

## RECOMENDACIÓN UIT-R SA.1015-1

**Requisitos de anchura de banda para la investigación del espacio lejano**

(Cuestión UIT-R 209/7)

(1994-2007)

**Alcance**

La presente Recomendación describe los requisitos de anchura de banda para el servicio de investigación espacial (espacio lejano) que deberán tenerse en cuenta en el futuro para las asignaciones de banda a ese servicio. Se explican además en esta Recomendación las bases técnicas de dichos requisitos.

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 telemetría 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 (Msímbolos/s)	Anchura de banda de radiofrecuencia (MHz)
Tierra-espacio		
Telemando	0,002	0,040 <sup>(1)</sup>
Programación informática	0,2	0,8
Señales vocales	0,045	0,18
Televisión	30	120
Determinación de distancias	100 <sup>(2)</sup>	400
Espacio-Tierra		
Telemetría de mantenimiento	1,2 <sup>(3)</sup>	4,8
Datos científicos	600 <sup>(4)</sup>	1 200 <sup>(5)</sup>
Señales vocales	0,27 <sup>(3)</sup>	1,08
Televisión	60 <sup>(4)</sup>	240
Determinación de distancias	100 <sup>(2)</sup>	400

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

<sup>(2)</sup> La unidad es MHz para la determinación de distancias con ondas sinusoidales y Mchip/s (megachips por segundo) para la determinación de distancias con seudoruido (PN).

<sup>(3)</sup> Suponiendo que se utilice un código de corrección de errores 1/6.

<sup>(4)</sup> Suponiendo que se utilice un código de corrección de errores 1/2.

<sup>(5)</sup> Suponiendo que se utilice la modulación MDP-4.

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 teledada, la anchura de banda de radiofrecuencia debe ser suficiente para incluir el quinto armónico de la frecuencia de la subportadora, además de dos veces y media 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:

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

donde:

$BW$ : anchura de banda de radiofrecuencia

$SR$ : velocidad de símbolos.

A medida que aumenta la velocidad de símbolos de teledada, 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:

$$BW = 2 (2 SR) = 4 SR$$

Para reducir a la mitad los requisitos de anchura de banda en velocidades elevadas de datos, puede utilizarse la modulación MDP-4.

Actualmente, para la determinación de distancias se utiliza en la portadora la modulación de señales de reloj de onda sinusoidal u onda cuadrada. En futuras misiones se prevé la determinación de distancias con seudoruido (PN). A fin de lograr un nivel de calidad aceptable, la anchura de banda necesaria para la determinación de distancias con ondas sinusoidales u ondas cuadradas será igual a cuatro veces la frecuencia de reloj y para la determinación de distancias PN, a cuatro veces la velocidad de chip. La determinación de distancias solía dominar los requisitos de anchura de banda de una misión. Con el rápido incremento de las velocidades de teledada, la determinación de distancias ya no es, en un gran número de nuevas misiones, el factor dominante de los requisitos de anchura de banda.

En el futuro, las velocidades muy altas de teledada requeridas pueden plantear la necesidad de reducir aún más la anchura de banda transmitida, para acomodar a más vehículos espaciales dentro de una atribución de banda dada. Entre las técnicas adecuadas figuran la modulación por desplazamiento mínimo y otras técnicas eficaces de modulación de anchura de banda.

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. En las realizaciones actuales, la máxima anchura de banda de radiofrecuencia de un solo vehículo espacial no tripulado es aproximadamente de 12 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**

Cuando varios vehículos espaciales se ubican alrededor de un planeta, suelen encontrarse dentro de la abertura angular del haz de la antena de una estación terrena. 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 podrían necesitar una anchura de banda total de aproximadamente 4 000 a 5 000 MHz, suponiendo que tres o cuatro misiones funcionen simultáneamente a la velocidad de datos científicos más elevada. La anchura de banda acumulada puede llegar a reducirse de forma considerable, posiblemente en un factor de dos a cuatro, si en el futuro se aplican técnicas eficaces de modulación de anchura de banda a velocidades elevadas de datos.

### **4 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 frecuencias 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 una anchura de banda adicional para las misiones en el espacio lejano, aunque no cumplan los requisitos de anchura de banda máxima especificados en el Cuadro 1 con respecto a los datos científicos.

---