que las medidas 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 en la actualidad 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 deben cumplir requisitos de radiocomunicación especiales;
- e) que estos requisitos afectan a las asignaciones y a otras cuestiones reglamentarias;
- 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,

recomienda

- 1** que se tengan en cuenta las características descritas en el Anexo 1 al considerar las asignaciones de frecuencia u otros asuntos reglamentarios técnicos y de operación relacionados con los sistemas de ayudas a la meteorología y su interacción con otros servicios;
- 2** que los sistemas de ayudas a la meteorología tengan los objetivos de calidad indicados en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Objetivos de calidad de los enlaces del servicio de ayudas a la meteorología

Banda de frecuencias (MHz) y plataforma y antena del receptor	Función y plataforma y antena del transmisor	Modulación y anchura de banda	Ángulos de elevación de la antena de recepción (grados)	Distancia máxima práctica (km)	Relación $C/(N+I)$ mínima (dB)	Potencia del transmisor (dBW)	Altitud máxima del transmisor (km)	Disponibilidad del enlace requerida (%)
400,15-406 Receptor en tierra o barco	Lectura directa de los datos desde una radiosonda en globo	MF 280-480 kHz	De 0 a 90	300	12	-6,0	36	99
400,15-406 Receptor en aeronave	Lectura directa de los datos desde una sonda descendente lanzada desde un avión	MF digital 20 kHz	De -3 a -90	350	12	-8,2	20	99
400,15-406 Receptor en globo	Recepción de la señal de medición de distancias en el receptor en globo	MF 300 kHz	De -3 a -90	250	12	3,0	En tierra	99
1 668,4-1 700 Receptor en tierra con elevada ganancia de antena	Lectura directa de los datos desde una radiosonda en globo	MA -40 dBc: 0,5 MHz -50 dBc: 1,0 MHz	De 3 a 90	250	12	-6,0	36	99
1 668,4-1 700 Receptor en tierra con elevada ganancia de antena	Lectura directa de los datos desde una radiosonda en globo	MF 180 kHz	De 3 a 90	250	12	-6,0	36	99

ANEXO 1

1 Introducción

1.1 Operaciones meteorológicas diarias

Las radiosondas se utilizan 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 de radiosondas 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). Los sistemas de radiosondas 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 radiosondas 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 ciclo de despliegue de la radiosonda.

Las observaciones son efectuadas por radiosondas transportadas por globos ascendentes que se lanzan desde estaciones en tierra o barcos o por sondas descendentes desplegadas desde aviones que son transportadas por paracaídas. Estas observaciones se efectúan de manera sistemática casi todos los países entre dos y cuatro veces por día. Una vez realizadas, las observaciones se comunican inmediatamente a los demás países en unas cuantas horas. Los sistemas de observación y la difusión de datos se organizan en el marco del Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial de la OMM.

Así pues, 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 ayudas a la meteorología 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. Hacia el año 2005 habrá que efectuar observaciones con una resolución horizontal inferior o igual a 250 km y una frecuencia de una a cuatro veces por día. Es preciso que este objetivo, cuyo logro parece razonable alcanzar, se consiga para los sistemas de radiosondas en todo el mundo. No obstante, hacia el año 2005 los modelos de predicción numérica del tiempo exigirán de hecho la realización de observaciones en la alta atmósfera cada una a tres horas, con una resolución horizontal de entre 50 y 100 km, para determinar si la previsión se hace para todo el planeta o una región más limitada. Estas 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. En la actualidad, 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 tanto en laboratorio como en la atmósfera libre.

1.3 Usos militares

En todos los países que cuentan con la infraestructura necesaria para soportar operaciones militares modernas (en tierra o mar) los Departamentos de Defensa utilizan una gran cantidad de radiosondas. Este uso no ha disminuido con el tiempo ya que, debido a la automatización moderna, hoy día resulta más fácil explotar eficazmente sistemas móviles en el campo de batalla y sistemas a bordo de barcos sin necesidad de contar con operadores muy calificados ni gran cantidad de equipo de soporte. En las operaciones civiles de radiosondas se deben acomodar los usos militares, lo que amplía el espectro de radiofrecuencias requerido para las operaciones de radiosonda. Esto es algo que tiene una importancia crucial cuando los emplazamientos de lanzamientos militares se encuentran dentro de una distancia de 150 km de los emplazamientos de lanzamientos civiles.

1.4 Otros usuarios

Los institutos de investigaciones nacionales pueden desplegar otros sistemas de radiosondas 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.

2 Características de las operaciones de radiosonda

Las observaciones civiles con radiosondas 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 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 unas de 800 000 radiosondas, en asociación con la red de la OMM, y se estima que aproximadamente se utilizan otras 400 000 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.

Adicionalmente, se lanzan periódicamente sondas descendentes desde aviones y radiosondas, a menudo desde emplazamientos provisionales que utilizan sistemas móviles para hacer frente a condiciones meteorológicas anormales o por requisitos de la prueba.

3 Espectro de radiofrecuencias utilizado en las operaciones de la OMM

3.1 Resultados de la encuesta de la OMM

En el Cuadro 2 se presentan estimaciones de las radiofrecuencias utilizadas en las estaciones civiles de radiosonda que informan diariamente a los encargados de las operaciones meteorológicas de la OMM. Esta información se basa en la encuesta realizada recientemente por la OMM. 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 Radiosondas y Sistemas de Observación de Vientos en Altitud de la OMM utilizado por los Miembros. 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, los servicios meteorológicos nacionales no pueden disponer actualmente de al menos la mitad de la banda de frecuencias 400,15-406 MHz para la realización de operaciones de ayudas a la meteorología.

CUADRO 2

**Resumen de la utilización de radiofrecuencias por radiosondas
para operaciones civiles 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
Europa y Rusia Occidental	214	111	11	92
Asia y Rusia Oriental	265	159	32	74
África	65	53	12	–
América del Norte	174	50	122	2
América del Sur y Antártida	64	50	12	2
Australia y Oceanía	87	65	22	–
Sistemas de barcos	25	16	1	8
Total	894	504	212	178

Estados Unidos de América y Japón explotan principalmente sistemas de 1 680 MHz o los suministran. Rusia y un cierto número de países que han concertado acuerdos de cooperación utilizan 1 780 MHz. Se espera que estos países abandonen dicha frecuencia para hacer sus equipos compatibles con los disponibles en otros países. La mayoría de los sistemas de 400 MHz se han instalado en la última década. Las principales excepciones son algunos de los sistemas instalados en Asia, en donde se siguen utilizando sistemas de transmisión en banda ancha mucho más antiguos.

Las frecuencias de 1 680 MHz y 400 MHz se utilizan para operaciones de radiosonda militares.

En el Cuadro 3 se indican los tipos de sistema de medición de vientos altos utilizados en cada región. Para facilitar la interpretación, estos tipos se han resumido en tres categorías.

Los sistemas de determinación del viento de ayudas a la navegación (NAVAID), muy automatizados, que dependen de señales de radiolocalización internacionales para seguir la radiosonda. Todos estos sistemas serán sistemas de 400 MHz:

- Los radares primarios de seguimiento, cuando la posición se mide con independencia de cualquier respuesta de la radiosonda. Éstos también serán sistemas de 400 MHz.
- Los radioteodolitos o radares secundarios, cuando el seguimiento depende de una combinación de mediciones direccionales desde el lugar de lanzamiento y una medición de alturas desde la radiosonda o una respuesta de transpondedor a los impulsos transmitidos desde la estación en tierra. Estos sistemas son una combinación de sistemas de banda ancha en 400 y 1 780 MHz, y sistemas de 1 680 MHz.
- Los sistemas NAVAIID de radares primarios y radioteodolitos pueden utilizarse para los sistemas militares. Las aplicaciones a bordo de barcos utilizarán normalmente sistemas NAVAIID.

CUADRO 3

Resumen de tipos de determinación del viento utilizados para las operaciones civiles de radiosonda

Región	Número total de emplazamientos	Número de emplazamientos que utilizan NAVAI D	Número de emplazamientos que utilizan radares primarios	Número de emplazamientos que utilizan radioteodolitos o sistemas de transpondedores
Europa y Rusia Occidental	214	86	24	104
Asia y Rusia Oriental	265	37	21	207
África	65	41	11	13
América del Norte	174	50	–	124
América del Sur y Antártida	64	31	2	31
Australia y Oceanía	87	22	43	22
Sistemas de barcos	25	16	–	9
Total	894	283	101	510

3.2 Espectro de radiofrecuencias ocupado en Europa

En las zonas orientales y septentrionales de Europa la red de estaciones de radiosondeo 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. El grueso de las radiosondas funciona en la banda 400,15-406 MHz. El espectro real de radiofrecuencias que ocupa durante un año una red civil de radiosondas en Europa noroccidental se examinó a finales de 1995 y se indica en la Fig. 1. En varias zonas, las estaciones civiles se encuentran dentro de una distancia de 150 km con respecto a los emplazamientos militares. En un determinado país, las radiosondas civiles utilizan transmisores de 400 MHz con un cambio típico de frecuencia durante el vuelo de 10 kHz, pero en un reducido número de vuelos los cambios de frecuencia pueden llegar a ser de ± 100 kHz. El fabricante selecciona estas radiosondas para garantizar un funcionamiento más estable y un plus de prestaciones por el mismo precio de venta.

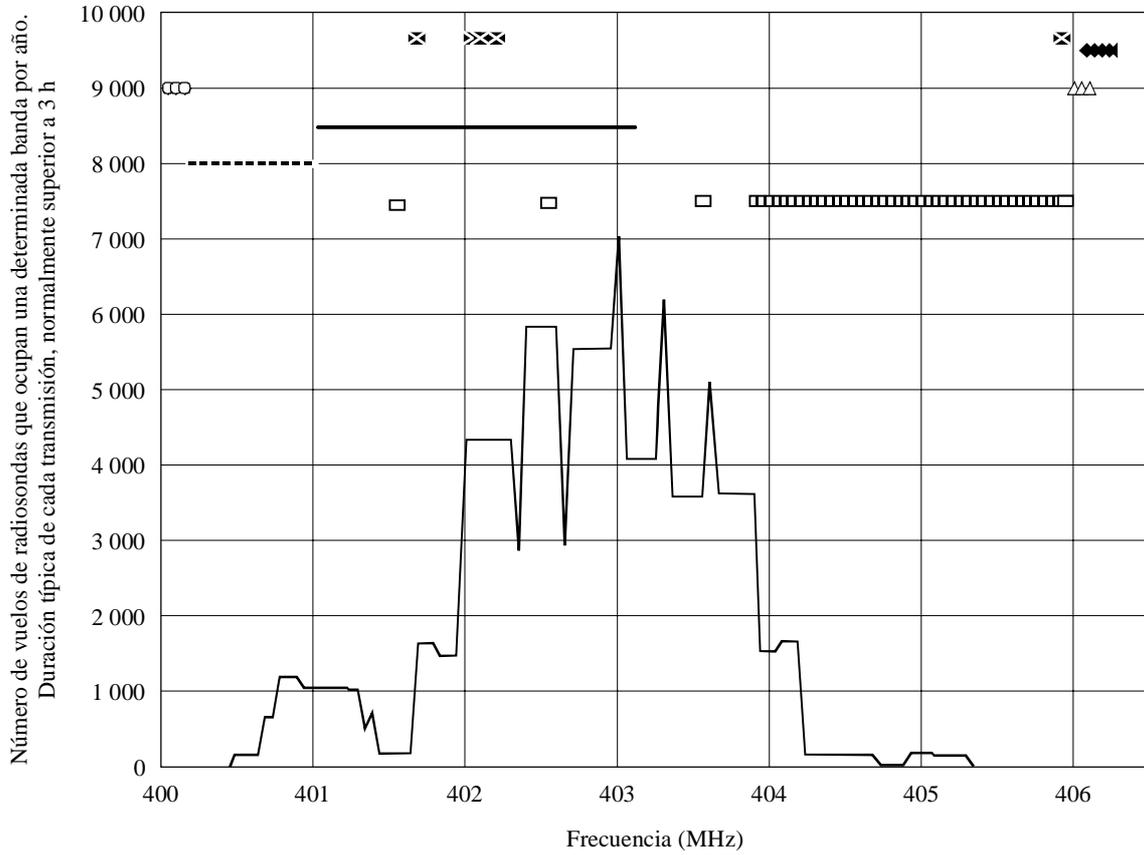
En el ejemplo indicado las radiosondas militares utilizaban 400 MHz antes de que las radiosondas civiles abandonaran la frecuencia de 28 MHz en 1990. Las frecuencias civiles que pueden verse en la Fig. 1 se eligieron para acomodar los usos militares existentes. Esta ocupación del espectro es típica en los países más grandes de Europa occidental.

En 1995 se adquirió en el mismo país equipo militar adicional de ayudas a la meteorología que requiere una ocupación del espectro de unos 4 MHz entre 1 678 y 1 686 MHz aproximadamente.

3.3 Espectro de radiofrecuencias ocupado en Estados Unidos de América

El servicio civil de meteorología de Estados Unidos de América es actualmente el principal usuario de las bandas de 1 680 MHz del servicio de ayudas a la meteorología. Los sistemas militares y ciertos usuarios de investigación de este país utilizan la banda de 400 MHz. Aunque se han atribuido bandas que abarcan 1 668,4 a 1 700 MHz a las ayudas a la meteorología del servicio meteorológico, en la Fig. 2 puede verse cómo se utiliza en la actualidad dicha banda. Gracias a la coordinación efectiva con otros usuarios de la banda, se evita la interferencia circunscribiendo la utilización de ayudas a la meteorología a una porción mucho más reducida de la banda. La porción restante de la banda puede ser utilizada, en su caso, por el servicio de ayudas a la meteorología para soportar la deriva del transmisor, para vuelos dobles, segundas transmisiones e interferencia entre estaciones adyacentes.

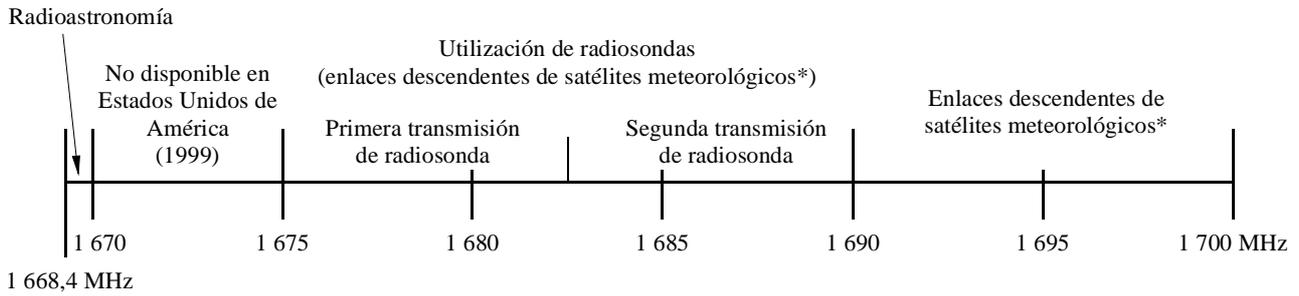
FIGURA 1
**Estimación del espectro de radiofrecuencias ocupado durante un año
 por una red civil de radiosondas típica en Europa noroccidental**



- Radiosonda civil
- △ SARSAT, Tierra-espacio
- Satélite meteorológico, Tierra-espacio
- ◆ Radioastronomía
- Radiosonda militar + otras utilizaciones
- - - - Satélite meteorológico, espacio-Tierra
- Frecuencias patrón y señales horarias
- ⊗ Plataformas de recogida de datos meteorológicos

FIGURA 2

**Utilización actual en Estados Unidos de América de la banda 1 668,4-1 700 MHz
del servicio de ayudas a la meteorología**



* Los terminales de los satélites meteorológicos por encima de 1 690 MHz se encuentran distribuidos en número y ubicaciones desconocidos. Los terminales de los satélites meteorológicos por debajo de 1 690 MHz se encuentran distribuidos con escasa densidad y en ubicaciones conocidas. Las radiosondas de 400 MHz se utilizan en lugares de la alta atmósfera próximos a estas ubicaciones conocidas.

1165-02

Recientemente se ha hecho un estudio de la utilización de radiosondas en la banda 400,15-406 MHz en Estados Unidos de América, estudio que confirma que el Departamento de Defensa ha 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.

Las autoridades militares de Estados Unidos de América han indicado que en el futuro necesitarán 12 canales dentro de la banda 401-406 MHz y se calcula que otros organismos necesitarán al menos cuatro canales más. El servicio meteorológico explota una estación operacional en esta banda en la Isla Wallops (Virginia) para evitar la interferencia en la banda de 1 680 MHz con una de las principales facilidades de telemando y adquisición de datos de satélites meteorológicos, situada cerca de la estación de radiosondas.

CUADRO 4

**Resumen de la utilización de radiofrecuencias por radiosondas
en la banda 400,15-406 MHz por usuarios distintos de los del
Programa de Vigilancia Meteorológica Mundial en Estados Unidos de América**

	Omega NAVAI	Loran NAVAI	Total
Operaciones militares en Estados Unidos de América	294	81	375
Operaciones militares de Estados Unidos de América en el extranjero	62	3	65
Otros usuarios estadounidenses	4	40	44
Totales	360	124	484

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 costo. También es importante que la calibración pueda ser realizada de manera simple y estable. Una radiosonda debe ser capaz de suministrar datos a una distancia 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 debe ser mínimo.

La limitación principal de la observación con radiosonda es su coste. En los países de la Organización de Cooperación y de Desarrollo Económicos (OCDE) una observación con radiosonda cuesta aproximadamente 400 ECU, y aproximadamente la cuarta parte del coste total corresponde a la radiosonda. Esta relación es notablemente diferente en los países en desarrollo, en donde el coste de la radiosonda es el elemento más importante. Como la recolección de datos meteorológicos es una necesidad universal, algunos países desarrollados donan sistemas y una parte de las radiosondas a algunos países en desarrollo para que puedan realizar observaciones ininterrumpidas de la atmósfera superior. 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 vinculados 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.

El periodo ascensional de un radiosondeo completo dura aproximadamente 90 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 es de unos 200 a 350 km. 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 estaciones de radiosondeo 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 Tendencias futuras

Se prevé que las operaciones con radiosonda seguirán siendo necesarias en las bandas de 403 y 1 680 MHz del servicio de ayudas a la meteorología. Los factores que se indican a continuación influirán probablemente en la elección nacional del sistema 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/sondas de ozono utilizadas en estas condiciones. Por tal motivo, la recepción superior proporcionada en 403 MHz se considera esencial para las operaciones con radiosonda en estas condiciones. 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 400 MHz para el servicio de ayudas a la meteorología por dos motivos. En primer lugar, porque las características de la propagación en 400 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 NAVAID en 400 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

Gran número de los servicios meteorológicos nacionales de todo el mundo han pasado a utilizar en la última década el sistema de determinación del viento NAVAID (Omega o Loran-C) en 403 MHz, para mejorar la eficacia de las operaciones del personal. El coste adicional de la radiosonda de determinación del viento de NAVAID 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. En Estados Unidos de América, el coste de mantener a una persona *in situ* para que responda a las necesidades de mantenimiento y reparación no es muy importante, ya que se encarga también de muchas otras tareas y, en cualquier caso, ha de estar disponible.

Hay que señalar que el coste de las radiosondas GPS sin código que se encuentran actualmente en proceso de desarrollo todavía no se ha estabilizado, y que, lo normal es que sea dos veces superior al de las utilizadas en los actuales sistemas NAVAID Omega y Loran. No obstante, a medida que la tecnología se vaya consolidando y las series de producción sean mayores, el nivel de precios se irá estabilizando en torno de un 30% a un 50% más que los actuales precios de NAVAID. Se prevé que la explotación de los otros sistemas convencionales terrenales NAVAID cesará entre 1997 y 2001 en la mayor parte del mundo. Cabe por ello la posibilidad de que ciertos países que actualmente utilizan una frecuencia de 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 actuales radiosondas NAVAID. Las radiosondas del GPS en 403 MHz habrán de utilizarse regularmente cuando los vientos en altitud sean muy fuertes. Es posible que se sigan utilizando radiosondas Loran en aquellas zonas del mundo en las que se prosigan las operaciones Loran.

Varios fabricantes están estudiando la utilización del sistema de NAVAID de determinación del viento con radiosondas que funcionan en la banda de 1 680 MHz.

5.3 Bajo coste de las radiosondas

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 400 MHz del servicio de ayudas a la meteorología. La reducción del espectro disponible para los sistemas de ayudas a la meteorología quizá exija el desarrollo de sistemas con transmisores más estables y una anchura de banda más reducida que la actualmente utilizada. Los costes del desarrollo de estos nuevos servicios aumentarán el precio de las radiosondas y es posible que tengan que transcurrir varios años antes de que las ventajas de una producción a mayor escala redunden en beneficios al usuario.

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 403 MHz son opciones viables.

5.5 Posibles mejoras en la ocupación del espectro como consecuencia del perfeccionamiento de las radiosondas

En fecha reciente los países de Europa occidental que explotan redes densas se han visto forzados a utilizar transmisores controlados por cristal o transmisores estables especialmente seleccionados como soporte de operaciones rutinarias. Esta eficacia mejorada en la utilización del espectro se ha producido durante la última década.

En el periodo 1997-1998 se va a producir un gran cambio en la determinación del viento por el servicio de ayudas a la meteorología, debido a la terminación del sistema de radionavegación Omega. Esta función de determinación del viento debe ser sustituida por otro método.

Una posibilidad consiste en pasar a un sistema de determinación del viento basado en el GPS. Aunque en la actualidad no está del todo claro cuáles serán las características exactas de estos sistemas, se piensa que lo más probable es que las radiosondas de determinación del viento del GPS tengan anchuras de banda reducidas (incluso de sólo 200 kHz, si los operadores pueden pagar el coste y, con el tiempo, posiblemente de sólo 60 kHz, si así se requiere en redes muy densas en las que los costes son ya mucho más elevados que la media). La calidad de funcionamiento de estas radiosondas GPS equivaldrá o será superior a la de las radiosondas actuales.

En algunas regiones del mundo se producirá una conversión al (o en algunos casos se seguirá utilizando el) sistema Loran-C. Aunque esto será más económico que pasar al 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.

Por otra parte, 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 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, 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 de ayudas a la meteorología a título primario no se encuentran disponibles para este servicio en todos los países. Por ejemplo, en Australia los servicios meteorológicos nacionales no pueden disponer actualmente de al menos la mitad de la banda de frecuencias 400,15-406 MHz para la realización de operaciones de ayudas a la meteorología.

Se están investigando otros métodos, incluidas las transmisiones digitales, para reducir la ocupación del espectro.

6 Características de radiocomunicación de los actuales sistemas de radiosonda

Los sistemas de radiosonda realizan medidas directas de la presión atmosférica, la temperatura y la humedad relativa (PTU). Se determina la dirección y velocidad del viento por el método NAVAJD o por radiogoniometría (RDF), midiendo el acimut y el ángulo de elevación de la radiosonda en relación con la antena de recepción. El enlace descendente de datos desde la radiosonda a la estación de recepción en tierra funciona en la banda de 400 MHz en las radiosondas NAVAJD y en la banda de 1 680 MHz en las de RDF. Las señales Omega en ondas miriámétricas y Loran-C se retransmiten al receptor en tierra mediante un repetidor traductor simple.

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 lo recupera, por lo que se pierde la pista incluso si desaparece la señal interferente. El receptor radioeléctrico sigue la señal de máxima amplitud en su anchura de banda instantánea (1,3 MHz). A veces se mide la velocidad del viento utilizando una radiosonda transpondedora, que recibe una señal cerca de 400 MHz desde la estación en tierra y retransmite el tren de impulsos en 1 680 MHz.

La antena transmisora de la radiosonda es un unipolo de un cuarto de longitud de onda.

6.1 Características del transmisor

CUADRO 5

Características de radiocomunicación de los transmisores de radiosondas de 400 MHz

Gama de sintonía (MHz)	400,15-406
Deriva máxima en vuelo (kHz)	± 800
Potencia de salida nominal (dBW)	-6,0
Ganancia máxima de antena (dBi)	2
Tipo de emisión UIT-R	F9D
Modulación	MF
Señal PTU moduladora (kHz)	7-10
Desviación de la señal PTU (kHz)	45 ± 15
Desviación ocasionada por la señal del radioenlace del sistema Loran-C en ondas miramétricas (kHz)	100/300
Anchura de banda ocupada por el sistema Omega en ondas miramétricas (kHz) (a un nivel de -40 dBc)	280
Anchura de banda ocupada por el sistema Loran-C (kHz) (a un nivel de -40 dBc)	480
Anchura de banda ocupada por el GPS (kHz) (a un nivel de -40 dBc)	200
Velocidad de información equivalente de la señal PTU (bit/s)	1 200 ⁽¹⁾
Velocidad de información equivalente de la señal PTU y GPS (bit/s)	2 400
Emisión fuera de banda (dBc)	< -43

⁽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 6

Características de radiocomunicación de los transmisores de radiosonda de 1 680 MHz

Gama de sintonía (MHz)	1 668,4-1 700	1 668,4-1 700
Deriva máxima en vuelo (MHz)	± 4	± 4
Potencia de salida nominal (dBW)	-6,0	-6,0
Ganancia máxima de la antena (dBi)	2,0	2,0
Tipo de emisión UIT-R	A9D	F9D
Modulación	MA, 100%	MF
Señal PTU moduladora (kHz)	0,7-1,0	7-10
Desviación	No aplicable	45 ± 15
Determinación del viento	Detección de los ángulos de recepción	Detección de los ángulos de recepción
Anchura de banda ocupada	-40 dBc: 0,5 MHz -50 dBc: 1,0 MHz	180 kHz
Velocidad de información (bit/s)	1 200	1 200
Emisión fuera de banda (dBc)	< -43	< -43

6.2 Señal de medición de las distancias

La determinación de la posición de la radiosonda con un radioteodolito (RDF) de 1 680 MHz depende en gran medida del acimut y el ángulo de elevación, y cuando los ángulos de elevación son reducidos (inferiores de 10° a 15°) los errores de medición de altura (y por tanto, de la gama de distancias oblicuas) se hacen muy importantes. Este caso ocurre únicamente durante el invierno, estación en que los vientos muy fuertes en altitud transportan la radiosonda a gran distancia en la dirección de los vientos menos elevados. Para afrontar esta situación, se utiliza un sistema de medición de las distancias de 403 MHz con el fin de proporcionar la distancia a la sonda como una variable adicional (a menudo, reemplazando el ángulo de elevación en el cálculo de la posición) para realizar un cálculo de la posición más exacto.

El adjunto de medición de distancias genera una señal sinusoidal de 75 kHz. El transmisor de la estación en tierra modula en amplitud una portadora de 403 MHz con la señal de 75 kHz y la transmite a la radiosonda. La señal de 403 MHz es demodulada en la radiosonda y la señal de 75 kHz se utiliza para modular la señal del enlace descendente de 1 680 MHz. El adjunto de medición de distancias en la estación en tierra compara, a continuación, la diferencia de fase entre la señal original de 75 kHz y la señal devuelta por la sonda. Esta diferencia de fase se utiliza para calcular la distancia oblicua a la radiosonda. En el Cuadro 7 se indican las características típicas del adjunto de medición de distancias que se añade a los sistemas RDF.

CUADRO 7

Características técnicas del adjunto de medición de distancias de la radiosonda

Parámetro	Valor
Estación en tierra (transmisor del enlace ascendente):	
– Potencia a la salida del transmisor (W)	25
– Anchura de banda de la emisión (kHz)	180
– Modulación	MA
– Ganancia de antena (dBi)	12
– Abertura angular del haz de antena a 3 dB (horizontal × vertical)	17 × 45
– Polarización	Vertical
Receptor de medición de distancia de la radiosonda (receptor del enlace ascendente):	
– Anchura de banda RF, 3 dB (MHz)	8,0
– Anchura de banda FI, 3 dB (kHz)	250
– Ganancia de antena (dBi)	1,3
– Abertura angular del haz de antena a 3 dB (horizontal × vertical)	360 × 60

6.3 Antenas de recepción

Características típicas de las antenas utilizadas en la actualidad:

CUADRO 8

Características de las antenas de 400 MHz

Tipo	Omnidireccional (dipolo, plano de tierra)	Reflector diedro direccional, seis ángulos
Gama de frecuencias (MHz)	397-409	400-406
Ganancia horizontal (dB)	Omnidireccional	8
Ganancia vertical (dB)	Omnidireccional	-3
Factor de ruido del amplificador (dB)	< 3,5	< 2,5
Ganancia del amplificador (dB)	13	20

CUADRO 9

Características de las antenas de 1 680 MHz

Tipo	Red de elementos en fase	Cónica con exploración
Gama de frecuencias (MHz)	1 660-1 700	1 660-1 700
Abertura angular del haz a 3 dB (grados)	Horizontal 20	8,8
	Vertical 15	
Ganancia (dBi)	Mínima 16	28
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° del eje de puntería
Sensibilidad (dBm)	-110, S + N/N de 12 dB en la entrada RF	-97 (seguimiento)
Control automático de ganancia (dBm)	Gama dinámica -110 ... 0	
Anchura de banda FI para la medición de PTU (kHz) – Seguimiento (MHz)	300	180
	No aplicable	1,3
