

## RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1015

**REQUISITOS DE ANCHURA DE BANDA PARA LA INVESTIGACIÓN DEL ESPACIO LEJANO**

(Cuestión UIT-R 209/7)

(1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que tanto para el presente como para el futuro previsible, las máximas velocidades de símbolos necesarias para las telecomunicaciones con el espacio lejano en ambas direcciones, espacio-Tierra y Tierra-espacio están bien establecidas (véase el anexo 1);
- b) que aplicando las técnicas viables en la actualidad se han establecido las correspondientes anchuras de banda necesarias;
- c) que la anchura necesaria de las bandas asignadas se ve influida por los requisitos de los diferentes enlaces y por el número de enlaces que se encuentran simultáneamente dentro de la abertura angular del haz de la antena de una estación terrena de investigación del espacio lejano;
- d) que en el futuro, utilizando técnicas más modernas podrá reducirse la anchura de banda necesaria para ciertas funciones de telecomunicación relacionadas con la investigación del espacio lejano,

*recomienda*

1. que en la atribución de bandas para la investigación del espacio lejano se tengan en cuenta los requisitos de anchura de banda enumerados en el anexo 1;
2. que se considere la adopción de todas las medidas viables para reducir la anchura de banda necesaria para los futuros sistemas de telecomunicación destinados a la investigación del espacio lejano.

## ANEXO 1

**Requisitos de anchura de banda para la investigación del espacio lejano****1. Introducción**

La anchura de banda total adecuada para las telecomunicaciones con el espacio lejano es una función de las velocidades de símbolos necesarias, del número de enlaces de vehículos espaciales en cada misión, del número de misiones y del grado en el cual las frecuencias se pueden compartir sin interferencia mutua.

**2. Anchura de banda del enlace**

Las anchuras de banda de los enlaces Tierra-espacio y espacio-Tierra están regidas por las velocidades de símbolos de teledistancia requeridas, así como por la precisión necesaria de las mediciones angular y de distancia.

En el cuadro 1 se resumen las velocidades de símbolos necesarias y las anchuras de banda correspondientes a las diferentes funciones que se prevé utilizar en la investigación del espacio lejano.

CUADRO 1

**Velocidades de símbolos y anchuras de banda máximas requeridas  
para una misión en el espacio lejano**

Sentido y función	Velocidad de símbolos (MS/s)	Anchura de banda de radiofrecuencia (MHz)
Tierra-espacio		
Telemando	0,002	0,040 <sup>(1)</sup>
Programación informática	0,2	1
Señales vocales	0,045	0,225
Televisión	100	500
Determinación de distancias	100	500
Espacio-Tierra		
Telemida de mantenimiento	0,2	1
Datos científicos	10	50
Señales vocales	0,045	0,225
Televisión	100	500
Determinación de distancias	100	500

<sup>(1)</sup> Por lo general se utilizará una subportadora.

La técnica de navegación extremadamente precisa que utiliza interferometría con línea de base muy larga (very long baseline interferometry – VLBI) exige la transmisión de tonos muy separados de la portadora. Normalmente el espaciamiento puede variar de 1/200 a 1/600 de la frecuencia transmitida por el vehículo espacial, y la potencia relativa de esos tonos con respecto a la portadora es por lo general de –15 dB. La transmisión de estos tonos no será continua. Por lo tanto, la separación de la línea espectral de los tonos de frecuencia utilizados en VLBI no se ha de considerar como una determinante de la anchura de banda necesaria.

La simplicidad del diseño del vehículo espacial, así como la fiabilidad y la calidad de funcionamiento óptima de los enlaces de telecomunicaciones, han conducido a utilizar la modulación de fase bivalente con portadora residual como técnica tradicional para la transmisión de informaciones en el espacio lejano. Para transmitir una onda moduladora cuadrada periódica con una pérdida no superior a 0,3 dB, la anchura de banda debe incluir el quinto armónico de la onda cuadrada moduladora. Para la señal de telemida, la anchura de banda de radiofrecuencia debe ser suficiente para incluir el quinto armónico de la frecuencia de la subportadora, además del quinto armónico de la frecuencia del reloj (la mitad de la velocidad de símbolos). Con las técnicas actuales, la frecuencia de la subportadora debe ser lo suficientemente alta para proporcionar por lo menos 1,5 ciclos de subportadora por símbolo. Por lo tanto, la máxima anchura de banda de radiofrecuencia necesaria total es:

$$BW = 2 [(SR \times 1,5 \times 5) + 5 \times 0,5 SR] = 20 SR$$

donde:

*BW*: anchura de banda de radiofrecuencia

*SR*: velocidad de símbolos

A medida que aumenta la velocidad de símbolos de telemida, la necesidad de una subportadora para mantener la potencia de datos fuera de la anchura de banda del bucle de seguimiento de la portadora disminuye. Esto se debe a que la anchura de banda del bucle de seguimiento de la portadora pasa a ser una fracción relativamente más pequeña de la anchura de banda del espectro de símbolos, y la potencia de símbolos eliminada por el bucle de enganche de fase de la portadora pasa a ser insignificante. Utilizando la codificación adecuada también se puede reducir al mínimo la potencia de símbolos cerca de la frecuencia de la portadora, con el fin de que no se necesiten subportadoras. La eliminación de las subportadoras reduce la anchura de banda de radiofrecuencia necesaria total a:

$$BW = 2 (5 \times 0,5 SR) = 5 SR$$

Actualmente, para la determinación de la distancia se utiliza modulación de fase bivalente de onda cuadrada. La anchura de banda necesaria para la señal de distancia transmitida queda determinada por la frecuencia de código más

alta. Por lo general se considera aceptable una anchura de banda igual a seis veces la frecuencia de código. Para algunas misiones en el espacio lejano, el requisito de anchura de banda máxima se determinará sobre la base de consideraciones relativas a la exactitud en la medida de la distancia.

En el futuro, las velocidades muy altas de teledistancia y de código de distancia requeridas pueden plantear la necesidad de reducir aún más la anchura de banda transmitida, para acomodar a uno o más vehículos espaciales dentro de una atribución de banda dada. Entre las técnicas adecuadas figuran la modulación de fase cuadrivalente, la modulación por desplazamiento mínimo y la utilización de ondas con potencia de armónicos muy reducida.

La anchura máxima de banda de radiofrecuencia necesaria para una misión dada está determinada por la velocidad de símbolos total requerida para permitir funciones simultáneas y por el método de modulación. La función de medición de la distancia suele ser la principal determinante de la velocidad de símbolos máxima. En las realizaciones actuales, la máxima anchura de banda de radiofrecuencia de un solo vehículo espacial no tripulado es aproximadamente de 6 MHz. Para la función VLBI, un par de líneas espectrales separadas hasta 115 MHz de la frecuencia portadora pueden formar parte de la señal transmitida. En el futuro, las velocidades superiores indicadas en el cuadro 1 exigirán anchuras de banda de transmisión de hasta varios cientos de MHz.

### **3. Anchura de banda para una misión**

En algunas misiones al espacio lejano se utilizan uno o más vehículos espaciales. En ciertos momentos de la misión, varios vehículos espaciales pueden encontrarse simultáneamente dentro de la abertura angular del haz de la antena de la estación terrena. Una misión en la cual los vehículos espaciales se ubican en órbita alrededor de un planeta es un ejemplo ilustrativo de esta situación. En estas circunstancias el funcionamiento simultáneo de los enlaces de telecomunicación exige que la anchura de banda de radiofrecuencia sea suficiente para que quepan las diferentes señales, sin interferencia mutua.

El diseño característico de las misiones, junto con las consideraciones relativas a los requisitos funcionales simultáneos de cada vehículo espacial, llevan a la conclusión de que las misiones al espacio lejano previstas se pueden efectuar con una anchura de banda total de aproximadamente 500 a 1 000 MHz.

### **4. Anchura de banda para misiones múltiples**

Varias misiones al espacio lejano, dirigidas a diferentes partes del sistema solar, pueden compartir las mismas radiofrecuencias, salvo durante el momento en que ello causa interferencia mutua. Esta interferencia puede ocurrir durante breves periodos cuando un vehículo espacial está cerca de la Tierra, lo que origina una señal muy intensa, o cuando los vehículos espaciales de misiones diferentes se encuentran dentro de la apertura angular de la antena de la estación terrena. El análisis de las misiones actuales y propuestas indica que los periodos de interferencia mutua son lo suficientemente breves para que sea posible evitarlos compartiendo en el tiempo los enlaces de telecomunicación.

La conclusión de que una atribución de 500 a 1 000 MHz basta para cumplir los requisitos máximos de las futuras misiones al espacio lejano, también es válida para entornos de misiones múltiples.

### **5. Fiabilidad del enlace y utilización de bandas atribuidas**

En la subsección precedente se establece la anchura de banda máxima requerida para la investigación del espacio lejano. Las atribuciones existentes próximas a 2 y 8 GHz no pueden satisfacer estos requisitos. Sin embargo, estas atribuciones proporcionan capacidades indispensables para la investigación del espacio lejano.

Las atribuciones de 10 MHz de anchura próximas a 2 GHz proporcionan enlaces que son relativamente inmunes a los efectos adversos de la lluvia y las nubes. Lo mismo que en el pasado, los vehículos espaciales planificados actualmente incluyen a menudo los equipos necesarios para utilizar estas atribuciones, a efectos de garantizar por lo menos el éxito parcial de la misión en caso de condiciones meteorológicas adversas que impidan la utilización de bandas de frecuencia superiores.

Las misiones actuales utilizan fundamentalmente las atribuciones de 50 MHz de anchura próximas a 8 GHz, con miras a proporcionar los enlaces para las operaciones normales de la misión. Cuando una misión dada no requiera las máximas velocidades de símbolos posibles, estas atribuciones seguirán facilitando los enlaces necesarios para el espacio lejano.

Las atribuciones de 500 MHz próximas a 32 GHz proporcionan enlaces de alta calidad de funcionamiento que satisfarán los requisitos de anchura de banda máxima especificados en el cuadro 1.