

Capítulo 5: Radiodifusión Terrestre

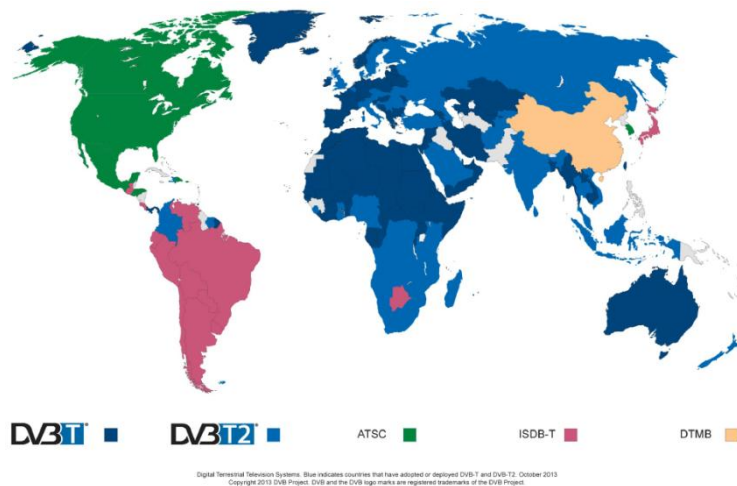
Introducción:

- **Término:** radiodifusión (“broadcasting”, referido al servicio).
- **Definición:** según una de las recomendaciones de la ITU-R, se trata de la Radiocomunicación en la cual las transmisiones se dan con la intención de ser recibidas por el público general, lo cual la diferencia del radio-enlace. Esto puede incluir transmisiones sonoras, de TV u otros tipos. En francés y castellano el significado de “radiodifusión” se restringe frecuentemente a la radiodifusión sonora, es decir, a la radio. Sin embargo, en general, incluye radio, TV...
- **Tres tipos:**
 - **Terrestre (radio).**
 - Satélite.
 - Cable: no se incluye en radio, ya que no son señales propagadas por el aire.
- **Características principales:**
 - Transmisión punto-a-multipunto.
 - Grandes áreas de cobertura: ciudades, provincias...
 - Unidireccional: sólo enlace descendente (desde los transmisores a los receptores). A veces se incluye un camino de retorno para proporcionar interactividad, pero normalmente no de “broadcasting”. Esto la diferencia de las comunicaciones móviles, que son bidireccionales.
 - Sistemas digitales (más TV) y analógicos (radio).

Aplicaciones:

- **Transmisiones de sonido (radio, sin gran impulso en su digitalización):**
 - Analógicas:
 - AM
 - SW (onda corta, casi no utilizada)
 - FM
 - Digitales:
 - DAB/DAB+: (Digital Audio Broadcasting), con extensión que mejora la calidad de recepción. Empleada para sustituir a FM. DAB+, con impulso gracias a las instalaciones en Madrid y Barcelona.
 - DRM/DRM+: para sustituir AM y onda corta, que llegan por emisiones ionosféricas.
- **Transmisiones de TV:**
 - TV Analógica Terrestre: ya sin uso en muchos países, como España.
 - TV Digital Terrestre (TDT):
 - DVB-T/DVB-T2: (Digital Video Broadcasting) la T indica que es terrestre (C, cable; S, satélite). En Europa y muchos países del mundo. DVB-T2 no compatible con DVBT-.
 - ATSC (USA), ISDB-T (Japón y Suramérica), DTMB (China).

- Otros tipos de transmisión (ej. Tx datos con DVB-T).



Espectro de Radio e Interferencias:

- **Espectro de TV:**
 - **Región 1 de la ITU:**
 - Principalmente banda UHF: 49 canales (BW= 8 MHz) numerados del 21 (474 MHz) al 69 (858 MHz).
 - En Europa el Dividendo Digital asignó el final de la banda de TV para comunicaciones móviles. Los canales del 61 (794 MHz) al 69 se han perdido para la radiodifusión de TV (En España se espera para 2015, aunque los operadores móviles corren prisa para insertar el 4G, LTE).
 - Banda VHF: canales de 7 u 8 MHz numerados del 5 (177.5 MHz) al 12 (226.5 MHz). En España esta banda fue reasignada para DAB hace algunos años.
 - Otras regiones de la ITU: el BW del canal de TV es 6 MHz (Américas) o 5 MHz.
- **Espectro de Radio (España):**
 - AM: canales de 9 kHz desde 526,5 hasta los 1606.5 kHz. Normalmente se deja un intervalo (canal) de guarda en desuso entre canales usados (uso poco eficiente del espectro).
 - FM: canales de 100 kHz sobrepuestos desde 87.5 hasta 108. Ancho de banda del canal, BW=150 kHz (no puede usar canales en la misma zona porque se solapan, hay que usar canales alternos en una zona geográfica determinada).
 - DAB/DAB+: banda VHF (dejada libre precisamente para ello): 38 canales con BW = 1.7 MHz. Los canales son nombrados a partir de los viejos canales de TV VHF de 7 MHz. Por ejemplo, el anterior canal 5 se ha dividido en 4 DAB/DAB+ (5A, 5B, 5C, 5D).
 - DAB/DAB+: banda L: usada para radiodifusión terrestre y satélite:

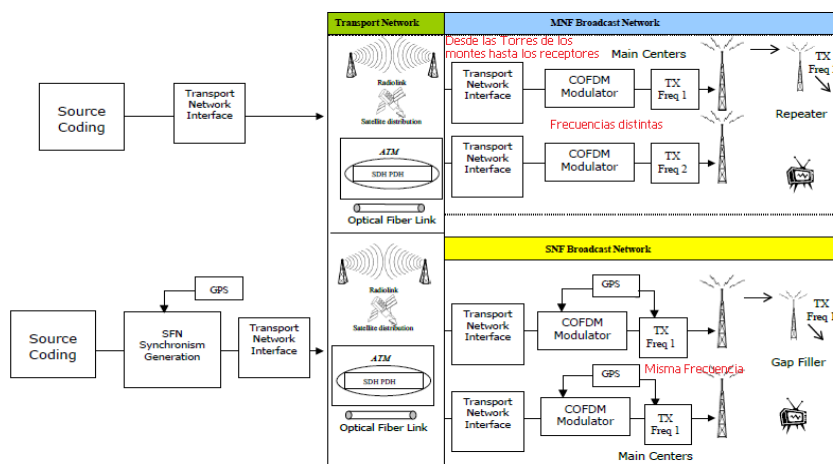
Band III					
5A 174.928 MHz	8A 195.936 MHz	11A 216.928 MHz			
5B 176.640 MHz	8B 197.648 MHz	11B 218.640 MHz			
5C 178.352 MHz	8C 199.360 MHz	11C 220.352 MHz			
5D 180.064 MHz	8D 201.072 MHz	11D 222.064 MHz			
6A 181.536 MHz	9A 202.928 MHz	12A 223.936 MHz			
6B 183.648 MHz	9B 204.640 MHz	12B 225.648 MHz			
6C 185.360 MHz	9C 206.352 MHz	12C 227.360 MHz			
6D 187.072 MHz	9D 208.064 MHz	12D 229.072 MHz			
7A 188.528 MHz	10A 209.936 MHz	13A 230.784 MHz			
7B 190.640 MHz	10B 211.648 MHz	13B 232.496 MHz			
7C 192.352 MHz	10C 213.360 MHz	13C 234.208 MHz			
7D 194.064 MHz	10D 215.072 MHz	13D 235.776 MHz			
		13E 237.488 MHz			
		13F 239.200 MHz			

L-band					
T-DAB			S-DAB		
LA 1452.960 MHz	LJ 1468.368 MHz	LS 1483.776 MHz			
LB 1454.672 MHz	LK 1470.080 MHz	LT 1485.488 MHz			
LC 1456.384 MHz	LL 1471.792 MHz	LU 1487.200 MHz			
LD 1458.096 MHz	LM 1473.504 MHz	LV 1488.912 MHz			
LE 1459.808 MHz	LN 1475.216 MHz	LW 1490.624 MHz			
LF 1461.520 MHz	LO 1476.928 MHz				
LG 1463.232 MHz	LP 1478.640 MHz				
LH 1464.944 MHz	LQ 1480.352 MHz				
LI 1466.656 MHz	LR 1482.064 MHz				

- **Interferencias:**

- Son causadas principalmente por transmisores de los mismos sistemas usando la misma frecuencia o similar, pero que intentan cubrir un área geográfica diferente.
- Se debe hacer un minucioso plan de frecuencias para evitar las interferencias. Para ello, las frecuencias usadas, ni pueden ser reutilizadas en una cierta distancia: distancia de reutilización, establecida como límite.
- Los bordes de las áreas de cobertura son los lugares más críticos. Esto se debe a que pueden llegar señales de dos lugares distintos con una potencia baja, pero con una potencia alta.
- Con sistemas digitales que usan OFDM, se dan dos posibles configuraciones de red:
 - Redes Multifrecuencia (MFN).
 - Configuración en Frecuencia Única (SFN), usando la misma frecuencia para cubrir toda la zona de cobertura. Por ejemplo, Tele5 emplea la misma frecuencia en toda España.
- Se definen radios de protección para asegurar una correcta recepción.

Arquitectura de Red:



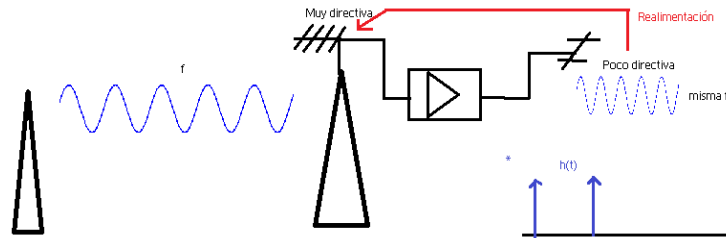
- **Dos partes:**

- Red de Distribución: para transportar los contenidos, desde donde son generados hasta los transmisores principales.
- Red de Radiodifusión: desde el transmisor hasta los receptores. Punto-a-multipunto.

- **Los transmisores menos importantes reciben la señal desde la red de radiodifusión:**

- Configuración MFN: recibe la señal radiodifundida, cambia la frecuencia y la amplifica para retransmitirla. Repetidores o transponedores.
- Configuración SFN: recibe la señal radiodifundida, la amplifica y la retransmite a la misma frecuencia. Gran aislamiento entre las antenas Receptoras y Transmisora. Se necesita un cancelador de ecos para evitar la realimentación debido a la adaptación parásita. Filtros Gap. Debido a la realimentación, parte de la señal vuelve a llegar a la antena receptora, dándose una realimentación positiva y provocando que el sistema sea

inestable. Por ello se emplean estos filtros, que han de conseguir el mejor aislamiento posible. Además, el propio equipo va a tener un cancelador de ecos, apreciado en su respuesta impulsional, cuyo filtro (el cancelador) ha de eliminar la amplitud de la señal retardada, intentando conseguir una ganancia negativa (realimentación negativa) para que no haya inestabilidad.



Propagación:

- **Radio AM y DRM:**

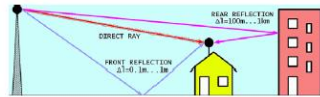
- Banda MF (526.5 a 1606.5 kHz). Propagación por ondas de superficie.
- Pueden propagarse sobre largas distancias (30-200 km).
- Dependen de las constantes de la tierra: conductividad, permitividad.
 - El mejor medio de propagación es el mar.
 - El peor caso son los desiertos y áreas urbanas (bajos valores de conductividad y permitividad).
 - Mapa Mundial de Conductividades de la ITU-R.
- Las ondas polarizadas horizontalmente se atenúan significativamente.
- Por ello, los sistemas prácticos están polarizados verticalmente.
- Las antenas transmisoras son dipolos $\lambda/4$ dispuestos verticalmente.
- Durante la noche también se produce propagación por ondas de cielo (Ionosfera). Durante la noche, la capa E, que absorbe esas frecuencias, desaparece. Esto puede causar interferencias entre transmisores situados muy a lo lejos, por ejemplo, absorber la señal AM. Al aparecer la transmisión por propagación ionosférica, puede darse el problema de recibir señales imprevistas (interferencias).

- **Radio FM, DRM+, DAB, TV: Ondas de Espacio:**

- A esta frecuencia, la onda de radio se propaga como rayos.
- Los rayos no son infinitesimales, sino una zona alrededor de la línea LOS entre transmisor y receptor (Elipsoides Fresnel).
- Refracción, difracción, dispersión y absorción son los fenómenos relevantes.
- Para la recepción de TV/Radio fija, se emplean antenas de tejado directivas, LOS. Los principales fenómenos de propagación son FSL y multitrayecto.
- Para la recepción de TV/Radio móvil o portátil se emplean antenas portátiles no directiva, NLOS. El principal fenómeno de propagación es el multitrayecto.
- Multitrayecto:
 - A gran escala: orografía.



- A menor escala: obstáculos, azoteas, elementos urbanos... cercanos al receptor



- El problema del multitrayecto se supera con una estimación de la directividad de la antena (recepción fija) y del canal y con técnicas de ecualización (móvil y portátil).
- Modelos de canal para Recepción Fija:
 - Gaussiano: sólo un trayecto.
 - F1. Rician (Desvanecimiento de Rice). Un trayecto principal y 20 atenuados y retardados (debido a los rebotes del multitrayecto). Simula recepción con antena de tejado.
 - P1. Rayleigh (Dispersión). Similar a F1, pero sin un trayecto principal (sin rayo directo, sólo llega por rebotes). Usado para describir las condiciones de recepción interiores o exteriores fijas.
 - Eco de 0 dB. Este perfil sólo incluye dos trayectos. El retardo y el desplazamiento en frecuencia de cada trayecto es definido (desviación del retardo y frecuencia uno respecto del otro). Usado para describir la recepción SFN.

i	ρ_i	τ_i (μs)	θ_i (rad)
1	0,057 662	1,003 019	4,855 121
2	0,176 809	5,422 091	3,419 109
3	0,407 163	0,518 650	5,864 470
4	0,303 585	2,751 772	2,215 894
5	0,258 782	0,602 895	3,758 058
6	0,061 831	1,016 585	5,430 202
7	0,150 340	0,143 556	3,952 093
8	0,051 534	0,153 832	1,093 586
9	0,185 074	3,324 866	5,775 198
10	0,400 967	1,935 570	0,154 459
11	0,295 723	0,429 948	5,928 383
12	0,350 825	3,228 872	3,053 023
13	0,262 909	0,848 831	0,628 578
14	0,225 894	0,073 883	2,128 544
15	0,170 996	0,203 952	1,099 463
16	0,149 723	0,194 207	3,462 951
17	0,240 140	0,924 450	3,664 773
18	0,116 587	1,381 320	2,833 799
19	0,221 155	0,640 512	3,334 290
20	0,259 730	1,368 671	0,393 889

Del directo no se dice nada, su atenuación es 0 dB.

- Modelos de canal para Recepción Móvil:
 - Efecto Doppler debido al movimiento. La velocidad debe definirse.
 - TU-6. Urbano típico, 6 trayectos.
 - Pi ("pedestrian indoor") y Po ("pedestrian outdoor").

Tap number	Delay (μs)	Power (dB)	Doppler Spectrum
1	0.0	-3	Classical
2	0.2	0	Classical
3	0.5	-2	Classical
4	1.6	-6	Classical
5	2.3	-8	Classical
6	5.0	-10	Classical

TU6 path definition

- Cabe destacar que estos modelos de canal son maneras de intentar modelizar la realidad para probar los equipos. No obstante, asegurando que funcionan para estos canales los equipos, se pueden desarrollar estándares, aunque, quizás, luego puedan existir aún errores.

Diseños básicos:

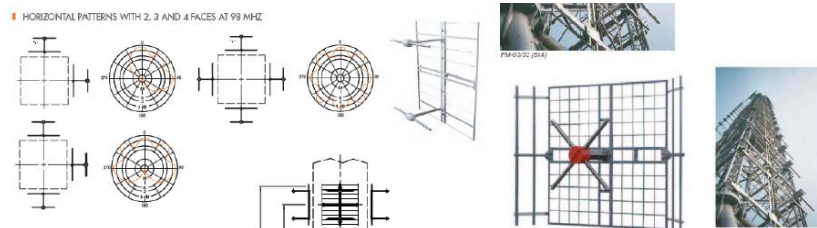
- Antenas:
 - Antenas de Transmisión AM/DRM:
 - Monopolos Verticales ($\lambda/4$). A veces formando arrays.



- Antenas de Recepción AM/DRM: antenas de cuadro de ferrita (loop).
 - Pequeño tamaño.
 - Baja eficiencia (también tiene pérdidas magnéticas por la ferrita).
 - Omnidireccionales.
 - Más baratas.



- Antenas de Transmisión FM: arrays de dipolos $\lambda/2$ (paneles).
 - Polarización: horizontal, vertical o mixta (circular, más común).
 - Con reflectores a formar sectores.
 - Ganancia depende del número de dipolos y plataformas: de 1 a 15 dBi aproximadamente. Ya que, cada elemento está formado por uno o varios dipolos, y la multiplicación de éstos proporciona el nº total.

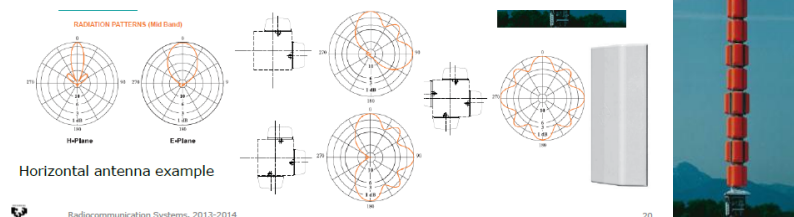


- Antenas de Recepción FM:
 - Para antenas de tejado: dipolo de doble pliegue $\lambda/2$ (antena circular).
 - Polarización: horizontal.
 - Omnidireccionales (ganancia 1 dBi).
 - Para Recepción portátil: similares a dipolos $\lambda/4$.
 - Antenas telescópicas.
 - A veces, el propio auricular se emplea como antena.
 - No tienen una buena adaptación, pero suficiente para recibir las señales fuertes.



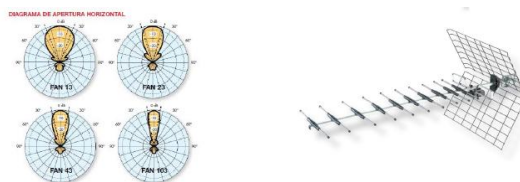
- Antenas de Transmisión de TV: arrays de dipolos $\lambda/2$ (paneles).
 - Polarización: Horizontal (la más común) o Vertical.
 - Con reflectores para formar sectores.
 - La ganancia depende del número de dipolos y segmentos (valores normales entre 12-16 dBi).

- Como la frecuencia es mayor que en FM, las antenas son más pequeñas y los arrays de dipolos se encuentran encerrados dentro de radomos, para mayor protección. Éstos suelen ser rojos o blancos, para seguridad con la aviación.



■ Antenas de Recepción de TV:

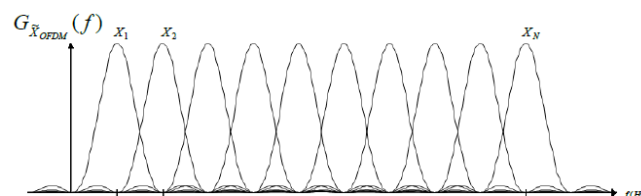
- Para antenas de tejado: Uda-Yagi o logoperiódicas:
 - Polarización horizontal o vertical.
 - Antenas directivas (ganancias entre 5-17 dBi).



- Para Recepción portátil: similares a monopolos $\lambda/4$ o dipolos $\lambda/2$.
 - Antenas telescópicas.
 - A veces con un amplificador incluido (antenas activas).
 - No tienen buena adaptación, pero suficiente para recibir señales fuertes.

● OFDM:

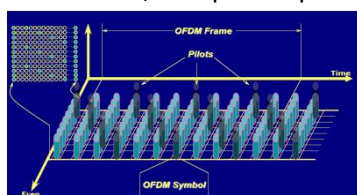
- Orthogonal Frequency Division Modulation.
- Usada en Radio digital y Radiodifusión de TV.
- La información es enviada a través de múltiples portadoras ortogonales (TDT en España, unas 8000 portadoras, modo 8k).



Pueden juntarse mucho para conseguir un menor ancho de banda y minimizar la interferencia, pero tienen que cumplir que:

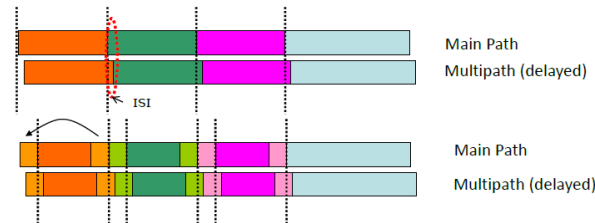
$$\frac{1}{T_{U,OFDM}} = \frac{2}{T_{U,OFDM}} = \frac{N}{T_{U,OFDM}} = \frac{N}{N T_S} = \frac{1}{T_S}$$

- Portadoras piloto: generalmente algunas de las portadoras no se emplean para datos, sino para una estimación del canal necesaria en el proceso de ecualización. DRM/DRM+, DVB-T/DVB-T2. Todas las portadoras usan la misma modulación, excepto las piloto, usadas para ecualizar.



Ante esto, se establecen las posiciones de las portadoras piloto según se requieran las muestras en frecuencia.

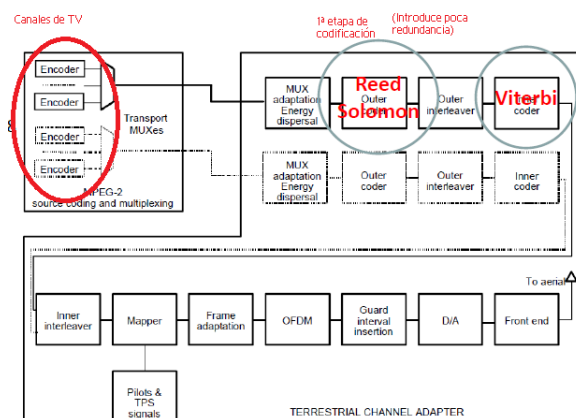
- El impedimento provocado por el multitrayecto se evita por la inserción de un intervalo de guarda (GI). Parte del tiempo es desperdiciada en este intervalo, pero el ensanchamiento de este retardo no provoca ISI. Esta técnica permite configuración SFN. Además, este intervalo consigue esperar a que lleguen los rayos retardados y nos estropeen la señal mezclando colores.



- Cada color representa una información determinada, que puede mezclarse con el multitrayecto. Para ello, OFM aumenta la duración de símbolo, como hay muchos canales paralelos, puede enviarse la información de una manera más repartida y más lenta, evitando este fenómeno.
- La longitud del GI se toma para ser una fracción de la duración de símbolo.
- También se emplea el “prefijo cíclico”, para enviar el mismo contenido en distinto orden y evitar la ISI. Se alarga mucho la duración de símbolo (tanto como portadoras haya).

• Ejemplo: DVB-T:

- Codificación: dos codificaciones concatenadas:
 - Red Salomon (RS): (204, 188, t=8): 188 bytes de entrada, 204 de salida.
 - Viterbi: CR= 1/2 (más protegida), 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8 (menos protegida, tasa binaria alta).



- A continuación se puede observar una serie de aspectos:
 - En el modo 8k se usan potencias de 2 porque usa IFFT en Tx y FFT en Rx.
 - 6817 portadoras para adaptar el ancho de banda. Se ve que algunas portadoras se dejan a cero (las de los extremos) para ello.
 - La tabla siguiente es para canales de 8 MHz, sino, habría otra tabla.
 - El modo 2k se empleaba en UK, ahora DVB-T2.

- Modo 2k, ventaja: mayor separación entre portadoras, menor interferencia.
- Se da multitrayecto debido al efecto Doppler, se puede desplazar la frecuencia.

Numerical values for the OFDM parameters for the 8K and 2K modes for 8 MHz channels

Parameter	8K mode	2K mode
Number of carriers K	6 817	1 705
Value of carrier number K_{min}	0	0
Value of carrier number K_{max}	6 816	1 704
Duration T_U (see note 2)	896 μ s	224 μ s
Carrier spacing $1/T_U$ (see notes 1 and 2)	1 116 Hz	4 464 Hz
Spacing between carriers K_{min} and K_{max} $(K-1)/T_U$ (see note 2)	7,61 MHz	7,61 MHz

NOTE 1: Values in *italics* are approximate values.
NOTE 2: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in annex E, tables E.1 and E.2.

Duration of symbol part for the allowed guard intervals for 8 MHz channels

Mode	8K mode				2K mode			
Guard interval Δ / T_U	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duration of symbol part T_U	8 192 $\times$ T 896 μ s (see note)				2 048 $\times$ T 224 μ s (see note)			
Duration of guard interval Δ	2 048 $\times$ T 224 μ s	1 024 $\times$ T 112 μ s	512 $\times$ T 56 μ s	256 $\times$ T 28 μ s	512 $\times$ T 56 μ s	256 $\times$ T 28 μ s	128 $\times$ T 14 μ s	64 $\times$ T 7 μ s
Symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10 240 $\times$ T 1 120 μ s	9 216 $\times$ T 1 008 μ s	8 704 $\times$ T 952 μ s	8 448 $\times$ T 924 μ s	2 560 $\times$ T 280 μ s	2 304 $\times$ T 252 μ s	2 176 $\times$ T 238 μ s	2 112 $\times$ T 231 μ s

NOTE: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in tables E.3 and E.4.

- La siguiente tabla muestra lo que ocurre tras la codificación Viterbi.
- Donde el P₁, nos indica el canal donde está obstaculizado, el multitrayecto.

Required C/N for non-hierarchical transmission to achieve a BER = 2×10^{-4} after the Viterbi decoder for all combinations of coding rates and modulation types

Modulation	Code rate	Required C/N for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon			Bitrate (Mbit/s)			
		Gaussian channel	Ricean channel (F_1)	Rayleigh channel (P_1)	$\Delta/T_U = 1/4$	$\Delta/T_U = 1/8$	$\Delta/T_U = 1/16$	$\Delta/T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,7	8,7	15,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	19,3	20,0	25,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	20,7	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

NOTE 1: Figures in *italics* are approximate values.
NOTE 2: The net bit rates after the Reed-Solomon decoder are also listed.

■ DVB-T en España:

- GIF=1/4. La longitud OFDM es de 0.896 ms, así que el intervalo de guarda GI es de 224 μ s. Éste es el multitrayecto más largo tolerable, que corresponde con una distancia de 67.2 km. Este valor permite grandes configuraciones SFN, tanto que éste fue el primer diseño de red en España. Si la configuración SFN no es usada por nadie tras el Dividendo Digital el GIF podrá reducirse para ganar capacidad.
- TDT en España:
 - FFT: 8k.
 - GIF: 1/4.
 - CR:2/3-
 - Umbral C/N: 16.5 a 19.3 dB, dependiendo del canal de propagación.
 - Tasa Neta de Datos: 19.9 Mbps.