

Sistema de Transmisión del Estándar ISDB-T_b



Dr. Gonzalo Olmedo

Abril 2013

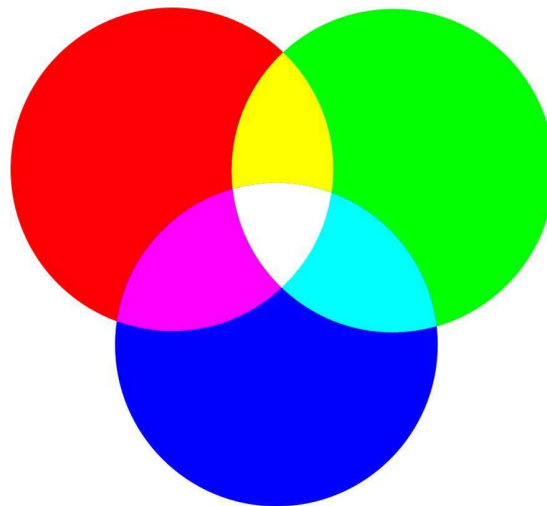
Contenido

1. Compresión de Video
2. Transport Stream
3. Capa Física

1. COMPRESIÓN DE VIDEO

Colorimetría

- Representación de video a color RGB.
- Los tres colores encontrados en un prisma al descomponer la luz blanca, son el rojo, verde y azul, denominados colores primarios.

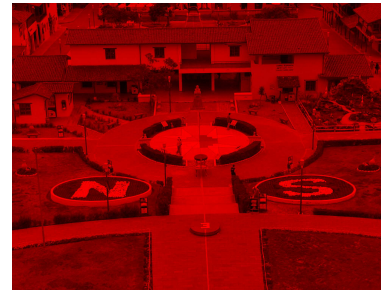


RGB

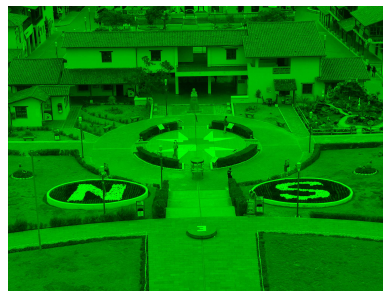
Color Total



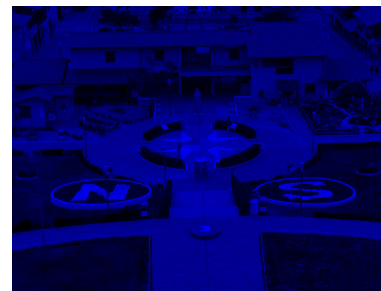
Rojo - R



Verde - G



Azul - B



Señal de Luminancia

- La señal de luminancia (**Y**) contiene la variación del brillo de un color, es decir tonalidades de gris.
- La señal de crominancia (**C**) contiene la información de matiz y saturación de los colores.

$$\begin{aligned} Y &= aR + bG + cB \quad Y = \frac{0,92}{1,56}R + \frac{0,47}{1,56}G + \frac{0,17}{1,56}B \\ Y &= 0,3013R + 0,5897G + 0,1089B = 1V \\ C_b &= B - Y = -0,3013R - 0,5897G + 0,8910B \\ C_r &= R - Y = 0,6987R - 0,5897G - 0,1089B \end{aligned} \tag{1}$$

Pixel

- Las componentes RGB o YC_bC_r son muestreadas, formando puntos en la pantalla llamados pixels.
- El pixel es la menor unidad de la imagen.

| bits por pixel (n) | Número de colores (2^n) | Nombre |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|
| 1 | 2 | Monocromático |
| 2 | 4 | CGA |
| 4 | 16 | EGA |
| 8 | 256 | VGA |

- Una imagen digital de 24 bits significa 8 bits por cada canal de color RGB.

Pixel



Pixel info: (X, Y) [R G B]

(a) Imagen

| | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|
| P: 101 | P: 101 | P: 102 | P: 101 | P: 100 | P: 107 |
| R: 115 G: 127 B: 105 | R: 81 G: 96 B: 93 | R: 51 G: 68 B: 76 | R: 71 G: 89 B: 103 | R: 124 G: 141 B: 159 | R: 146 G: 164 B: 188 |
| R: 110 G: 123 B: 97 | R: 80 G: 95 B: 90 | R: 51 G: 70 B: 77 | R: 73 G: 93 B: 104 | R: 125 G: 146 B: 165 | R: 149 G: 174 B: 196 |
| R: 114 G: 124 B: 99 | R: 81 G: 98 B: 90 | R: 50 G: 70 B: 77 | R: 59 G: 83 B: 95 | R: 100 G: 127 B: 146 | R: 119 G: 149 B: 175 |
| R: 132 G: 140 B: 117 | R: 98 G: 115 B: 109 | R: 61 G: 81 B: 90 | R: 54 G: 80 B: 97 | R: 80 G: 110 B: 136 | R: 92 G: 127 B: 159 |
| P: 126 | P: 102 | P: 69 | P: 55 | P: 78 | P: 95 |

(b) Región de Pixels

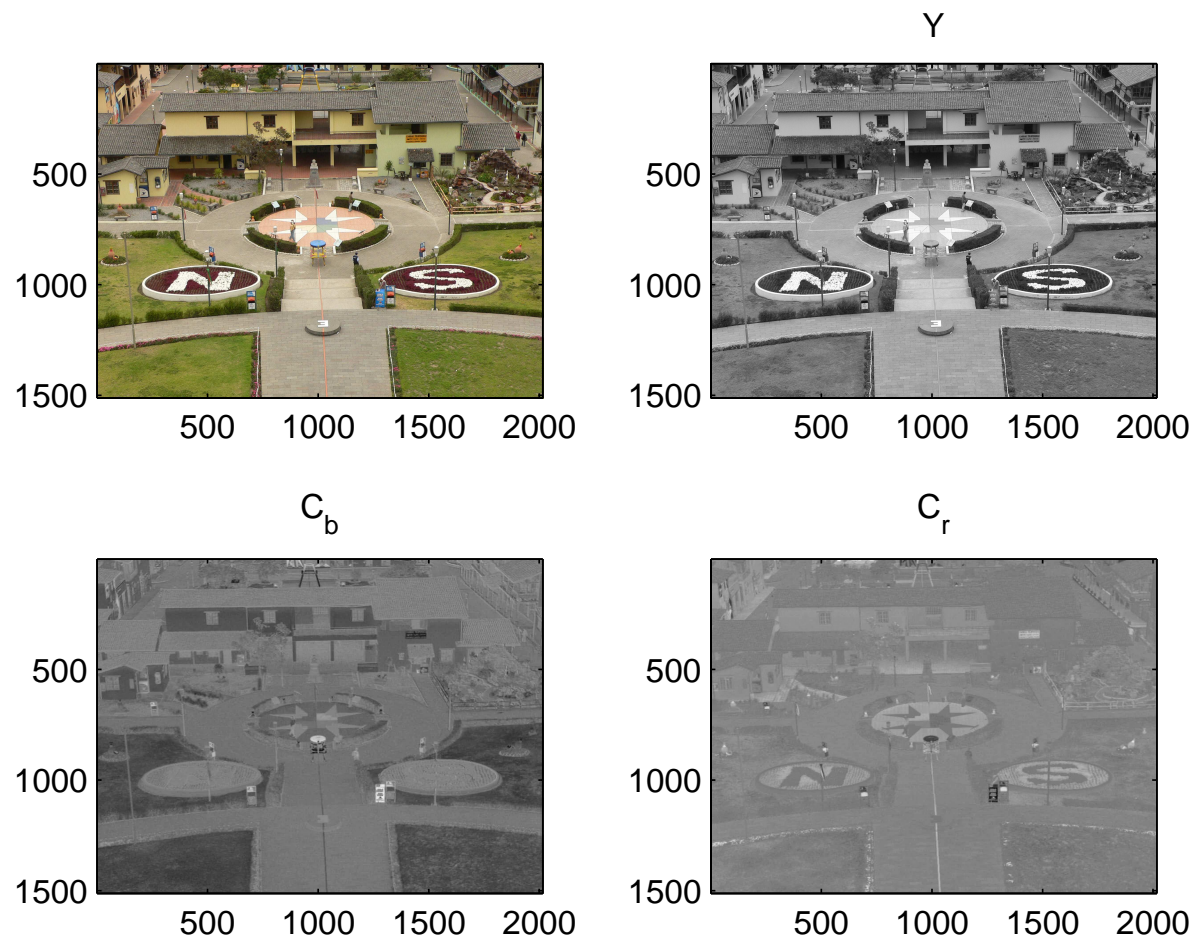
Recomendación ITU-R B601 (Factor Gamma)

- La relación entre la tensión de la señal eléctrica y la intensidad luminosa no es lineal, lo que produce distorsiones.
- Se utiliza la corrección del Factor Gamma.

$$R' = \begin{cases} 1,055^{1/2,4} - 0,055 & \text{para } R \leq 0,0031308 \\ 12,92R & \text{para } R > 0,0031308 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Y'_{601} &= 0,299R' + 0,587G' + 0,114B' \\ C'_{r,601} &= 0,701R' - 0,587G' - 0,114B' \\ C'_{b,601} &= -0,299R' - 0,587G' + 0,886B' \end{aligned} \quad (3)$$

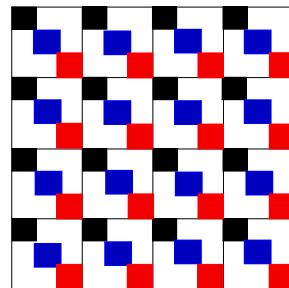
Recomendación ITU-R B601



Recomendación ITU-R B601 (Formatos de Cuadros)

- **Formato 4:4:4**

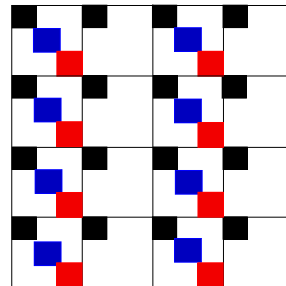
- Cada pixel lleva toda la información de luminancia, Y y crominancias, $C_r C_b$.
- Frecuencia de muestreo $f_s = 13,5$ MHz.
- Cuantización de 8 bits.
- Tasa de bits por cuadro, $R = 3 \times 8 \times f_s = 324$ Mb/s.
- Utilizado para cine y alta definición.



Recomendación ITU-R B601 (Formatos de Cuadros)

- **Formato 4:2:2**

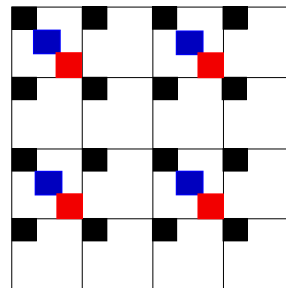
- Pixels intercalados, unos llevan luminancia+crominancias y otros solo crominancias.
- Frecuencia de muestreo $f_s = 13,5$ MHz para luminancia y $f_c = 6,75$ MHz para crominancia.
- Cuantización de 8 bits.
- Tasa de bits por cuadro, $R = 216$ Mb/s.
- Utilizado para televisión digital.



Recomendación ITU-R B601 (Formatos de Cuadros)

- **Formato 4:2:0**

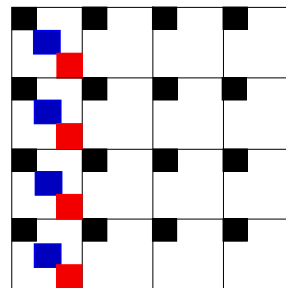
- Es una simplificación del formato de cuadro 4:2:2.
- Frecuencia de muestreo $f_s = 13,5$ MHz para lumenancia y $f_c = 6,75$ MHz para crominancia.
- Cuantización de 8 bits.
- Tasa de bits por cuadro, $R = 162$ Mb/s.
- Utilizado para televisión digital.



Recomendación ITU-R B601 (Formatos de Cuadros)

- **Formato 4:1:1**

- Frecuencia de muestreo $f_s = 13,5$ MHz para luminancia y $f_c = 3,375$ MHz para crominancia.
- Cuantización de 8 bits.
- Tasa de bits por cuadro, $R = 162$ Mb/s.



Recomendación ITU-R B709

- ITU-R BT601 se define para la generación de la señal en definición estándar **SD**.
- ITU-R BT 709 para la generación de la señal en alta definición **HD**.

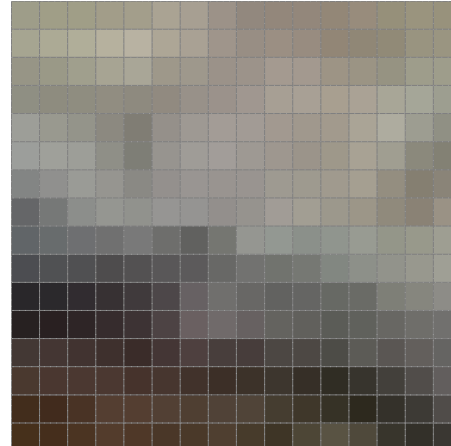
$$\begin{aligned} Y'_{709} &= 0,2126R' + 0,715G' + 0,0722B' \\ C'_{r,709} &= 0,7874R' - 0,7152G' - 0,0722B' \\ C'_{b,709} &= -0,2126R' - 0,7152G' + 0,9278B' \end{aligned} \quad (4)$$

MPEG

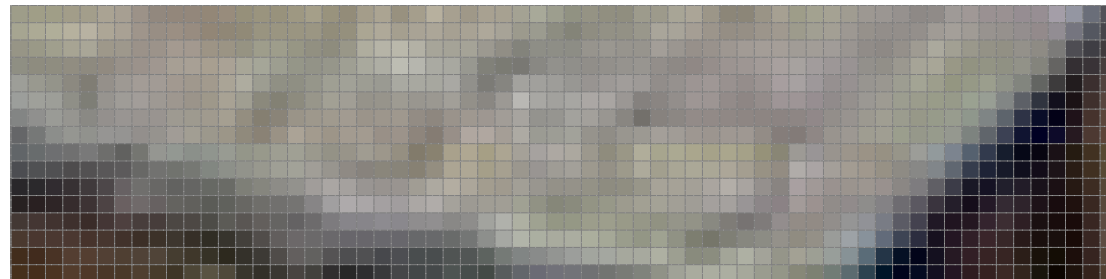
- La unidad básica de MPEG-2 se encuentra formada por Bloques de pixels de 16x16, 16x8, 8x16 y 8x8.
- La unidad básica de MPEG-4 se encuentra formada por bloques de pixels de 16x16, 16x8, 8x16, 8x8, 8x4, 4x8.
- Un Macrobloque se encuentra formado por 4 bloques.
- Una Franja está formada por macrobloques organizados en líneas.
- Las Franjas forman un cuadro.

MPEG

| | | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| R:158 G:157 B:137 | R:160 G:158 B:135 | R:160 G:158 B:135 | R:162 G:157 B:137 | R:163 G:158 B:139 | R:170 G:163 B:147 | R:167 G:159 B:146 | R:156 G:146 B:136 |
| R:166 G:165 B:145 | R:172 G:170 B:149 | R:176 G:174 B:153 | R:182 G:177 B:158 | R:184 G:178 B:162 | R:173 G:166 B:150 | R:169 G:161 B:148 | R:159 G:149 B:139 |
| R:151 G:149 B:134 | R:154 G:153 B:135 | R:160 G:159 B:141 | R:167 G:164 B:147 | R:169 G:166 B:151 | R:158 G:152 B:138 | R:158 G:152 B:140 | R:155 G:146 B:137 |
| R:143 G:143 B:131 | R:142 G:140 B:127 | R:143 G:141 B:128 | R:145 G:141 B:129 | R:142 G:138 B:127 | R:145 G:138 B:128 | R:152 G:145 B:137 | R:155 G:146 B:139 |
| R:157 G:158 B:152 | R:153 G:153 B:143 | R:148 G:148 B:138 | R:140 G:137 B:128 | R:128 G:125 B:116 | R:149 G:144 B:138 | R:158 G:153 B:147 | R:163 G:156 B:150 |
| R:156 G:158 B:155 | R:159 G:160 B:154 | R:157 G:158 B:152 | R:143 G:143 B:135 | R:126 G:126 B:118 | R:151 G:148 B:143 | R:159 G:156 B:151 | R:162 G:157 B:153 |
| R:131 G:133 B:132 | R:144 G:144 B:142 | R:154 G:155 B:150 | R:150 G:149 B:144 | R:138 G:137 B:132 | R:148 G:144 B:141 | R:153 G:149 B:146 | R:153 G:148 B:144 |
| R:101 G:102 B:104 | R:118 G:120 B:119 | R:140 G:142 B:139 | R:149 G:150 B:145 | R:145 G:146 B:141 | R:150 G:149 B:147 | R:149 G:148 B:146 | R:147 G:143 B:140 |



(c) Bloque, 8x8 pixels (d) Macrobloque
4 bloques
16x16 pixels



(e) Franja (macrobloques en línea)

MPEG

Compresión

- **Espacial:** reduce la redundancia entre partes de la misma escena, utilizando la transformada discreta del coseno (**DCT**).
- **Temporal:** reduce la redundancia entre escenas sucesivas.



(f) Redundancia entre escenas

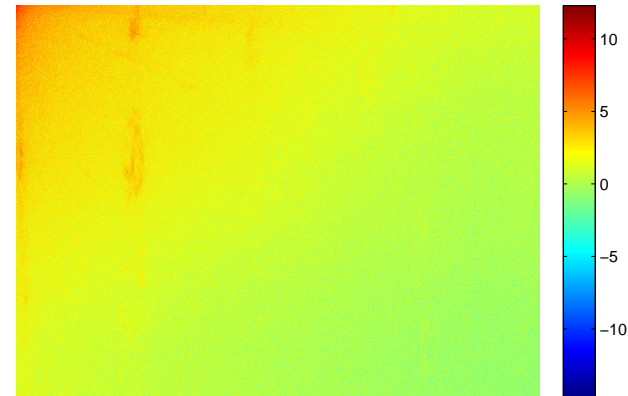
Transformada del Coseno DCT

$$F(u, v) = \frac{C(u)C(v)}{4} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} f(m, n) \cos \left[\frac{(1+2m)u\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(1+2n)v\pi}{2N} \right]$$

$$C(u), C(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{se } v = 0 \\ 1 & \text{se } u, v \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$



(g) Imagen



(h) Energía

Vectores de Movimiento

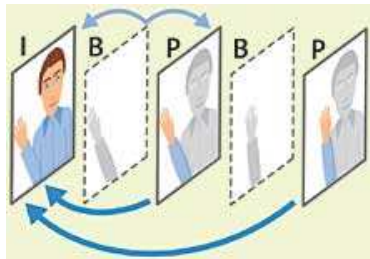
- Correspondencia entre bloques.
- Correspondencia entre gradientes.
- Algoritmo Sub-pixel.



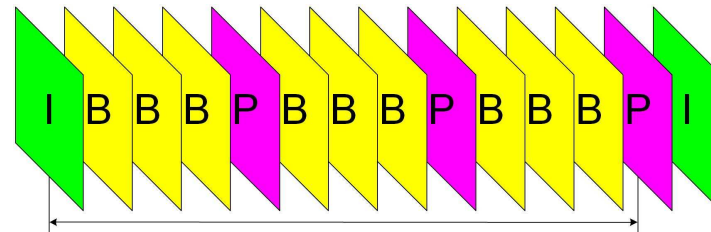
(i) Vectores de Movimiento

GOP - *Group of Pictures*

- Cuadro intracodificado **I** no posee referencia con otro cuadro.
- Cuadro de predicción **P** es codificado a través de una referencia de otro cuadro **I** o **P** antecesor.
- Cuadro bidireccional **B** entre cuadros **I** y **P**.



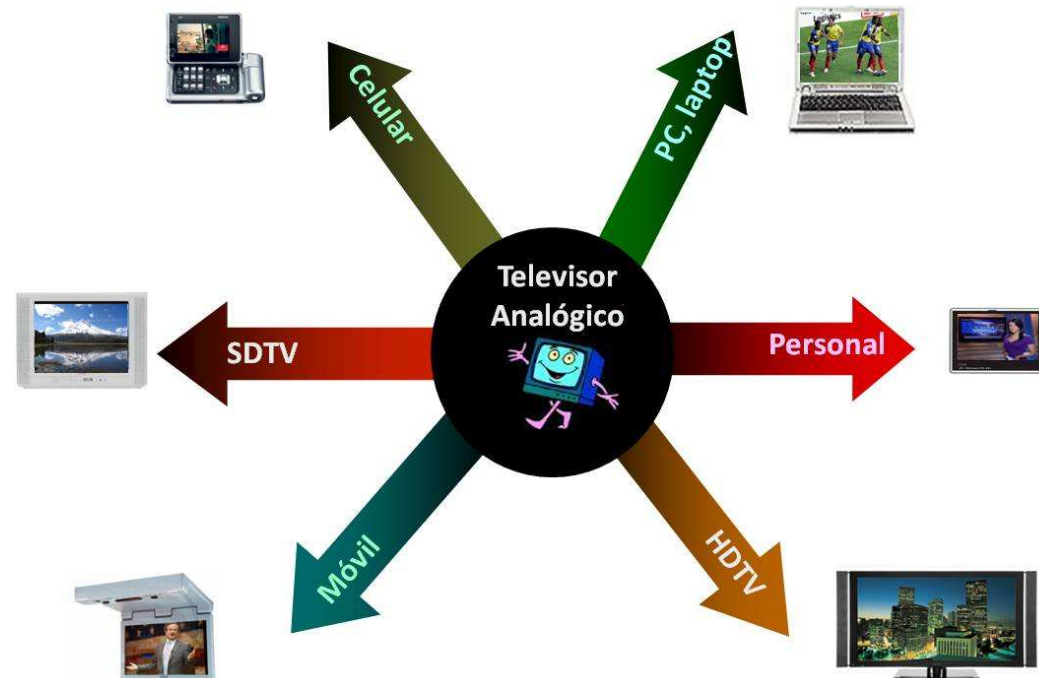
(j) Escenas



(k) Estructura de cuadros

Resoluciones de televisión digital

- **HDTV**, 16:9, 1280×1080, **EDTV**, 16:9, 1280×720
- **SDTV**, 4:3, 640×480, **LDTV**, 4:3, 320×240



Digitalización y Compresión

| | Fuente | Compresión | MPEG-4 |
|------|----------------------|------------|----------|
| HDTV | 1,5 Gb/s | 125/1 | 12 Mb/s |
| SDTV | 270 Mb/s | 60/1 | 4,5 Mb/s |
| LDTV | 1,5 Gb/s 270 Mb/s | n/1 | 384 kb/s |

4. Transport Stream

Multiplexor

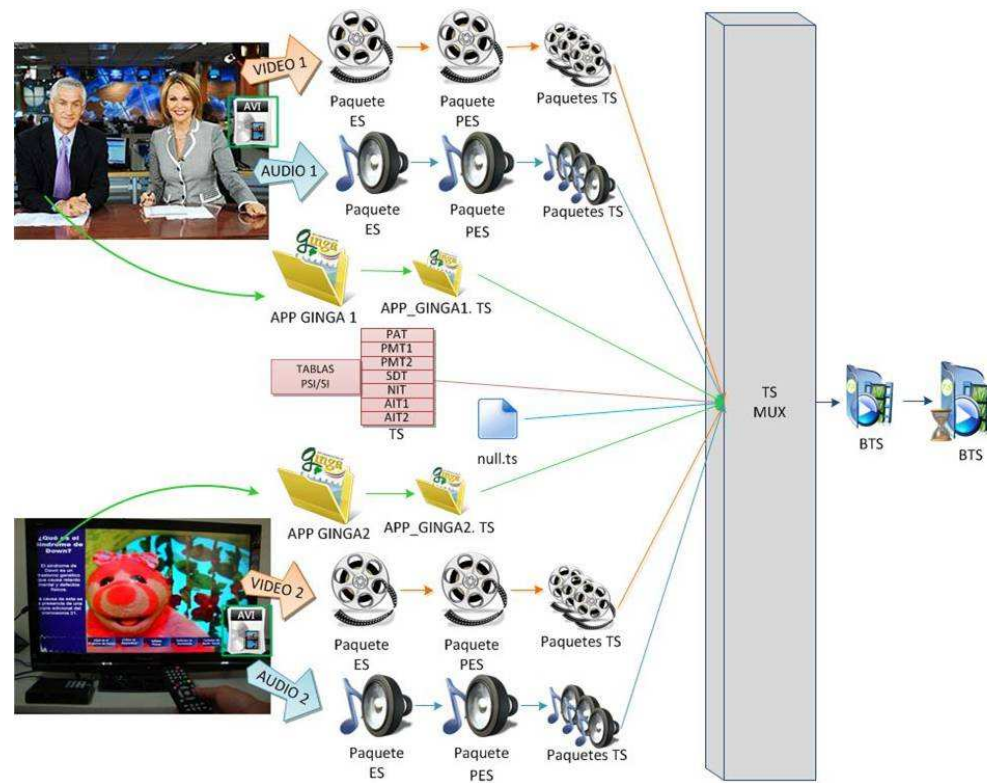
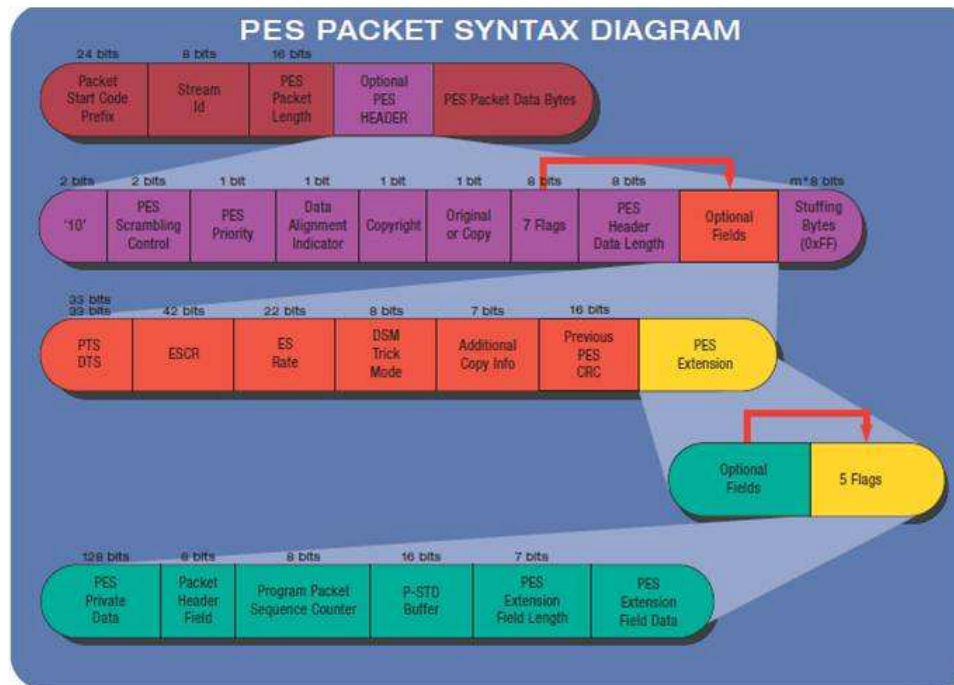


Figura 1: ES, PES, TS

Multiplexor

- A la salida de los codificadores de audio y video se encuentran secuencias elementales de bits denominadas (**ES**- *Elementary Stream*).
- Los **ES** son empacados en paquetes (**PES** - *Packetized Elementary Stream*) con tamaños variables de máximo 64 kB. La cabecera de cada **PES** contiene información de sincronización, identificación y carectización de audio, video o datos.
- Los **PES** originan los paquetes (**TS**-*Transport Stream*), de tamaño fijo de 188 bytes, ISO/IEC 13818-1 (4 bytes de cabecera). Cada **TS** es identificado por un **PID** (*Packet Identifier*)
- Para identificar y estructurar los **TS** se utiliza un conjunto de tablas y descriptores definidos para MPEG-2.
- Los **TS** se transportan por un único flujo de datos multiplexado llamado **BTS** (*Broadcasting Transport Stream*) con tasa fija de 32,508 Mbps.

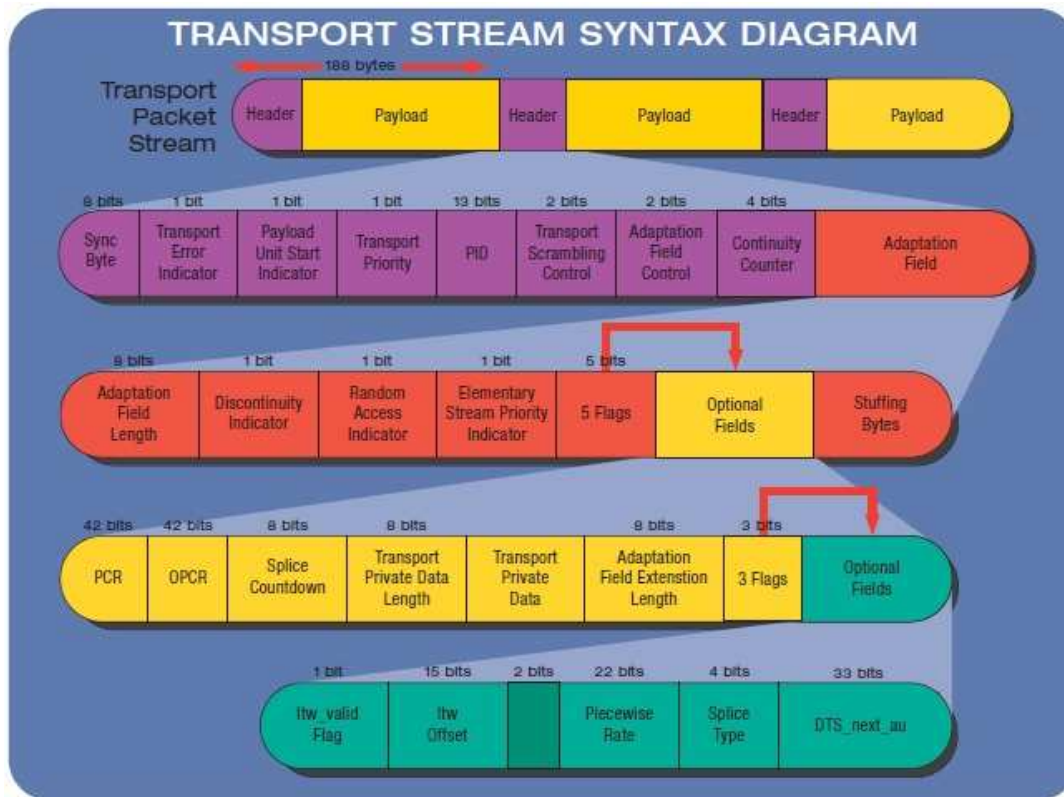
Paquete PES



Paquete PES

- La cabecera es utilizada para identificar el tipo de paquetes PES.
 - **start code prefix:** La cabecera inicia con un código prefijo de 24 bits 0x 00 00 01. Existen otras 66 posibilidades usados para otros servicios como IPTV o DVB.
 - **stream id:** formado por 8 bits e identifica la información transportada por el PES, sea audio, video o datos, tiene valores entre 0xBC hasta 0xFF.
 - **PES packet length:** 16 bits para definir el tamaño del paquete PES ($2^{16} = 65536 \text{ bits} \equiv 64 \text{ kbits}$).
- La cabecera opcional utilizada para transmitir informaciones adicionales.
- El payload utilizado para transmitir información.

Transport Stream



Transport Stream

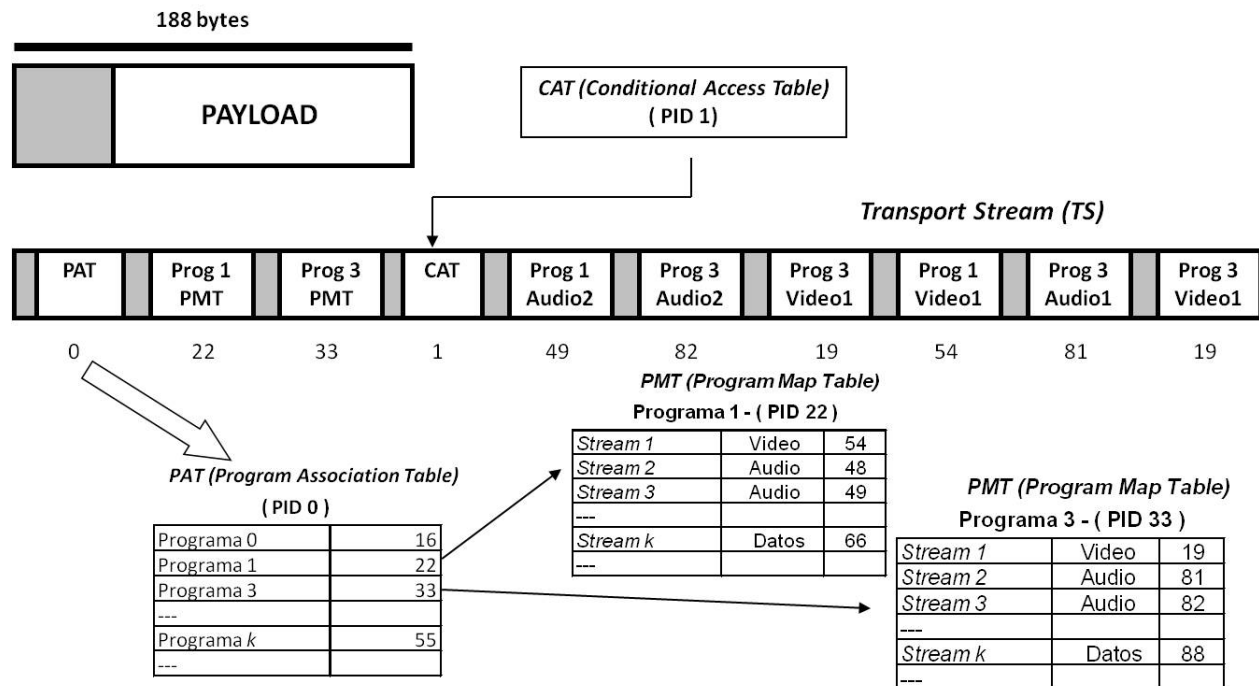


Figura 2: TS

Transport Stream

| No. Bits | Campo |
|-----------------|--------------------------------------|
| 8 | Byte de sincronismo. (47H) |
| 1 | Indicador de error de transmisión. |
| 1 | Indicador de arranque |
| 1 | Prioridad de transmisión. |
| 13 | PID (<i>Packet Identification</i>) |
| 2 | Control de cifrado |
| 2 | Control de campo de adaptación |
| 4 | Contador de continuidad |
| Total=32 | |

Tabela 1: Cabecera TS

Transport Stream

| Nombre | Significado/ Función |
|---------------|--|
| PAT | Tabla de Asociación de programas Asocia cada programa a un PID de la PMT. |
| PMT | Tabla de Mapeo de Programas Especifica los componentes de un programa o servicio. |
| CAT | Tabla de acceso condicional Información sobre el acceso condicional a los programas. |

Tabela 2: Tablas PSI

Transport Stream

| Nombre | Función |
|--------|---|
| AIT | Tabla de información de aplicación. Transmite información y control sobre las aplicaciones transmitidas en el flujo. |
| BIT | Tabla de información de radiodifusor. Designa las unidades radiodifusoras y los parámetros SI para cada una de ellas. |
| EIT | Tablas de información de eventos. Transporta información sobre los eventos existentes en cada servicio y su orden cronológica de exhibición. |
| NIT | Tabla de información de red. Transporta información sobre la formación del TS y sobre su medio de transmisión |
| RST | Tabla de estado de evento. Permite la actualización del estado de eventos, por ejemplo cuando hay alteraciones en el horario de programación. |
| SDT | Tabla de descripción de servicios. Lista e identifica los servicios existentes en un TS. |
| TDT | Tabla de fecha y horario. Informa la hora y la fecha al sistema. |
| TOT | Tabla de cambio de fecha y hora. Informa al receptor la hora, fecha y huso horario. |

Tabela 3: Tablas SI

Transport Stream

| Valor del PID | Descripción |
|-------------------------|---|
| 0x0000 | Paquetes que transportan a la tabla PAT (Program Association Table) |
| 0x0001 | Paquetes que transportan a la tabla CAT (Conditional Access Table) |
| 0x0003-0x000F | Valores de PID Reservados. |
| 0x0010 | Paquetes que transportan a la tabla NIT (Network Information Table) |
| 0x0011 | SDT (Service Description Table) y BAT (Bouquet Information Table) . |
| 0x0012, 0x0026 y 0x0027 | EIT (Event Information Table) |
| 0x0013 | RST (Running Status Table) |
| 0x0014 | TDT (Time and Date Table) y TOT (Time Offset Table) . |
| 0x0011 - 0x1FFE | Otras tablas, excluyéndose PAT, CAT, NIT y paquetes nulos |
| 0x0022 | PCAT (Partial Content Announcement Table) |
| 0x0024 | BIT (Broadcaster Information Table) |
| 0x0025 | NBIT (Network Board Information Table) y LDT (Linked Description Table) |
| 0x1FFF | Identificación de los paquetes nulos. |

Tabela 4: Valores PID

5. Capa Física

Sistema de transmisión

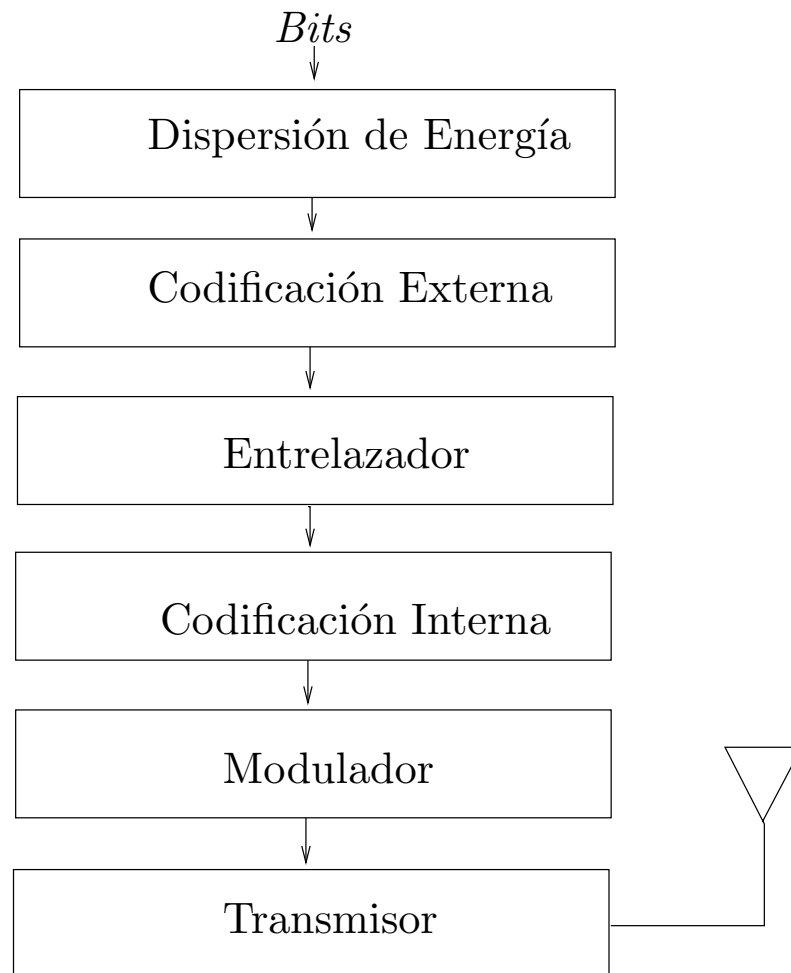


Figura 3: Modelo General

Dispersor de Energía

Dispersor de Energía

- Se realiza con una operación XOR de los bits de entrada con una secuencia pseudoaleatoria PRBS (*Pseudo Random Bit Sequence*).
- El valor inicial de PRBS debe ser obligatoriamente 100101010000000.

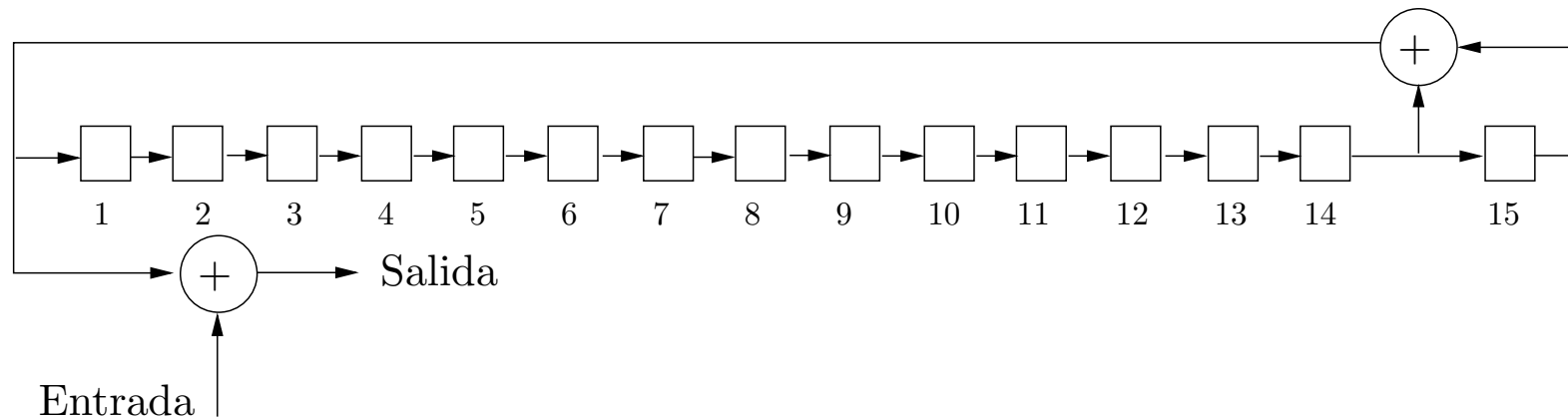


Figura 4: Circuito dispersor

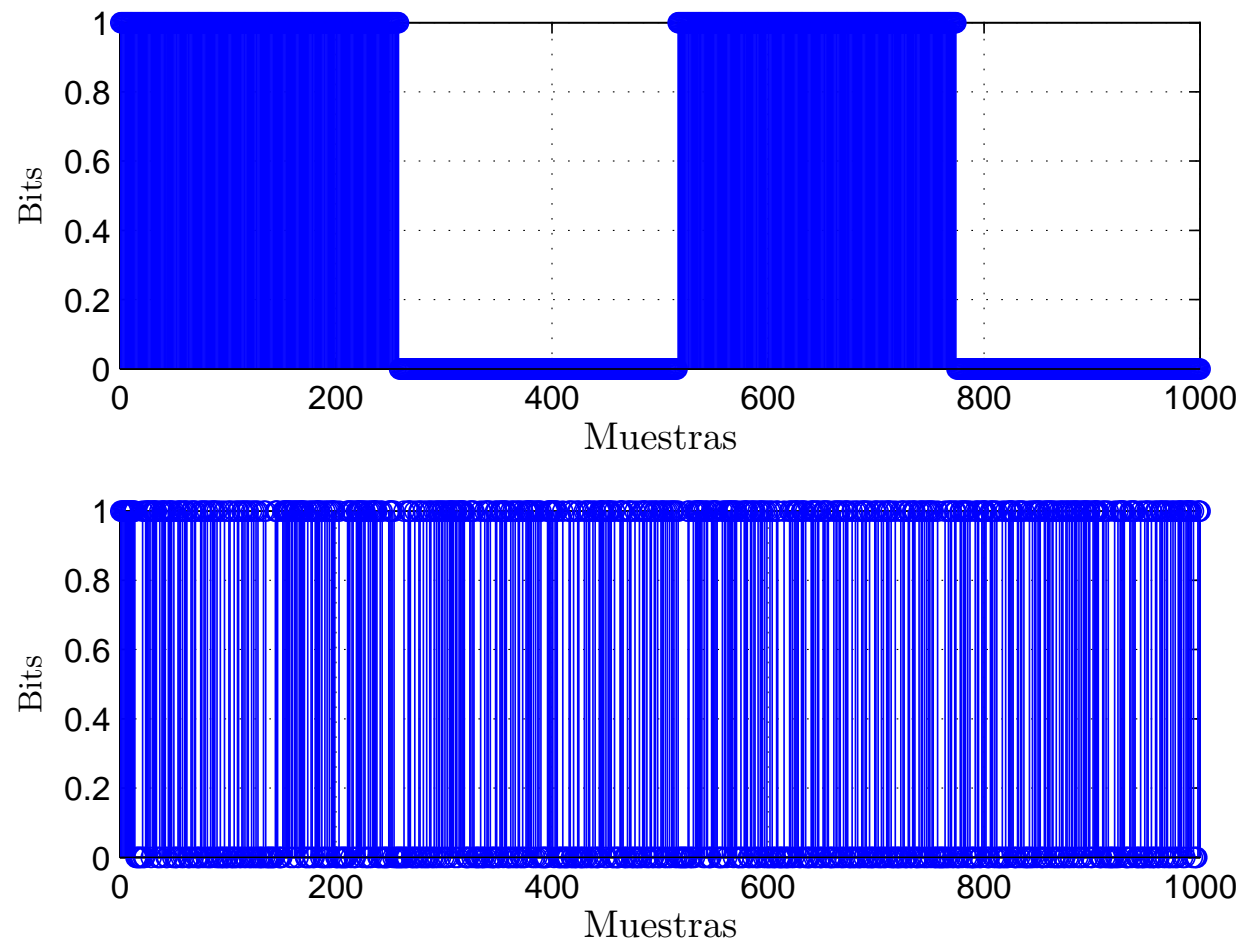


Figura 5: Dispersión de Energía.

Modulación Digital

Introducción a Modulación Digital

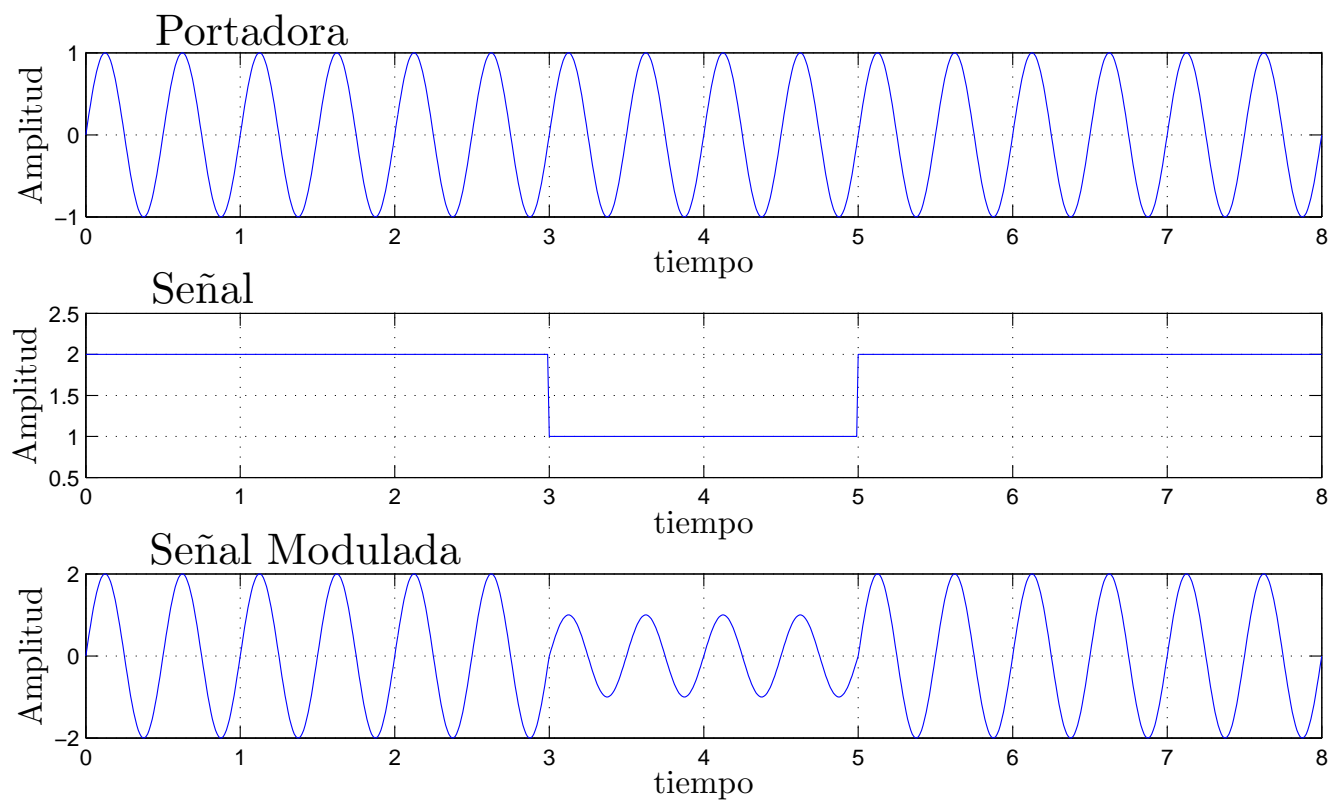


Figura 6: Modulación ASK

Introducción a Modulación Digital

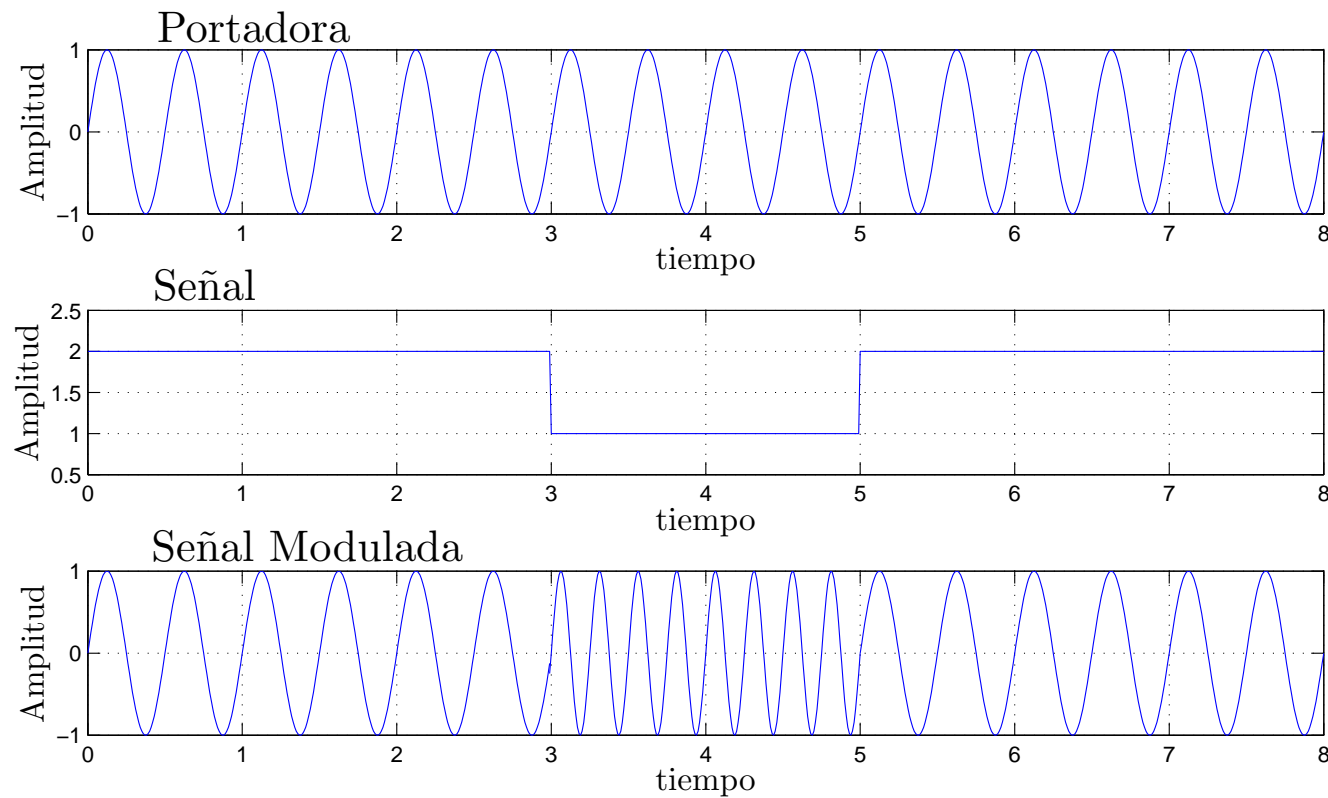


Figura 7: Modulación FSK

Introducción a Modulación Digital

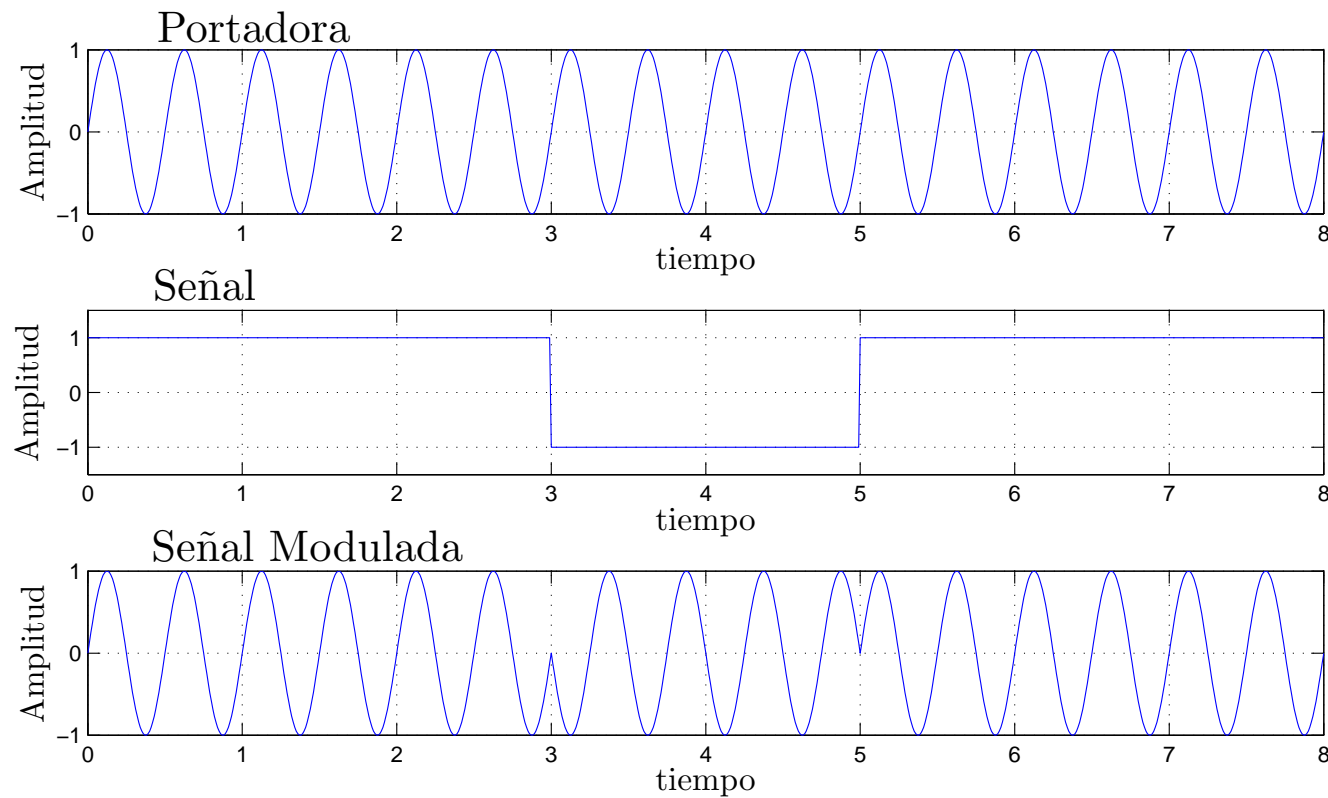


Figura 8: Modulación PSK

Introducción a Modulación Digital

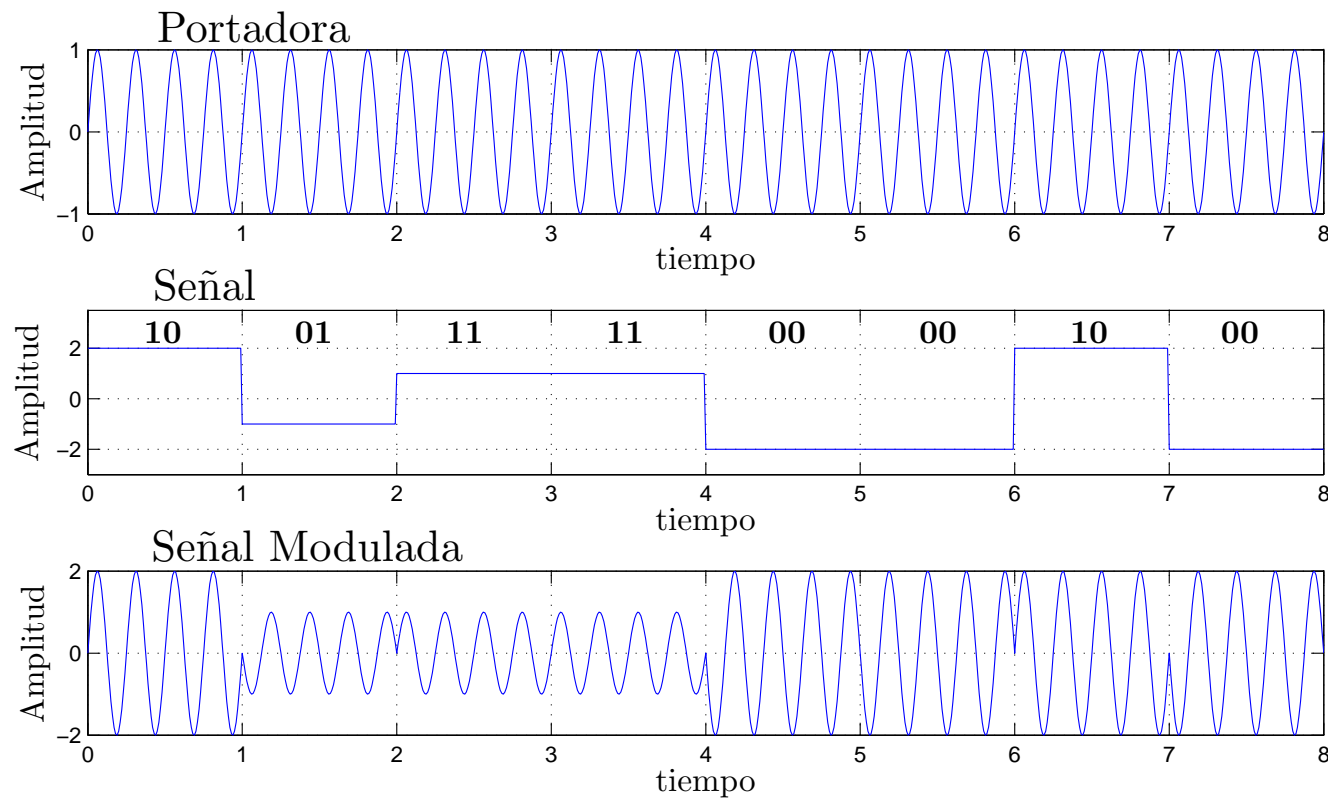


Figura 9: Modulación Híbrida

Introducción a Modulación Digital

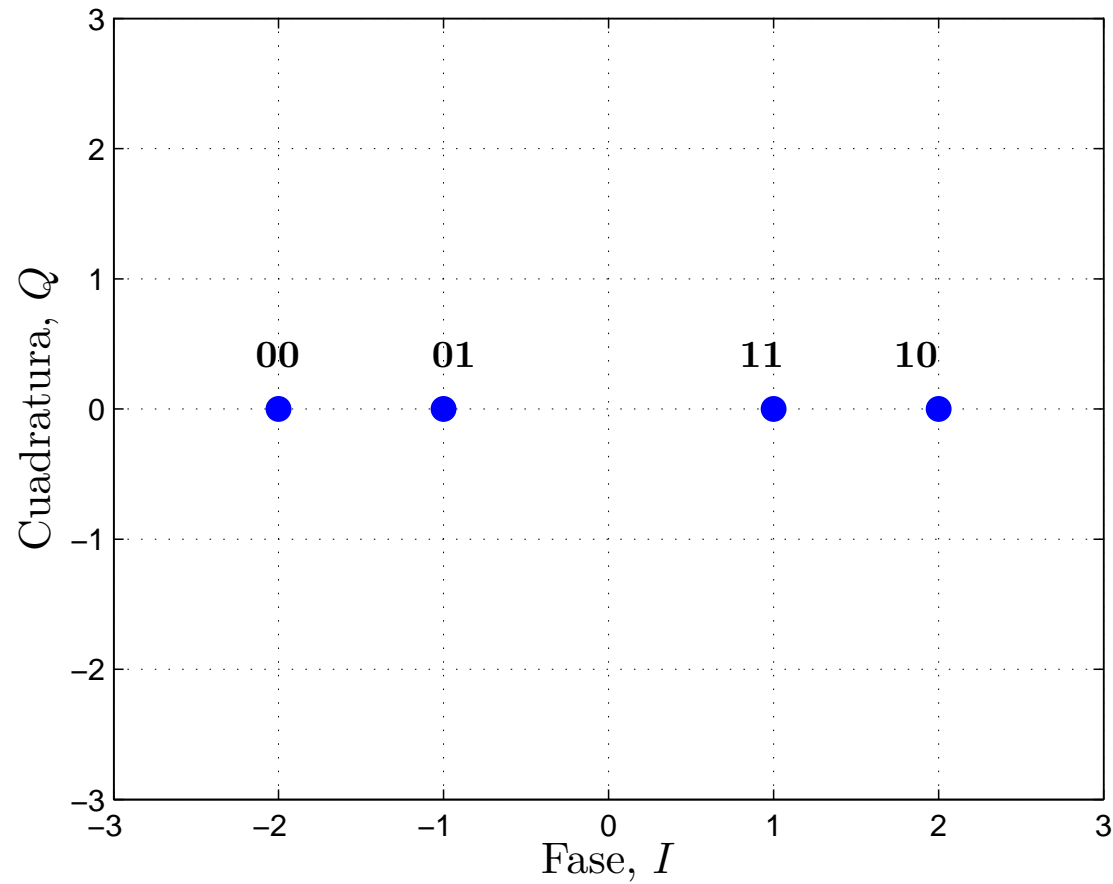


Figura 10: Constelación

Modulación Digital, ISDB-T

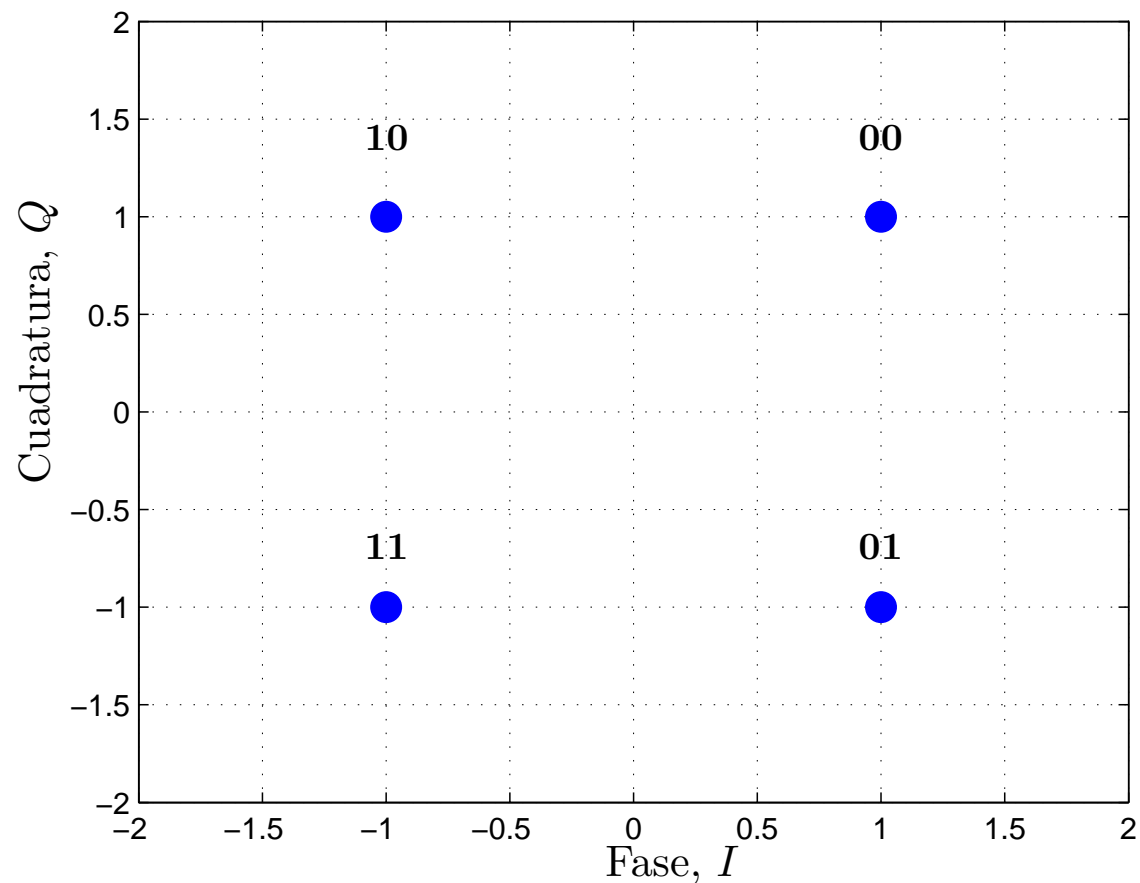


Figura 11: QPSK

Modulación Digital, ISDB-T

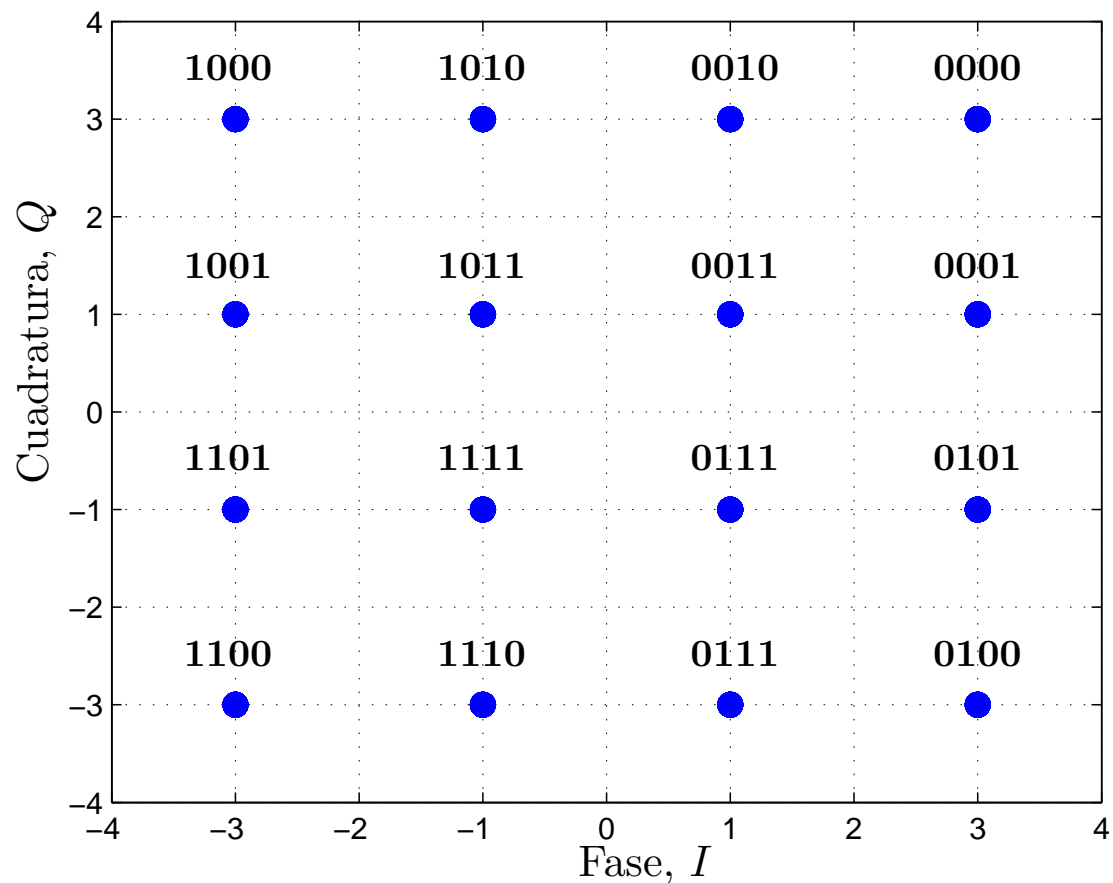


Figura 12: 16QAM

Modulación Digital, ISDB-T

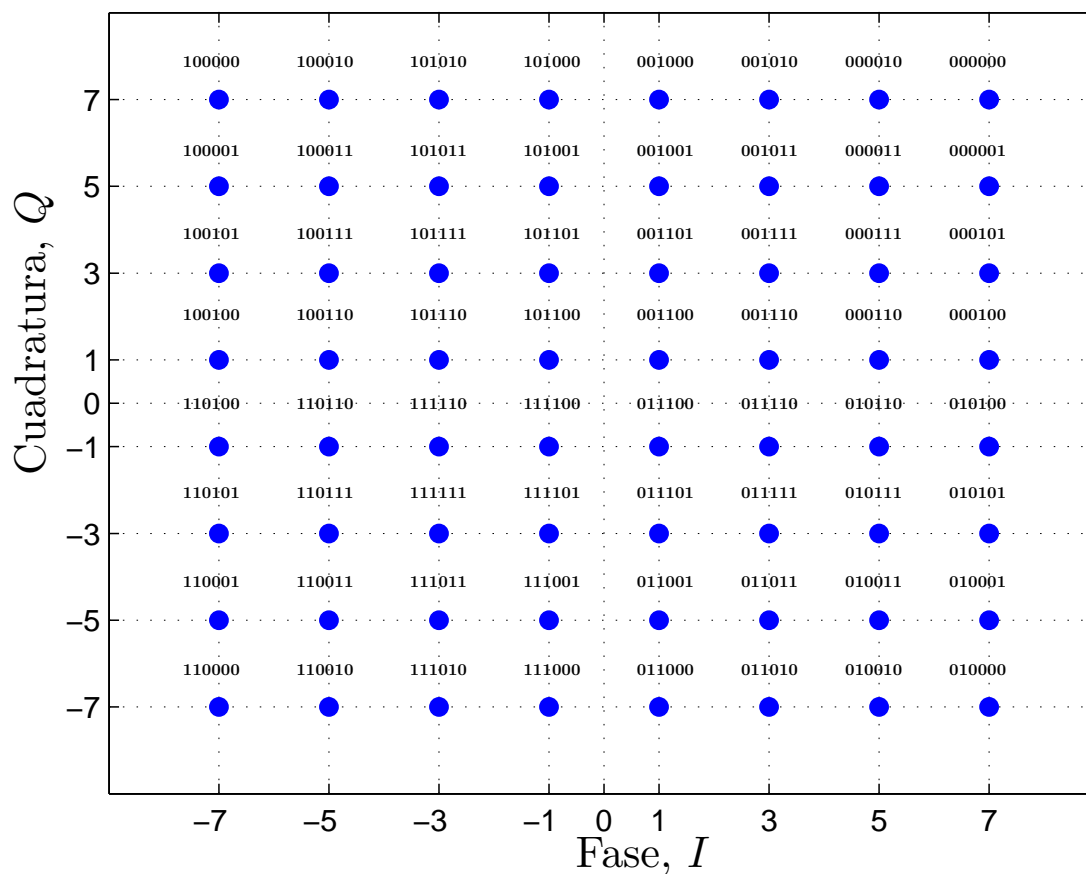


Figura 13: 64QAM

Modulación Digital, ISDB-T

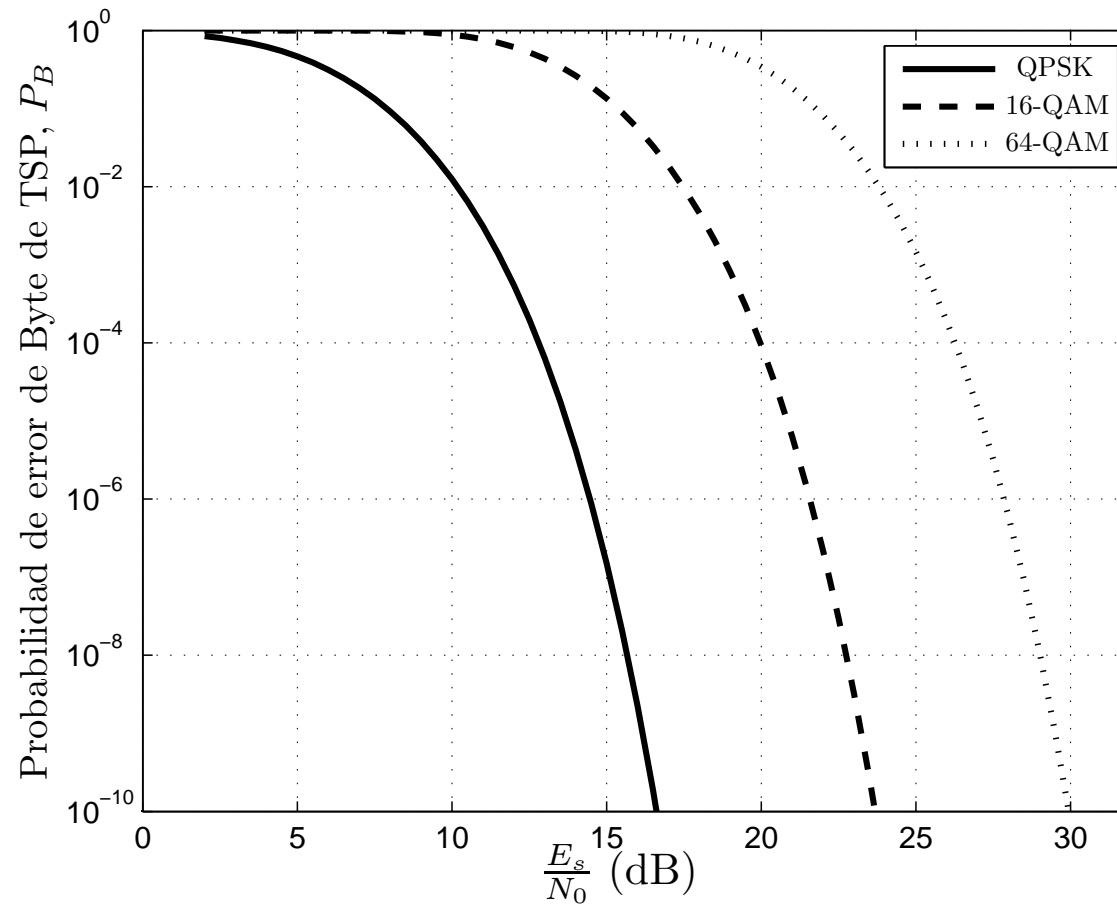


Figura 14: Desempeño de Modulación en canal AWGN.

Codificación Externa

Introducción a Códigos de Bloque

Considere que se transmite la secuencia:

$x = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\}$. Se transmite la secuencia con sus respectivos bits de redundancia

$y = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\}$

| | | | | | Paridad (par) | Verificación |
|---------------|---|---|---|---|---------------|--------------|
| | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paridad (par) | 0 | 1 | 1 | 0 | | |
| Verificación | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Debido al ruido del canal, se recibe la secuencia:

$y' = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\}$

Introducción a Códigos de Bloque

Detección y corrección de error:

$$y' = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ \mathbf{1}\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\}$$

| | | | | | Paridad (par) | Verificación |
|---------------|---|--------------|---|---|---------------|--------------|
| | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| | 1 | $\mathbf{1}$ | 1 | 1 | 1 | $\mathbf{1}$ |
| | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Paridad (par) | 0 | 1 | 1 | 0 | | |
| Verificación | 0 | $\mathbf{1}$ | 0 | 0 | | |

Secuencia detectada y corregida:

$$\hat{y} = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ \mathbf{0}\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\}$$

$$\hat{x} = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ \mathbf{0}\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\}$$

Codificación Externa, ISDB-T

- Utiliza un código de detección y corrección de bytes Reed Solomon (RS) ($N = 255, K = 239$).
- Procesa bloques de datos de 239 símbolos y puede corregir $t = 8$ símbolos, para lo que utiliza 16 bytes de redundancia.
- Un paquete TS MPEG-2 tiene una longitud de 188 bytes, por esta razón se introducen inicialmente 51 bytes nulos a la información y se genera el código RS ($N = 204, K = 188$).

Codificación Externa, ISDB-T

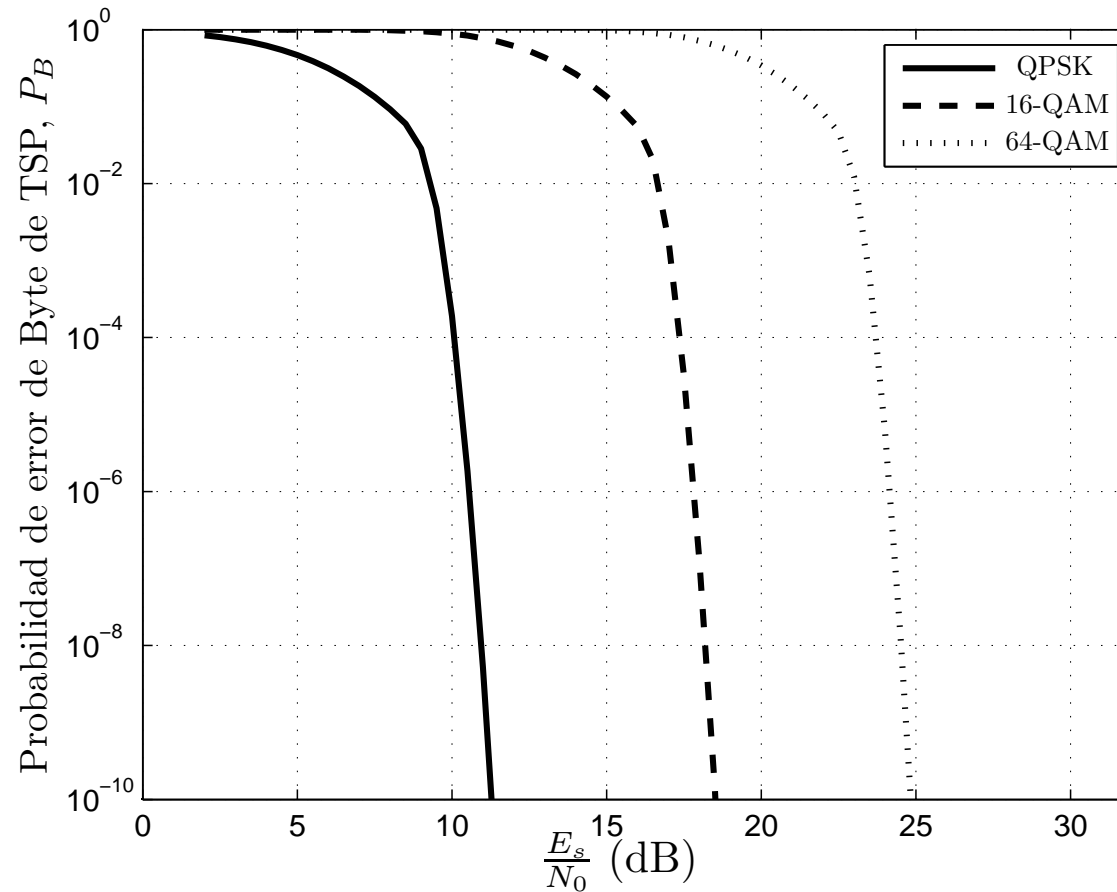


Figura 15: Desempeño de Codificador RS en canal AWGN.

Codificación Interna

Introducción a Códigos Convolucionales

- Tasa de código $r_c = \frac{\text{Número de entradas}}{\text{Número de salidas}}$. Para el ejemplo $r_c = \frac{1}{2}$.
- Matriz generadora. Para el ejemplo $G = [7; 5]_8$ en Octal.

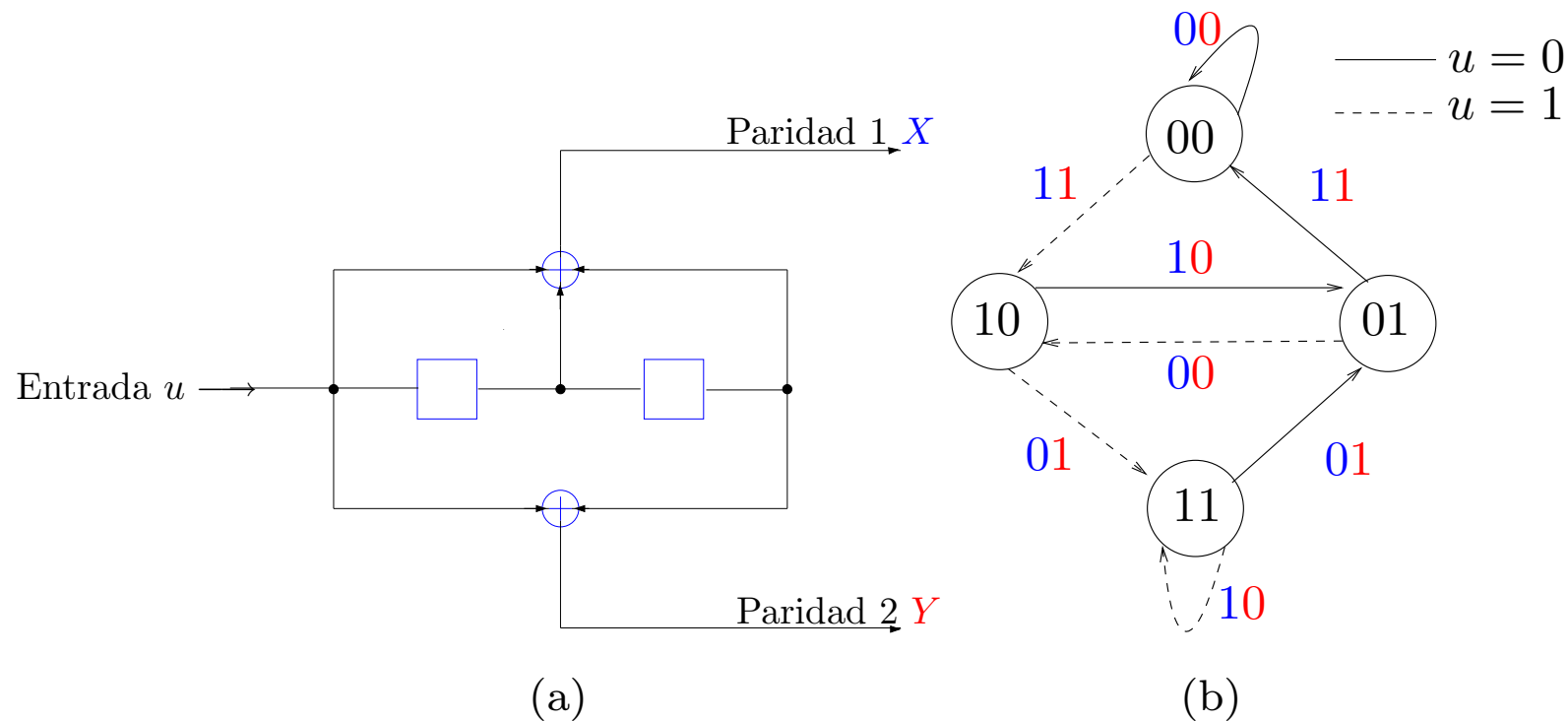


Figura 16: Codificador Convolutacional.

Introducción a Códigos Convolutivos

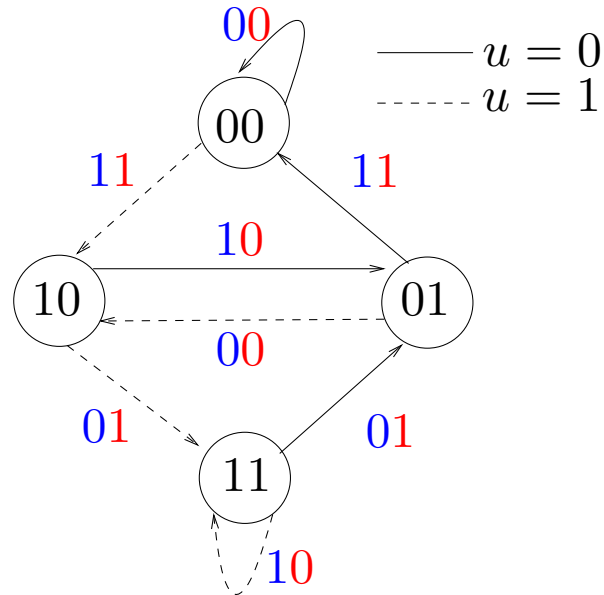


Figura 17: Diagrama de estados.

$$u = \{0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ \underline{0\ 0}\}$$

$$X = \{0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ \underline{1\ 1}\}$$

$$Y = \{0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ \underline{0\ 1}\}$$

$$S_{XY} = \{0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ \underline{1\ 0\ 1\ 1}\}$$

Introducción a Códigos Convolucionales

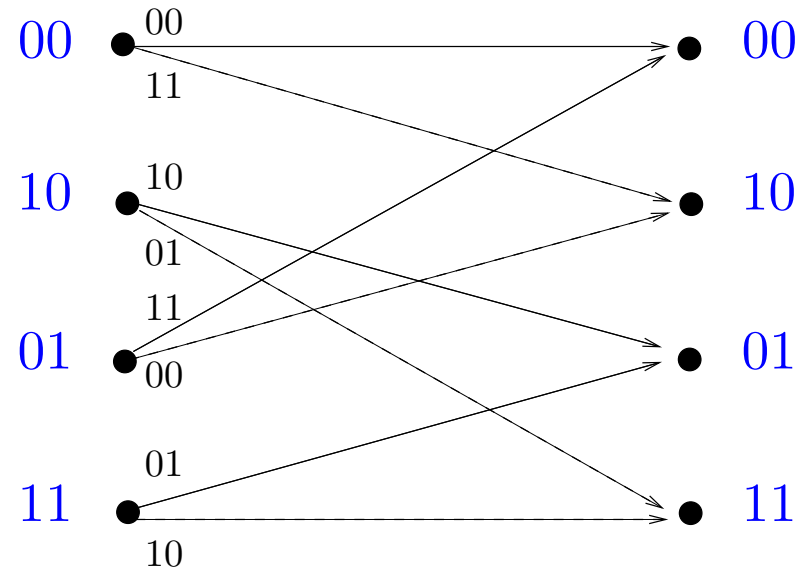


Figura 18: Diagrama de *Trellis*.

Error en Transmisión:

$$S_{XY} = \{0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\}$$

$$S'_{XY} = \{0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\}$$

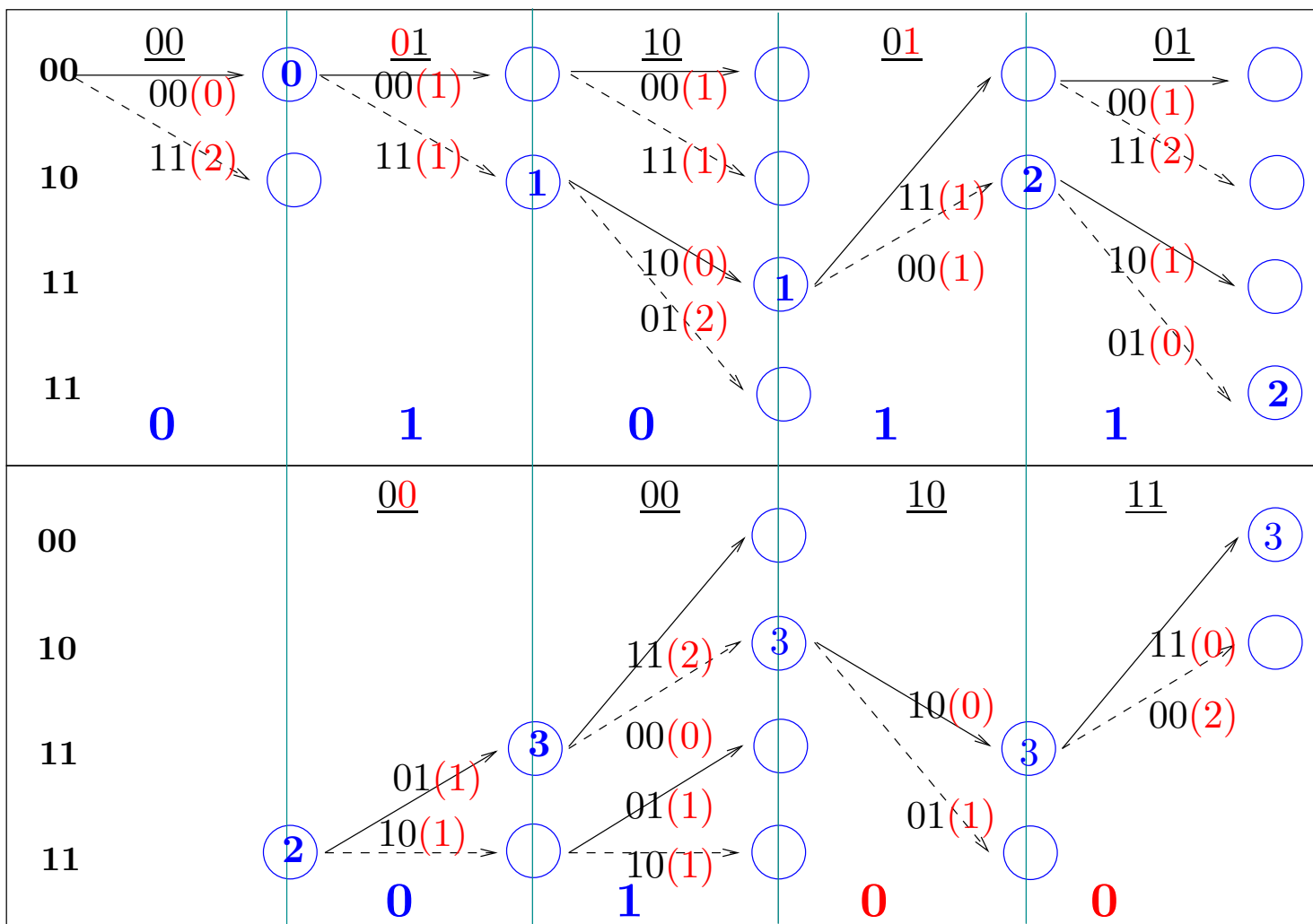


Figura 19: Decodificación de Viterbi (*Hard Decision*).

Codificación Interna, ISDB-T

- Matriz Generadora $G=[171;133]$
- Tasa de código $r_c = 1/2$

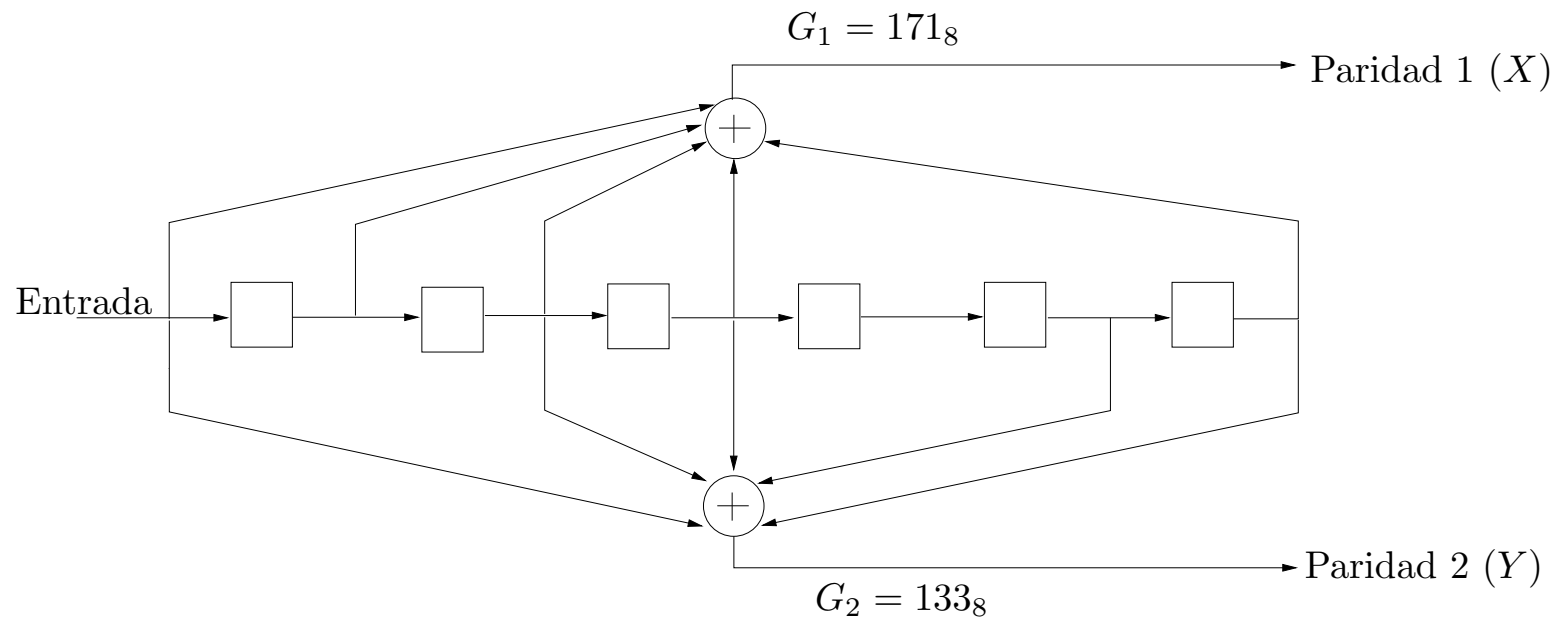


Figura 20: Codificador Convolutacional.

Codificación Interna, ISDB-T

| Tasa de Código r_c | <i>Puncturing</i> | Secuencia de Transmisión |
|----------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1/2 | X:1 Y:1 | X1, Y1 |
| 2/3 | X: 1 0 Y: 1 1 | X1, Y1, Y2 |
| 3/4 | X: 1 0 1 Y: 1 1 0 | X1, Y1, Y2, X3 |
| 5/6 | X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0 | X1, Y1, Y2, X3, Y4, X5 |
| 7/8 | X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0 | X1, Y1, Y2, Y3, Y4, X5, Y6, X7 |

Tabela 5: Multiplexación (*Puncturing*) de salidas

Puncturing

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| r_c $\frac{1}{2}$ | X_1 | Y_1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| r_c $\frac{2}{3}$ | X_1 | Y_1 | X_2 | Y_2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | | 1 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| r_c $\frac{3}{4}$ | X_1 | Y_1 | X_2 | Y_2 | X_3 | Y_3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | | | | | | | | |
| | 0 | 0 | | 1 | 1 | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|
| r_c $\frac{5}{6}$ | X_1 | Y_1 | X_2 | Y_2 | X_3 | Y_3 | X_4 | Y_4 | X_5 | Y_5 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | |
| | 0 | 0 | | 1 | 1 | | 0 | 0 | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| r_c $\frac{7}{8}$ | X_1 | Y_1 | X_2 | Y_2 | X_3 | Y_3 | X_4 | Y_4 | X_5 | Y_5 | X_6 | Y_6 | X_7 | Y_7 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | | 1 | | 0 | | 0 | 0 | | 0 | | 0 | |

Codificación Interna, ISDB-T

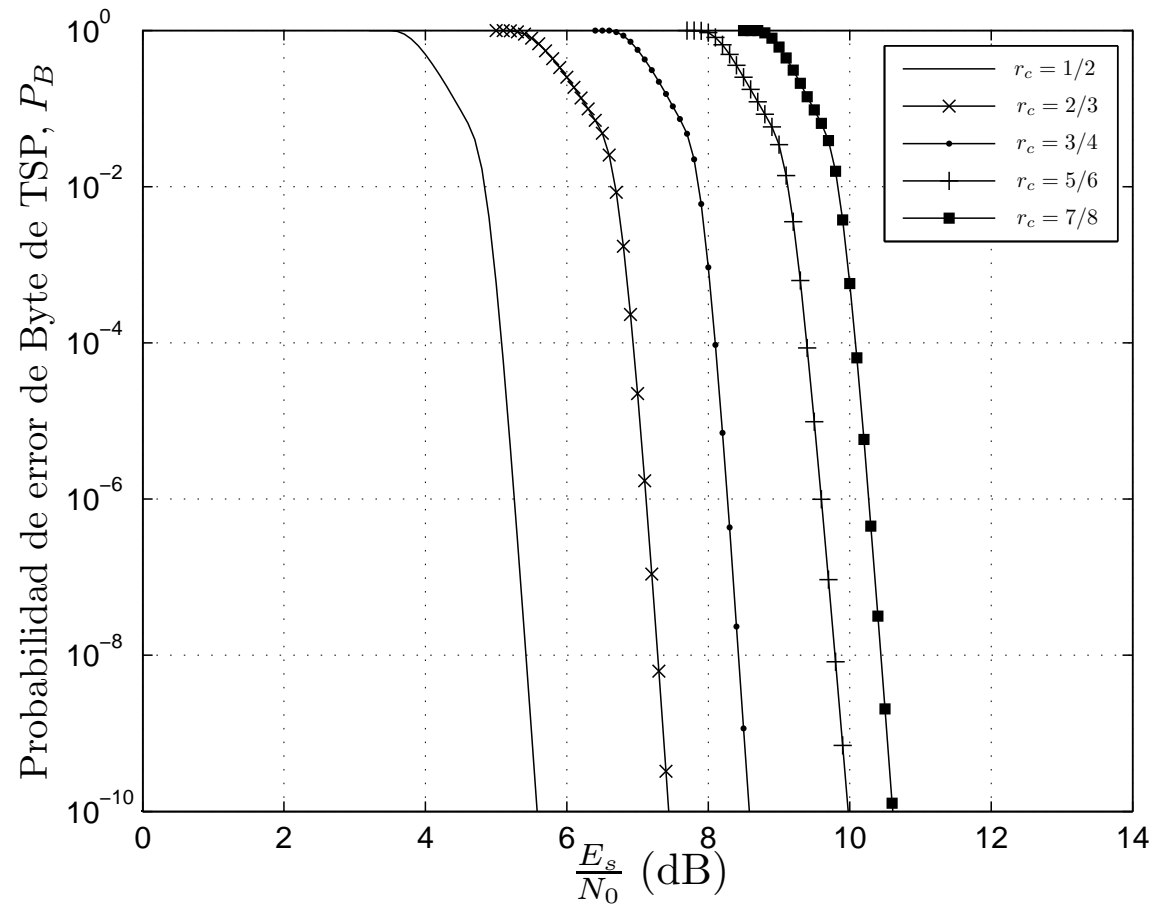


Figura 21: Codificador Convolutivo, QPSK.

Codificación Interna, ISDB-T

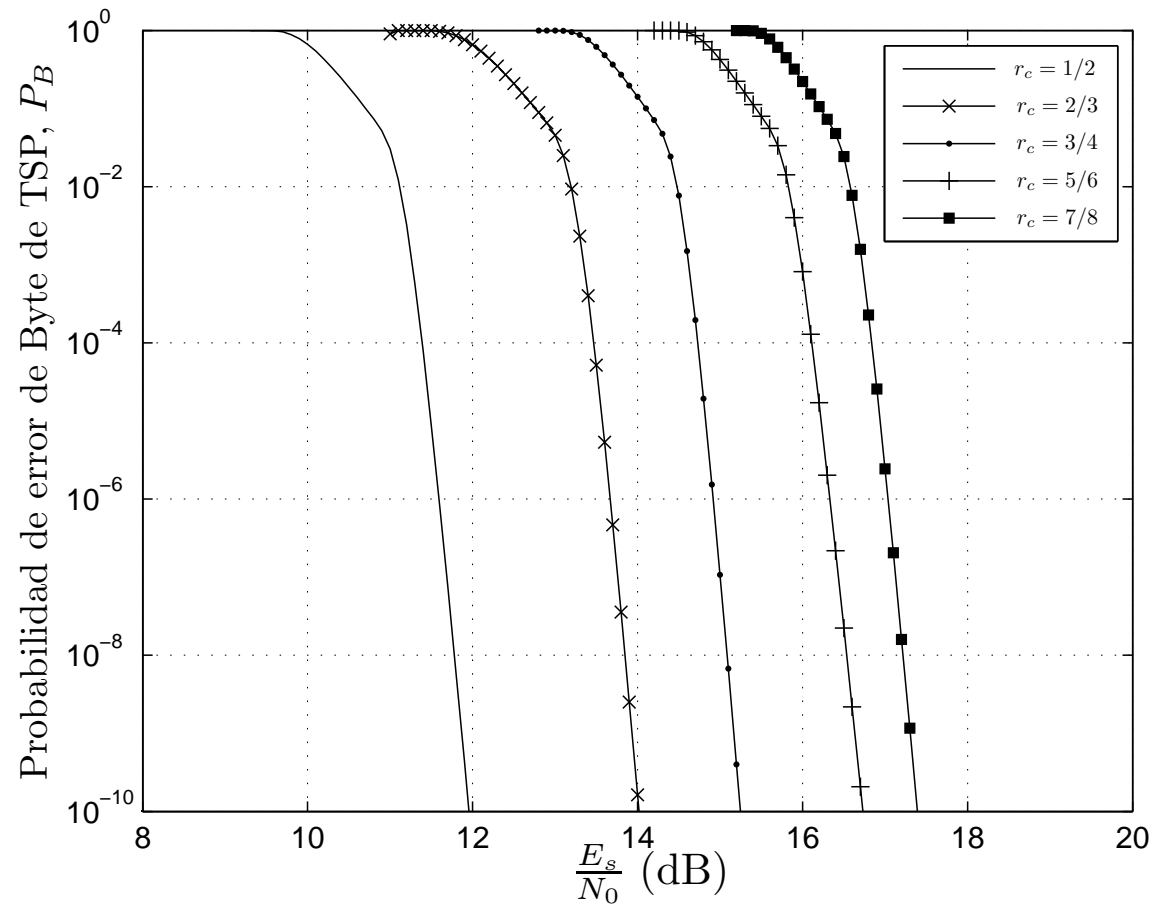


Figura 22: Codificador Convolutivo, 16-QAM.

Codificación Interna, ISDB-T

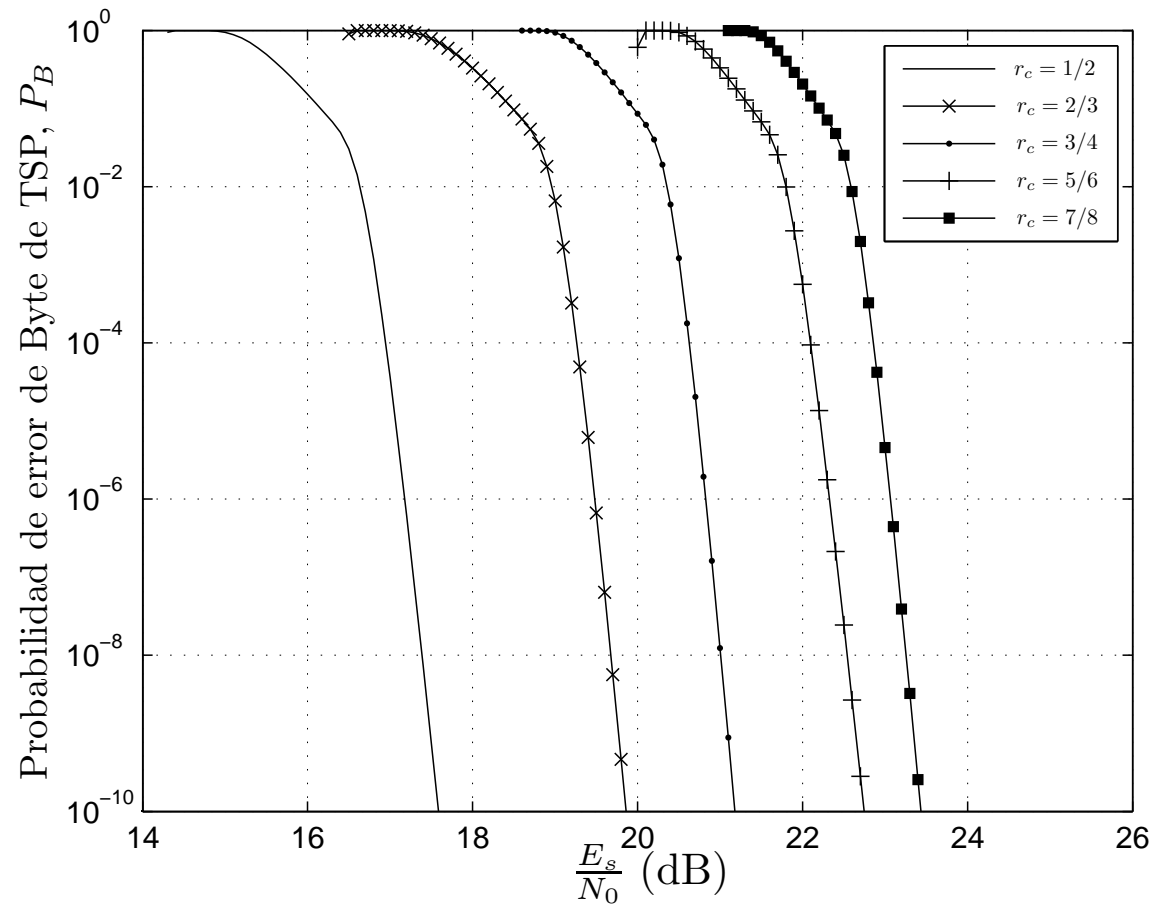


Figura 23: Codificador Convolutivo, 64-QAM.

Entrelazador

Introducción Entrelazador

Ejemplo de entrelazador matricial

Posición original:

$$\Pi = \{1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12\ 13\ 14\ 15\ 16\}$$

Posición entrelazada:

$$\overset{16}{\Pi} = \{1\ 5\ 9\ 13\ 2\ 6\ 10\ 14\ 3\ 7\ 11\ 15\ 4\ 8\ 12\ 16\}$$

Transmisor

Entrada

| | | | | |
|---|----|----|----|----|
| ⇒ | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ⇒ | 5 | 6 | 7 | 8 |
| ⇒ | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ⇒ | 13 | 14 | 15 | 16 |

↓ ↓ ↓ ↓ Salida

Receptor

Entrada

| | | | | |
|---|---|---|----|----|
| ⇒ | 1 | 5 | 9 | 13 |
| ⇒ | 2 | 6 | 10 | 14 |
| ⇒ | 3 | 7 | 11 | 15 |
| ⇒ | 4 | 8 | 12 | 16 |

↓ ↓ ↓ ↓ Salida

Introducción Entrelazador

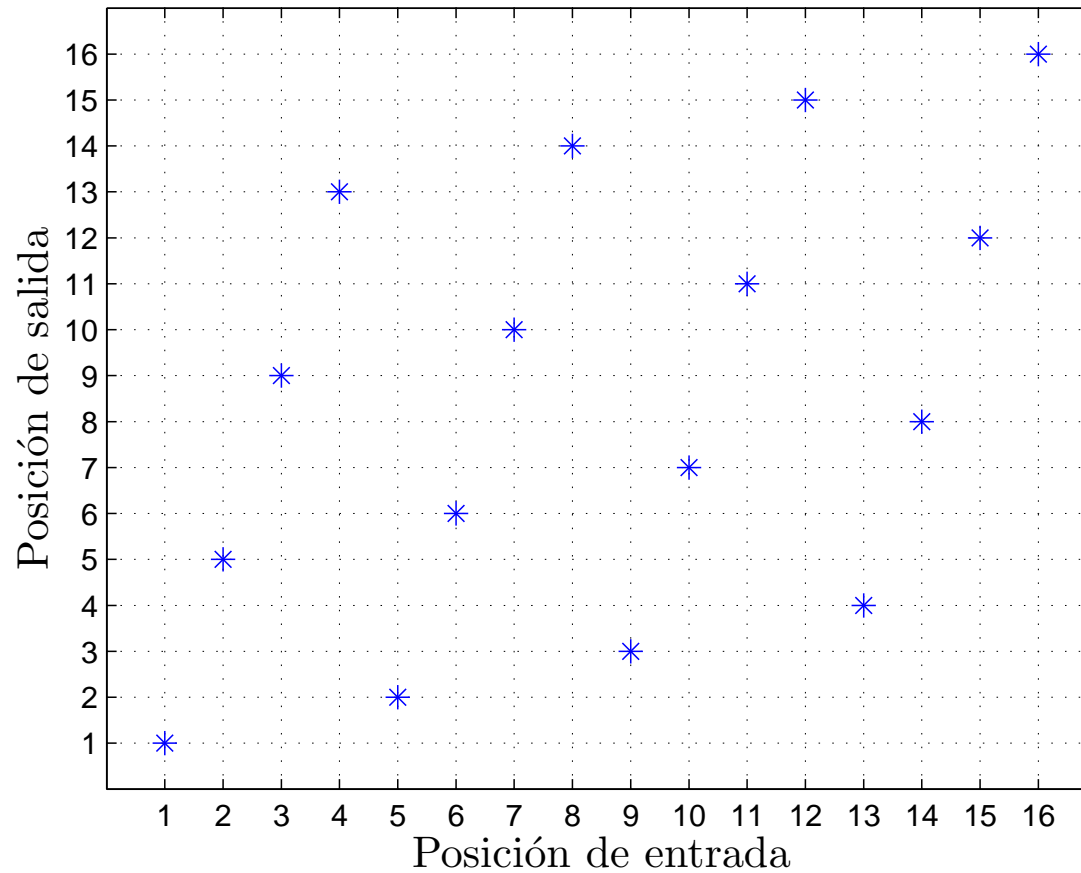


Figura 24: Entrelazador Matricial

Entrelazador

Ayuda a que el sistema destruya errores consecutivos que no pueden ser corregidos por los decodificadores.

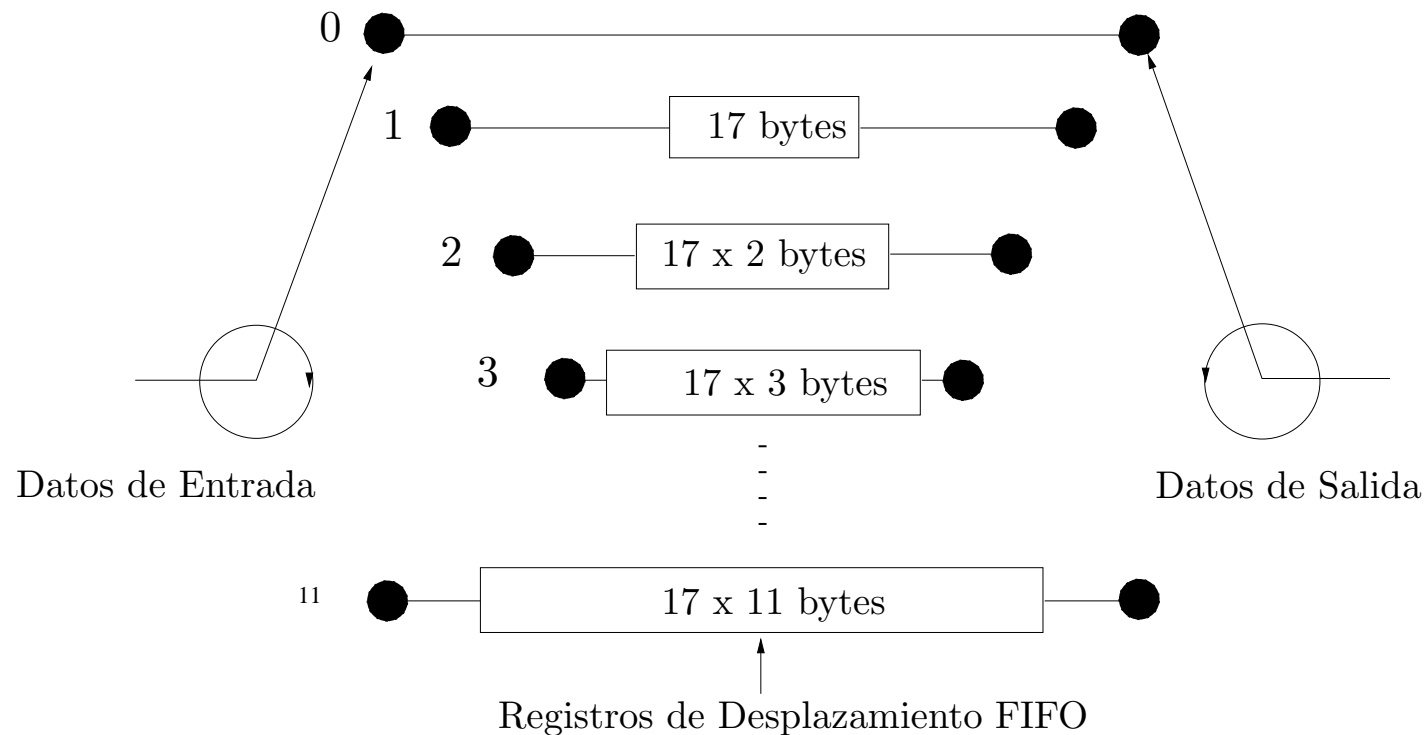


Figura 25: Entrelazador Convolutivo

Entrelazador

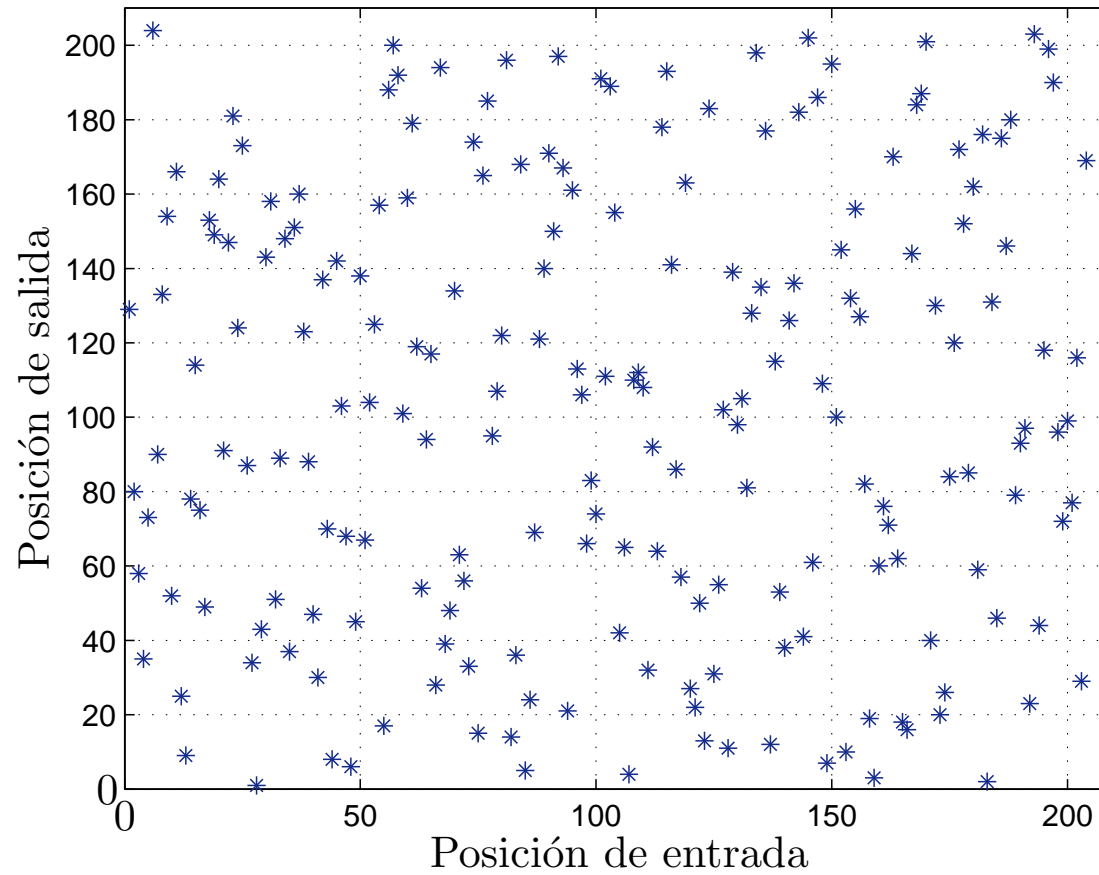
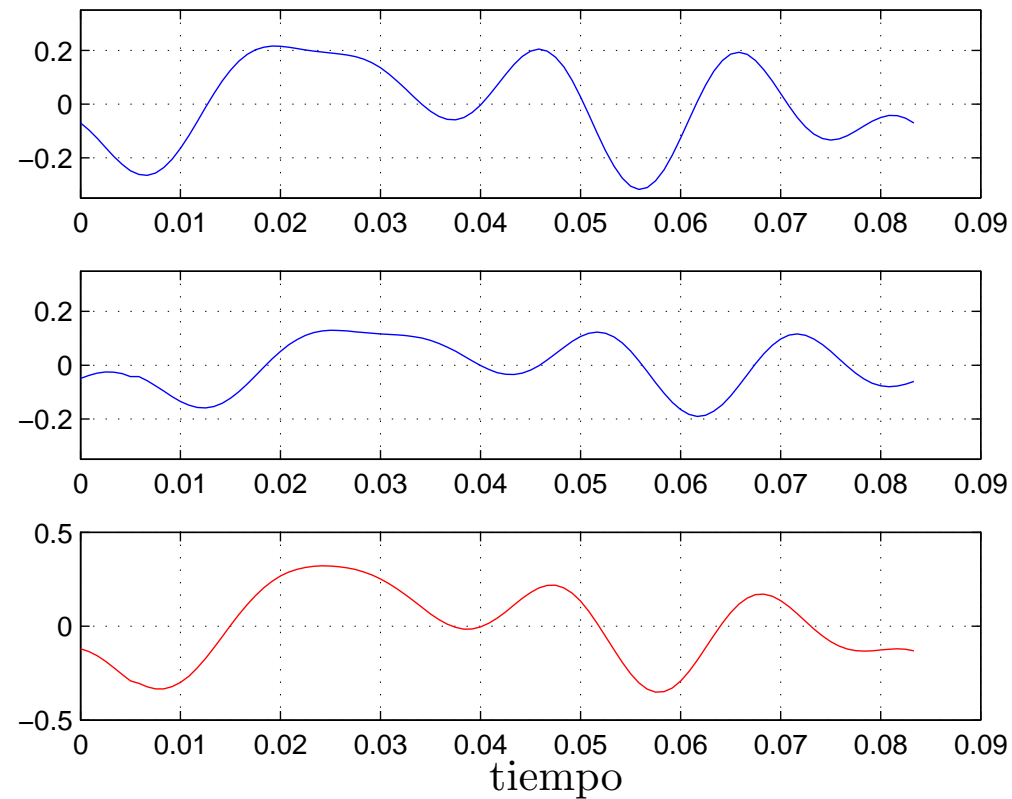


Figura 26: Entrelazador Convolutivo

OFDM

Multitrayectos

- *Delay Spread* es el periodo de tiempo que transcurre entre la llegada de la señal directa y la última réplica.



Transmisión OFDM

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [i_n \cos(\omega_n t) - q_n \sin(\omega_n t)] \quad (6)$$

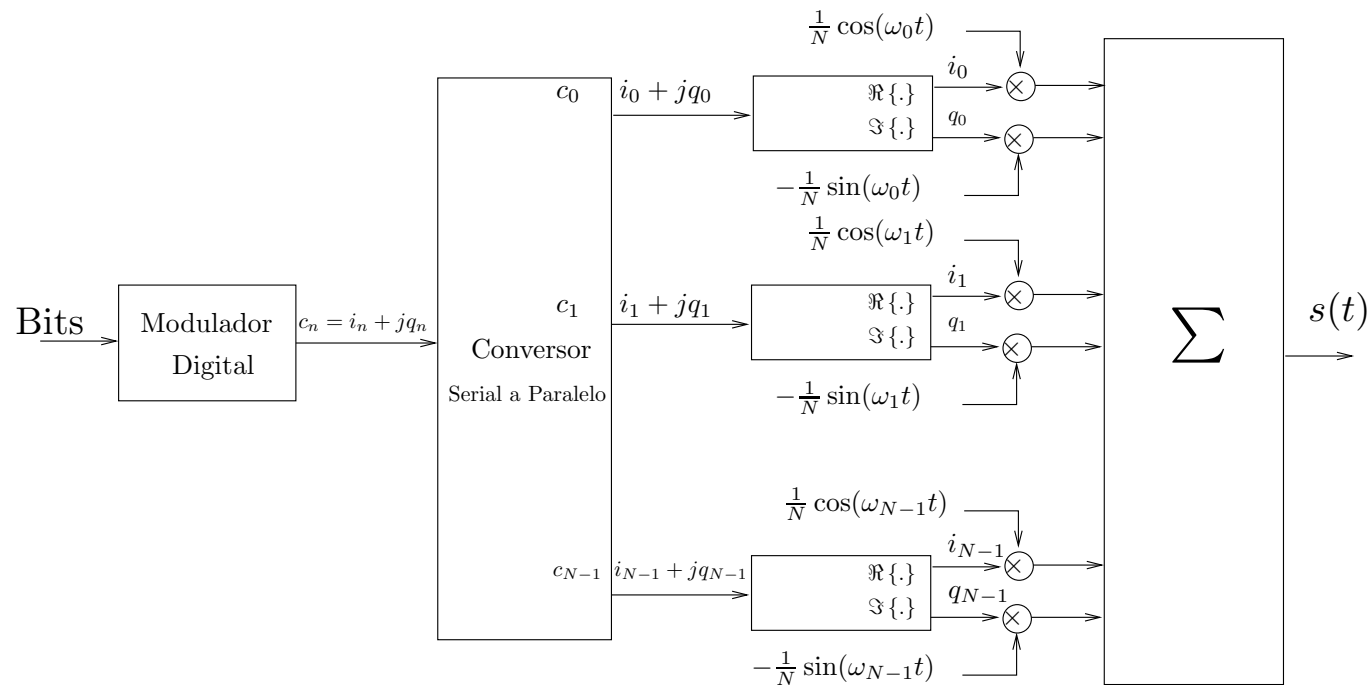


Figura 27: Transmisor con múltiples portadoras

Transmisión OFDM

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \Re[i_n \cos(\omega_n t) - q_n \sin(\omega_n t) + j i_n \sin(\omega_n t) + j q_n \cos(\omega_n t)] \quad (7)$$

$$\begin{aligned} s(t) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \Re[(i_n + j q_n) e^{j \omega_n t}] \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \Re[c_n e^{j \omega_n t}] \end{aligned} \quad (8)$$

La frecuencia de muestreo f_s dividida en N caminos es dada por:

$$\Delta_f = \frac{f_s}{N} \quad (9)$$

Transmisión OFDM

Considere N portadoras ortogonales, con frecuencias múltiplos de Δ_f y período $T = \frac{1}{\Delta_f}$.

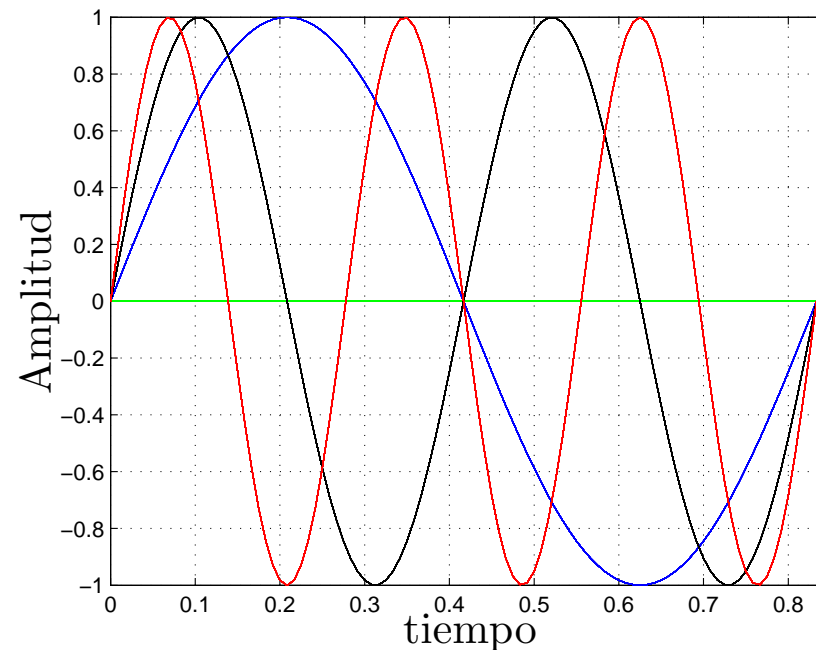


Figura 28: Frecuencias Ortogonales, f_0 , f_1 , f_2 y f_3 , considerando $f_s = 60$ [muestras/s] y $N = 50$.

Transmisión OFDM

En (8) se puede reemplazar:

$$\begin{aligned}\omega_n t &= 2\pi n \Delta_f t \\ &= \frac{2\pi n f_s t}{N}\end{aligned}\quad (10)$$

De esta forma (8), es dada por:

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \Re \left\{ c_n \exp \left[j \frac{2\pi}{N} n f_s t \right] \right\} \quad (11)$$

La ecuación podemos modelar de forma discreta, considerando $k = f_s t$, para $k = 0, 1, \dots, N - 1$, obtenido así la función IFFT:

$$s(t) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \Re \left\{ c_n \exp \left[j \frac{2\pi}{N} n k \right] \right\} \quad (12)$$

Transmisión OFDM

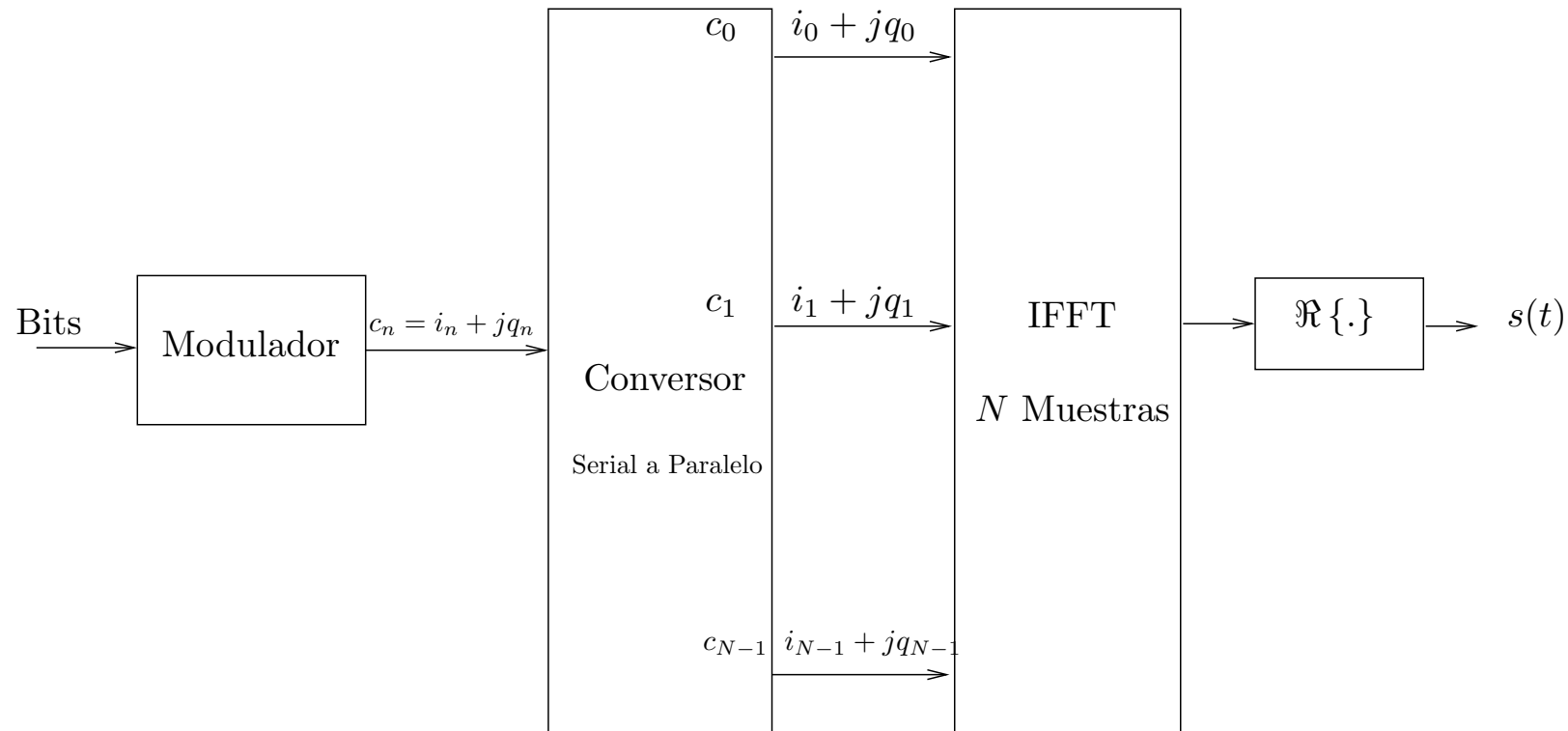


Figura 29: Transmisor OFDM - IFFT

Tiempo de Guarda

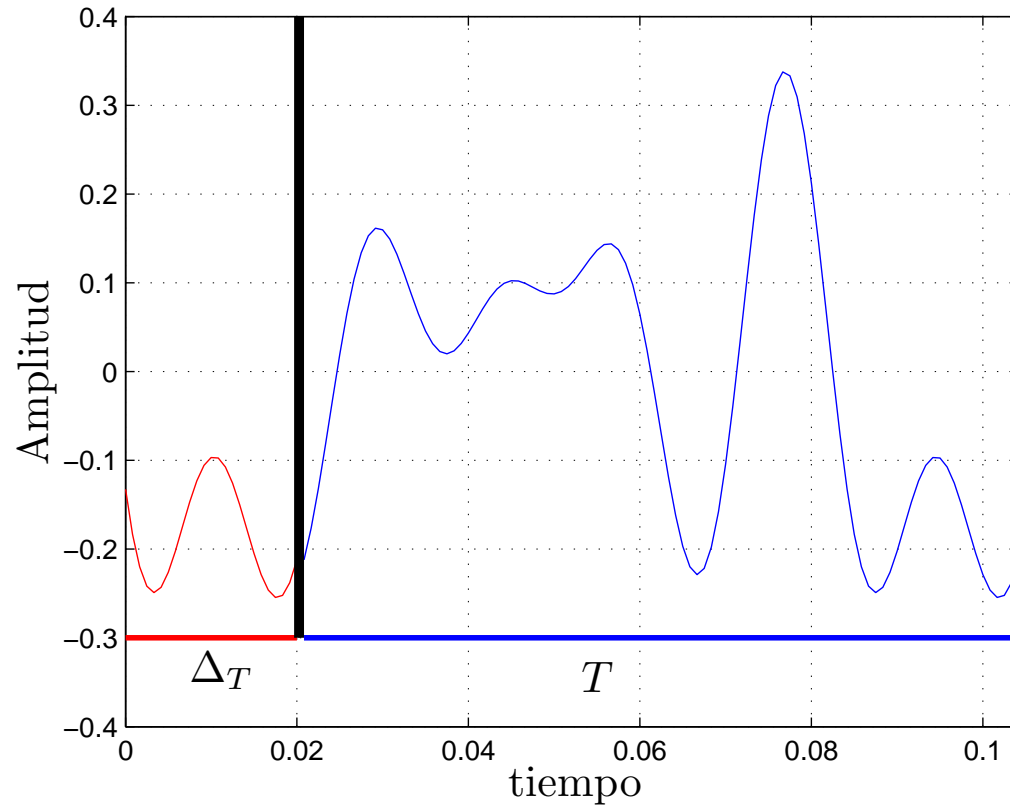


Figura 30: Símbolo OFDM para $\Delta_T = T/4$, considerando $f_s = 60$ [muestras/s] y $N = 50$.

2.8 Transmisión Jerárquica

Transmisión Jerárquica

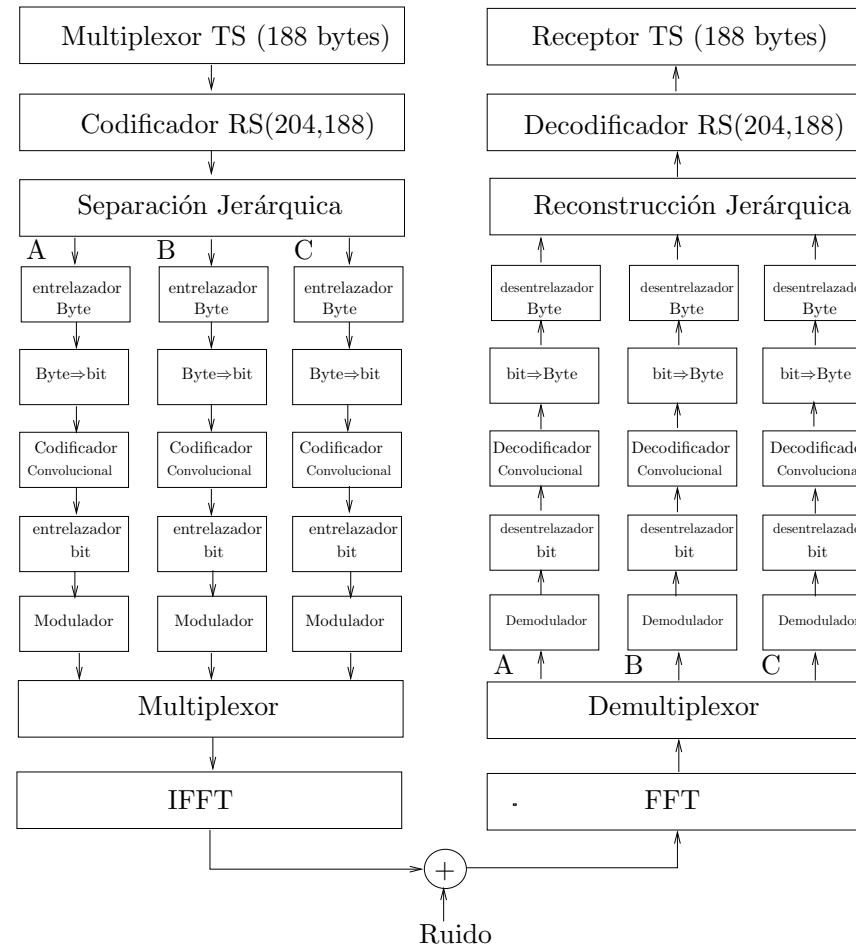


Figura 31: División Jerárquica

Segmentos OFDM

Segmento de datos

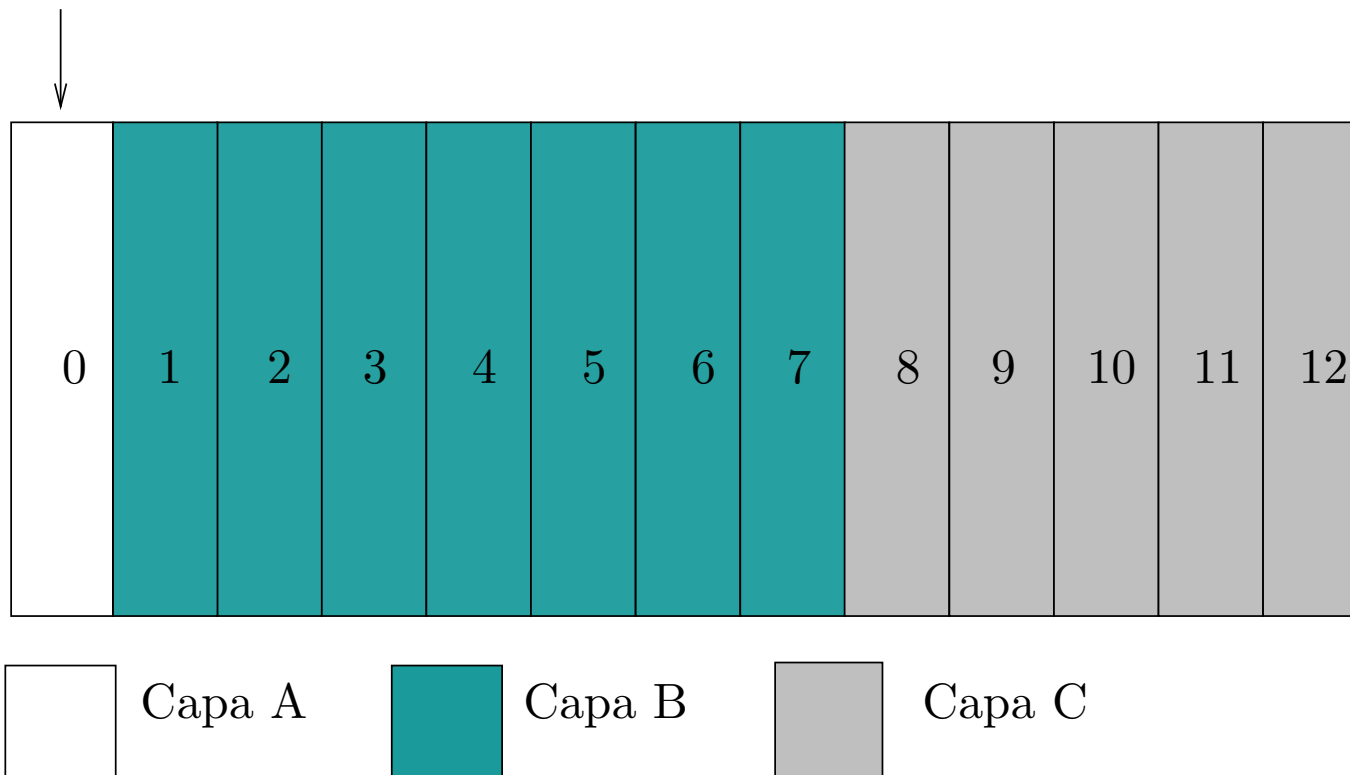


Figura 32: Transmisión Jerárquica.

Segmentos OFDM

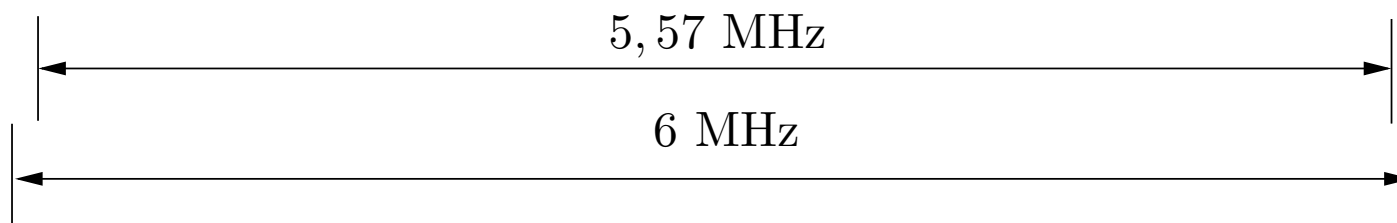
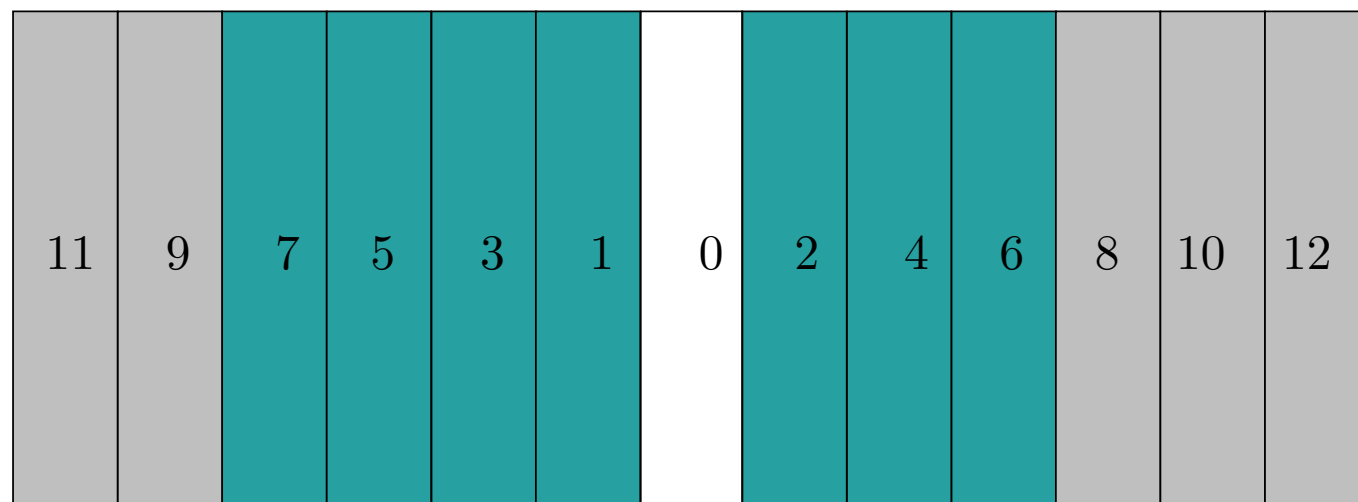


Figura 33: Formación del cuadro OFDM.

Segmentos OFDM

Un *segmento OFDM* utiliza un ancho de banda, B_s , dado por:

$$\begin{aligned} B_s &= \frac{B}{14} = \frac{6}{14} \text{ [MHz]} \\ &= 428,57 \text{ [kHz]} \end{aligned} \quad (13)$$

Número de portadoras por segmento

| | Totales (N) | Solo datos (N_D) |
|--------|-----------------|----------------------|
| Modo 1 | 108 | 96 |
| Modo 2 | 216 | 192 |
| Modo 3 | 432 | 384 |

Sistema ISDB-T

Ejercicios:

1. Obtenga la separación entre frecuencias de portadoras, Δ_f , para los tres Modos.
2. Calcule el período, T , del símbolo OFDM para los tres Modos.
3. Calcule el número total de portadoras, N_T , para los tres Modos.
4. Calcule el número total de portadoras de datos, N_{DT} , para los tres Modos.
5. Calcule el Ancho de Banda, B_T , utilizado por los para los tres Modos.
6. ISDB-T utiliza tiempos de guarda $\Delta_t = \left\{ \frac{T}{4}, \frac{T}{8}, \frac{T}{16} \right\}$. Calcule los tiempos de guarda para el Modo 1.

Sistema ISDB-T

Resultados:

1. Modo 1: $\Delta_f = 3,97$ kHz, Modo 2: $\Delta_f = 1,98$ kHz y Modo 3: $\Delta_f = 0,9921$ kHz.
2. Modo 1: $T = 252$ μs , Modo 2: $T = 504$ μs y Modo 3: $T = 1008$ μs .
3. Modo 1: $N_T = 1405$, Modo 2: $N_T = 2809$ y Modo 3: $N_T = 5617$.
4. Modo 1: $N_{DT} = 1248$, Modo 2: $N_{DT} = 2496$ y Modo 3: $N_{DT} = 4992$.
5. Modo 1: $B_T = 5,575$ MHz, Modo 2: $B_T = 5,573$ MHz y Modo 3: $B_T = 5,572$ MHz.
6. $\Delta_{t(1/4)} = 63$ μs , $\Delta_{t(1/8)} = 31,5$ μs y $\Delta_{t(1/16)} = 15,75$.

Tasa total de datos de un único segmento

La tasa de datos de un único segmento, R_s es dada por:

$$R_s = \frac{8mr_{RS}r_c}{21(1 + \alpha)} \quad [Mbps] \quad (14)$$

- $r_{RS} = \frac{188}{204}$ es la tasa del código RS.
- m representa el número de bits requeridos para la modulación (QPSK $m = 2$, 16QAM $m = 4$, 64QAM $m = 6$).
- r_c es la tasa del código convolucional.
- α es el intervalo de guarda $\left\{ \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32} \right\}$.

Referencia: Tabla 4 de ABNT NBR 15601

Tasa total de datos para 13 segmentos

La tasa de datos para 13 segmentos, R_{13s} es dada por:

$$R_{13s} = \frac{104mr_{RS}r_c}{21(1 + \alpha)} \quad [Mbps] \quad (15)$$

- $r_{RS} = \frac{188}{204}$ es la tasa del código RS.
- m representa el número de bits requeridos para la modulación (QPSK $m = 2$, 16QAM $m = 4$, 64QAM $m = 6$).
- r_c es la tasa del código convolucional.
- α es el intervalo de guarda $\left\{ \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{16}, \frac{1}{32} \right\}$.

Referencia: Tabla 5 de ABNT NBR 15601

TMCC

Transmission and Multiplexing Configuration Control

| Bits | Descripción |
|---------------------|--|
| B_0 | Referencia para demodulación diferencial |
| $B_1 - B_{16}$ | Señal de Sincronización (SS0=0011010111101110, SS1=1100101000010001) |
| $B_{17} - B_{19}$ | Tipo de segmento (diferencial=111,síncrono = 000) |
| $B_{20} - B_{21}$ | Identificación del Sistema |
| $B_{22} - B_{25}$ | Contador de cambio de parámetros |
| B_{26} | Señal de alarma de emergencia |
| B_{27} | Señal de recepción parcial (Información actual) |
| $B_{28} - B_{40}$ | Parámetros de la capa A |
| $B_{41} - B_{53}$ | Parámetros de la capa B |
| $B_{54} - B_{66}$ | Parámetros de la capa C |
| $B_{67} - B_{106}$ | Información futura |
| $B_{107} - B_{109}$ | Corrección de desvío de fase |
| $B_{110} - B_{121}$ | Reservado |
| $B_{122} - B_{203}$ | Bits de paridad |

Tabela 6: Configuración de TMCC

¡Gracias por la atención!

Contacto



E-mail: gfolmedo@espe.edu.ec

Tel: +593 2 3989488