

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R F.339-8
(02/2013)

**Anchuras de banda, relaciones señal/ruido
y márgenes para el desvanecimiento en
sistemas de radiocomunicaciones
fijos y móviles terrestres
en ondas decamétricas**

Serie F
Servicio fijo



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2014

© UIT 2014

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R F.339-8

Anchuras de banda, relaciones señal/ruido y márgenes para el desvanecimiento en sistemas de radiocomunicaciones fijos y móviles terrestres en ondas decamétricas

(1951-1953-1956-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-2006-2013)

Cometido

Esta Recomendación facilita una selección de ejemplos de diversos sistemas de los servicios fijo y móvil terrestre en ondas decamétricas (3-30 MHz) utilizados en la actualidad y describe los parámetros esenciales (anchura de banda, relaciones de densidad señal/ruido y márgenes para el desvanecimiento) de dichos sistemas. Esos parámetros deberían utilizarse en la implantación de sistemas en ondas decamétricas y podrían utilizarse en estudios de compartición.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para facilitar la respuesta conviene precisar los aspectos técnicos que han de considerarse en futuros estudios;
- b) que se necesitan valores que tengan en cuenta el desvanecimiento y las fluctuaciones de la intensidad de campo;
- c) que, sin embargo, la información contenida en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R P.313 proporciona algunos resultados de los que pueden deducirse datos provisionales sobre condiciones de desvanecimiento;
- d) que hay una gran variedad de sistemas fijos y móviles terrestres en ondas decamétricas funcionando o en etapa de desarrollo para satisfacer futuros requisitos. En consecuencia no existe un único sistema «típico» que pueda utilizarse como modelo polivalente,

recomienda

- 1** que se utilicen los valores indicados en los Cuadros 1 a 4 del Anexo 1 para la relación de densidad señal/ruido (SNR) requerida para la clase de emisión considerada;
- 2** que se utilicen como ayuda los valores que figuran en las columnas de condición de desvanecimiento del Cuadro 1 del Anexo 1, junto con la estimación del factor de fluctuación de la intensidad de campo que se indica en la Nota 4 del Cuadro 1, para calcular los valores medianos mensuales de la intensidad de campo mediana horaria que se requieren para los distintos tipos y grados de servicio;
- 3** que la Nota se considere parte de esta Recomendación.

NOTA – El empleo de los valores recomendados sólo proporciona una estimación, que puede requerir ajuste para los circuitos radioeléctricos de diferentes longitudes de trayecto según el grado de servicio deseado.

Anexo 1

CUADRO 1

Relaciones señal/ruido requeridas

Clase de emisión	Anchura de banda del receptor antes de la detección (Hz)	Anchura de banda del receptor después de la detección (Hz)	Grado de servicio	SNR en audio-frecuencia ⁽¹⁾ (dB)	SNR media en radiofrecuencia ^{(2) (3)} (dB/Hz)		
					Condición estable	Condición de desvanecimiento ^{(4) (5)}	
						Sin diversidad	Doble diversidad
Telegrafía A1A 8 Bd	3 000	1 500	Recepción acústica ⁽⁶⁾	-4	31	38	
Telegrafía A1B teleimpresor, 50 Bd	250	250	Comercial ⁽⁷⁾	16	40		58
Telegrafía A1B ondulador, 120 Bd	600	600		10	38		49
Telegrafía A2A 8 Bd	3 000	1 500	Recepción acústica ^{(6) (19)}	-4	35	38	
Telegrafía A2B 24 Bd	3 000	1 500	Comercial ^{(7) (19)}	11	50	56	
Telegrafía F1B teleimpresor, 50 Bd, 2D = 200 a 400 Hz	1 500	100	$P_C = 0,01$ $P_C = 0,001$ $P_C = 0,0001$ } (8)		$\left. \begin{matrix} 45 \\ 51 \\ 56 \end{matrix} \right\}$ (9)	$\left. \begin{matrix} 53 \\ 63 \\ 74 \end{matrix} \right\}$ (9)	$\left. \begin{matrix} 45 \\ 52 \\ 59 \end{matrix} \right\}$ (9)
Telegrafía F1B teleimpresor, 100 Bd 2D = 170 Hz con ARQ	300	300	(10)		43	52	
Telegrafía F7B teleimpresor, 200 Bd 2D = 400 Hz con ARQ			(10)				
Telegrafía F1B MDF-M 33 tonos AT12 10 caracteres/s	400	400	$P_C = 0,01$ $P_C = 0,001$ $P_C = 0,0001$ } (8)		$\left. \begin{matrix} 23 \\ 24 \\ 26 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 37 \\ 45 \\ 52 \end{matrix} \right\}$ (25)	$\left. \begin{matrix} 29 \\ 34 \\ 39 \end{matrix} \right\}$
Telegrafía F1B MDF-M 12 tonos AT15 10 caracteres/s	300	300	$P_C = 0,01$ $P_C = 0,001$ $P_C = 0,0001$ } (8)		$\left. \begin{matrix} 26 \\ 27 \\ 29 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 42 \\ 49 \\ 56 \end{matrix} \right\}$ (25)	$\left. \begin{matrix} 32 \\ 36 \\ 42 \end{matrix} \right\}$
Telegrafía F1B MDF-M 6 tonos AT12 10 caracteres/s	180	180	$P_C = 0,01$ $P_C = 0,001$ $P_C = 0,0001$ } (8)		$\left. \begin{matrix} 25 \\ 26 \\ 28 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 41 \\ 48' \\ 5 \end{matrix} \right\}$ (25)	$\left. \begin{matrix} 31 \\ 35 \\ 41 \end{matrix} \right\}$
Telegrafía F7B							
Telefotografía R3C 60 rpm	3 000	3 000			50	59	
Telefotografía F3C 60 rpm	1 100	3 000	Difícilmente comercial ⁽²²⁾ Comercial bueno ⁽²²⁾	$\left. \begin{matrix} 15 \\ 20 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 50 \\ 55 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 58 \\ 65 \end{matrix} \right\}$	
Telefonía A3E doble banda lateral	6 000	3 000	Apenas utilizable ⁽¹¹⁾ Difícilmente comercial ⁽¹²⁾ Comercial bueno ⁽¹³⁾	$\left. \begin{matrix} 6 \\ 15 \\ 33 \end{matrix} \right\}$ (18)	$\left. \begin{matrix} 50 \\ 59 \\ 67^{(14)} \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 51 \\ 64 \\ 75^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (20)	$\left. \begin{matrix} 48 \\ 60 \\ 70^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (15) (20)
Telefonía H3E banda lateral única, portadora completa	3 000	3 000	Apenas utilizable ⁽¹¹⁾ Difícilmente comercial ⁽¹²⁾ Comercial bueno ⁽¹³⁾	$\left. \begin{matrix} 6 \\ 15 \\ 33 \end{matrix} \right\}$ (18)	$\left. \begin{matrix} 53 \\ 62 \\ 70^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (23)	$\left. \begin{matrix} 54 \\ 67 \\ 78^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (20)	$\left. \begin{matrix} 51 \\ 63 \\ 73^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (15) (20)
Telefonía R3E banda lateral única, portadora reducida	3 000	3 000	Apenas utilizable ⁽¹¹⁾ Difícilmente comercial ⁽¹²⁾ Comercial bueno ⁽¹³⁾	$\left. \begin{matrix} 6 \\ 15 \\ 33 \end{matrix} \right\}$ (18)	$\left. \begin{matrix} 48 \\ 57 \\ 65^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (24)	$\left. \begin{matrix} 49 \\ 62 \\ 73^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (20)	$\left. \begin{matrix} 46 \\ 58 \\ 68^{(14)} \end{matrix} \right\}$ (15) (20)

CUADRO 1 (Fin)

Clase de emisión	Anchura de banda del receptor antes de la detección (Hz)	Anchura de banda del receptor después de la detección (Hz)	Grado de servicio	SNR en audio-frecuencia ⁽¹⁾ (dB)	SNR media en radiofrecuencia ^{(2) (3)} (dB/Hz)		
					Condición estable	Condición de desvanecimiento ^{(4) (5)}	
						Sin diversidad	Doble diversidad
Telefonía J3E banda lateral única, portadora suprimida	3 000	3 000	Apenas utilizable ⁽¹¹⁾ Difícilmente comercial ⁽¹²⁾ Comercial bueno ⁽¹³⁾	6 } 15 } (18) 33 }	47 56 64 ⁽¹⁴⁾	48 } 61 } (20) 72(14) }	45 } 57 } (15) 67(14) } (20)
Telefonía B8E banda lateral independiente, 2 canales	6 000	3 000 cada canal	Apenas utilizable ⁽¹¹⁾ Difícilmente comercial ⁽¹²⁾ Comercial bueno ⁽¹³⁾	6 } 15 } (18) 33 }	49 58 66 ⁽¹⁴⁾	50 } 63 } (20) 74(14) }	47 } 59 } (15) 69(14) } (20)
Telefonía B8E banda lateral independiente, 4 canales	12 000	3 000 cada canal	Apenas utilizable ⁽¹¹⁾ Difícilmente comercial ⁽¹²⁾ Comercial bueno ⁽¹³⁾	6 } 15 } (18) 33 }	50 59 67 ⁽¹⁴⁾	51 } 64 } (20) 75(14) }	48 } 60 } (15) 70(14) } (20)
Telegrafía armónica multicanal J7B 16 canales de 75 Bd	3 000	110 cada canal	$P_C = 0,01$ } $P_C = 0,001$ } (8) $P_C = 0,0001$ }		59 } 65 } (21) 69 }	67 } 77 } (21) 87 }	59 } 66 } (21) 72 }
Telegrafía armónica multicanal J7B 15 canales de 100 Bd con ARQ	3 000	110 cada canal	(10)				
Telegrafía armónica multicanal R7B portadora reducida							
Emisión compuesta B7W 16 canales de 75 Bd 1 canal telefónico ⁽¹⁶⁾	6 000	110 por canal telegráfico 3 000 para el canal telefónico	$P_C = 0,01$ } $P_C = 0,001$ } (8) $P_C = 0,0001$ }		60 } 66 } (17) 70 }	68 } 78 } (17) 88 }	60 } 67 } (17) 73 }
Telegrafía armónica multicanal J7B 16 canales de 75 Bd	3 000	110 cada canal	$P_C = 0,01$ } $P_C = 0,001$ } (8) $P_C = 0,0001$ }		59 } 65 } (21) 69 }	67 } 77 } (21) 87 }	59 } 66 } (21) 72 }
Telegrafía armónica multicanal J7B 15 canales de 100 Bd con ARQ	3 000	110 cada canal	(10)				
Telegrafía armónica multicanal R7B portadora reducida							
Emisión compuesta B7W 16 canales de 75 Bd 1 canal telefónico ⁽¹⁶⁾	6 000	110 por canal telegráfico 3 000 para el canal telefónico	$P_C = 0,01$ } $P_C = 0,001$ } (8) $P_C = 0,0001$ }		60 } 66 } (17) 70 }	68 } 78 } (17) 88 }	60 } 67 } (17) 73 }

1) Anchura de banda de ruido igual a la del receptor después de la detección. Para telefonía de banda lateral independiente, la anchura de banda de ruido es igual a la de un canal después de la detección.

2) Los valores en esta columna del Cuadro 1 representan la relación potencia en la cresta de la envolvente de la señal potencia media de ruido para una anchura de banda de 1 Hz, excepto para las emisiones A3E, doble banda lateral, en que los valores representan la relación potencia de portadora potencia media de ruido para una anchura de banda de 1 Hz.

3) Los valores de la relación señal densidad de ruido para telefonía enumerados en esta columna se aplican cuando se emplean terminales clásicos. Estos valores pueden reducirse considerablemente (en una proporción que debe aún determinarse) cuando en los terminales se aplica el principio de los compresores-expansores asociados (Lincompex) (véase la Recomendación UIT-R F.1111). Se ha comprobado que una relación señal/ruido (valor tensión cuadrática media) de 7 dB, medida en audiofrecuencia en una banda de 3 kHz, corresponde a una calidad apenas comercial a la salida del sistema, habida cuenta de la mejora introducida por el compresor-expansor.

Notas relativas al Cuadro 1 (Fin)

- (4) Los valores de estas columnas representan los valores medianos de la potencia de la señal con desvanecimiento necesaria para obtener un grado de servicio equivalente, y no comprenden el factor de fluctuación de la intensidad (margen para la fluctuación diaria). En general, a los valores de estas columnas pueden añadirse 11,5 dB, como factor de fluctuación de la intensidad, para llegar a valores provisionales de la relación total señal/densidad de ruido requerida, que se pueden utilizar como guía para calcular los valores medianos mensuales necesarios de la intensidad de campo mediana horaria. Ese valor de 11,5 dB se ha obtenido como sigue:

El factor de fluctuación de la intensidad de la señal, con relación a un ruido constante, es de 10 dB, el cual se considera como suficiente protección para el 90% de los días. Para las fluctuaciones de intensidad del ruido atmosférico se toman también 10 dB para el 90% de los días. Admitiendo que no exista correlación entre las fluctuaciones de la intensidad del ruido y las de la señal, una buena evaluación del factor combinado de las fluctuaciones de la intensidad de la señal y del ruido es:

$$10 \log \left(\sqrt{10^2 + 10^2} \right) = 11,5 \text{ dB}$$

- (5) En el cálculo de las relaciones señal/densidad de ruido, en radiofrecuencia, para los desvanecimientos rápidos de corta duración, se ha utilizado una distribución logarítmica normal de la amplitud de la señal recibida con desvanecimiento (con un valor de 7 dB para la relación entre el nivel mediano y el nivel rebasado durante el 10% o el 90% del tiempo), salvo en el caso de los servicios telegráficos automáticos de gran velocidad, para los que se ha calculado la protección en la hipótesis de una distribución Rayleigh. Las Notas ⁽⁶⁾ a ⁽²⁵⁾ siguientes se refieren a la protección contra el desvanecimiento rápido o de corta duración.
- (6) Para una protección durante el 90% del tiempo.
- (7) Para telegrafía A1B teleimpresor a 50 Bd: para protección durante el 99,99% del tiempo. Para telegrafía A2B teleimpresor a 24 Bd: para protección durante el 98% del tiempo.
- (8) P_C corresponde a la probabilidad de caracteres erróneos.
- (9) En la hipótesis de un ruido atmosférico ($V_d = 6$ dB).
- (10) Basado en un rendimiento de transmisión del tráfico del 90%.
- (11) Para una inteligibilidad del 90% de las frases.
- (12) Cuando está conectado a la red del servicio público. Basado en una protección del 80%.
- (13) Cuando está conectado a la red del servicio público. Basado en una protección del 90%.
- (14) En la hipótesis de una mejora de 10 dB merced al uso de reductores de ruido.
- (15) Mejora obtenida utilizando diversidad espacial con gran separación (varios km).
- (16) Se ha supuesto una carga del transmisor correspondiente al 80% de su potencia en la cresta de la envolvente cuando lo modula la señal de telegrafía multicanal.
- (17) Relación señal/densidad de ruido requerida basada en la calidad de los canales telegráficos.
- (18) Para telefonía, los valores de esta columna representan la relación entre la señal de audiofrecuencia, medida con un vúmetro normal, y el valor cuadrático medio del ruido en una anchura de banda de 3 kHz. (La potencia de cresta de la señal correspondiente, es decir, con una modulación de 100% en el transmisor, se supone 6 dB superior.)
- (19) En la hipótesis de que la potencia total de la banda lateral, junto con la portadora manipulada se traducirá en un efecto de diversidad parcial (dos elementos). Se concede un margen de 4 dB para una protección del 90% (8 Bd) y 6 dB para una protección del 98% (24 Bd).
- (20) El empleo de terminales Lincompex reducirá estos valores en una proporción que está por determinar.
- (21) Para un número inferior de canales estas cifras serán diferentes. Está aún por determinar la vinculación entre el número de canales y la relación señal/ruido requerida.
- (22) Calidad juzgada de acuerdo con la Recomendación UIT-T T.22, «Imágenes patrón normalizadas para las transmisiones de documentos por facsímil».
- (23) Para la clase de emisión H3E, los niveles de la señal de las bandas laterales y de la portadora piloto, correspondientes a una modulación al 100%, están cada uno de ellos a -6 dB en relación con la potencia en la cresta de la envolvente. Para la recepción se utiliza un receptor BLU.
- (24) Para la clase de emisión R3E, se aplica un nivel de la portadora de la señal piloto de -20 dB en relación con la potencia en la cresta de la envolvente, y el nivel de la señal de las bandas laterales correspondiente a un 100% de modulación es 1 dB inferior a la potencia en la cresta de la envolvente.
- (25) Se indican los valores típicos, que dependen de la velocidad del desvanecimiento.

CUADRO 2

SNR medias requeridas para módems de alta frecuencia con MDFDC de 39 tonos
(clase de emisión J2D)

a)

SNR media (dB/Hz)	BER			
	Velocidad de datos 2 400 bit/s		Velocidad de datos 1 200 bit/s	
	Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}	Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}
39		$8,6 \times 10^{-2}$		$6,4 \times 10^{-2}$
44		$3,5 \times 10^{-2}$		$4,4 \times 10^{-3}$
49		$1,0 \times 10^{-2}$		$3,4 \times 10^{-4}$
54		$1,0 \times 10^{-3}$		$9,0 \times 10^{-6}$
64		$1,8 \times 10^{-4}$		$2,7 \times 10^{-6}$

b)

SNR media (dB/Hz)	BER			
	Velocidad de datos 300 bit/s		Velocidad de datos 75 bit/s	
	Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}	Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}
34		$1,8 \times 10^{-2}$		$4,4 \times 10^{-4}$
36		$6,4 \times 10^{-3}$		$5,0 \times 10^{-5}$
38		$1,0 \times 10^{-3}$		$1,0 \times 10^{-6}$
40		$5,0 \times 10^{-5}$		$1,0 \times 10^{-6}$
42		$1,5 \times 10^{-6}$		$1,0 \times 10^{-6}$

(a) Dos trayectos independientes con desvanecimiento Rayleigh de igual potencia media, con un retardo fijo de 2 ms entre trayectos, con desvanecimiento de 1 Hz.

(b) Intercalador «muy largo» de 72 tramas.

(c) Los valores de estas columnas representan los valores eficaces de la potencia de la señal de desvanecimiento necesarios para obtener un grado de servicio equivalente.

(d) «AWGN»: Canal sin desvanecimiento con ruido gaussiano blanco aditivo.

CUADRO 3

**SNR medias requeridas para velocidades de datos y modulación mostrada
(clase de emisión J2D)**

a)

Velocidad de datos de usuario (bit/s)	Modulación	SNR media (dB/Hz)			
		BER $1,0 \times 10^{-4}$		BER $1,0 \times 10^{-5}$	
		Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}	Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}
12 800	MAQ-64	61	–	62	–
9 600	MAQ-64	55	64	56	66
8 000	MAQ-32	53	60	53	62
6 400	MAQ-16	50	57	50	58
4 800	MDP-8	47	54	48	55
3 200	MDP-4	43	48	43	49

b)

Velocidad de datos de usuario (bit/s)	Modulación	SNR media (dB/Hz)			
		BER $< 1,0 \times 10^{-2}$		BER $< 1,0 \times 10^{-3}$	
		Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}	Canal AWGN ^(d)	Condición de desvanecimiento ^{(a) (b) (c)}
1 200	MDP-8	43		44	54
2 400	MDP-8	44	49	49	59
3 600	MDP-8	51	54	53	74

^(a) Dos trayectos independientes con desvanecimiento Rayleigh de igual potencia media, con un retardo fijo de 2 ms entre trayectos, con desvanecimiento de 1 Hz.

^(b) Intercalador «muy largo» de 72 tramas.

^(c) Los valores de estas columnas representan los valores eficaces de la potencia de la señal de desvanecimiento necesarios para obtener un grado de servicio equivalente.

^(d) «AWGN»: Canal sin desvanecimiento con ruido gaussiano blanco aditivo.

CUADRO 4a

Velocidades de datos y modulación (clase de emisión J2D) en anchuras de banda de 3 a 24 kHz para un sistema de modulación digital escalable

Número de forma de onda	Modulación	Velocidad de datos (bit/s)							
		3 (kHz)	6 (kHz)	9 (kHz)	12 (kHz)	15 (kHz)	18 (kHz)	21 (kHz)	24 (kHz)
0	Walsh	75	150	300	300	300	600	300	600
1	MDP-2	150	300	600	600	600	1 200	600	1 200
2	MDP-2	300	600	1 200	1 200	1 200	2 400	1 200	2 400
3	MDP-2	600	1 200	2 400	2 400	2 400	4 800	2 400	4 800
4	MDP-2	1 200	2 400	–	4 800	4 800	–	4 800	9 600
5	MDP-2	1 600	3 200	4 800	6 400	8 000	9 600	9 600	12 800
6	MDP-4	3 200	6 400	9 600	12 800	16 000	19 200	19 200	25 600
7	MDP-8	4 800	9 600	14 400	19 200	24 000	28 800	28 800	38 400
8	MAQ-16	6 400	12 800	19 200	25 600	32 000	38 400	38 400	51 200
9	MAQ-32	8 000	16 000	24 000	32 000	40 000	48 000	48 000	64 000
10	MAQ-64	9 600	19 200	28 800	38 400	48 000	57 600	57 600	76 800
11	MAQ-64	12 000	24 000	36 000	48 000	57 600	72 000	76 800	96 000
12	MAQ-256	16 000	32 000	48 000	64 000	76 800	90 000	115 200	120 000
13	MDP-4	2 400							

CUADRO 4b

SNR (dB/Hz) necesarias en anchuras de banda de 3 a 24 kHz para un sistema de modulación digital escalable con una BER $\leq 1,0 \times 10^{-5}$ (e)

Anchura de banda	3 (kHz) ^(a)		6 (kHz) ^(a)		9 (kHz) ^(a)		12 (kHz) ^(a)	
	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}
0	29	34	32	37	34	40	35	40
1	32	38	35	41	37	43	38	44
2	35	40	38	43	40	45	41	46
3	38	42	41	45	44	48	44	48
4	40	45	43	48	–	–	46	51
5	41	46	44	49	46	51	47	52
6	44	49	47	52	49	54	50	55
7	48	54	51	57	53	59	54	60
8	51	58	54	61	56	63	57	64
9	54	62	57	65	59	67	60	68
10	56	66	59	69	61	71	62	72
11	59	–	62	–	64	–	65	–
12	65	–	68	–	70	–	71	–
13	41	46	–	–	–	–	–	–

CUADRO 4b (*Fin*)

Anchura de banda	15 (kHz) ^(a)		18 (kHz) ^(a)		21 (kHz) ^(a)		24 (kHz) ^(a)	
	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}	Canal AWGN ^(b)	Canal con desvanecimiento ^{(c) (d)}
0	36	41	37	42	37	42	38	43
1	39	45	40	46	40	46	41	47
2	42	47	43	48	43	48	44	49
3	45	49	46	50	46	50	47	51
4	47	52	–	–	48	53	49	54
5	48	53	49	54	49	54	50	55
6	51	56	52	57	52	57	53	58
7	55	61	56	62	56	62	57	63
8	58	65	59	66	59	66	60	67
9	61	69	62	70	62	70	63	71
10	63	73	64	74	64	74	65	78
11	66	–	67	–	67	–	68	–
12	72	–	73	–	73	–	74	–
13	–	–	–	–	–	–	–	–

(a) Las cifras de las columnas del Cuadro 4b representan la relación entre la potencia media de la señal y la potencia media de ruido (dB) en una anchura de banda de 1 Hz.

(b) «AWGN»: Canal sin desvanecimiento con ruido gaussiano blanco aditivo.

(c) «Canal con desvanecimiento»: Dos trayectos independientes con desvanecimiento Rayleigh de igual potencia media con un retardo fijo de 2 ms entre trayectos, con desvanecimiento de 1 Hz (corresponde a las latitudes medias con «malas condiciones» de la Recomendación UIT-R F.1487).

(d) Los valores de las columnas «Canal con desvanecimiento» del Cuadro 4b representan los valores medianos de la potencia de la señal con desvanecimiento necesarios para obtener un grado de servicio equivalente.

(e) Los números de forma de onda 11 y 12 son adecuados para canales por onda de superficie cuando no se dispone de valores de desvanecimiento de la onda ionosférica. El número de forma de onda 4 no está disponible en los canales de 9 ó 18 kHz y el número de forma de onda 13 sólo está disponible en un sistema de 3 kHz de anchura de banda.

El Cuadro 4 presenta modulación digital para sistemas en ondas decamétricas con anchura de banda más amplia. Los Cuadros 4a y 4b deben utilizarse conjuntamente; en primer lugar en el Cuadro 4a se identifica el número de forma de onda para la anchura de banda y la velocidad de datos de un sistema particular y a continuación se emplea el Cuadro 4b para determinar la relación señal/ruido necesaria.

Lo que sigue es un ejemplo de uso de los Cuadros 4 para una velocidad de datos de 38 400 bits/s en anchuras de banda de 24 kHz:

- 1) En el Cuadro 4a se determina en la columna de anchura de banda de 24 kHz el número de forma de onda para una velocidad de datos de 38 400 bits/s, obteniéndose el número 7 en este caso.
- 2) En el Cuadro 4b se determina la intersección de la fila correspondiente al número de forma de onda 7 con la columna de anchura de banda de 24 kHz.
- 3) Para un grado de servicio BER de 1×10^{-5} las SNR necesarias son 57 y 63 dB/Hz en canales sin desvanecimiento y con desvanecimiento, respectivamente, como puede verse en el propio Cuadro 4b.